



## Guide de conception des installations de production d'eau potable

Ce présent guide constitue une version officielle. Elle vient mettre à jour et remplacer la version préliminaire qui a été publiée sur ce site en juin 2001. Comme ce guide est un document en perpétuelle évolution, certains chapitres ou parties de chapitre seront mis à jour de façon périodique.

Le *Guide de conception* se présente dorénavant en deux volumes. Le premier regroupe l'information relative à la démarche du concepteur ainsi qu'aux principaux critères de conception des ouvrages. Le [second volume](#) rassemble les éléments plus descriptifs ainsi que des compléments sur la conception. La structure du second volume permet de faire facilement les liens avec le contenu du premier.

Nous vous invitons à lire immédiatement les chapitres 1 et 2 du volume 1 de ce guide afin de connaître la portée et les principales modifications apportées à la forme du guide. Ce guide est devenu un outil de travail indispensable et nous espérons qu'il deviendra un outil que vous aimerez consulter.

Voici les tables des matières du [volume 1](#) et [volume 2](#).

[Table des matières](#)  
[Volume 1](#)

[Table des matières](#)  
[Volume 2](#)

[Liste d'envoi](#)  
[électronique](#)

[Questions et](#)  
[commentaires](#)

[Foire aux](#)  
[questions \(FAQ\)](#)

---

Les chapitres marqués d'une étoile ont été modifiés le 6 décembre 2002 (mise à jour 1). Consultez la [foire aux questions \(FAQ\)](#) pour obtenir plus de détails.

### Volume 1

1. [Préambule](#)\*
2. [Introduction](#)
3. [Présentation du règlement](#)\*
4. [Scénarios d'alimentation et de traitement](#)
5. [Besoins en eau et débits de conception](#)
6. [Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau \(eaux souterraines et eaux de surface\)](#)\*
7. [Postes de pompage et conduites d'eau brute](#)
8. [Approvisionnement en eaux souterraines et traitement](#)\*
9. [Approvisionnement en eaux de surface et traitement](#)\*
10. [Désinfection et contrôle des sous-produits](#)\*
11. [Conception des réservoirs d'eau potable](#)\*
12. [Traitement des goûts et odeurs](#)
13. [Stabilisation et contrôle de la corrosion](#)
14. [Traitement des boues et des eaux de procédé](#)
15. [Critères généraux pour les installations de traitement](#)\*
16. [Instrumentation et contrôles](#)
17. [Divers](#)



## Volume 2

3. [Présentation du règlement](#)
4. [Scénarios d'alimentation et de traitement](#)
5. [Besoins en eau et débits de conception](#)
6. [Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau \(eaux souterraines et eaux de surface\)](#)
8. [Approvisionnement en eaux souterraines et traitement](#)\*
9. [Approvisionnement en eaux de surface et traitement](#)
10. [Désinfection et contrôle des sous-produits](#)
12. [Traitement des goûts et odeurs](#)
13. [Stabilisation et contrôle de la corrosion](#)
14. [Traitement des boues et des eaux de procédé](#)
15. [Critère généraux pour les installations de traitement](#)
16. [Instrumentation et contrôles](#)
18. [Références](#)

## Liste d'envoi électronique

Afin de vous assurer de toujours avoir le texte le plus récent, nous vous invitons à vous inscrire sur cette liste d'envoi électronique. Vous serez alors avisé des dernières modifications ainsi que leur date d'entrée en vigueur. Veuillez inscrire dans la case appropriée l'adresse de courriel à laquelle vous voulez être avisé des

modifications au *Guide de conception*, cliquez sur le lien qui suit puis appuyez sur la touche ENVOYER

[Inscription à la liste d'envoi électronique](#)

---



Dernière mise à jour : 2003-06-27

| [Accueil](#) | [Plan du site](#) | [Courrier](#) | [Quoi de neuf?](#) | [Sites d'intérêt](#) | [Recherche](#) | [Où trouver?](#) |

| [Politique de confidentialité](#) | [Réalisation du site](#) | [À propos du site](#) | [Votre opinion compte](#) |

Québec

© [Gouvernement du Québec, 2002](#)

Capturé par MemoWeb à  
partir de [http://www.menv.  
gouv.qc.ca/eau/potable/  
guide/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/index.htm) le 2003-10-  
21

## 1. PRÉAMBULE

Le *Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP)* a été adopté le 30 mai 2001 et est entré en vigueur le 28 juin 2001 ([www.menv.gouv.qc.ca/indexA.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/indexA.htm)). Cette mise à jour des normes de qualité a eu pour effet de modifier en profondeur les critères de conception des installations de traitement d'eau potable.

Le *Guide de conception des installations de production d'eau potable (Guide de conception)* vient donc remplacer les sections de la *Directive 001* du ministère de l'Environnement (MENV) se rapportant aux prises d'eau ainsi que l'ensemble de la *Directive 002* du MENV portant sur le traitement de l'eau potable. Il est disponible sur le site Internet du ministère de l'Environnement et sera mis à jour périodiquement ([www.menv.gouv.qc.ca/indexA.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/indexA.htm)). À cet effet, nous vous invitons à vous inscrire sur la liste de courrier électronique afin d'être informé des modifications au *Guide de conception* au fur et à mesure qu'elles seront effectuées.

L'inclusion des critères de conception des prises d'eau dans ce *Guide de conception* est essentielle compte tenu du caractère déterminant de la prise d'eau sur le niveau de traitement requis et, par conséquent, sur le choix de la solution finale. Cependant, la distribution de l'eau potable influe aussi sur le degré de traitement et la qualité du produit fini. Il y a lieu de considérer au moment de la conception les phénomènes suivants : la consommation anticipée du chlore résiduel en cours de distribution, la formation de trihalométhanes (THM), les problèmes de corrosion et de croissance bactérienne à l'intérieur des conduites et les risques de contamination par raccords croisés ou d'infiltration lors des chutes de pression. Il devient donc nécessaire pour l'exploitant d'établir des stratégies de gestion du réseau pour le maintien d'une qualité acceptable de la prise d'eau jusqu'au robinet du consommateur.

Ce *Guide de conception* n'aborde pas les aspects reliés à la conception du réseau et à ce titre, les sections de la *Directive 001* qui portent sur la distribution de l'eau potable (conduites, postes de pompage et réservoirs d'eau potable) demeurent présentement la seule référence ministérielle disponible.

Le *Guide de conception* a été réalisé grâce à la collaboration de nombreux spécialistes issus des milieux de la consultation en ingénierie, des fournisseurs d'équipement ou de services de gestion, de la recherche universitaire, des fonctions publiques municipale et gouvernementale. La coordination de ce travail a été assurée par RÉSEAU environnement. Les personnes suivantes ont participé à la rédaction, à la validation ou à la révision du contenu :

## Collaborateurs :

Daniel Babineau  
Ville de Rosemère

Alain Gadbois  
John Meunier

Ronald Piché  
Consulteaux

Benoît Barbeau  
École Polytechnique de Montréal

Michel Gagné  
Ville de Montréal

Serge Robert  
MENV

Jean-Yves Bergel  
Onde Degrémont

François Gagnon  
Roche

Simon Théberge  
MENV

Jean-François Bergeron  
Axeau

Marcel Gravel  
Axeau Inc.

Christian Thibault  
Stantec

Robert Bolduc  
Ville de Saint-Hyacinthe

Antoine Laporte  
Ville de Repentigny

Daniel Thibault  
Triax

Christian Bouchard  
Université Laval

Marc Larivière  
John Meunier

Thien Tu Tran  
MAMM

François Brière  
École Polytechnique de Montréal

Jean-Yves Lavoie  
Teknika

Hiep Trinh Viet  
MENV

Pierre Brisebois  
Triax

Régine Leblanc  
MENV

Réjean Villeneuve  
RSA

Jean-Guy Cadorette  
Aquatech

Janick Lemay  
MAMM

Rodrigue Chiasson  
Ville de Saint-Eustache

Rénald McCormack  
Envir'eau puits

Serge Cyr  
Ville de Victoriaville

Guillaume Massé  
RSA

Pierre Coulombe  
BPR

Chantal Morissette  
Ville de Laval

Hubert Demard  
RÉSEAU environnement

Patrice Murray  
MENV

Raymond Desjardins  
École Polytechnique de Montréal

Diane Myrand  
MENV

Tony Di Fruscia  
MAMM

Michel Ouellet  
MENV

Donald Ellis  
MENV

Pierre Payment  
IAF

## 2. INTRODUCTION

### Objectif

Le *Guide de conception* a pour objectif de préciser les critères de conception des équipements de captage et de traitement de l'eau potable et d'aider le décideur à choisir la solution optimale pour le respect des normes du *RQEP*. Il s'adresse donc aux producteurs d'eau, – appelés dans ce *Guide de conception* des exploitants d'installations de traitement d'eau potable – aux concepteurs, aux fabricants d'équipements et aux organismes gouvernementaux responsables de l'autorisation des équipements. Selon le vocabulaire réglementaire, les « réseaux de distribution d'eau potable » visés par ce *Guide de conception* sont tous les réseaux communautaires. Le guide ne couvre pas les aspects à la distribution de l'eau potable proprement dite, à l'opération des équipements, aux mesures de protection des bassins versants et à la certification des additifs dans l'eau potable.

### Forme du *Guide de conception*

Le *Guide de conception* comprend 2 volumes. Le premier regroupe l'information relative à la démarche du concepteur ainsi qu'aux principaux critères de conception des ouvrages que l'on rencontre le plus souvent. Le second volume rassemble les éléments plus descriptifs, des compléments sur la conception ainsi que de l'information sur les ouvrages que l'on rencontre moins souvent. La structure du second volume permet de faire facilement les liens avec le contenu du premier. On y retrouve également l'essentiel de l'information en matière de traitement appliqué au contrôle des goûts et odeurs, de la corrosion ainsi que les questions de sécurité. Par rapport à la version préliminaire du *Guide de conception*, la majorité du contenu du volume 1 a fait l'objet d'une réécriture ce qui n'est pas le cas du volume 2.

De façon systématique, toutes les références citées dans les volumes 1 et 2 se retrouvent dans le chapitre 18 du volume 2; elles sont cependant regroupées selon les chapitres qui les ont introduites.

### Niveaux d'information

Dans les chapitres qui se rapportent au traitement, le *Guide de conception* présente les procédés et réfère également aux technologies qui s'y rattachent. Ainsi, on peut retrouver dans le *Guide de conception* la flottation à air dissous, par exemple, qui est un procédé ainsi que les technologies développées par les fournisseurs qui mettent en application ce procédé. Dans le cas des technologies, le *Guide de conception* se limite au minimum d'information nécessaire au stade du choix préliminaire alors que le fournisseur de la technologie est habituellement en mesure de combler les besoins d'information en matière de conception détaillée.

### Sélection des procédés et technologies de traitement

La sélection des procédés et technologies retenus dans le *Guide de conception* correspond aux vues du comité de rédaction et du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* et tient compte de nombreux commentaires. Les deux comités ont considéré :

- L'intérêt que présentent les procédés et technologies sur les plans de la performance, des conditions d'application au Québec et, dans une certaine mesure, des coûts de construction et d'exploitation;
- L'historique d'application de ces procédés au Québec. Certains procédés ou technologies sont présentés dans le *Guide de conception* et ce même s'ils ne faisaient l'objet d'aucune application ou projet d'application au Québec au moment de sa rédaction. Il s'agit de cas justifiés par les résultats obtenus ailleurs et par le potentiel d'application de ces procédés au Québec.

Notons également que :

- La version préliminaire du *Guide de conception* a été largement diffusée auprès de tous les intéressés qui ont pu exprimer leurs commentaires;
- Une consultation a été conduite par voie électronique auprès de tous les membres de RÉSEAU environnement du secteur de l'eau. Le comité de rédaction a considéré chacun des commentaires obtenus.

En conséquence, il est peu probable que la méthode de travail utilisée ait pu amener l'oubli d'un procédé ou d'une technologie qui présenterait un intérêt majeur pour les concepteurs.

### **Mise à jour et commentaires**

Le *Guide de conception* sera révisé périodiquement en fonction de l'évolution des connaissances dans le domaine de la conception des installations de production d'eau potable. À cet effet, il est possible en tout temps d'acheminer des commentaires sur le *Guide de conception* afin d'améliorer son contenu. Les commentaires peuvent être acheminés par la poste, par télécopie ou par courrier électronique à l'adresse suivante :

Par la poste : *Guide de conception des installations de production d'eau potable*  
Ministère de l'Environnement  
Direction des politiques du secteur municipal  
Service d'expertise technique en eau  
675, boulevard René-Lévesque Est, 8<sup>e</sup> étage, boîte 42  
Québec (Québec)  
G1R 5V7

Par télécopie : (418) 528-0990

Par courrier électronique : [conception.eau.potable@menv.gouv.qc.ca](mailto:conception.eau.potable@menv.gouv.qc.ca)

## VOLUME 1

### CHAPITRE 3

|           |                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| <b>3.</b> | <b>PRÉSENTATION DU RÈGLEMENT .....</b>                     |
| 3.1       | Domaine d'application.....                                 |
| 3.2       | Les normes, les seuils d'action et les critères.....       |
| 3.3       | Le traitement minimal .....                                |
| 3.4       | La compétence des opérateurs .....                         |
| 3.5       | Les critères de conception .....                           |
| 3.6       | Les contrôles à l'eau brute .....                          |
| 3.7       | Les contrôles à l'installation de traitement.....          |
| 3.8       | Les contrôles sur le réseau.....                           |
| 3.8.1     | <i>La turbidité</i> .....                                  |
| 3.8.2     | <i>Les bactéries</i> .....                                 |
| 3.8.3     | <i>Les substances chimiques</i> .....                      |
| 3.9       | Le contrôle de la vulnérabilité des eaux souterraines..... |

### 3. PRÉSENTATION DU RÈGLEMENT

Ce chapitre a pour objectif de présenter les principales dispositions réglementaires. Dans le cas où il y aurait divergence d'interprétation entre la présente section et sa version publiée dans la *Gazette officielle du Québec*, cette dernière aura préséance. Le chapitre 3 présente l'ensemble du *RQEP* et du *Règlement modifiant le RQEP*, en s'attardant davantage aux normes, aux seuils d'action, au traitement minimal, aux critères de conception et aux contrôles minimaux (à l'eau brute, à l'installation de traitement, au réseau, au camion citerne, etc.).

Le chapitre 3 du volume 2 donne l'adresse Internet du *RQEP* et du *Règlement modifiant le RQEP*, les adresses des directions régionales du ministère de l'Environnement et du ministère de la Santé et des services sociaux ainsi que différentes considérations réglementaires autres que celles présentées dans ce chapitre (véhicules citernes, rôle des laboratoires accrédités, dispositions pénales, prélèvements et conservation des échantillons, démarches logiques en cas de hors norme, etc.).

#### 3.1 Domaine d'application

Les normes de qualité d'eau potable inscrites au *RQEP* s'appliquent à toutes les eaux de consommation humaine distribuées par une ou plusieurs canalisations. Le *RQEP* ne s'applique pas aux eaux de consommation régies par le ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'alimentation, soit, à titre d'exemple, l'eau embouteillée (art. 2). L'eau destinée à la consommation humaine, au sens des normes du *RQEP*, inclut les eaux servant à l'ingestion, au brossage des dents et à la préparation d'aliments. Dans certains cas, les experts de la santé publique peuvent déterminer que l'eau utilisée dans les douches ou les bains doit aussi être potable au sens des normes du *RQEP*. Ainsi, toute eau mise à la disposition de l'utilisateur par un robinet alimentant un évier, un lavabo ou une fontaine doit être potable en tout temps.

Les obligations de contrôle de qualité de l'eau varient selon la clientèle desservie, tel que décrit dans le tableau 3-1. Ainsi, les exploitants municipaux ou privés auront les mêmes obligations dans les mêmes situations. En ce qui concerne les clientèles uniquement institutionnelles (établissement d'enseignement, établissement de détention, établissement de santé et de services sociaux) et les établissements touristiques (terrains de camping, pourvoiries, auberges, haltes routières, etc.), le *RQEP* présente certains assouplissements. Pour toutes autres entreprises, elles sont uniquement soumises aux exigences de contrôle du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* administré par la CSST (art. 147) mais doivent tout de même satisfaire aux normes de qualité définies à l'annexe 1 du *RQEP* (art. 3).

Les obligations de moyens (art. 5, 6 et 44) telles que le traitement minimal des eaux et la qualification des opérateurs visent tous les exploitants de systèmes municipaux, privés et institutionnels ainsi que les exploitants qui desservent des établissements touristiques, quel que soit le nombre de personnes desservies (art. 43).

Le *RQEP* édicte donc les normes de qualité; le traitement minimal, la qualification des opérateurs; les critères de conception des équipements de traitement, un suivi en continu de la turbidité et du chlore résiduel libre à la sortie des installations de traitement incluant un système d'alerte de l'opérateur, un contrôle de qualité de l'eau distribuée, les mesures nécessaires en cas de résultats hors norme et les dispositions pénales.

**Tableau 3-1 : Synthèse des contrôles de qualité obligatoires du RQEP**

|                                                                            | <b>Municipalités et<br/>Systèmes de distribution<br/>privés<sup>(1)</sup><br/>&gt;20 pers.</b> | <b>Institutions<sup>(2)</sup> et Entreprises<br/>touristiques<sup>(3)</sup><br/>&gt;20 pers.</b> | <b>Véhicules citernes<br/>&gt;20 pers.</b> | <b>Systèmes de<br/>distribution<br/>≤ 20 pers.<sup>(4)</sup></b> |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Bactériologie<sup>(5)</sup></b>                                         | 2/mois et plus si >1000                                                                        | 2/mois et plus si >1000                                                                          | 2/mois et plus si >1000                    | 0                                                                |
| <b>Turbidité<sup>(6)</sup></b>                                             | 1/mois                                                                                         | 1/mois                                                                                           | 1/mois                                     | 0                                                                |
| <b>Inorganique<sup>(7)</sup></b>                                           | 1/an<br>4/an pour les nitrates et le pH                                                        | 1/an<br>4/an pour les nitrates et le pH                                                          | 1/an<br>4/an pour les nitrates et le pH    | 0                                                                |
| <b>Organique<sup>(8)</sup></b>                                             | THM : 4/an<br>42 organiques : 4/an si >5000                                                    | THM : 1/an<br>42 organiques : 4/an si >5000                                                      | THM 4/an<br>42 organiques : 4/an si >5000  | 0                                                                |
| <b>Analyses en continu à<br/>la sortie du<br/>traitement<sup>(9)</sup></b> | Oui                                                                                            | Non                                                                                              | Oui                                        | Non                                                              |

- (1) Un système de distribution privé est un système exploité par une personne, une compagnie, une copropriété, qui l'opère pour fins de distribution de l'eau à plus d'une unité d'habitation.
- (2) Une institution est un établissement de santé, d'enseignement ou de détention ayant sa propre prise d'eau (hôpital, école, garderie, foyer pour personnes âgées, prison, etc.).
- (3) Une entreprise touristique est un camping, une pourvoirie, un hôtel, un centre d'accueil de touristes, etc.
- (4) Les sources individuelles sont incluses dans les réseaux ≤ 20 personnes. Une source individuelle dessert une seule résidence et inclut toute eau provenant d'un puits, source, ruisseau ou lac. Si une source canalisée est mise à la disposition des passants, elle est considérée comme desservant plus de 20 personnes et doit subir les contrôles minimaux requis.
- (5) La bactériologie comprend les coliformes fécaux (*E. coli*) et les coliformes totaux. Pour 50% des échantillons, la bactériologie comprend aussi les bactéries hétérotrophes (BHAA). Le chlore résiduel est mesuré sur place en même temps que les prélèvements pour l'analyse des bactéries. Dans le cas des véhicules citernes et des réseaux desservant un seul bâtiment, l'analyse des BHAA n'est pas requise.
- (6) La turbidité est un indice de la limpidité de l'eau. Plus l'eau est turbide, plus elle est d'apparence trouble.
- (7) Les substances inorganiques sont les métaux, les nitrates (cette analyse comprend les nitrates + nitrites), les fluorures, le pH, etc. (Il peut y avoir jusqu'à 18 substances inorganiques contrôlées.) Le pH est mesuré sur place en même temps que les prélèvements des nitrates.
- (8) Les substances organiques sont les trihalométhanes (THM), les pesticides, le trichloroéthylène (TCE), etc. (Il y a 42 substances organiques contrôlées lorsque la population desservie dépassent 5000 personnes). L'analyse des THM n'est requise que lorsque l'eau est désinfectée au chlore.
- (9) L'analyse en continu est réalisée par un lecteur de chlore résiduel libre et de turbidité placé à la sortie des traitements qui trace un graphique de façon permanente. La turbidité est mesurée lorsqu'une eau de surface alimente la station de traitement, à la sortie de chaque filtre ou, en l'absence de filtres, à la sortie de la station de traitement. Le chlore résiduel libre est mesuré à la sortie de l'installation de désinfection ou, lorsque celle-ci comporte un réservoir d'eaux désinfectées, à la sortie de ce réservoir. Pour les véhicules citernes, ce suivi doit être réalisé à l'endroit où l'eau est prélevée par le véhicule.

### 3.2 Les normes, les seuils d'action et les critères

Le *RQEP* est basé sur 77 normes de qualité édictées de façon sécuritaire pour l'eau distribuée à des fins de consommation humaine. Ces normes correspondent aux *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* (sixième édition révisée en 1997), à l'exception de deux paramètres clés, la turbidité et les trihalométhanes (THM), qui correspondent aux normes américaines en vigueur au moment de l'adoption du *RQEP*. Selon l'article 54 du *RQEP*, la mise à jour de ces normes sera effectuée sur une base quinquennale. Elles sont énumérées à l'annexe I du *RQEP*. Ces normes, qui s'appliquent à toute eau de consommation autre que l'eau embouteillée et l'eau servant à la préparation des aliments (*RQEP*, art. 2), sont fondées sur la protection de la santé publique et ne tiennent pas compte des aspects esthétiques et olfactifs. Le MENV ainsi que la direction de la santé publique (DSP), le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPA) et la population doivent être informés rapidement de toute contamination fécale. De plus, pour tout dépassement de normes, l'exploitant doit aviser la DSP et communiquer au MENV les correctifs envisagés pour retrouver la conformité.

Le *RQEP* édicte aussi, en égard à la qualité de l'eau distribuée, des seuils d'action au-dessus desquels l'exploitant doit vérifier l'efficacité de son traitement. Ainsi, des seuils de turbidité sont indiqués dans le *RQEP* (art. 24 et 25), mais n'apparaissent pas à l'annexe 1 du *RQEP* puisqu'ils n'engagent pas les mêmes procédures en cas de dépassements.

Enfin, le *RQEP* contient des critères d'exclusion de la filtration (art. 5) et des critères de conception pour l'enlèvement des parasites et des virus (art. 5). Ces critères sont indiqués dans le *RQEP* mais n'apparaissent pas à l'annexe puisqu'ils n'engagent pas les mêmes procédures en cas de dépassement. Par exemple, les critères de conception sont utilisés par l'ingénieur en charge de la conception des équipements de traitement. Ils peuvent aussi être utilisés lorsque certaines normes ou seuils d'action, pouvant influencer l'efficacité de la désinfection, sont dépassés. En cas de dépassement de la turbidité selon les normes définies aux articles 24, 25 ou à l'annexe I du *RQEP*, l'exploitant devra vérifier l'efficacité de son traitement et pourra être invité par le MENV à vérifier le respect des temps de contact et des concentrations de désinfectant pour l'inactivation des parasites. À noter que même si les paramètres esthétiques ne sont pas réglementés, ils sont intégrés dans les recommandations canadiennes et sont présentés dans le *Guide de conception*.

### 3.3 Le traitement minimal

Dans le cadre du *RQEP*, on distingue les eaux de surface des eaux souterraines. Le *RQEP* (art.5) impose la filtration et la désinfection obligatoires des eaux de surface et des eaux souterraines sous l'influence directe des eaux de surface. Ces dispositions visent tous les réseaux municipaux, privés, institutionnels et établissements touristiques mais ne s'appliquent pas aux eaux desservants une seule résidence ou des entreprises (art. 4), bien qu'elles doivent satisfaire aux normes de qualité de l'annexe 1 du *RQEP* (art. 3).

Les puits dont les équipements de captage ne sont pas étanches sont considérés comme étant sous l'influence directe des eaux de surface et doivent être rendu étanches, sans quoi l'eau devra subir le même degré de filtration et de désinfection que les eaux de surface (section 10.2.1). De ce fait, toute eau souterraine dont la turbidité, la couleur, le pH, la dureté, le COT et la qualité bactériologique varient nettement après un épisode de pluie et/ou à la fonte des neiges, sera aussi

assimilée à une eau sous l'influence directe des eaux de surface. De même, toute eau souterraine dans laquelle des algues, des protozoaires, des débris végétaux, des insectes ou des rotifères sont identifiés, laisse fortement soupçonnée qu'elle est directement influencée par l'eau de surface. La recherche, dans l'eau brute, de tout débris ou organismes pouvant provenir de la surface est alors requise. Le Centre d'expertise en analyses environnementales du Québec (CEAEQ) a développé une méthode intitulée « Observation microscopique d'eau souterraine ». Cette analyse doit être faite régulièrement et doit être accompagnée des analyses de la turbidité, du COT, des coliformes fécaux et totaux (voir chapitre 6). Une variation prononcée de ces paramètres suggère l'influence directe des eaux de surface. Avec les éléments mentionnés précédemment, il advient qu'une eau de source, qu'une eau souterraine qui entre en contact avec les eaux de pluie avant distribution, qu'un puits dont la construction démontre des vices tels que les eaux de ruissellement sont susceptibles de s'infiltrer le long de son tubage, qu'un puits de surface ou tubulaire raccordé de façon non étanche au réseau de distribution, qu'un puits de surface où il y a absence de sol insaturé au-dessus de la nappe phréatique en période de nappe haute ou dont la nature granulaire du sol ou la présence de chenal évident ne confère pas une bonne filtration, qu'un puits dont les affleurements rocheux à proximité suggèrent la présence de failles et qu'un puits installé de façon artisanale (ne respectant pas les règles de l'art) puisse être assimilé à une eau de surface pour les fins de ce règlement.

La vérification des critères d'exclusion de l'art. 5 du *RQEP* permettra, par ailleurs, de statuer sur le type d'équipement de traitement requis. Le *RQEP* évite toutefois d'appliquer systématiquement la norme de filtration obligatoire des eaux de surface en permettant à certains exploitants, qui s'alimentent à partir d'une eau de surface de très bonne qualité ou à partir d'une eau souterraine sous l'influence directe des eaux de surface, de démontrer par des analyses de l'eau brute que la filtration peut être évitée (art.5). Les critères d'exclusion de la filtration sont définis à partir du respect de la norme à l'eau brute de 5 UTN en tout temps. Durant 90% du temps, les critères de 1 UTN, de 3 mg/L de carbone organique total, de 20 coliformes fécaux/100 ml et de 100 coliformes totaux/100 ml doivent aussi être respectés. Enfin, même si ces critères sont respectés durant une période de vérification minimale de 90 jours consécutifs, mais que des sources de pollution sont susceptibles d'affecter la qualité microbiologique de l'eau, la filtration est alors obligatoire. Il est d'ailleurs fortement recommandé de s'assurer que cette période d'analyse de 90 jours correspond soit au printemps, à l'automne ou à toute autre période représentative des conditions les plus critiques pouvant affecter cette eau afin de ne pas exposer la population à une pire situation.

La filtration se définit comme tout type de filtration conçue en conformité avec le présent *Guide de conception* et qui tient compte de l'enlèvement additionnel requis selon la qualité de l'eau brute (section 10.2.2) ainsi que des normes technologiques de turbidité. Le degré minimal d'enlèvement est décrit à l'article 5 du *RQEP*, l'enlèvement additionnel des parasites et des virus est présenté au chapitre 10 du *Guide de conception* et les normes sont indiquées à l'annexe I du *RQEP*. À noter que même si l'enlèvement additionnel en fonction de la qualité de l'eau brute n'est pas inscrit au *RQEP*, la vérification de l'efficacité de la désinfection demandée à l'exploitant lors des dépassements de normes ou de seuils de turbidité devra tenir compte de la qualité de l'eau brute pour assurer une protection optimale de la santé publique. Ainsi, le MENV tiendra compte du chapitre 10 du *Guide de conception* lors de l'autorisation d'équipements de filtration. Le consultant devra évaluer la qualité de l'eau brute en fonction des banques de données disponibles ou d'une caractérisation spécifique de la contamination fécale (chapitre 10).

Dans le cas de certaines eaux souterraines captées de façon non étanche et de lacs de tête à l'état naturel dont l'eau n'est pas colorée, ou encore de quelques autres sites dont la qualité de l'eau est exceptionnelle (moins de 3% des stations d'analyse du MENV sur la qualité des eaux de surface au Québec), les critères d'exclusion de la filtration pourraient être respectés. Le chapitre 6 du volume 2 présente une cartographie de la variation de ces substances en fonction des données disponibles sur les rivières du Québec. Dans les cas d'exclusion de la filtration, l'exploitant est toujours tenu de désinfecter de façon telle que les critères de conception pour l'enlèvement des parasites et des virus soient respectés (art. 5) et il doit suivre la turbidité en continu (art. 22). La sélection préférentielle d'une source d'eau ne nécessitant pas l'enlèvement des parasites demeure toujours l'avenue à privilégier pour le traitement des eaux des petites collectivités (eau souterraine bien captée).

Les exploitants dont l'approvisionnement en eau de surface ne fait l'objet d'aucune filtration, ont jusqu'en juin 2005 pour mettre en place les équipements permettant de respecter l'article 5. Dans le cas des réseaux desservants plus de 50 000 personnes, ce délai est reporté en juin 2007 (art. 53).

Les eaux souterraines ne sont nécessairement pas toutes de qualité, notamment en ce qui a trait à la présence de substances chimiques d'origine naturelle dans le sous-sol (fer, manganèse, fluor, sulfures, sels, arsenic, etc.) ou associées à des activités humaines (nitrates, pesticides, solvants, etc.). Elles peuvent aussi être contaminées par des virus ou des bactéries. Dans le cas d'une eau souterraine non désinfectée, des études hydrogéologiques et des vérifications ultérieures mensuelles de la qualité de l'eau brute (art. 13) établiront s'il y a lieu de désinfecter éventuellement ce type d'eau.

Après s'être assuré de l'enlèvement des virus et des parasites, toute installation de désinfection en continu doit enfin pouvoir offrir un potentiel minimal de désinfection, à la sortie du réservoir ou du traitement s'il n'y a pas de réservoir, équivalent à au moins 0,3 mg/L de chlore résiduel libre, sauf dans le cas où cette eau dessert un seul bâtiment (art. 8).

### **3.4 La compétence des opérateurs**

Dès juin 2004, seules les personnes compétentes pourront être en charge du fonctionnement d'un système de distribution, d'une installation de captage des eaux ainsi que d'une installation de traitement de filtration ou de désinfection (art. 44). L'obligation de compétence touche toute personne dont le travail peut influencer directement la qualité de l'eau potable. Les personnes détenant un diplôme d'études professionnelles ou collégiales émis par le ministère de l'Éducation en assainissement de l'eau ou de traitement des eaux de consommation, seront reconnues qualifiées. Les personnes qui occupent actuellement une fonction nécessitant ce niveau de formation (selon les catégories d'installations qui seront identifiées) et qui ne détiennent pas un de ces diplômes, devront obtenir leur reconnaissance auprès d'Emploi Québec par l'obtention d'un certificat. Ce certificat devra être renouvelé à tous les cinq ans afin de pouvoir s'adapter aux changements de personnel dans les municipalités et à l'évolution technologique.

Une classification type des opérateurs sera mise sur pied de façon à ce que les connaissances requises soient adaptées à la complexité des équipements opérés. Les installations seront donc

réparties par catégorie et l'opérateur responsable devra détenir la qualification adéquate pour les opérer. Un support pédagogique spécifique aux catégories d'installations sera développé et dispensé dans l'ensemble des régions du Québec dès l'automne 2002 de façon à préparer les candidats à la certification. La certification est un outil de reconnaissance de la compétence qui comprend les connaissances acquises et l'expérience. Elle se veut également un mécanisme de perfectionnement de l'ensemble du personnel exploitant qui tient compte de la simplicité ou de la complexité de l'installation de traitement et du réseau de distribution.

Il est donc recommandé aux exploitants de procéder dès maintenant à la planification de la formation de leurs opérateurs, à la formation du personnel en poste et, lorsque des postes deviennent vacants, à l'embauche de personnes détenant la compétence exigée. Cet exercice passe par la réalisation d'un inventaire des équipements existant dans leurs installations et par l'évaluation des opérateurs (liste, formation, expérience, tâches). Une fois l'exercice complété, il sera possible d'évaluer le temps de formation requis et les ressources à mobiliser pour compléter la certification du personnel. Pour aider les exploitants à planifier la formation de leur personnel, cette section du *Guide de conception* sera révisée dès que les modalités en auront été définies.

### **3.5 Les critères de conception**

Les équipements de traitement de l'eau de surface devront être conçus pour enlever les parasites, omniprésents dans ces eaux et résistants à la chloration, ainsi que les virus, capables de traverser les filtres. Les critères de conception visent donc des enlèvements minimaux à 99% des *Cryptosporidium*, à 99,9% des *Giardia* et à 99,99% des virus (art. 5). Ces critères d'enlèvement peuvent être relevés en fonction de la qualité de l'eau brute (section 10.2.2). Le respect de ces critères signifie qu'il faudra : soit changer de prise d'eau au profit d'un puits tubulaire, soit s'approvisionner à un réseau voisin ou encore construire une usine de filtration qui respectera les normes technologiques de turbidité du *RQEP* tout en offrant une désinfection efficace. Une attention particulière devra être portée à la vérification des THM générés par cette installation, quoique le traitement par filtration puisse généralement permettre de respecter la majorité des normes de qualité du *RQEP*. Le chapitre 10 présente de façon détaillée les méthodes de calcul.

Le concepteur devra tenir compte des normes technologiques de turbidité édictées à l'annexe I du *RQEP*. Dans le cas d'une filtration lente ou d'une filtration sur terre à diatomées, la norme consiste à respecter 1 UTN durant 95% du temps; dans le cas d'une filtration membranaire, la norme est de 0,1 UTN et dans le cas de toute autre filtration, elle est de 0,5 UTN. Lorsqu'il n'y a pas de filtration, la norme à respecter est de 5 UTN, mais en eau de surface, la turbidité doit respecter 1 UTN 90% du temps afin de satisfaire les critères d'exclusion (art. 5). Les crédits d'enlèvement des parasites et des virus accordés à chaque technologie de traitement selon la turbidité obtenue sont présentés au chapitre 10. Il est possible que le consultant doive, selon la qualité de l'eau brute et la filière de traitement privilégiée, respecter une turbidité à l'eau traitée par filtration directe ou conventionnelle inférieure à 0,5 UTN (tableau 10.6). À noter que la norme de 5 UTN est une norme absolue qui doit être respectée dans tous les systèmes de distribution indépendamment du système de traitement utilisé.

Dans le cas des eaux souterraines captées de façon non étanche, les critères de conception énumérés ci-dessus s'appliquent. Dans le cas d'une eau souterraine bien captée, mais vulnérable aux contaminants microbiologiques sur son aire de recharge et dans laquelle une contamination

fécale a été identifiée, le système de traitement devra être conçu pour enlever les virus, plus résistants à la chloration que les bactéries. Ainsi, on ne retrouve pas de parasites dans une eau souterraine bien captée, sauf de rares exceptions, et le traitement n'est alors conçu que pour l'enlèvement des bactéries et virus. Le critère de conception est donc un enlèvement à 99,99% des virus (art. 6), ce qui équivaut à une chloration adéquate. Dans le cas de la recharge de la nappe, la qualité de l'eau peut être assimilée : soit à une eau souterraine sous l'influence directe des eaux de surface, soit à une eau souterraine bien captée mais susceptible d'être vulnérable à la contamination (voir section 8.4). Une bonne caractérisation de cette eau devient donc essentielle.

Même si la priorité de tout traitement d'eau potable consiste à l'enlèvement des microbes, le concepteur devra s'assurer de la rémanence du chlore dans le réseau et vérifier la qualité de l'eau brute, comme il le fait actuellement, pour juger des traitements complémentaires tels que l'ajustement du pH, l'enlèvement du fer ou du manganèse, la dureté, etc. (voir section 3.6).

### **3.6 Les contrôles à l'eau brute**

Les contrôles *a priori* de l'eau brute s'avèrent nécessaires à la conception des équipements de captage et de traitement. Le chapitre 6 établit la durée, la fréquence et le type des analyses préalables nécessaires (réalisées par un laboratoire accrédité).

De plus, un contrôle sur une période minimale de 90 jours consécutifs peut être requis pour l'exploitant qui voudrait démontrer que son eau de surface ne nécessite pas de filtration (art. 5) et une vérification de la qualité de l'eau souterraine non désinfectée est requise pour démontrer l'absence de contamination d'origine fécale (art. 7).

### **3.7 Les contrôles à l'installation de traitement**

Lorsque les équipements sont en place, il faut s'assurer en tout temps de la fiabilité de leur performance et être en mesure de déclencher une alerte pour remédier rapidement à toute défaillance. En effet, l'augmentation de la turbidité à la sortie d'un seul filtre ou l'insuffisance temporaire de la désinfection peuvent accroître les risques de gastro-entérites.

Ainsi, l'exploitant d'un système de traitement municipal ou privé d'eaux de surface est tenu de mesurer en continu la turbidité (art. 22) pour : (1) s'assurer qu'elle ne nuit pas à l'efficacité de la désinfection; (2) s'assurer de respecter les normes technologiques à la sortie de chaque filtre (1 UTN pour la filtration lente et sur terre à diatomées, 0,1 UTN pour les membranes et 0,5 UTN pour les autres filtres); (3) vérifier si les critères d'exclusion de la filtration sont toujours respectés le cas échéant. Une alarme devra être placée sur les lecteurs (art. 22).

L'exploitant doit, à partir de l'enregistreur en continu, relever une donnée de turbidité aux quatre heures et l'inscrire sur le registre. Il s'agit des valeurs mesurées à 4 h, 8 h, 12 h, 16 h, 20 h et 24 h. Il faut un registre pour chaque filtre ou à la sortie de l'installation en l'absence de filtres (art. 22). Pour la filtration membranaire, le suivi en continue de la turbidité doit se faire à la sortie de chaque train de membranes. L'exploitant est tenu d'informer le MENV en cas de dépassement des normes calculé sur une période de 30 jours consécutifs. Il doit aussi informer le MENV et le ministère de la Santé et des services sociaux (MSSS) des mesures prises pour remédier à la

situation (voir section 3.6 du volume 2 pour consulter la liste des directions régionales de ces deux ministères).

L'exploitant d'un réseau municipal ou privé tenu de désinfecter l'eau en permanence doit mesurer en continu le chlore résiduel libre à la sortie du poste de désinfection ou, le cas échéant, du réservoir (art. 22), et ce, afin d'assurer une teneur minimale de 0,3 mg/L de chlore résiduel libre à l'entrée du réseau (art. 8). Les mesures journalières du pH, de la température et du débit d'eau traitée aux quatre heures serviront ultérieurement à vérifier l'efficacité de la désinfection (voir chapitre 10). Une alarme devra être installée sur le poste de désinfection (p. ex., un système *on/off* de lecture du débit de chlore injecté) afin que son fonctionnement soit adéquat en tout temps. Dans le cas de lampes U.V., il s'agira d'exiger du fabricant un détecteur de niveau d'irradiation dans le réacteur.

L'exploitant doit, à partir de l'enregistreur en continu, extraire la valeur minimale de désinfectant par période de quatre heures et l'inscrire sur le registre (art. 22). Un registre doit être attribué à chaque poste de désinfection autre que les postes de rechloration sur le réseau. En cas de non-respect des seuils de désinfectant, l'exploitant doit apporter rapidement les correctifs nécessaires. Cependant, dans le cas où l'exploitant juge plus prudent d'émettre un avis préventif d'ébullition (panne du système de chloration par exemple), une copie de l'avis devrait être transmise au MENV, à la Direction de la santé publique et au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (art. 36).

Tel que mentionné précédemment, l'exploitant municipal ou privé tenu de désinfecter l'eau en permanence doit aussi mesurer une fois par jour le pH et la température à la sortie du traitement ou du réservoir (art. 20). Ces mesures contribueront ultérieurement à vérifier l'efficacité de la désinfection. Ces données doivent être conservées durant au moins cinq ans. Les méthodes d'analyses ponctuelles doivent respecter le *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, ce qui n'est pas le cas des méthodes d'analyses en continu. Dans ce cas, l'exploitant doit suivre les indications du fabricant. Le *RQEP* n'assujettit donc pas ce type de contrôle au *Standard Methods* (art. 32) sauf pour les mesures du pH et de la température (art. 22, 4<sup>e</sup>).

L'exploitant de réseaux d'institutions ou d'entreprises touristiques ou encore l'exploitant de postes de rechloration sur le réseau n'est pas tenu, selon le *RQEP*, de suivre en continu le chlore résiduel à la sortie du traitement de même que le débit, le pH et la turbidité.

### **3.8 Les contrôles sur le réseau**

Même si les équipements minimaux de traitement sont bien conçus et exploités par des personnes compétentes, le contrôle de la qualité dans le réseau à partir des paramètres conventionnels demeure essentiel, puisque 22% des contaminations observées peuvent être imputables à la distribution (valeur obtenue des États-Unis où un traitement minimal des eaux de surface est appliqué). Les échantillons doivent être prélevés en accord avec le document cité à l'article 30 et doivent être transmis à un laboratoire accrédité. Le nouveau rôle du laboratoire accrédité est d'informer le MENV en cas de hors norme et de lui transmettre les données par voie électronique, cette procédure devrait améliorer considérablement l'efficacité du processus de contrôle.

Le contrôle obligatoire vise les réseaux municipaux, privés, institutionnels et ceux desservant des établissements touristiques desservant plus de 20 personnes (art.9). Le tableau 3-1 fournit un aperçu de l'ensemble des nouveaux contrôles. Les méthodes pour l'analyse du pH, des chloramines et du chlore résiduel libre réalisée sur place doivent respecter le *Standard Methods*. Dans le cas du pH notamment, le *Standard Methods* ne reconnaît que la méthode potentiométrique (sondes).

### 3.8.1 La turbidité

Les résultats des analyses du contrôle mensuel de la turbidité d'un réseau de distribution (art.21) transmis électroniquement par les laboratoires accrédités peuvent servir, le cas échéant, de déclencheur pour le MENV et pour l'exploitant. L'exploitant du poste de traitement vérifie obligatoirement à chaque jour les données du registre tenu à ce poste de traitement. Elles devront avoir respecté 95% du temps durant les 30 jours consécutifs précédents les normes technologiques de turbidité pour l'eau filtrée ou, dans le cas d'une eau de surface non filtrée, avoir respecté 90% du temps durant les 90 jours consécutifs précédents (art. 5) le critère d'exclusion de la filtration de 1 UTN. Même si le dépassement du seuil de 0,5 UTN dans le système distribuant une eau de surface ne constitue pas un hors norme (art. 24), le MENV s'assure que des vérifications sont effectuées à la sortie des installations. Les données de l'exploitant permettent d'évaluer le dépassement de la norme fixée à la sortie du traitement, à partir de son ou ses turbidimètres et de l'enregistreur en continu. L'exploitant est responsable de l'étalonnage de son équipement de mesure.

Le MENV ne sera pas informé immédiatement, par le laboratoire, du dépassement de la turbidité sur le réseau (art. 24), puisqu'il ne s'agit pas du dépassement d'une norme mais d'un seuil d'action. Dans le cas d'une eau souterraine bien captée et désinfectée, il n'y a pas d'obligation de mesurer la turbidité en continu à la sortie du traitement. Il en va de même dans le cas des systèmes opérés par un exploitant d'un réseau desservant une institution ou une d'entreprise touristique. Le *RQEP* exige donc de ces exploitants de démontrer que la désinfection est efficace lorsque la turbidité dépasse 1 UTN dans le réseau (art. 25).

Cette démonstration, dans le cas d'une eau souterraine, consisterait en premier lieu à vérifier la mesure de la turbidité de l'eau désinfectée, l'absence de coliformes totaux dans plus de 90% des échantillons prélevés chaque mois dans le réseau, l'absence de coliformes fécaux et le respect en tout temps de la norme de 10 coliformes totaux/100 ml. En second lieu, une analyse de carbone organique total devra démontrer que la turbidité est surtout d'origine inorganique. Seront finalement vérifiés : (1) les données disponibles de qualité de l'eau brute; (2) le bon état des équipements de traitement; (3) les mesures ponctuelles du chlore inscrites sur le registre du traitement ou sur les rapports d'analyses bactériologiques de l'eau distribuée; (4) la certification de l'opérateur. En outre, il est important de s'assurer s'il y a une influence directe possible d'eau de surface, qui peut se faire en vérifiant que cette augmentation de la turbidité est aussi présente à l'eau brute.

Cette démonstration, dans le cas d'une eau de surface sans mesure en continu (entreprises touristiques et institutions), serait identique à la démonstration précédente en plus d'une analyse plus attentive des variations mensuelles de la turbidité et de la vulnérabilité à la pollution de la source d'approvisionnement. Ceci afin d'établir si le MENV doit inciter ou ordonner

l'installation d'un équipement de mesure en continu de la turbidité et/ou du chlore résiduel à la sortie du traitement. Cette évaluation pourrait aussi remettre en question l'exclusion de la filtration si les critères ne sont pas respectés.

### 3.8.2 Les bactéries

Le contrôle des coliformes totaux ainsi que de la bactérie *E. coli* ou des coliformes fécaux se fait par le prélèvement d'un certain nombre d'échantillons mensuels (art. 11). La moitié de ces prélèvements sont effectués en bout de réseau pour l'analyse, en surcroît, des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives (BHAA) (art. 11), qui indiquent le décompte total de bactéries présentes dans l'eau. Les réseaux municipaux, privés, d'institutions et d'entreprises touristiques, desservant plus de 20 personnes, sont visés par ce contrôle. Les résultats sont transmis électroniquement par le laboratoire accrédité au MENV. Pour les réseaux d'eau chlorée, une analyse du chlore résiduel libre est effectuée à chaque prélèvement par l'exploitant qui inscrit le résultat sur le rapport d'échantillonnage. Les exploitants desservant un seul bâtiment ne sont pas tenus d'analyser le chlore résiduel libre, les BHAA et d'effectuer les prélèvements en bout de réseau. Les exploitants de véhicules citernes ne sont pas tenus d'analyser les BHAA, ni d'effectuer les prélèvements en bout de réseau (c.-à-d. à la fin de la journée de distribution).

**Tableau 3-2 : Nombre minimal d'échantillons à prélever selon la clientèle desservie**

| Clientèle desservie       | Nombre minimal d'échantillons à prélever ou faire prélever par mois |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 21 à 1000 personnes       | 2                                                                   |
| 1001 à 8000 personnes     | 8                                                                   |
| 8001 à 100 000 personnes  | 1 par 1000 personnes                                                |
| 100 001 personnes et plus | 100 + 1 par tranche de 10 000 personnes excédant 100 000            |

Bien que seuls les *E. coli* ou les coliformes fécaux déclenchent un avis automatique d'ébullition, un grand nombre de résultats devraient démontrer le dépassement des autres normes microbiologiques. Les exploitants seront alors invités à intervenir sur le réseau ou sur le traitement. La section 3.1.2 du volume 2 présente une série d'interventions possibles pour la protection de la santé des consommateurs lorsque l'eau est contaminée.

### 3.8.3 Les substances chimiques (art. 14 à 20)

Les réseaux municipaux, institutionnels, privés et d'entreprises touristiques desservant plus de 20 personnes sont visés par un contrôle annuel des substances inorganiques et un contrôle trimestriel des nitrates et nitrites ainsi que du pH et des THM (contrôle annuel pour les réseaux d'institutions et d'entreprises touristiques). Dans les cas des réseaux de plus de 5000 personnes, l'analyse trimestrielle de 42 substances organiques (voir annexe II du *RQEP*) est exigée. À noter que le contrôle des THM est exigé uniquement pour les réseaux desservant de l'eau chlorée; le contrôle

des chloramines est exigé pour ceux dont l'eau est désinfectée aux chloramines et le contrôle des bromates est nécessaire pour ceux dont l'eau est ozonée.

Si un laboratoire reçoit des échantillons afin d'analyser des paramètres pour lesquelles il n'est pas accrédité, il est tenu de transmettre ces échantillons à un autre laboratoire accrédité par le MENV. Si aucun laboratoire n'est accrédité pour un paramètre, à un moment donné, les laboratoires sont tenus de transmettre les échantillons au Centre d'expertise d'analyses environnementales (CEAE) du MENV jusqu'à ce que les laboratoires obtiennent les accréditations nécessaires. Il est à noter que certaines municipalités disposent de laboratoires accrédités.

Si le MENV soupçonne la présence significative d'un contaminant normé dans l'eau distribuée, l'exploitant est tenu d'en faire l'analyse à la satisfaction du requérant (art. 42).

### **3.9 Le contrôle de la vulnérabilité des eaux souterraines**

La désinfection des eaux souterraines n'est pas obligatoire, même s'il est reconnu que l'eau en cours de distribution est exposée à diverses agressions, telles que : (1) le relargage de bactéries du biofilm à l'intérieur des conduites; (2) l'intrusion (en condition de baisse de pression ou de pression négative) de bactéries provenant soit de branchements croisés ou de fissures le long de conduites corrodées, affaissées ou brisées, de mise en eau de nouvelles conduites, de réparation ou de curage de conduites. L'on note que plusieurs municipalités alimentées par une eau souterraine de très bonne qualité effectuent une désinfection d'appoint de façon épisodique.

Les exploitants qui utilisent une eau souterraine sans désinfection continue pourraient être tenus de réaliser une étude hydrogéologique pour juger de la vulnérabilité de l'aire de recharge à une contamination bactériologique ou virologique (art.13). Le chapitre 8 du volume 2 expose la méthodologie requise. Il est important cependant de distinguer cette étude hydrogéologique de l'analyse d'étanchéité ou de non-étanchéité du puits requise à l'article 5. Dans ce cas, la procédure présentée à la section 3.3 s'applique intégralement.

Lorsque l'étude hydrogéologique conduit à un verdict de vulnérabilité (c'est-à-dire indice DRASTIC supérieur à 100 et zones de pollution fécale identifiées dans les aires de protection microbiologique), l'exploitant doit prélever à chaque mois un échantillon d'eau brute approvisionnant le système de distribution pour l'analyse des *E. coli*, des entérocoques et des coliphages mâle-spécifique. Ces analyses permettent de confirmer que les contaminants bactériologiques ou virologiques se rendent jusqu'à la prise d'eau et qu'une désinfection est nécessaire. L'exploitant peut soit choisir d'effectuer les analyses à tous les mois pour éviter les coûts de l'étude hydrogéologique ou encore de désinfecter l'eau de façon permanente avant même toute forme d'analyse. Cette dernière façon de procéder présente une protection préalable à la distribution et permettrait de bénéficier plus rapidement de programmes de financement.

## **VOLUME 1**

### **CHAPITRE 4**

|           |                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------|
| <b>4.</b> | <b>SCÉNARIOS D’ALIMENTATION ET DE TRAITEMENT .....</b> |
| 4.1       | Organigramme décisionnel .....                         |
| 4.2       | Bilan de la situation existante .....                  |
| 4.3       | Travaux correctifs aux systèmes existants .....        |

## 4. SCÉNARIOS D'ALIMENTATION ET DE TRAITEMENT

Le présent chapitre permet de présenter premièrement un cheminement pour la mise en œuvre d'un projet de traitement en eau potable et deuxièmement la structure du *Guide de conception*. Le cheminement proposé dans ce chapitre n'est pas obligatoire, ni exhaustif, mais il fait référence aux règles de l'art les plus usuelles dans le domaine du génie. L'ampleur de l'étude des solutions et alternatives devra évidemment être adaptée à la situation et aux besoins de l'exploitant.

### 4.1 Organigramme décisionnel

Étant donné l'intégration de nouveaux paramètres dans le *RQEP*, le raffermissement de certains paramètres déjà contrôlés et l'apparition de la notion de fréquence de respect de la turbidité de l'eau désinfectée (90 à 95% du temps, selon le cas), tous les systèmes d'approvisionnement et de traitement d'eau doivent faire l'objet d'une évaluation afin de vérifier s'ils respectent les exigences du *RQEP*.

La figure 4-1 résume le cheminement proposé. La portion située à l'extrême gauche de la figure représente la démarche minimale d'analyse nécessaire pour un système qui respecte en tout point les exigences du *RQEP* et qui n'a pas de problème quantitatif d'approvisionnement en eau. Ce cheminement propose une réévaluation continue des installations de traitement et du système de distribution.

La partie centrale de la figure 4-1 concerne des interventions qui peuvent être, dans plusieurs cas, mineures (travaux correctifs et mise en commun des services).

La partie droite de la figure concerne des interventions habituellement qualifiées de majeures parce qu'elles font intervenir la recherche et l'aménagement d'une nouvelle source d'eau et, fréquemment, une installation de traitement.

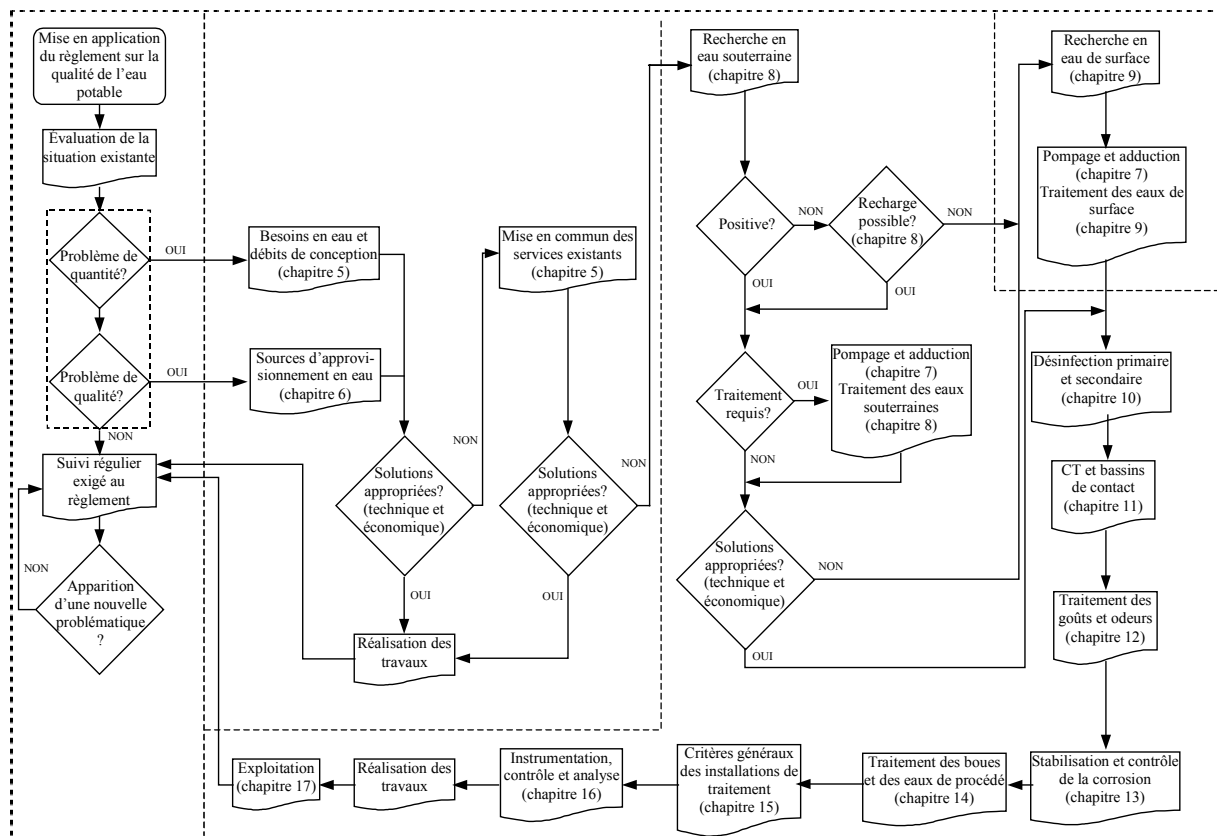
Les principes sous-jacents à l'élaboration de l'organigramme sont :

- La logique d'analyse est basée sur des choix techniques et économiques;
- Le coût des solutions proposées est généralement d'ordre croissant;
- Les travaux correctifs aux systèmes de captage et de traitement existants ainsi que la mise en commun de services de distribution sont considérés en priorité. Dans certains cas, la dilution par une source de bonne qualité est également acceptée (voir section 4.3);
- La complexité d'exploitation des systèmes est souvent croissante;
- L'eau souterraine est préférée aux nouvelles sources et aux sources en eau de surface non filtrées en raison de sa meilleure protection contre la contamination microbiologique ainsi que sa stabilité généralement plus grande que celle d'une eau de surface;
- Le traitement d'une eau souterraine est généralement plus économique que le traitement d'une eau de surface;
- L'organigramme n'est pas exhaustif, mais couvre les situations les plus communes.

À chaque avenue de solution est attaché un coût de revient (construction et exploitation). Dans plusieurs cas, il est possible d'identifier une solution sans que l'analyste ait à

considérer d'autres solutions mentionnées plus loin dans l'organigramme (modifications mineures à une usine existante, nouveau puits dont l'eau est de bonne qualité et qui est localisé près du réseau de distribution, etc.). Lorsqu'une nouvelle source d'eau est nécessaire ou qu'une solution plus complexe doit être envisagée, il faudra également considérer les solutions mentionnées plus loin dans l'organigramme. De façon générale, si l'analyste ne parvient pas à trancher rapidement sur l'intérêt économique d'une solution, c'est qu'il doit approfondir davantage l'analyse de solution.

**Figure 4-1 : Cheminement de conception d'un projet et liens avec l'organisation du guide**



## **4.2 Bilan de la situation existante**

Pour plusieurs installations de traitement et systèmes de distribution d'eau, l'information existante est insuffisante pour une évaluation exhaustive de la situation. Par conséquent, une période d'acquisition de données d'une durée suffisante doit être prévue avant de finaliser l'évaluation complète de la situation.

Le bilan de la situation doit inclure :

- L'analyse de la source d'approvisionnement en eau;
- L'analyse des installations de traitement;
- L'analyse de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution.

Plus spécifiquement, l'analyse devra considérer les éléments suivants :

### **Source d'approvisionnement en eau**

- Les données existantes sur la qualité de l'eau brute;
- Une caractérisation complémentaire de la qualité de l'eau brute (voir section 6.1);
- Les variations temporelles de la qualité de l'eau brute;
- Les conditions en situation d'étiage, la protection de la faune et des autres usages;
- La vulnérabilité des puits (voir section 8.3) et/ou du bassin versant d'une prise d'eau de surface (émissaire, contamination agricole, déboisement, industrie, etc.) (voir section 9.3);
- La capacité des sources (voir sections 8.3 et 9.3);
- Les besoins en eau actuels et futurs (voir chapitre 5).

### **Installation de traitement de l'eau**

- Les données existantes sur la qualité de l'eau à différentes étapes du traitement (eau brute, décantée, filtrée, désinfectée, etc.);
- Une caractérisation complémentaire de la qualité de l'eau aux différentes étapes du traitement (incluant les prises d'échantillons latérales des filtres sous pression, l'eau conditionnée chimiquement, l'eau à l'entrée et à la sortie des réserves, etc.);
- La variation temporelle de la qualité de l'eau aux différentes étapes du traitement;
- Le comportement de chacune des étapes de la filière de traitement en fonction de la qualité de l'eau brute;
- La conformité des ouvrages relativement aux critères de conception du présent *Guide de conception* et aux normes réglementaires;
- L'évaluation des CT pour la réduction des micro-organismes (voir section 11.2).

### **Réseau de distribution**

- L'historique des plaintes des usagers (apparences visuelles, goûts et odeurs, taches sur la lessive et équipements sanitaires, dépôts de calcaire, etc.);
- Les données existantes sur la qualité de l'eau distribuée et son suivi;

- Une caractérisation complémentaire de la qualité de l'eau distribuée au centre et en extrémité de réseau ainsi qu'aux réservoirs en réseau (couleur apparente, turbidité, fer total, chlore résiduel libre et total des résiduels, oxygène dissous, bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives (BHAA), trihalométhanes, goûts et odeurs, etc.) (voir section 6.1);
- Le nombre et la localisation des réparations ou autres interventions pratiquées sur le réseau de distribution.

Toutes les informations recueillies devraient permettre d'apporter une conclusion à propos du respect ou de la capacité du système existant (voir sections « Champs d'application » et « Critères de conception » de chacune des technologies présentées aux chapitres 8, 9 et 10) à rencontrer les exigences du *RQEP*. Dans le cas contraire, l'identification de la source des problèmes ou des non-conformités devra être réalisée de la façon décrite dans la section suivante.

### **4.3 Travaux correctifs aux systèmes existants**

Lorsque la problématique est liée à la quantité d'eau disponible, certaines des alternatives suivantes peuvent être étudiées :

- Améliorer les ouvrages de captage existants (approfondir, relocaliser, ajouter un ouvrage de captage, etc.) (voir section 8.3);
- Si la source d'eau est souterraine, une recharge artificielle de la nappe à partir d'une eau de surface peut permettre de combler le déficit tout en conservant une source dont la qualité sera considérée comme souterraine (voir sections 8.2 et 8.4);
- Réduire la consommation en eau potable (recherche des fuites dans le réseau de l'exploitant et les résidences (toilettes, robinets, etc.) et inciter les usagers à l'économie (contrôleur de débit, compteur d'eau, réduction des pressions d'opération des réseaux, campagne de sensibilisation, réglementation municipale, etc.) (voir chapitre 5);
- Réduction des pertes d'eau lors du traitement (pertes inutiles, optimisation des cycles de filtration, réduction des purges de boues des décanteurs, etc.);
- Réduire les problèmes de corrosion afin d'éliminer les purges en continu aux extrémités des réseaux (voir chapitre 13);
- Augmenter la capacité des réserves d'eau. Certains réseaux fonctionnent sans réservoir tampon de sorte que la source et le traitement doivent répondre à la demande de pointe horaire plutôt qu'au débit journalier maximum (voir chapitres 5 et 15). Se référer également aux sections 5.5 « Mise en commun des services avec d'autres réseaux », 8.2 « Recherche en eau souterraine » et 9.2 « Recherche en eau de surface ».

Lorsque la problématique est liée à la qualité de l'eau distribuée, certaines des alternatives suivantes peuvent être étudiées :

- Améliorer les ouvrages de captage existants (relocaliser la prise d'eau en favorisant la recherche en eau souterraine, reconstruction des puits, etc.);
- Implanter un plan de gestion du bassin versant (voir sections 8.3 et 9.3);

- Optimiser l'exploitation de l'installation de traitement (voir section 3.2.3);
- Améliorer le conditionnement chimique de l'eau (coagulant alternatif, ajout d'agent alcalin, ajout de polymère à haut poids moléculaire ou de silice activée, chloration proportionnelle au débit, etc. );
- Augmentation de la capacité des installations de traitement existantes (se référer aux critères de conception de chacune des technologies citées dans le *Guide de conception*);
- Améliorer le temps de contact pour fins de désinfection dans les réservoirs d'eau traitée (ajout de chicanes, modification des points d'entrée et de sortie, etc.) (voir chapitre 11);
- Ajouter une étape additionnelle à la filière de traitement (ozonation, désinfection UV, etc.) (voir chapitre 10);
- Amélioration de l'automatisation et des contrôles des installations de traitement (voir chapitre 16);
- Ajouter un système de mélange dans un réservoir d'équilibre intégré au réseau pour réduire le volume d'eau morte, forcer la consommation à partir de ce réservoir, aménager un poste de chloration, etc.;
- Réduire les problèmes de corrosion pour éviter l'apparition de fer en bout de réseau dont le matériau est de la fonte non protégée (stabilisation de l'eau, inhibiteur de corrosion et intervention en réseau) (voir chapitre 13);
- Améliorer l'entretien du réseau de distribution (rinçage, renouvellement de l'eau, remplacement de conduites problématiques, etc.);
- Dans certaines conditions, diluer l'eau traitée avec une autre source de meilleure qualité afin de rencontrer les exigences du *RQEP*. Cette solution est acceptable pour réduire les concentrations de paramètres d'origine naturelle qui ont une incidence à caractère organoleptique (dureté, fer, manganèse par exemple) et pourrait être acceptable dans certains autres cas (nitrates, baryum par exemple) en étant documentée et analysée (voir aussi section 6.4). Par contre, en ce qui concerne la contamination microbiologique, la dilution est une solution inacceptable.

Si les coûts de construction et d'exploitation relatifs aux travaux correctifs s'avèrent raisonnables, il faut réaliser lesdits travaux. Par contre, si l'envergure des travaux est importante, il faut étudier les alternatives décrites plus loin dans le *Guide de conception*. Il faut également prévoir une étape de réévaluation de la situation au cours de la période de mise en service afin de confirmer que la situation problématique a été réglée. On propose au chapitre 4 du volume 2 une méthode de calcul pour comparer les coûts des solutions en tenant compte des investissements, des subventions mais aussi de l'exploitation.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 5

|            |                                                                                             |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>5.</b>  | <b>BESOINS EN EAU ET DÉBITS DE CONCEPTION.....</b>                                          |
| <b>5.1</b> | <b>Besoins actuels .....</b>                                                                |
| 5.1.1      | <i>Besoins propres de la station.....</i>                                                   |
| 5.1.2      | <i>Eau distribuée de l'année initiale de conception .....</i>                               |
| 5.1.3      | <i>Valeurs de référence pour l'ensemble de l'eau distribuée .....</i>                       |
| 5.1.4      | <i>Valeurs de référence pour le maximum des valeurs journalières d'eau distribuée .....</i> |
| <b>5.2</b> | <b>Nouveaux besoins .....</b>                                                               |
| 5.2.1      | <i>Valeurs de référence pour la consommation résidentielle .....</i>                        |
| 5.2.2      | <i>Valeurs de référence pour la consommation commerciale et institutionnelle ..</i>         |
| 5.2.3      | <i>Consommation industrielle.....</i>                                                       |
| 5.2.4      | <i>Valeurs de référence pour les usages municipaux .....</i>                                |
| <b>5.3</b> | <b>Fuites .....</b>                                                                         |
| <b>5.4</b> | <b>Économie d'eau .....</b>                                                                 |
| <b>5.5</b> | <b>Mise en commun des services avec d'autres réseaux.....</b>                               |
| <b>5.6</b> | <b>Cas particuliers.....</b>                                                                |
| <b>5.7</b> | <b>Bonnes pratiques de gestion .....</b>                                                    |

## 5. BESOINS EN EAU ET DÉBITS DE CONCEPTION

La conception des installations d'adduction et de traitement est basée sur le total du débit d'eau distribuée et les besoins propres des installations de traitement (lavage des filtres par exemple). On utilise généralement les valeurs maximums journalières et, dans quelques cas, la pointe horaire. Le débit minimum est également utile pour la conception de certains éléments hydrauliques. De façon générale, les débits de conception (moyens et pointes) sont basés sur la relation :

$$Q_{conception} = \text{Besoins actuels} + \text{Nouveaux besoins} - \text{Économies d'eau}$$

Dans les cas d'agrandissement ou d'amélioration d'installations existantes, le concepteur dispose généralement de l'historique des volumes d'eau distribués. L'utilisation de ces données demande cependant un minimum de validation. Les nouveaux besoins découlent, par exemple, de l'accroissement de la population. Les économies d'eau proviennent de l'application prévue de mesures visant à réduire le débit d'eau distribué.

Dans les cas de nouveaux services d'eau, le concepteur doit estimer l'ensemble des besoins.

Dans tous les cas, il faut prévoir l'évolution des besoins pour des projections variant de 10 à 30 ans.

Une partie importante de l'information contenue dans ce chapitre provient des deux guides rédigés par RÉSEAU environnement en 1999 et 2000.

### 5.1 Besoins actuels

Ils sont définis par la relation :

$$Q_{\text{besoins actuels}} = Q_{\text{besoins propres à la station}} + Q_{\text{eau distribuée}}$$

#### 5.1.1 Besoins propres de la station

Il est important de tenir compte des débits de l'eau nécessaires au fonctionnement de l'installation de traitement, par exemple, l'eau de lavage des filtres. Ces débits peuvent être, dans certains cas, importants.

#### 5.1.2 Eau distribuée de l'année initiale de conception

L'eau distribuée vers le réseau est généralement désignée sous le vocable « d'eau mise en distribution » ou « d'eau distribuée ». Son volume correspond à la somme de la consommation résidentielle, industrielle, commerciale, institutionnelle, municipale et des pertes.

$$Q_{\text{eau distribuée}} = Q_{\text{résidentielle}} + Q_{\text{institutionnelle}} + Q_{\text{commerciale}} + Q_{\text{industrielle}} + Q_{\text{municipale}} + \text{pertes}$$

L'historique des volumes d'eau distribuée permet de calculer le débit journalier moyen d'eau distribuée pendant l'année initiale de conception. Dans la majorité des cas, les valeurs journalières sont disponibles et permettent de calculer la valeur maximum du débit journalier. Le traitement de ces données doit tenir compte des remarques suivantes :

- La validité des données historiques doit être systématiquement questionnée. Entre autres, un étalonnage de l'équipement de mesure de volume ou de débit est requis, si le dernier étalonnage date de cinq ans ou plus;
- La présence de réserves dans le réseau de distribution doit être pris en compte dans le calcul du débit journalier maximum;
- Les valeurs maximums doivent être documentées afin de les relier à leurs causes : arrosage, industrie, bris majeur, etc.

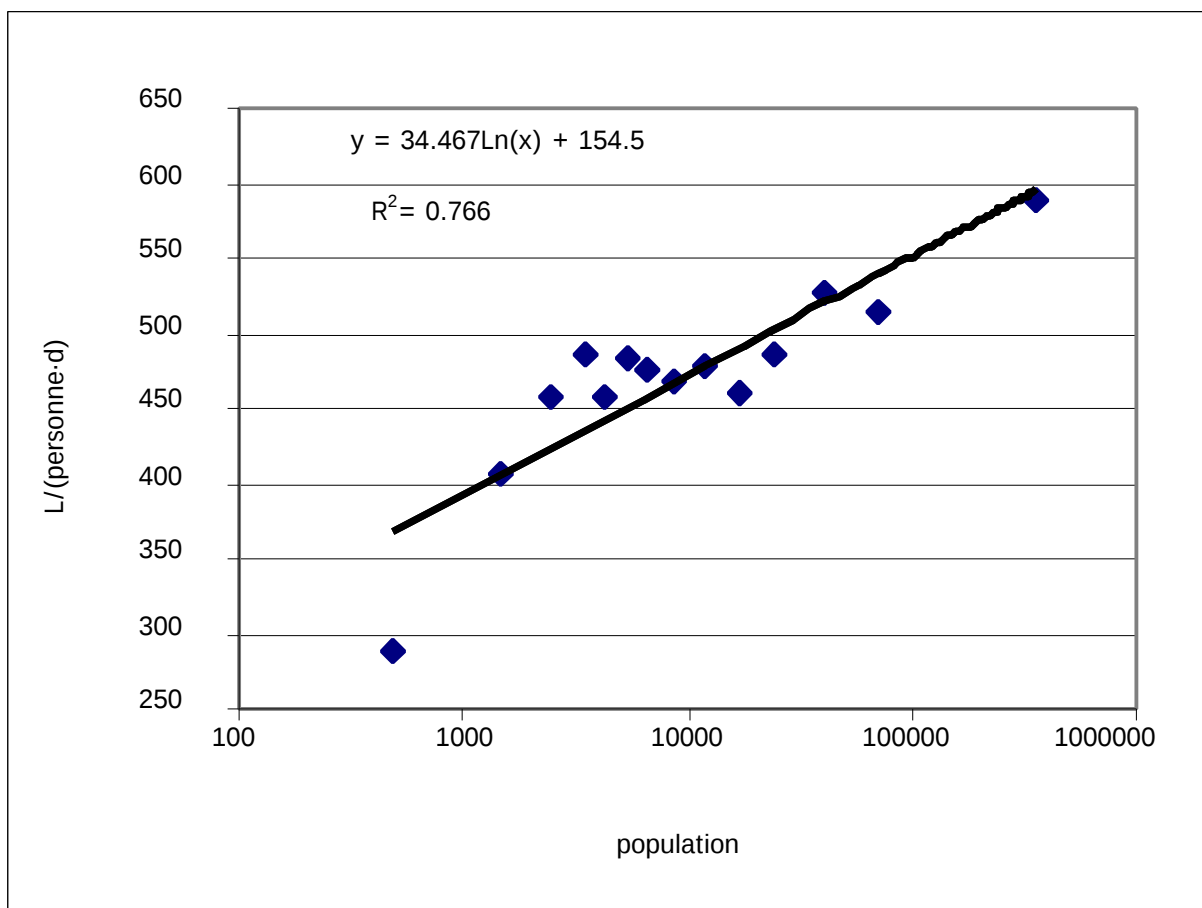
Les valeurs ainsi obtenues seront par la suite comparées avec les valeurs de référence (voir section 5.3) afin d'établir s'il est nécessaire de prévoir une réduction des débits moyen ou maximum.

#### *5.1.3 Valeurs de référence pour l'ensemble de l'eau distribuée*

L'eau distribuée est généralement établie en fonction de la population desservie ainsi que des usages non-résidentiels et des pertes. On l'exprime en litres par personne par jour ou L/(personne·d). Selon la base de données d'Environnement Canada MUD 96, les 388 municipalités québécoises de plus de 1000 habitants qui y sont répertoriées ont une moyenne pondérée de 777 L/(personne·d). D'après la même référence, la moyenne pondérée des municipalités ontariennes est de 558 L/(personne·d). On rappelle que ces chiffres concernent bien le total de l'eau distribuée. La différence entre les deux provinces indique clairement que des mesures doivent être prises au Québec pour réduire les débits distribués et ainsi diminuer non seulement les coûts d'exploitation, mais aussi la taille des nouveaux projets. De façon globale, les 388 valeurs québécoises ont une distribution très large : le premier décile s'établit à 360 L/(personne·d) et le dernier à 1103 L/(personne·d). Ceci s'explique par l'ampleur des variations de chacune des composantes mentionnées précédemment.

La valeur de référence retenue pour l'ensemble du Québec est celle du premier quartile de la distribution, soit 465 L/(personne·d). On se souviendra que 25% des municipalités ont un débit d'eau distribuée inférieur à cette valeur. Cette valeur peut varier en fonction de la population desservie (voir figure suivante).

**Figure 5-1 : Débit moyen distribué en fonction de la population (premier quartile)**



Source : RÉSEAU environnement, 2000.

Si les données historiques dépassent cette valeur, le concepteur devra faire un bilan des utilisations de l'eau permettant d'expliquer ce dépassement. Il devra aussi proposer des mesures d'économie.

#### 5.1.4 Valeurs de référence pour le maximum des valeurs journalières d'eau distribuée

Les pointes peuvent être exprimées sous la forme d'un coefficient (débit de pointe / débit moyen) ou sous la forme d'un surplus de consommation *per capita* en L/(personne·d).

Les valeurs de référence des coefficients de pointe pour la journée maximale sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 5-1 : Coefficient de pointe (journée maximale)**

| Population (personnes desservies) | Coefficient |
|-----------------------------------|-------------|
| Moins de 2000                     | 2           |
| Plus de 2000                      | 1,5         |

Source : RÉSEAU environnement, 2000.

Dans certains cas, la notion de coefficient de pointe est à examiner de plus près. À titre d'exemple, la présence d'un niveau de fuites élevé a pour effet de réduire le coefficient de pointe.

Lorsque la pointe est attribuable à des usages résidentiels extérieurs (arrosage, jardinage, piscines, etc.), on peut calculer le surplus de consommation en L/(personne·d). Dans ces conditions, une valeur de 200 L/(personne·d) est considérée comme moyenne, mais on a déjà observé des valeurs de l'ordre de 400 L/(personne·d) pour des municipalités de type banlieue homogène où l'habitat unifamilial de moyen et haut niveaux économiques domine.

De la même façon que pour les débits moyens, le concepteur doit procéder à une analyse lorsque les données historiques dépassent les valeurs de référence.

## 5.2 Nouveaux besoins

Pour chacune des périodes de conception, le concepteur doit définir les nouveaux besoins soit :

- Globalement, en tenant compte de l'augmentation de la population desservie et du *per capita* pour l'eau distribuée;
- Spécifiquement, en identifiant les différents groupes de consommateurs et les pertes pour les nouveaux secteurs.

On doit concevoir les installations de production d'eau potable en tenant compte des projections suivantes :

- La période de conception est fixée à 30 ans pour les prises d'eau, les réservoirs d'entreposage d'eau brute, les barrages et les conduites d'adduction qui sont complexes et coûteuses à agrandir;
- La période de conception est fixée à 20 ans ou plus pour le génie civil des installations de traitement;
- La période de conception est ramenée à 10 ans ou plus pour les éléments mécaniques.

Les nouveaux besoins sont évalués à partir de prévisions définissant les nouveaux usagers et de consommations de référence pour chacune des catégories d'usagers. Ces mêmes valeurs sont utilisées pour établir des bilans et le potentiel d'économie.

Lorsque la différence de coûts entre les solutions basées sur des projections de 10, 20 et 30 ans est marginale, une solution à plus long terme pourra être favorisée.

#### *5.2.1 Valeurs de référence pour la consommation résidentielle*

Pour l'ensemble de l'échantillon de la base des données d'Environnement Canada, la consommation résidentielle québécoise pondérée est de 386 L/(personne·d), mais il faut surtout noter la très large distribution des valeurs : les premier et dernier déciles s'établissent respectivement à 241 et 689 L/(personne·d). Si l'on se limite maintenant aux municipalités québécoises du premier quartile pour l'eau distribuée alors la consommation résidentielle moyenne est plutôt de 230 L/(personne·d). Ce chiffre est inférieur à celui du 1<sup>er</sup> décile de l'ensemble de l'échantillon qui est influencé par de nombreuses valeurs élevées. La valeur de référence pour la consommation résidentielle a été fixée à 250 L/(personne·d).

#### *5.2.2 Valeurs de référence pour la consommation commerciale et institutionnelle*

Après analyse des données d'Environnement Canada, trois valeurs de référence sont retenues et présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 5-2 : Valeurs de référence de la consommation commerciale et institutionnelle**

| Type de municipalité                                                                | L/(personne·d) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Municipalités de 5000 personnes et moins sans usager à caractère régional           | 32             |
| Municipalités de 5000 à 50 000 personnes avec quelques usagers à caractère régional | 65             |
| Municipalités de type ville-centre de moins de 50 000 personnes                     | 117            |
| Municipalités de type ville-centre de plus de 50 000 personnes                      | 182            |

Source : RÉSEAU environnement, 2000

Le concepteur verra à utiliser en priorité les données de consommation mesurée au compteur. Faute de mieux, il pourra estimer les consommations à partir du tableau présenté dans le volume 2. Selon les meilleures pratiques de gestion, il est recommandé d'installer

des compteurs chez tous les usagers commerciaux et institutionnels, en commençant par les usagers majeurs.

### 5.2.3 Consommation industrielle

Il n'existe pas de données de référence fiables pour les industries. Tous les usagers de cette catégorie doivent avoir un compteur. En l'absence de compteur, le concepteur doit faire une estimation de chaque industrie ou procéder à une mesure temporaire.

### 5.2.4 Valeurs de référence pour les usages municipaux

Les usages municipaux peuvent varier de 5 à 15 L/(personne·d), ce qui inclut les édifices municipaux, les piscines, les patinoires, les jardins, la lutte contre les incendies, les usages destinés à la voie publique, le rinçage du réseau, les purges connues destinées à régler les problèmes de gel ou de qualité de l'eau et d'autres usages comme le nettoyage des égouts. Les débits et la durée des purges sont à surveiller de près.

## 5.3 Fuites

Les pertes d'eau comprennent essentiellement les fuites dans le réseau de distribution ainsi que d'autres pertes comme les purges inconnues, les trop-pleins inconnus de réservoir, etc. En matière de fuites, l'American Water Works Association (AWWA) a fixé certaines valeurs de référence présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 5-3 : Valeurs de référence pour les fuites**

| Critères                             | Fuites (m <sup>3</sup> /(j·km)) |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Objectif pour l'ensemble d'un réseau | 10 à 15                         |
| Secteur en très bon état             | 5 à 10                          |
| Secteur en mauvais état              | 20 et plus                      |
| Limite technique de détection        | 5                               |

Source : AWWA présentée par RÉSEAU environnement, 1999.

Il existe également une autre mesure de la performance globale : le pourcentage d'eau non-comptabilisée qui se calcule suivant la relation :

$$\% \text{ eau non-comptabilisée} = (\text{eau distribuée} - \text{eau consommée et comptabilisée}) / \text{eau distribuée}$$

L'eau non-comptabilisée comprend non seulement les fuites et autres pertes d'eau inconnues, mais aussi l'ensemble des usages non rapportés et le sous-comptage de la consommation. L'AWWA a fixé un objectif de 10% pour l'eau non-comptabilisée, ce qui situe les fuites à 7 ou 8% de l'eau distribuée. Plusieurs municipalités du Québec ont maintenant atteint des valeurs de l'ordre de 10%.

Notons qu'il est préférable de ramener les fuites sur la base du linéaire du réseau plutôt qu'en pourcentage de l'eau distribuée.

## **5.4 Économie d'eau**

Aussitôt que les valeurs de référence sont dépassées (en moyenne ou en pointe), le concepteur doit diagnostiquer les causes du dépassement. Une fois les causes identifiées, le concepteur doit définir les solutions et la réduction qu'elles amènent sur les débits moyens et de pointe.

La démarche à suivre pour établir les réductions de débit peut s'inspirer du guide de RÉSEAU environnement (2000). La première étape consiste à établir un bilan de l'utilisation de l'eau. Ce bilan sera plus ou moins détaillé selon l'ampleur du problème. Il prend différentes formes selon le niveau de comptage de l'eau de consommation. Les principales mesures d'économie touchent :

- Les équipements municipaux via le contrôle des fuites et des pertes, le contrôle de la pression ainsi que la réhabilitation du réseau et des usages municipaux (édifices, parcs, purges, etc.);
- Les consommateurs résidentiels, institutionnels, commerciaux et industriels par divers moyens regroupés sous le vocable des « 4R » : réduction des usages, réparation des fuites, rattrapage (améliorations des équipements) et remplacement des équipements.

Certaines de ces mesures ont des impacts à court terme (p. ex. : réduction des fuites), d'autres à moyen et long termes (p. ex. : sensibilisation).

## **5.5 Mise en commun des services avec d'autres réseaux**

Les services d'eau voisins peuvent fournir un appoint ou carrément alimenter l'ensemble des usagers. Cette alternative est à examiner en considérant les éléments ci-dessous :

- Recenser les réseaux périphériques, vérifier la capacité de la source d'approvisionnement et le respect des normes de qualité de l'eau distribuée;
- Évaluer la capacité des deux réseaux à véhiculer les débits d'eau requis (débit d'appoint ou total, selon le cas) ainsi que les travaux nécessaires (prolongation du réseau, augmentation de la capacité du réseau, poste de surpression, réservoir additionnel, etc.);
- Examiner s'il peut y avoir une problématique de qualité de l'eau soit par mélange des deux types d'eau, par contact entre l'eau du réseau voisin et les conduites du réseau de la municipalité ou par allongement du temps de séjour de l'eau du réseau voisin. En contrepartie, les deux réseaux pourraient bénéficier de la disparition de culs-de-sac;
- Évaluer les coûts de construction et d'opération. Le coût d'achat de l'eau est une composante essentielle à l'analyse économique et doit être obtenu du propriétaire du réseau qui sera sollicité. Il faut s'assurer que ce dernier aura considéré les coûts additionnels générés par cette augmentation de débit (travaux, opération et entretien).

## **5.6 Cas particuliers**

Le concepteur doit examiner en détail les cas où :

- Les nouveaux besoins pourraient être totalement compensés par une réduction des débits distribués (économie d'eau);
- Il n'y pas de nouveaux besoins prévisibles et les mesures d'économie d'eau permettent de fixer des critères de conception plus bas que les débits historiques.

Dans ces cas, il y a lieu d'être rigoureux en matière de prévision d'économie d'eau et examiner les délais requis pour mettre en œuvre ces mesures et en retirer des bénéfices. À titre d'exemple, le contrôle des fuites peut donner des résultats en quelques mois, alors que l'installation de compteurs peut prendre une année et plus. Finalement, la sensibilisation peut demander plusieurs années avant que les résultats ne se fassent sentir. Ces délais sont à comparer avec ceux de la conception, de la réalisation et de la mise en opération des installations.

## **5.7 Bonnes pratiques de gestion**

En matière d'économie d'eau, les meilleures pratiques québécoises ont été répertoriées. Les mesures minimales ont également été établies. Un tableau synthèse est présenté dans le volume 2. Pour tout projet visant des installations d'adduction ou de traitement d'eau, la municipalité doit appliquer au moins les mesures minimales.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 6

|            |                                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6.</b>  | <b>CARACTÉRISATION DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU (EAUX SOUTERRAINES ET EAUX DE SURFACE) .....</b>     |
| <b>6.1</b> | <b>Éléments particuliers communs aux sources d'approvisionnement existantes et aux nouvelles sources .....</b> |
| 6.1.1      | <i>Source de pollution anthropique .....</i>                                                                   |
| 6.1.2      | <i>Mélange des sources .....</i>                                                                               |
| 6.1.3      | <i>Transmittance U.V. de l'eau à désinfecter .....</i>                                                         |
| <b>6.2</b> | <b>Système d'approvisionnement existant faisant l'objet d'une mise aux normes ....</b>                         |
| 6.2.1      | <i>Données existantes.....</i>                                                                                 |
| 6.2.2      | <i>Caractérisation complémentaire de l'eau .....</i>                                                           |
| 6.2.2.1    | <i>Source d'eau brute .....</i>                                                                                |
| 6.2.2.2    | <i>Eau distribuée .....</i>                                                                                    |
| <b>6.3</b> | <b>Nouvelles sources d'approvisionnement .....</b>                                                             |
| 6.3.1      | <i>Données existantes.....</i>                                                                                 |
| 6.3.2      | <i>Eau de surface .....</i>                                                                                    |
| 6.3.3      | <i>Critères d'exclusion relatifs à la filtration obligatoire d'une eau de surface ..</i>                       |
| 6.3.4      | <i>Eau souterraine .....</i>                                                                                   |
| <b>6.4</b> | <b>Puits multiples .....</b>                                                                                   |

## **6. CARACTÉRISATION DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU (EAUX SOUTERRAINES ET EAUX DE SURFACE)**

Ce chapitre présente les caractéristiques des sources d'approvisionnement en eau et ce, autant pour les sources d'eau existantes que pour les nouvelles sources d'eau. La première section regroupe des informations particulières mais communes aux 2 types de sources. Le suivi demandé permet d'assurer une bonne connaissance de l'eau brute et de l'eau distribuée. Cas par cas, ce suivi peut toutefois être ajusté en fonction des données existantes, d'un paramètre de qualité particulier, etc. De plus, le concepteur doit, même dans le cas d'une prise d'eau existante et dans la mesure du possible, rechercher la source alternative d'alimentation offrant la meilleure qualité ou les meilleurs gages de protection contre toute pollution permanente ou accidentelle.

### **6.1 Éléments particuliers communs aux sources d'approvisionnement existantes et aux nouvelles sources**

#### *6.1.1 Source de pollution anthropique*

Lorsqu'une source connue de pollution anthropique (due à l'activité humaine) est présente dans le bassin versant, une caractérisation additionnelle reliée aux contaminants déversés en amont devra être réalisée si le déplacement de la prise d'eau est impossible. Cette caractérisation doit être effectuée de concert avec les Directions régionales ainsi que la Direction du suivi de l'état de l'environnement du MENV. Par exemple, un balayage des substances organiques normées peut être demandé.

#### *6.1.2 Mélange des sources*

Le mélange de deux sources d'eau, que ce soit pour régler un problème de quantité ou de qualité d'eau, doit être analysé avec soin, afin de ne pas générer de nouveaux problèmes.

Le mélange des sources d'eau doit être réalisé de façon à ne pas altérer l'efficacité du traitement, le cas échéant. Deux sources distinctes ont rarement la même qualité d'eau brute. Pour une installation de traitement, cela implique parfois un aménagement adapté à cette situation pour éviter le réajustement des dosages de produits à chaque modification de la séquence de sollicitation des sources (une pompe doseuse dédiée à chaque source, un traitement distinct par source, la sollicitation simultanée des sources, etc.).

Lorsqu'une dilution est acceptable (voir le chapitre 4), le mélange des eaux doit se faire avant la distribution. De cette façon, tous les utilisateurs pourront bénéficier de la même qualité d'eau et le taux de mélange sera constant. En réseau, le taux de dilution serait fonction de la consommation, à moins que des dispositifs de contrôle particuliers ne soient installés.

Dans le cas où le raccordement au réseau de distribution d'une nouvelle source d'approvisionnement serait envisagé pour répondre à un problème quantitatif, il faut s'assurer de l'impact de cette mesure sur la qualité de l'eau distribuée. En effet, la variation régulière et significative de la qualité de l'eau (p. ex., une eau souterraine et une eau de surface) pourrait provoquer un rééquilibre constant des réactions de corrosion (dans les conduites de fonte non

protégées) et dégrader sur une base quasi permanente la qualité de l'eau distribuée dans ce secteur. En cas de doute et pour éviter cette situation, on privilégiera l'une des avenues suivantes :

- Un mélange constant en amont du système de distribution;
- Une isolation du secteur desservi par la nouvelle source;
- Le raccordement à un secteur où la corrosion n'est pas problématique (conduites de PVC, de fonte recouverte d'un enduit de béton, etc.).

La section 5-5 traite également de ce sujet.

### *6.1.3 Transmittance UV de l'eau à désinfecter*

Pour le concepteur qui voudrait utiliser la désinfection par rayonnement UV, il est important de considérer que le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* a émis une fiche technique sur les UV précisant qu'il faut suivre la transmittance UV de l'eau à désinfecter. Pour connaître la fréquence et l'importance de cette mesure, se référer à cette fiche technique ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

## **6.2 Système d'approvisionnement existant faisant l'objet d'une mise aux normes**

### *6.2.1 Données existantes*

La première étape de l'analyse d'un système d'approvisionnement en eau consiste à obtenir : 1) toutes les données d'analyse disponibles sur la qualité de l'eau brute, de l'eau traitée et de l'eau distribuée (paramètres inorganiques, microbiologiques, organiques et physiques); 2) l'historique des avis d'ébullition; 3) tous les autres paramètres mesurés pour le système existant. Le registre des plaintes est également fort utile pour établir les problématiques du réseau existant reliées au caractère esthétique de l'eau.

D'autres sources d'informations doivent également être consultées, tel que le suivi de la qualité de l'eau effectué sur d'autres systèmes d'approvisionnement s'alimentant à partir de la même source (amont ou aval), la base de données provinciale sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) ainsi que la banque de données fédérale NAQUADAT. Des cartes ont été produites par le MENV afin de cerner les régions où la turbidité, le COD et les coliformes fécaux risquent de dépasser les critères d'exclusion de la filtration. Elles sont présentées dans le volume 2.

### *6.2.2 Caractérisation complémentaire de l'eau*

Il arrive souvent que la caractérisation d'une source d'eau existante soit incomplète. Le cas échéant, une caractérisation complémentaire est requise. Celle-ci permettra d'identifier les paramètres problématiques qui rendent le système d'approvisionnement non réglementaire ou ceux qui sont à la source de plaintes de consommateurs.

Dans le cas de sources multiples, chacune des sources d'approvisionnement doit être caractérisée afin d'établir leur contribution à la situation problématique ou éventuellement problématique. En réseau, certaines analyses spécifiques sont requises afin de constater les problèmes qui peuvent être dus au traitement (le cas échéant) ou générés en réseau. Toutes ces analyses doivent être réalisées par un laboratoire accrédité par le MENV.

#### 6.2.2.1 Source d'eau brute

La source d'alimentation en eau de surface existante, si elle fait partie des solutions envisagées et si elle ne fait pas encore l'objet d'un traitement de filtration, doit être soumise à une caractérisation analytique complète de base et de contrôle pour au moins deux périodes de 90 jours représentant les conditions les plus défavorables pour le traitement de l'eau potable. Le suivi de la première période permet de débiter la conception ou de vérifier les critères d'exclusion de la filtration obligatoire (art. 5 du *RQEP*) et le suivi de la deuxième période permet de compléter les données de la première période et de faire des correctifs concernant la conception le cas échéant. Les conditions les plus défavorables se situent généralement à l'automne (septembre-octobre-novembre) et au printemps (mars-avril-mai). Pour les sources d'eau brute provenant d'eau souterraine sous influence directe d'eau de surface, la caractérisation analytique est la même que pour les eaux de surface. Pour les autres sources d'alimentation (eau de surface avec traitement par filtration, eau souterraine vulnérable et non-vulnérable, résurgences et galeries filtrantes non influencées par les eaux de surface), la caractérisation analytique complète de base et de contrôle peut se limiter à une seule période de 90 jours. Si la source d'alimentation n'est utilisée qu'en hiver (centre de ski) ou en été (camping), la caractérisation de l'eau brute est faite durant cette période.

La liste des paramètres d'analyse de base est présentée au tableau 6-1 et celle des paramètres de contrôle au tableau 6-2. Toutefois, un paramètre peut être retiré de la liste lorsqu'il est démontré, à la satisfaction du MENV, qu'il est suffisamment documenté et qu'il n'est pas utile à l'interprétation des résultats des autres analyses demandées (tableaux 6-1 et 6-2) ou des résultats de l'eau distribuée (tableau 6-3).

Le suivi des paramètres de contrôle (tableau 6.2) est différent pour les eaux souterraines vulnérables et non-vulnérables déjà existantes. La source d'eau souterraine déjà identifiée comme non-vulnérable (tel que décrit à l'article 13 du *RQEP*) nécessite un suivi moins rigoureux. La source vulnérable doit, quant à elle, être vérifiée plus attentivement afin de vérifier si elle est sous influence directe des eaux de surface, d'où la fréquence d'analyse plus élevée pour la turbidité, les coliformes et la matière organique. Dans tous les cas de caractérisation des eaux souterraines (existantes ou nouvelles sources), l'observation microscopique doit être réalisée. Cette analyse, qui est plus sommaire et beaucoup moins coûteuse que l'analyse équivalente de l'EPA, est effectuée seulement par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

La fréquence d'analyse des paramètres à suivre est donnée aux tableaux 6-1 et 6-2 en fonction du type de source d'eau. Des mesures *in situ* réalisées par l'exploitant à une fréquence différente sont acceptées pour ce suivi, mais les analyses minimales demandées aux tableaux 6-1 à 6-3 doivent être réalisées par un laboratoire accrédité.

#### 6.2.2.2 Eau distribuée

Plusieurs paramètres mesurés dans la source d'eau brute peuvent être influencés au moment du traitement ou être amplifiés dans le réseau de distribution. Pour déceler ce genre de phénomène, une caractérisation complémentaire de l'eau potable du réseau existant est requise si la source existante fait partie des solutions envisagées. Elle doit être réalisée simultanément à la caractérisation complète des sources d'eau brute et à une fréquence permettant de bien suivre les paramètres visés (à convenir avec les représentants du MAMM et du MENV). Les paramètres visés et la localisation du prélèvement correspondant sont indiqués au tableau 6-3. Si des secteurs sont desservis par des sources d'approvisionnement différentes, la caractérisation devra alors être réalisée dans chacune de ces sources.

Lorsqu'un paramètre mesuré à l'eau brute est supérieur à la norme ou à la valeur recommandée par Santé Canada (1997), il devra faire partie des paramètres de suivi de la qualité de l'eau et, au besoin, faire l'objet d'un suivi plus particulier pour établir : 1) de quelle façon il peut être influencé lors du traitement; 2) son devenir dans le réseau.

Il s'agit des analyses minimales exigées. D'autres paramètres ou une fréquence d'analyse plus importante seront demandées dans le cas d'une problématique particulière.

### 6.3 Nouvelles sources d'approvisionnement

#### 6.3.1 Données existantes

Les sources d'informations existantes sur le cours ou le plan d'eau sélectionné doivent être consultées. Elles peuvent provenir du suivi de la qualité de l'eau effectué sur d'autres systèmes d'approvisionnement en eau (amont ou aval) ainsi que des banques de données provinciale et fédérale mentionnées précédemment. Dans le cas d'eau souterraine, il n'existe pas de banques de données semblables. La meilleure information peut être obtenue à partir de puits existants (privé ou communautaire) exploitant le même aquifère. Ces données permettent souvent de juger de l'intérêt de la source envisagée.

#### 6.3.2 Eau de surface

La source d'alimentation en eau de surface sélectionnée doit être soumise à un contrôle analytique complet durant les deux périodes citées en 6.2.2.1. La fréquence d'échantillonnage est indiquée aux tableaux 6-1 et 6-2.

Le point de prélèvement doit être représentatif par rapport à l'emplacement de la prise d'eau (localisation et profondeur). Ce sont des exigences minimales : des analyses supplémentaires pourraient être exigées lorsque jugées nécessaires (annexes du RQEP).

Tous les échantillons prélevés doivent être analysés par un laboratoire accrédité par le MENV, sauf dans le cas du pH dont l'analyse doit être réalisée sur place.

### 6.3.3 Critères d'exclusion relatifs à la filtration obligatoire d'une eau de surface

Dans l'éventualité où un exploitant désire se prévaloir de la clause d'exclusion (art. 5 du *RQEP*) relative à la filtration d'une eau de surface, les données de turbidité, de COT, de coliformes fécaux et totaux lui permettront de faire ces vérifications. En plus des deux périodes citées à la section 6.2.2.1, le suivi de la turbidité doit s'effectuer en tout temps afin de vérifier si les critères d'exclusion sont toujours respectés et ce, autant pendant de conception qu'après la mise en service de la source d'eau.

### 6.3.4 Eau souterraine

La nouvelle source d'alimentation en eau souterraine sélectionnée doit être soumise à un contrôle analytique complet. Les paramètres à suivre ainsi que la fréquence des analyses sont indiqués aux tableaux 6-1 et 6-2.

Lorsque la qualité de l'eau varie toujours après 72 heures de pompage, il appartient au concepteur de prolonger la durée de pompage jusqu'à ce que la qualité de l'eau se soit stabilisée. À cette fin, il serait judicieux de prévoir des analyses de contrôle *in situ* pour les principaux paramètres (fer, manganèse, dureté, turbidité et couleur vraie et apparente, etc.).

Les résurgences, les galeries filtrantes et les puits en recharge artificielle doivent être classifiés afin de déterminer si ils sont sous influence directe des eaux de surface, vulnérables ou non. La classification de la source d'eau se fera en fonction de la caractérisation de l'eau brute qui aura été réalisée.

Dans tous les cas, il s'agit d'exigences minimales : des analyses supplémentaires pourront être exigées lorsque jugées nécessaires (annexes du *RQEP*).

Tous les échantillons prélevés doivent être analysés par un laboratoire accrédité par le MENV, sauf dans le cas du pH dont l'analyse doit être réalisée sur place.

## 6.4 Puits multiples

La caractérisation des puits multiples existants doit faire l'objet d'une attention particulière. D'une part, il est important de connaître la qualité de l'eau captée par chacun des puits afin d'assurer la sécurité de la population qui s'alimentera à partir de cette source; d'autre part, il peut devenir très onéreux de réaliser la caractérisation proposée sur chacun des puits. C'est pourquoi il faut considérer la caractérisation de puits multiples comme autant de cas particuliers.

Lorsqu'un puits alimente directement une partie du réseau de distribution d'eau potable, il devient essentiel de procéder à sa caractérisation complète. Par ailleurs, lorsque plusieurs puits alimentent un réservoir commun avant la distribution, il devient possible de ne caractériser que l'eau mélangée au réservoir. Par contre, même dans ce dernier cas, il demeure essentiel de caractériser chacun des puits en ce qui a trait aux paramètres microbiologiques pour savoir s'il est influencé par les eaux de surface ou s'il est vulnérable, etc. Pour les paramètres problématiques révélés par l'analyse sur l'eau mélangée, une caractérisation complémentaire

devra être faite à chacun des puits pour le ou les paramètres problématiques afin d'en identifier le ou les puits responsables. Il est donc important de contacter les analystes du MENV en région dès le début du projet afin de s'entendre sur la caractérisation à réaliser dans les projets ayant des puits multiples.

Pour ce qui est des nouveaux puits, la caractérisation complète est requise pour chacun des puits d'un ensemble de puits multiples devant être utilisés pour la production d'eau potable.

**Tableau 6-1 : Paramètres de base et fréquence d'échantillonnage**

| Paramètres                                | Valeur maximale<br>(RQEP ou recommandation) | Eau de surface <sup>(1)</sup>                | Eau souterraine                   |                                   |                                                                                        |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           |                                             |                                              | Source existante<br>Vulnérable    | Non-vuln.                         | Nouvelle source                                                                        |
| Antimoine (mg/L)                          | 0,006                                       | 1 analyse pour chacune des périodes retenues | 1 analyse pour la période retenue | 1 analyse pour la période retenue | Lors des essais de pompage :<br>1 analyse après 24 heures<br>1 analyse après 72 heures |
| Arsenic (mg/L)                            | 0,025                                       |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Baryum (mg/L)                             | 1                                           |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Bicarbonates (mg/L<br>CaCO <sub>3</sub> ) | –                                           |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Bore (mg/L)                               | 5                                           |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Bromures (mg/L)                           | –                                           |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Cadmium (mg/L)                            | 0,005                                       |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Chlorures (mg/L)                          | 250 <sup>(2)</sup>                          |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Chrome total (mg/L)                       | 0,05                                        |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Conductivité (µS/cm)                      | < 1500 <sup>(3)</sup>                       |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Cuivre (mg/L)                             | 1,0 <sup>(2)</sup>                          |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Cyanures (mg/L)                           | 0,2                                         |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Fluorures (mg/L)                          | 1,5                                         |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Mercuré (mg/L)                            | 0,001                                       |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Plomb (mg/L)                              | 0,01                                        |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Sélénium (mg/L)                           | 0,01                                        |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Sodium (mg/L)                             | 200 <sup>(2)</sup>                          |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Sulfates (mg/L)                           | 500 <sup>(2)</sup>                          |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Uranium (mg/L)                            | 0,02                                        |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |
| Zinc (mg/L)                               | 5,0 <sup>(2)</sup>                          |                                              |                                   |                                   |                                                                                        |

(1) La colonne « Eau de surface » comprend aussi les eaux souterraines sous influence directe des eaux de surface (ESSIDES) déjà existantes.

(2) Santé Canada, 1997.

(3) Valeur recommandée selon les règles de l'art ou les normes américaines et européennes ou l'Organisation mondiale de la Santé (OMS).

**Tableau 6-2 : Paramètres de contrôle et fréquence d'échantillonnage**

| Paramètres                                          | Valeur maximale<br>(RQEP ou recommandation) | Eau de surface <sup>(5)</sup>                            | Eau souterraine                                  |                                            |                                                                     |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                                     |                                             |                                                          | Source existante<br>Vulnérable                   | Non-vuln.                                  | Nouvelle source                                                     |
| Alcalinité (mg/L CaCO <sub>3</sub> )                | -                                           | 1 analyse par mois<br>pour chacune des périodes retenues | 1 analyse par mois pour la période retenue       | 1 analyse par mois pour la période retenue | Lors des essais de pompage :<br>1 analyse après 24, 48 et 72 heures |
| Azote ammoniacal (mg/L-N)                           | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Azote total Kjeldahl (mg/L-N)                       | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Calcium (mg/L)                                      | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Colonies atypiques (UFC/100 ml)                     | 200                                         |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Demande en chlore (mg/L)                            | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Dureté totale (mg/L CaCO <sub>3</sub> )             | < 180-200 <sup>(3)</sup>                    |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Fer dissous <sup>(2)</sup> (mg/L)                   | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Fer total (mg/L)                                    | 0,3 <sup>(1)</sup>                          |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Magnésium (mg/L)                                    | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Manganèse dissous <sup>(2)</sup> (mg/L)             | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Manganèse total (mg/L)                              | 0,05 <sup>(1)</sup>                         |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Nitrates et nitrites (mg/L-N)                       | 10                                          |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Nitrites (mg/L-N)                                   | 1                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| pH <sup>(6)</sup>                                   | 6,5 – 8,5                                   |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Solides dissous (mg/L)                              | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Solides totaux (mg/L)                               | < 500 <sup>(1)</sup>                        |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Température (°C) <sup>(6)</sup>                     | < 15°C                                      |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Sulfures (mg/L)                                     | 0,05 <sup>(1)</sup>                         | Non requis                                               |                                                  |                                            |                                                                     |
| Observation microscopique<br>(voir section 6.2.2.1) | -                                           | Non requis                                               |                                                  |                                            | 1 analyse à la fin de l'essai de pompage                            |
| Bactéries entérocoques <sup>(4)</sup>               | 0                                           | Non requis                                               |                                                  | Non requis                                 |                                                                     |
| Virus coliphages <sup>(4)</sup>                     | 0                                           | Non requis                                               |                                                  | Non requis                                 |                                                                     |
| Absorbance UV 254 nm (cm <sup>-1</sup> )            | -                                           | 1 analyse par semaine<br>par période retenue             | 1 analyse par semaine<br>pour la période retenue | 1 analyse par mois pour la période retenue | Lors des essais de pompage : 1 analyse après 24, 48 et 72 heures    |
| Carbone organique dissous (mg/L)                    | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Carbone organique total (mg/L)                      | -                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Coliformes fécaux (UFC/100 ml)                      | 0                                           |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Coliformes totaux (UFC/100 ml)                      | 10                                          |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Couleur vraie (UCV)                                 | < 15 <sup>(1)</sup>                         |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |
| Turbidité (UTN)                                     | Selon source et technologie                 |                                                          |                                                  |                                            |                                                                     |

(1) Santé Canada, 1997.

(2) Pour la partie dissoute, effectuer une filtration, immédiatement après l'échantillonnage, sur un papier-filtre de 0,45 µm. Le filtrat sera envoyé au laboratoire pour l'analyse du métal total qui correspondra alors à la partie dissoute présente lors du prélèvement.

(3) Valeur recommandée selon les règles de l'art, les normes américaines, européennes ou l'OMS.

(4) Prélever un échantillon seulement si le concepteur ne prévoit pas installer de système de désinfection.

(5) La colonne « Eau de surface » comprend aussi les eaux souterraines sous influence directe des eaux de surface (ESSIDES) déjà existantes.

(6) Ces mesures doivent être prises sur place.

**Tableau 6-3 : Paramètres à analyser en réseau de distribution**

| Paramètres                                  | Localisation |           | Valeur maximale<br>(RQEP ou recommandation) |
|---------------------------------------------|--------------|-----------|---------------------------------------------|
|                                             | Centre       | Extrémité |                                             |
| BHAA (UFC/ml)                               |              | X         | 500                                         |
| Bromates (mg/L)                             | X            |           | 0,010                                       |
| Chloramines (mg/L)                          | X            |           | 3                                           |
| Chlore résiduel libre (mg/L) <sup>(3)</sup> | X            | X         | –                                           |
| Chlore résiduel total (mg/L) <sup>(3)</sup> | X            | X         | –                                           |
| Coliformes fécaux (UFC/100 ml)              | X            | X         | 0                                           |
| Coliformes totaux (UFC/100 ml)              | X            | X         | 10                                          |
| Colonies atypiques (UFC/100 ml)             | X            | X         | 200                                         |
| Couleur apparente (UCA)                     | X            | X         | –                                           |
| Couleur vraie (UCV)                         | X            |           | < 15 <sup>(1)</sup>                         |
| Cuivre (mg/L)                               | X            |           | 1,0 <sup>(1)</sup>                          |
| Fer total (mg/L)                            | X            | X         | 0,3 <sup>(1)</sup>                          |
| Manganèse total                             | X            | X         | 0,05 <sup>(1)</sup>                         |
| Nitrites-nitrates (mg/L-N)                  |              | X         | 10                                          |
| pH                                          | X            |           | 6,5 – 8,5                                   |
| Plomb (mg/L)                                | X            |           | 0,01                                        |
| Sulfures (mg/L)                             |              | X         | 0,05 <sup>(1)</sup>                         |
| THM totaux (mg/L)                           |              | X         | 0,080                                       |
| Turbidité (UTN) <sup>(2)</sup>              | X            | X         | 5                                           |

(1) Santé Canada, 1997.

(2) La mesure de la turbidité doit être effectuée sur place si des éléments solubles sont présents dans l'eau (fer, manganèse, sulfures, etc.) et peuvent précipiter durant le transport vers le laboratoire.

(3) La mesure du chlore résiduel libre et total doit être effectuée sur place.

## **VOLUME 1**

### **CHAPITRE 7**

|           |                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------|
| <b>7.</b> | <b>POSTES DE POMPAGE ET CONDUITES D’EAU BRUTE .....</b> |
| 7.1       | Postes de pompage d’eau brute.....                      |
| 7.2       | Conduites d’eau brute .....                             |

## **7. POSTES DE POMPAGE ET CONDUITES D'EAU BRUTE**

### **7.1 Postes de pompage d'eau brute**

Le poste de pompage d'eau brute pourra être localisé près de la source d'eau de surface ou du réservoir d'emmagasinement ou encore à même l'installation de traitement. Les informations concernant la prise d'eau ainsi que la conduite d'adduction reliant le plan d'eau au puits de pompage d'eau brute se trouvent à la section 9.3.

Le poste de pompage d'eau brute doit être conçu suivant les critères généraux de conception s'appliquant aux stations de pompage et de surpression tels que définis dans la *Directive 001* du ministère de l'Environnement (MENV).

Les éléments suivants doivent être considérés lors des étapes de conception du poste de pompage :

- Nécessité de munir le poste de pompage d'un système de dégrillage;
- Prendre en considération l'utilisation d'un système de pompage à débit variable (à partir de l'utilisation d'entraînements à fréquence variable ou de vannes modulantes) en fonction du type de traitement envisagé au poste de traitement;
- Le système de pompage doit être équipé d'un système de mesure ou de calcul des débits pompés;
- Lorsque requis, le poste de pompage doit être équipé d'un système permettant de débloquer la prise d'eau et/ou la conduite d'adduction dans le cas d'un blocage dû à la formation de frasil et/ou à la formation de dépôts au fond de la conduite;
- Les conduites d'aspiration (impulseur de pompe localisé au-dessus du niveau d'eau) devraient, autant que possible, être évitées en raison des problèmes d'amorçage potentiels. Cependant, lorsque ce type d'aménagement représente la meilleure solution, la tête d'aspiration des pompes, incluant les pertes de charge, ne doit pas dépasser 4,5 à 6 m par rapport au niveau le plus bas du cours d'eau.

### **7.2 Conduites d'eau brute**

Cette section vise les conduites d'eau brute de grande longueur reliant la source d'eau de surface à l'installation de traitement.

Deux types de conduites sont abordés dans cette section : 1) les conduites coulant en charge par gravité entre une source d'eau de surface et une installation de traitement; 2) les conduites de refoulement entre un poste de pompage d'eau brute et une installation de traitement.

Les éléments suivants doivent être pris en considération lors des étapes de conception des deux types de conduites mentionnés :

- La vitesse dans la conduite ne doit pas dépasser 1,5 m/s, bien qu'il soit préférable qu'elle soit comprise entre 0,7 et 1,2 m/s;
- Pour les conduites coulant en charge par gravité, une attention particulière doit être apportée au profil de la conduite de manière à ce que la ligne piézométrique le long de la conduite soit sous toutes conditions de débit prévues plus élevée que le profil de la conduite, ceci de manière à prévenir la formation de pressions négatives dans la conduite;
- Des chambres de nettoyage doivent être prévues à chaque point bas de la conduite. Les drains des chambres ne seront pas drainés à une canalisation d'égouts;
- Des purgeurs d'air à opération automatique, installés dans des chambres, doivent être prévus à chaque point haut. Les drains des chambres ne seront pas drainés vers une canalisation d'égouts;
- Pour des conduites d'un diamètre important, des regards d'inspection doivent être installés tous les 300 mètres afin de permettre une inspection visuelle et le nettoyage de la conduite si nécessaire;
- Si la prise d'eau est sujette à l'accumulation de sédiments et de boues et/ou à la formation de frasil, un système de nettoyage par purge ou autre doit être prévu à partir de la conduite gravitaire;
- Prévoir un moyen d'introduire du chlore dans la conduite pour fins d'entretien;
- Prévoir des points de contact permettant l'écoute des fuites le long de la conduite;
- Le tracé de la conduite doit être proprement signalé;
- Dans le cas des longues conduites de refoulement, une attention particulière doit être portée aux transitoires hydrauliques pouvant être générés le long de la conduite lors des situations d'arrêt et de départ des pompes d'eau brute et de panne d'électricité. Dans le cas des conduites coulant en charge par gravité, les transitoires à surveiller proviennent de l'ouverture et de la fermeture de la vanne de contrôle de débit à l'installation de traitement.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 8

|            |                                                                                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>8.</b>  | <b>APPROVISIONNEMENT EN EAUX SOUTERRAINES ET TRAITEMENT .....</b>                     |
| <b>8.1</b> | <b>Contexte.....</b>                                                                  |
| 8.1.1      | <i>Procédés et technologies.....</i>                                                  |
| 8.1.2      | <i>Essais de traitabilité .....</i>                                                   |
| <b>8.2</b> | <b>Recherche en eau souterraine.....</b>                                              |
| <b>8.3</b> | <b>Captage d'eau souterraine.....</b>                                                 |
| 8.3.1      | <i>Essais de pompage.....</i>                                                         |
| 8.3.2      | <i>Critères de conception d'un ouvrage de captage .....</i>                           |
| 8.3.2.1    | <i>Critères applicables à tous les types de captage.....</i>                          |
| 8.3.2.2    | <i>Critères applicables aux puits tubulaires.....</i>                                 |
| 8.3.2.3    | <i>Critères applicables aux puits de surface .....</i>                                |
| 8.3.2.4    | <i>Critères applicables aux pointes filtrantes .....</i>                              |
| 8.3.2.5    | <i>Critères applicables aux captages de sources.....</i>                              |
| 8.3.2.6    | <i>Critères applicables aux puits rayonnants.....</i>                                 |
| 8.3.2.7    | <i>Critères applicables aux drains horizontaux .....</i>                              |
| 8.3.2.8    | <i>Précautions concernant la localisation d'un ouvrage de captage.....</i>            |
| 8.3.2.9    | <i>Ouvrages de captage existants .....</i>                                            |
| 8.3.3      | <i>Aire d'alimentation et aires de protection autour des ouvrages de captage ....</i> |
| <b>8.4</b> | <b>Recharge artificielle de la nappe .....</b>                                        |
| 8.4.1      | <i>Description.....</i>                                                               |
| 8.4.2      | <i>Conditions d'application .....</i>                                                 |
| 8.4.3      | <i>Balises de conception.....</i>                                                     |
| <b>8.5</b> | <b>Déferrisation et/ou démanganisation .....</b>                                      |
| 8.5.1      | <i>Par oxydation et filtration.....</i>                                               |
| 8.5.1.1    | <i>Aération.....</i>                                                                  |
| 8.5.1.2    | <i>Oxydation chimique.....</i>                                                        |
| 8.5.1.3    | <i>Filtration sur sable vert .....</i>                                                |
| 8.5.1.4    | <i>Filtration sur sable avec ou sans anthracite.....</i>                              |
| 8.5.1.5    | <i>Filtration sur média conditionné .....</i>                                         |
| 8.5.1.6    | <i>Filtration sur autres types de médias granulaires.....</i>                         |
| 8.5.1.7    | <i>Filtration par membrane.....</i>                                                   |
| 8.5.2      | <i>Par procédés biologiques.....</i>                                                  |
| 8.5.3      | <i>Par séquestration .....</i>                                                        |
| 8.5.4      | <i>Par échange d'ions .....</i>                                                       |
| 8.5.5      | <i>Par précipitation à la chaux .....</i>                                             |
| <b>8.6</b> | <b>Adoucissement et enlèvement du baryum .....</b>                                    |
| 8.6.1      | <i>Par précipitation chimique .....</i>                                               |

|             |                                                     |  |
|-------------|-----------------------------------------------------|--|
| 8.6.2       | Par échange d'ions .....                            |  |
| 8.6.3       | Par membrane .....                                  |  |
| <b>8.7</b>  | <b>Enlèvement des nitrates .....</b>                |  |
| 8.7.1       | Par échange d'ions .....                            |  |
| 8.7.2       | Par membranes .....                                 |  |
| 8.7.3       | Par procédés biologiques.....                       |  |
| <b>8.8</b>  | <b>Enlèvement des sulfures.....</b>                 |  |
| 8.8.1       | Par aération .....                                  |  |
| 8.8.2       | Par précipitation .....                             |  |
| 8.8.3       | Par adsorption sur charbon actif catalytique .....  |  |
| 8.8.4       | Par filtres à sable vert ou à média spécifique..... |  |
| 8.8.5       | Par oxydation et filtration .....                   |  |
| <b>8.9</b>  | <b>Enlèvement de l'arsenic .....</b>                |  |
| 8.9.1       | Par oxydation et filtration .....                   |  |
| 8.9.2       | Par coagulation, floculation et filtration .....    |  |
| 8.9.3       | Par adoucissement à la chaux ou à la magnésie ..... |  |
| 8.9.4       | Par adsorption sur alumine activée .....            |  |
| 8.9.5       | Par échange d'ions .....                            |  |
| <b>8.10</b> | <b>Enlèvement du fluorure.....</b>                  |  |
| 8.10.1      | Par adsorption sur alumine activée .....            |  |
| 8.10.2      | Par adsorption sur phosphate tricalcique .....      |  |
| 8.10.3      | Par précipitation à la chaux .....                  |  |
| <b>8.11</b> | <b>Enlèvement des chlorures (dessalement).....</b>  |  |

## 8. APPROVISIONNEMENT EN EAUX SOUTERRAINES ET TRAITEMENT

### 8.1 Contexte

Ce chapitre présente les informations relatives à l'approvisionnement et au traitement des eaux souterraines en fonction des problématiques rencontrées. Les sections 8.2 à 8.4 traitent de la recherche en eau souterraine, du captage de la ressource ainsi que de la recharge artificielle qui peut s'avérer nécessaire ou intéressante dans certains cas. Les dernières sections décrivent les procédés de traitement en eau souterraine, procédés qui sont regroupés selon les paramètres à contrôler. Le tableau 8.1 ci-après propose une grille de sélection des procédés.

#### 8.1.1 Procédés et technologies

Pour chacun des paramètres à contrôler (fer, manganèse, etc.), plusieurs procédés ont été retenus afin d'offrir un choix au concepteur. Certains procédés sont présentés dans le *Guide* même s'ils n'ont pas encore d'application connue au Québec ni de technologie associée. Ils ont été retenus parce qu'ils possèdent un potentiel d'application au Québec et qu'ils ont obtenu des résultats intéressants pour des applications à l'extérieur du Québec. Le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* est mandaté pour procéder à la reconnaissance et à la détermination des critères de conception de ces technologies. Il est donc recommandé de consulter régulièrement le site Internet du MENV où l'on retrouve les fiches techniques des technologies évaluées. ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

#### 8.1.2 Essais de traitabilité

Des essais de traitabilité pour les projets de production d'eau potable provenant d'une source souterraine peuvent être requis à différents stades de leur conception et ce, même pour une filière de traitement déjà éprouvée. Ces essais visent à :

- Établir le degré d'efficacité du système en relation avec certains critères de conception;
- Déterminer le niveau de prétraitement ou les équipements périphériques requis;
- Vérifier l'incidence de certains contaminants sur la qualité finale de l'eau produite et la nécessité d'un traitement d'appoint;
- Définir les paramètres d'opération, le type et la quantité des produits chimiques à utiliser;
- Caractériser les boues ainsi que les eaux résiduelles afin de définir les modes appropriés pour leur disposition.

En matière d'essais de traitabilité, le concepteur doit décider s'il réalise ou non de tels essais et, dans l'affirmative, il doit définir l'échéancier, les modalités, le protocole de ces essais ainsi que leur suivi. Le MAMM et le MENV peuvent être consultés et le seront nécessairement dans les cas où les essais influencent de façon importante le cheminement de conception. En général, pour le traitement d'une eau souterraine sous influence directe d'une eau de surface, les essais devront durer de une semaine à trois mois et couvrir la période la plus défavorable de l'année pour ce qui est de la qualité de l'eau brute. Pour les autres types d'eau souterraine, la durée des essais dépendra du type de contaminants à traiter et du type de traitement retenu.

Les essais de traitabilité ne sont pas des essais pilotes. Les essais pilotes concernent les technologies (ou des filières utilisant des technologies) non éprouvées et/ou en validation. Dans certains cas impliquant des technologies déjà éprouvées, des essais pilotes peuvent être requis pour des applications particulières, notamment lorsque la valeur des paramètres de l'eau à traiter excède les limites d'application acceptées de la technologie ou lorsque les critères de conception dépassent les limites usuelles reconnues de la technologie. Le protocole et le suivi de ces essais sont assujettis aux exigences du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable*.

**Tableau 8-1 : Application des procédés de traitement pour les eaux souterraines<sup>1</sup>**

| Catégories des contaminants                             |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          | Procédé par membrane |                   | Échange d'ions |        | Adsorption                   |                               |                    |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|--------|------------------------------|-------------------------------|--------------------|
|                                                         | Aération                                                                                                                                    | Coagulation +<br>décantation ou<br>FAD <sup>2</sup> +filtration | Filtration<br>pré-couche | Adoucissement<br>à la chaux | Oxydation<br>chimique et<br>désinfection | Nanofiltration       | Osmose<br>inverse | Anion          | Cation | Charbon<br>actif<br>en grain | Charbon<br>actif<br>en poudre | Alumine<br>Activée |
| <b>CONTAMINANTS</b>                                     |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Coliformes                                              |                                                                                                                                             | X                                                               |                          |                             | X                                        | X                    | X                 |                |        |                              |                               |                    |
| <b>Inorganiques</b>                                     |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Antimoine                                               |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 |                |        |                              |                               |                    |
| Arsenic (+3)                                            |                                                                                                                                             | XO                                                              |                          | XO                          |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               | X                  |
| Arsenic (+5)                                            |                                                                                                                                             | X                                                               |                          | X                           |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               | X                  |
| Baryum                                                  |                                                                                                                                             |                                                                 |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                | X      |                              |                               |                    |
| Cadmium                                                 |                                                                                                                                             | X                                                               |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                | X      |                              |                               |                    |
| Chrome (+3)                                             |                                                                                                                                             | X                                                               |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                | X      |                              |                               |                    |
| Chrome (+6)                                             |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               |                    |
| Cyanure                                                 |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             | X                                        |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Fluorure                                                |                                                                                                                                             |                                                                 |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                |        |                              |                               | X                  |
| Mercure (inorganique)                                   |                                                                                                                                             |                                                                 |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                |        |                              |                               |                    |
| Nitrate                                                 |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               |                    |
| Nitrite                                                 |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               |                    |
| Plomb                                                   | Le plomb est habituellement un produit de la corrosion et il est éliminé plus souvent par le contrôle de la corrosion que par le traitement |                                                                 |                          |                             |                                          |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Selenium (+4)                                           |                                                                                                                                             | X                                                               |                          |                             |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               | X                  |
| Selenium (+6)                                           |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 | X              |        |                              |                               | X                  |
| Sulfate                                                 |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          | X                    | X                 |                |        |                              |                               |                    |
| Turbidité                                               |                                                                                                                                             | X                                                               | X                        | X                           |                                          | X                    | X                 |                |        |                              |                               | X                  |
| Zinc                                                    |                                                                                                                                             |                                                                 |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                | X      |                              |                               |                    |
| <b>Organiques</b>                                       |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Volatiles                                               | X                                                                                                                                           |                                                                 |                          |                             |                                          |                      |                   |                |        | X                            |                               |                    |
| Synthétiques                                            |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 |                |        | X                            | X                             |                    |
| Pesticides/Herbicides                                   |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          | X                    | X                 |                |        | X                            | X                             |                    |
| Carbone dissous                                         |                                                                                                                                             | X                                                               |                          |                             |                                          | X                    | X                 |                |        | X                            | X                             |                    |
| Radium (226)                                            |                                                                                                                                             |                                                                 |                          | X                           |                                          |                      | X                 |                | X      |                              |                               |                    |
| <b>COMPOSANTS QUI CAUSENT DES PROBLÈMES ESTHÉTIQUES</b> |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Dureté                                                  |                                                                                                                                             |                                                                 |                          | X                           |                                          | X                    | X                 |                | X      |                              |                               |                    |
| Fer + Manganèse                                         |                                                                                                                                             | XO                                                              | XO                       | X                           |                                          |                      |                   |                | X      |                              |                               | X                  |
| Solides totaux dissous                                  |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 |                |        |                              |                               |                    |
| Chlorure                                                |                                                                                                                                             |                                                                 |                          |                             |                                          |                      | X                 |                |        |                              |                               |                    |
| Sulfures                                                | X                                                                                                                                           | X                                                               |                          |                             | X                                        |                      |                   |                |        |                              |                               |                    |
| Couleur                                                 |                                                                                                                                             | X                                                               |                          |                             | X                                        | X                    | X                 |                |        | X                            | X                             |                    |
| Goût et odeur                                           | X                                                                                                                                           |                                                                 |                          |                             | X                                        |                      |                   |                |        | X                            | X                             |                    |

X = Approprié; XO = Approprié lorsque utilisé en combinaison avec l'oxydation.

1) Inspiré de l'AWWA, Water Quality & Treatment, 1999.

2) FAD = flottation à air dissous

## 8.2 Recherche en eau souterraine

Les eaux souterraines sont généralement de meilleure qualité bactériologique que les eaux de surface et, de ce fait, devraient être privilégiées comme source d'alimentation.

Avant de débiter les travaux d'exploration en eau, il faut délimiter une zone de recherche économiquement viable par rapport à des solutions plus radicales, mais définitives (p. ex., construction d'une installation de traitement pour des puits existants ou pour une eau de surface disponible à proximité du réseau). En établissant la limite de la zone de recherche, il faudra également considérer la possibilité que l'eau souterraine nécessite un traitement. Il arrive parfois que la qualité de l'eau soutirée d'un puits (en ce qui a trait à sa dureté, sa teneur en manganèse, fer, etc.) se détériore après quelques mois ou quelques années d'exploitation et qu'une installation de traitement doive être construite.

Une recherche en eau se réalise généralement en trois phases :

**Phase I :** Synthèse de l'information disponible permettant de caractériser le contexte hydrogéologique (études hydrogéologiques, banque de données hydrogéologiques du Québec, cartes géologiques, cartes des dépôts meubles, forages réalisés pour l'exploration minière ou de minéraux industriels, photographies aériennes, plans de zonage, etc.). L'ensemble de ces informations permettra d'identifier (sans visite sur le terrain) des secteurs de recherche selon un ordre de priorité pour la phase exploratoire ultérieure.

**Phase II :** Phase exploratoire. Cette deuxième phase, réalisée sur le terrain, consiste à identifier les sites présentant le meilleur potentiel aquifère parmi ceux retenus à la phase I. Elle débute habituellement par des travaux d'exploration réalisés à l'aide de méthodes géophysiques (méthode gravimétrique, méthode électrique (la plus populaire), méthode sismique) et se termine par un forage exploratoire de faible diamètre (qui permet le prélèvement de matériaux pour la calibration des méthodes géophysiques et le prélèvement d'eau souterraine pour une caractérisation préliminaire).

**Phase III :** Essais de pompage. Cette dernière phase consiste à construire un puits d'essai temporaire à l'endroit du forage exploratoire présentant le meilleur potentiel aquifère. Le puits temporaire est construit de façon à obtenir les informations permettant le calcul de la capacité du puits et le prélèvement d'une eau de qualité représentative de celle de l'aquifère. C'est à cette étape que les essais de pompage, d'une durée minimale de 72 heures, sont réalisés et que des échantillons d'eau sont prélevés aux 24 heures pour une caractérisation (voir section 6.3). D'un point de vue quantitatif, il est préférable d'effectuer les essais durant une période d'étiage (fin hiver et/ou fin été) afin d'obtenir la capacité d'extraction minimale.

Dans l'éventualité d'une exploitation du puits, la détermination de l'aire d'alimentation et de la vulnérabilité des eaux souterraines est nécessaire afin d'établir les périmètres de protection du puits (voir section 8.3.3). L'étude hydrogéologique devra également comprendre une évaluation des impacts du pompage projeté sur d'autres usagers de la ressource d'eau souterraine et sur l'environnement (débit d'étiage d'un cours d'eau et milieu humide). À cette fin, des travaux complémentaires pourront être requis.

Lorsque la qualité de l'eau, à la fin d'un essai de pompage normal (durée de 72 heures), ne rencontre pas les normes du *RQEP* ou les recommandations canadiennes, mais que celle-ci s'améliore continuellement, il est préférable de prolonger la durée de l'essai de pompage jusqu'à ce que la qualité se stabilise. Si celle-ci ne respecte toujours pas les normes en vigueur, un traitement de l'eau est alors requis (voir tableau 4-1). Le cas échéant, le concepteur devra estimer les coûts de construction et d'opération de plusieurs filières avant d'arrêter son choix. La plupart du temps, la réalisation d'essais pilotes, dont l'envergure dépendra de la technologie retenue et de son statut, sera nécessaire (voir section 8.1).

Lorsque le débit d'eau potentiel est insuffisant, sur une base continue, pour subvenir au besoin en eau établi (voir chapitres 5), il est alors possible qu'une recharge artificielle de la nappe à partir d'une eau de surface permette de combler la différence (voir section 8.4).

### **8.3 Captage d'eau souterraine**

#### *8.3.1 Essais de pompage*

Dans le cadre de l'analyse de projets de captage d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, les objectifs visés par la réalisation d'un essai de pompage sont de trois niveaux : la détermination des propriétés physiques de l'aquifère, l'évaluation de la capacité et de l'efficacité de l'ouvrage de captage et la caractérisation de la qualité de l'eau captée.

D'une part, le premier objectif qui vise la détermination des propriétés physiques de l'aquifère (transmissivité, conductivité hydraulique, etc.) permet de prévoir le comportement de la nappe d'eau et ainsi de déterminer s'il y a risque de conflits d'usage avec les autres utilisateurs ou d'atteinte à la pérennité de la ressource. L'atteinte de ce premier objectif nécessite, dans la plupart des cas, la réalisation d'un essai de pompage selon les « Règles de l'art » définies dans le *Guide des essais de pompage et leurs interprétations* (Chapuis, 1999).

D'autre part, le deuxième objectif qui vise l'évaluation de la capacité et de l'efficacité de l'ouvrage de captage permet de s'assurer de la pérennité infrastructures. L'atteinte de cet objectif, sans nécessiter la réalisation d'un essai de pompage avec prise de mesure des niveaux d'eau à intervalles rapprochés, requiert toutefois un pompage en continu de longue durée (72 heures minimum). Les ouvrages de captage publics pour lesquels une aide financière sera accordée font partie de la catégorie de projets pour lesquels une telle vérification doit être effectuée.

Finalement, le troisième objectif vise la vérification de la qualité de l'eau captée après 24, 48 et 72 heures de pompage continu. Tous les projets de captage d'eau souterraine destinée à alimenter plus de vingt personnes nécessitent une telle vérification.

Par conséquent, les exigences de l'essai de pompage doivent être modulées en fonction du type de projets de captage et des caractéristiques des conditions environnantes. Dans tous les cas, les projets de captage d'eau souterraine destinée à alimenter plus de 20 personnes doivent faire l'objet d'un pompage d'une durée minimale de 72 heures afin de vérifier la qualité de l'eau après

24, 48 et 72 heures de pompage. Dans les cas où l'ouvrage de captage fera l'objet d'un financement public, l'efficacité et la viabilité des infrastructures devront nécessairement être vérifiées. En d'autres termes, l'essai de pompage devra démontrer que l'ouvrage de captage proposé pourra satisfaire les besoins de la collectivité à desservir. Finalement, lorsque l'ouvrage de captage est situé dans un endroit où il y a des risques de conflits d'usage ou d'impacts sur l'environnement, un test de pompage d'une durée minimale de 72 heures devra être effectué selon les règles définies dans le *Guide des essais de pompage et leurs interprétations* afin de définir, à long terme, le comportement de la nappe. Le professionnel, responsable de l'évaluation des impacts sur l'environnement, sur les autres usagers et sur la santé publique devra donc moduler le contenu de l'étude hydrogéologique en fonction des caractéristiques du type de captage et des conditions environnantes. À titre d'exemple, un ouvrage de captage d'eau souterraine destinée à l'alimentation d'un camp forestier privé dans un milieu isolé où il n'y a pas d'autres utilisateurs dans les environs pourrait ne nécessiter qu'un pompage en continu de 72 heures afin de vérifier la qualité de l'eau captée. L'étude hydrogéologique résumant les résultats de l'essai de pompage devra être établie sous la signature soit d'un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, soit d'un géologue membre de l'Ordre des géologues du Québec. Quant aux plans et devis des installations de captage, ils devront nécessairement être établis sous la signature d'un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

### 8.3.2 Critères de conception d'un ouvrage de captage

Les travaux d'aménagement ou de modification d'un ouvrage de captage doivent être réalisés de manière à empêcher toute contamination de l'eau souterraine. En effet, un ouvrage de captage bien conçu diminue les risques de contamination provenant des sources localisées à proximité du point de captage (p. ex., infiltration le long du tubage). Cependant, il n'élimine pas les risques de contamination provenant de sources plus éloignées pouvant atteindre le point de captage par les mécanismes d'écoulement et de transport au sein des formations géologiques.

Les critères de conception pour les nouveaux ouvrages de captage, présentés dans cette section, proviennent, pour la plupart, du *Règlement sur le captage des eaux souterraines*. Ils visent non seulement la protection de l'eau souterraine à l'intérieur de l'ouvrage de captage, mais également la protection de l'aquifère sollicité. Les critères applicables aux puits rayonnants et aux drains horizontaux ne sont pas définis dans le *Règlement sur le captage des eaux souterraines*; ils devront néanmoins faire l'objet, auprès du MENV, d'une demande d'autorisation visant tous les ouvrages de captage d'eau souterraine destinés à alimenter plus de 20 personnes. Les critères de conception décrits dans les sections 8.3.2.1 à 8.3.2.9 représentent les exigences minimales pour les ouvrages de captage desservant une collectivité car, ces ouvrages étant assujettis à une demande d'autorisation du ministre, ce dernier peut assortir l'autorisation émise de toute condition qu'il juge nécessaire afin de tenir compte des particularités de chaque projet.

#### 8.3.2.1 Critères applicables à tous les types de captage

Il existe divers types d'ouvrages de captage d'eau souterraine destinée à la consommation humaine : puits tubulaires, puits de surface, pointes filtrantes, captage de sources, puits rayonnants et drains horizontaux. Les critères de conception décrits ci-dessous sont des critères minimaux qui s'appliquent à tous les types d'ouvrages de captage :

- Tous les ouvrages de captage doivent être constitués de matériaux neufs, appropriés à l'alimentation en eau potable;
- Tous les raccordements souterrains au tubage de captage doivent être étanches;
- Les ouvrages de captage doivent être couverts de façon à éviter toute infiltration de contaminants le long du tubage. La finition du sol dans un rayon d'un mètre autour de l'ouvrage de captage doit être effectuée de façon à éviter l'accumulation et l'infiltration d'eau stagnante le long du tubage;
- Une fois les travaux d'aménagement et de modification terminés sur un ouvrage de captage, ce dernier doit être nettoyé et désinfecté de manière à éliminer toute contamination induite par la réalisation du forage; la méthode standard de désinfection est décrite sur le site Internet de Santé Canada.  
([www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/generale/votre\\_sante/eau\\_de\\_puits.htm](http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/generale/votre_sante/eau_de_puits.htm))

### 8.3.2.2 Critères applicables aux puits tubulaires

Un puits tubulaire est un ouvrage de captage, habituellement profond (plus de 9 m) et de faible diamètre, creusé à l'aide d'une foreuse. Il est aussi communément appelé « puits artésien » (voir figure 8-8 du volume 2). Les critères de conception suivants s'appliquent à tout nouveau puits tubulaire :

- Le tubage d'un puits tubulaire doit être neuf, avoir une longueur minimale de 5,3 m et un diamètre intérieur supérieur à 8 cm;
- Le choix des matériaux et de l'ouverture de la crépine doit se faire en fonction de la granulométrie des matériaux en place. Le raccord de deux tubages doit être étanche;
- Le tubage doit excéder d'au moins 30 cm la surface du sol et porter l'une des marques de conformité suivantes : ASTM A53/A 53M-99b (s'il est en acier), ASTM A 409/A409M-95a (s'il est en acier inoxydable) ou ASTM F 480-00 (s'il est en plastique);
- Lorsque le puits tubulaire est aménagé dans une formation rocheuse, un sabot d'enfoncement doit être raccordé à l'extrémité inférieure du tubage s'il est en acier ou en acier inoxydable (pour les tubages de plastique, un joint d'étanchéité est préconisé). Le tubage doit être ancré dans le roc par battage au refus ou jusqu'à 0,6m de pénétration dans le roc. Lorsque la formation rocheuse est située à moins de 5 m de la surface du sol :
  - Le puits doit être foré de manière à avoir un diamètre d'au moins 10 cm supérieur au diamètre extérieur du tubage;
  - Le tubage doit être installé à au moins 5 m de profondeur à partir de la surface du sol;
  - L'espace annulaire doit être rempli selon les règles de l'art au moyen d'un matériau qui assure un scellement étanche et durable tel un mélange ciment-bentonite. Il est important de s'assurer que le matériau scellant ne contribuera pas à libérer des contaminants dans l'eau.

### 8.3.2.3 Critères applicables aux puits de surface

Un puits de surface est un ouvrage de captage peu profond et de large diamètre généralement creusé à l'aide d'une rétrocaveuse (voir figure 8-9 du volume 2). Les critères de conception suivants sont applicables à tout nouveau puits de surface :

- L'espace intérieur du puits doit être supérieur à 60 cm et la profondeur doit être d'au plus 9 m à partir de la surface du sol;
- Le tubage doit être fait de cylindres de béton revêtus de la marque de conformité NQ 2622-126, de plastique, de maçonnerie de pierres ou de béton poreux;
- Les joints de raccordement doivent être étanches;
- Le puits doit excéder d'au moins 30 cm la surface du sol;
- L'espace annulaire doit être rempli, selon les règles de l'art, au moyen d'un matériau qui assure un scellement étanche et durable sur une épaisseur d'au moins 5 cm, tel un mélange ciment-bentonite, et jusqu'à 1 m de profondeur à partir de la surface du sol; il est important de s'assurer que le matériau scellant ne contribuera pas à libérer des contaminants dans l'eau;
- Une zone non saturée d'une épaisseur minimale de 1 m est préférable afin de minimiser l'infiltration de contaminants à partir de la surface.

#### 8.3.2.4 Critères applicables aux pointes filtrantes

Une pointe filtrante est un ouvrage de captage, généralement peu profond et de faible diamètre, consistant en un tube perforé à bout pointu, enfoncé jusqu'à la nappe phréatique, dans un sol meuble ou de dureté moyenne (voir figure 8-10 du volume 2). À l'instar des puits de surface, une épaisseur de 1m de dépôts meubles non saturés est souhaitable afin de minimiser les risques de contamination provenant de la surface. Les critères de conception suivants sont applicables à toute nouvelle pointe filtrante :

- Le tubage d'une pointe filtrante doit être neuf et avoir un diamètre intérieur d'au plus 8 cm;
- Le tubage d'une pointe filtrante doit excéder d'au moins 30 cm la surface du sol et porter l'une des marques de conformité suivantes : ASTM A53/A 53M-99b (acier), ASTM A 409/A409M-95a (acier inoxydable) ou ASTM F 480-00 (plastique);
- Dans certains cas, l'ajout d'une lanterne de gravier peut être nécessaire afin d'éviter le colmatage de la zone crépinée.

#### 8.3.2.5 Critères applicables aux captages de sources

Un captage de source consiste en un ouvrage aménagé à un endroit où l'eau souterraine fait résurgence à la surface, à flanc de colline par exemple (voir figure 8-4 du volume 2). Il doit normalement être constitué d'un drain horizontal aménagé à faible profondeur, mais à plus d'un mètre de la surface du sol en amont du point naturel de résurgence de manière à capter l'eau avant qu'elle ne fasse surface, et relié à un réservoir à l'intérieur duquel est placée la pompe d'alimentation. L'eau peut aussi être acheminée par gravité. Il existe des règles de l'art relativement à la conception d'un nouveau captage de source. Ces règles sont les suivantes :

- L'aménagement de base d'un captage d'eau de source est constitué d'un drain horizontal de captage, de matériaux d'enrobage, d'un réservoir étanche muni d'un trop-plein, d'un couvercle étanche, d'un drain de nettoyage et d'une ligne de distribution;
- Le tuyau de trop-plein est muni d'un grillage afin d'y empêcher l'entrée des insectes et de la vermine ainsi que pour le protéger des actes de vandalisme;

- Un fossé de dérivation imperméable est creusé à 15 m à l'intérieur de l'aire de protection de manière à dévier les eaux de ruissellement du point de captage;
- Un système de contrôle de débit pour minimiser une sollicitation de la nappe d'eau au-delà des besoins;
- Le choix des matériaux et de l'ouverture des drains doit se faire en fonction de la granulométrie des matériaux en place.

#### 8.3.2.6 Critères applicables aux puits rayonnants

Un puits rayonnant est un caisson central et vertical à partir duquel rayonnent des drains horizontaux, pouvant atteindre une longueur de 20 m, enfoncés dans la formation aquifère. Ils sont aussi communément appelés « puits caisson » et sont utilisés lorsque les débits requis sont très élevés (plusieurs dizaines de milliers de litres à la minute). À l'instar des ouvrages de captage de source, leur usage est peu courant et le *Règlement sur le captage des eaux souterraines* ne prescrit aucun critère de conception pour ce type d'ouvrage de captage. Il existe des règles de l'art pour la construction de tels ouvrages dont les principales sont les suivantes :

- Le diamètre du caisson, construit en béton armé, possède un diamètre d'environ 5 m. Une épaisse couche de béton est coulée dans le fond du caisson à des fins d'imperméabilisation;
- Les drains (ou crépines) dont le nombre excède rarement 12 sont répartis dans différentes directions et à différentes profondeurs à partir du caisson central. Leur configuration doit permettre d'atteindre une capacité maximale;
- Le choix des matériaux et de l'ouverture des drains doit se faire en fonction de la granulométrie des matériaux en place.

#### 8.3.2.7 Critères applicables aux drains horizontaux

Un ouvrage de captage par drains horizontaux consiste en un ou plusieurs drains horizontaux placés dans des excavations sur des matériaux très perméables et à travers desquels l'eau est captée. La recharge doit provenir des précipitations et non d'un cours d'eau de surface, de façon à minimiser les risques de contamination microbiologique. La profondeur maximale de ce type d'ouvrage est d'environ 8 m. À l'instar des puits de surface et des captages de sources, les drains horizontaux doivent être installés à plus d'un mètre de la surface du sol afin de minimiser l'infiltration de contaminants provenant de la surface. Ce type de captage est utilisé lorsque l'épaisseur de l'aquifère ne permet pas d'obtenir le débit voulu par des puits verticaux ou dans les cas où l'eau en profondeur est saline ou de mauvaise qualité (fer, manganèse). Les règles de l'art qui suivent, sans être limitatives, sont applicables à la conception de tels ouvrages :

- L'eau captée par les drains collecteurs est dirigée dans une fosse dont le niveau inférieur se trouve en-dessous des drains; elle est ensuite acheminée à la surface par gravité ou par un système de pompage;
- Les drains horizontaux sont enrobés d'un matériau filtrant granulaire dont la conductivité hydraulique est supérieure à celle des matériaux sous-jacents;
- Les ouvertures des drains crépinés doivent être suffisamment petites pour empêcher l'entrée du matériau filtrant granulaire;
- La vitesse d'entrée de l'eau dans les drains doit être inférieure à 0,03 m/s.

#### 8.3.2.8 Précautions concernant la localisation d'un ouvrage de captage

Avant de procéder aux travaux, des précautions minimales doivent être prises concernant la localisation d'un ouvrage de captage. Le *Règlement sur le captage des eaux souterraines* introduit des normes de distance par rapport aux systèmes de traitement d'eaux usées. Les exigences diffèrent selon que l'ouvrage de captage dessert une ou plusieurs résidences. Ainsi, il est interdit d'aménager à moins de 30 m d'un système de traitement d'eaux usées un ouvrage de captage d'eau souterraine desservant plus d'une résidence. Par ailleurs, il est interdit d'aménager tout ouvrage de captage individuel à moins de 15 m d'un système étanche de traitement d'eaux usées et à moins de 30 m de tout système non étanche de traitement d'eaux usées. Lorsque cette distance ne peut être respectée, il est permis de la réduire à 15 m si l'ouvrage de captage individuel consiste en un puits tubulaire dont l'espace annulaire est scellé à l'aide d'un mélange ciment-bentonite sur au moins 5 m de profondeur.

Par ailleurs, en plus des exigences réglementaires, les ouvrages de captage d'eau destinée à la consommation humaine devraient être situés dans la partie haute du terrain. Une distance minimale de 10 m doit séparer l'ouvrage de captage d'un cours d'eau.

Enfin, il existe des restrictions relativement à la localisation d'un ouvrage de captage par rapport à une zone inondable. En effet, il est interdit d'aménager un nouvel ouvrage de captage dans une zone à récurrence 0-20 ans, à moins que ce soit dans le but de remplacer un ouvrage existant. Dans un tel cas, il est permis d'aménager un puits tubulaire dont l'espace annulaire est scellé conformément aux prescriptions décrites à la section 8.3.2.2. Par ailleurs, dans les zones de récurrence 20-100 ans, il n'est permis d'aménager un ouvrage de captage que s'il s'agit d'un puits tubulaire dont l'espace annulaire est scellé conformément aux prescriptions de la section 8.3.2.2. Dans les deux cas, le tubage doit excéder la surface du sol d'une hauteur suffisante pour éviter une éventuelle immersion, soit au-dessus de la cote vicennale.

#### 8.3.2.9 Ouvrages de captage existants

Il n'est pas facile de vérifier l'étanchéité des ouvrages de captage existants puisque les détails de conception de ceux-ci ne sont pas souvent disponibles. Cependant, une vérification visuelle des conditions de surface à proximité de l'ouvrage permet, au besoin, d'apporter des améliorations (couvert adéquat, finition du sol autour de l'ouvrage de captage, clôture, etc.) qui assurent la protection et l'étanchéité. La responsabilité de faire ces vérifications incombe au propriétaire de l'ouvrage de captage.

### 8.3.3 Aire d'alimentation et aires<sup>1</sup> de protection autour des ouvrages de captage

Malgré toutes les précautions prises lors de l'aménagement et de la modification d'un ouvrage de captage, des contaminants peuvent atteindre la zone de captage à partir d'une source éloignée de contamination par les mécanismes d'écoulement de l'eau et de transport de contaminants dans les milieux aquifères. Les concepts d'aire d'alimentation, d'aires de protection autour des

---

<sup>1</sup> Dans le *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, on fait mention de périmètres de protection pour parler des aires de protection.

ouvrages de captage et de vulnérabilité des eaux souterraines ont été introduits dans le *RQEP* afin d'intégrer les principaux paramètres hydrogéologiques gouvernant le transport de contaminants. Il est à noter que le *RQEP* n'oblige pas la détermination des aires de protection. Cependant, le *Règlement sur le captage des eaux souterraines* fixe l'obligation de déterminer l'aire d'alimentation et les aires de protection rapprochée (200 et 550 jours) pour les lieux de captage destinés à fournir une alimentation en eau potable et dont le débit moyen d'exploitation (généralement la capacité installée) est supérieur à 75 m<sup>3</sup>/jour.

Ainsi, aux fins de l'application du *RQEP*, lorsque les eaux délivrées par un système de distribution proviennent en tout ou en partie d'eaux souterraines non désinfectées et vulnérables, le responsable du système est tenu : 1) de vérifier la présence des bactéries *Escherichia coli*, des bactéries entérocoques et des virus coliphages; 2) de faire prélever mensuellement au moins un échantillon des eaux brutes qui approvisionnent le système. Pour l'application de cet article, les eaux souterraines sont considérées comme vulnérables lorsque :

- Après évaluation, selon la méthode DRASTIC (voir section 8.3.4 du volume 2), ces eaux ont un indice de vulnérabilité supérieur à 100 dans les aires de protection rapprochée, à l'intérieur de l'aire d'alimentation du lieu de captage, établies sur la base d'un temps de migration des eaux souterraines de 550 jours pour une protection virologique et de 200 jours pour une protection bactériologique;
- Dans les aires de protection rapprochée susmentionnées, se trouvent des ouvrages ou des activités susceptibles d'altérer la qualité microbiologique des eaux souterraines, tels que des systèmes de traitement d'eaux usées, des ouvrages ou lieux d'entreposage ou d'épandage de déjections animales ou de compost de ferme, des cours d'exercice d'animaux d'élevage, etc.

Dans l'ordre, il importe donc d'abord de déterminer l'aire d'alimentation de l'ouvrage de captage. Par la suite, à l'intérieur de cette aire d'alimentation, les aires de protection rapprochée équivalent aux temps de migration de 200 et 550 jours sont délimitées. Finalement, les zones où les indices de vulnérabilité DRASTIC supérieurs à 100 sont identifiées à l'intérieur de ces aires de protection rapprochée.

Cette section a pour objectif de guider les consultants, les municipalités ainsi que les représentants des bureaux régionaux dans la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection autour des ouvrages de captage d'eau souterraine. Elle remplace le guide intitulé *Les périmètres de protection autour des ouvrages de captage d'eau souterraine* publié en 1995 en tenant compte de l'évolution des connaissances hydrogéologiques et des modifications rendues nécessaires par l'adoption du nouveau *Règlement*. Par ailleurs, la section 8.3.4 du volume 2 guidera les intervenants dans la détermination des indices de vulnérabilité DRASTIC.

Les définitions suivantes clarifient les notions hydrogéologiques nécessaires à la compréhension de cette section.

**Aire d'alimentation :** Portion du territoire à l'intérieur de laquelle toute l'eau souterraine qui y circule aboutira tôt ou tard au point de captage. Elle s'étend jusqu'à la ligne de partage des eaux.

**Ceinture d'alerte :** Programme de surveillance de la qualité de l'eau souterraine mis en place afin de détecter une contamination à une distance suffisamment grande du point de captage pour permettre une intervention rapide et efficace avant que celle-ci n'atteigne l'ouvrage de captage.

**Milieu anisotrope :** Milieu où les valeurs des propriétés hydrauliques varient en fonction de la direction.

**Milieu isotrope :** Milieu où les valeurs des propriétés hydrauliques sont indépendantes de la direction.

**Milieu hétérogène :** Milieu où les valeurs des propriétés hydrauliques varient en fonction de la position spatiale du point de mesure.

**Milieu homogène :** Milieu où les valeurs des propriétés hydrauliques sont indépendantes de la position spatiale du point de mesure.

**Nappe captive :** Une nappe d'eau souterraine se trouve en condition de nappe captive lorsqu'elle est confinée sous une couche imperméable. Dans ces conditions, le niveau hydrostatique s'élève au-dessus du toit de la nappe. Une nappe captive est généralement peu vulnérable à la contamination.

**Nappe libre :** Une nappe d'eau souterraine se trouve en condition de nappe libre lorsqu'elle n'est pas recouverte d'une couche imperméable. Dans ces conditions, le niveau hydrostatique se trouve soit au niveau du toit de la nappe ou plus bas. Une nappe libre est généralement plus vulnérable à la contamination qu'une nappe captive.

**Aire de protection :** Une aire de protection délimite une portion de territoire autour d'un ouvrage de captage à l'intérieur duquel des contaminants, s'ils y sont présents, peuvent migrer et éventuellement le contaminer. Les aires de protection d'un ouvrage de captage incluent l'aire de protection immédiate, les aires de protection rapprochée et l'aire de protection éloignée.

**Aire de protection immédiate :** L'aire de protection immédiate englobe un rayon minimal de 30m autour d'un ouvrage de captage où une protection maximale doit être accordée aux eaux souterraines. Cette aire peut présenter une superficie moindre selon les prescriptions du *RCES* (art. 24). À l'intérieur de cette aire de protection, seules les activités essentielles à l'exploitation de l'ouvrage de captage sont tolérées. Une clôture sécuritaire d'une hauteur minimale de 1,8 m doit être installée aux limites de ce périmètre, sauf si la capacité de l'ouvrage de captage est inférieure à 75 m<sup>3</sup>/j ou que l'ouvrage de captage est situé en zone inondable. Une affiche doit y être apposée indiquant la présence d'une source d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. La finition du sol, à l'intérieur de l'aire de protection immédiate, doit être réalisée de façon à prévenir le ruissellement de l'eau.

**Aires de protection rapprochée :** Les aires de protection rapprochée correspondent aux portions de l'aire d'alimentation délimitées en employant des temps de migration de 200 jours

(protection contre les risques bactériologiques) et de 550 jours (protection contre les risques virologiques).

**Aire de protection éloignée :** L'aire de protection éloignée correspond à la distance théorique, à parcourir par l'eau, menant à l'ouvrage de captage équivalent à un temps de transfert suffisant pour protéger l'ouvrage de captage contre les substances polluantes persistantes (notamment les nitrates et les pesticides). Il doit inclure toute l'aire d'alimentation de l'ouvrage de captage.

**Temps de migration :** Temps requis pour transporter un contaminant de sa source au point de captage. Il varie en fonction de la nature du contaminant et des conditions hydrogéologiques du milieu. Les temps de migration permettent de subdiviser l'aire d'alimentation en différentes aires de protection en fonction de la nature des contaminants.

**Zone d'appel :** Portion de la zone d'influence à l'intérieur de laquelle l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers l'ouvrage de captage d'eau souterraine.

Les principes généraux, les facteurs influençant la détermination des aires de protection et des exemples d'application sont présentés à l'annexe 8.3.

## **8.4 Recharge artificielle de la nappe**

### *8.4.1 Description*

La recharge artificielle constitue un moyen de suppléer ou d'augmenter l'infiltration naturelle dans un aquifère. L'infiltration d'une eau de surface peut se faire directement à partir de la rivière (*River Bank Filtration*) ou de bassins artificiels dans lesquels une eau de surface est introduite. Lors de son séjour dans le sol, l'eau subit l'effet de différents phénomènes naturels (filtration, adsorption, sédimentation, biodégradation, échange ionique, etc.) qui modifient ses caractéristiques biologiques et physico-chimiques. La qualité de l'eau utilisée pour la recharge est ainsi généralement améliorée. L'eau souterraine est recueillie à partir de puits ou de drains selon la configuration du site et de l'hydrogéologie résultante.

### *8.4.2 Conditions d'application*

Dans le contexte réglementaire québécois, la recharge artificielle de la nappe phréatique est principalement intéressante dans les cas où un aquifère naturel n'a pas la capacité de production désirée et qu'une source d'eau de surface de bonne qualité est disponible à proximité de l'aquifère. La recharge artificielle de la nappe permet alors d'augmenter considérablement sa capacité d'extraction ainsi que la qualité de l'eau de surface infiltrée. Il faudra par contre caractériser le puits afin de s'assurer que la recharge artificielle de la nappe ne le rendra pas sous influence directe de l'eau de surface. En fonction de la qualité de l'eau puisée, qui tient compte de l'efficacité du traitement naturel et de la dilution avec l'eau souterraine, il est possible que seule une désinfection soit requise. Dans ce contexte, la construction et l'exploitation d'une usine de traitement complet pourraient être évitées.

Notons également que les limites supérieures de qualité de l'eau brute utilisée pour la recharge artificielle ne sont pas encore très bien connues.

#### *8.4.3 Balises de conception*

Bien que cette méthode d'accroissement de la ressource soit peu utilisée au Québec et qu'aucun critère de conception ne soit reconnu, on peut dégager des expériences américaine et européenne les lignes directrices suivantes :

- Le temps de séjour dans le sol est le paramètre de conception le plus important lorsqu'il s'agit d'améliorer la qualité de l'eau infiltrée. Un temps de séjour minimal de 3 à 5 jours (mais préférablement de 10 à 20 jours) devrait être considéré si on veut réduire la turbidité, le COD ainsi que le contenu microbien (en Europe des temps de séjour de l'ordre de 150 jours sont courants);
- Un sol fin permettra d'atteindre le niveau de traitement recherché beaucoup plus rapidement qu'un sol grossier. Dans la recherche de site propice, il faut donc concilier la capacité hydraulique du sous-sol et l'efficacité de traitement atteinte;
- L'usage d'au moins deux bassins de recharge est recommandé afin de permettre la mise au repos et une récupération partielle du colmatage biologique. L'emploi de plusieurs bassins facilite le contrôle du colmatage (raclage de surface) et les grandes surfaces disponibles permettent de réduire la fréquence d'entretien à quelques fois par année. L'emploi d'un sable de granulométrie spécifique en surface des bassins permet de mieux contrôler la profondeur de colmatage;
- Le taux d'infiltration devra être déterminé par une étude hydrogéologique ainsi qu'une modélisation des écoulements souterrains pour les débits importants ou être testé sur place.

Dans le cas de petites installations existantes de captage d'eau souterraine, il est préférable de tester la recharge artificielle directement sur le terrain sous les conditions suivantes :

- Pomper l'eau de surface au débit et à l'endroit prévu pour la recharge;
- La qualité de l'eau de surface doit correspondre à celle attendue lors des périodes de recharge (conditions moyennes);
- La durée de l'essai doit être suffisante pour atteindre des conditions d'équilibre dans l'écoulement souterrain au droit de l'ouvrage de captage;
- Caractériser l'eau captée avant et pendant la recharge artificielle.

Pour les cas de recharge plus importante, se référer à la section 8.4 du volume 2 qui présente une approche théorique combinée à la réalisation d'essais en colonne.

### **8.5 Déferrisation et/ou démanganisation**

La présence de fer et de manganèse dans les sources d'approvisionnement en eau potable n'est pas souhaitable pour un certain nombre de raisons qui ne sont pas liées directement à la santé. Les sels de fer et de manganèse dans les eaux souterraines sont instables; ils réagissent avec l'eau pour former des précipités insolubles qui sédimentent sous la forme d'un limon de couleur

rouille (fer) ou noire (manganèse). Il arrive souvent que l'eau prenne alors un goût désagréable et paraisse impropre à la consommation; elle peut tacher la lessive et les accessoires de plomberie. Dans le réseau de distribution, le fer et le manganèse peuvent sédimenter dans les conduites et réduire leur capacité hydraulique. Ils peuvent aussi promouvoir la croissance des ferrobactéries et manganobactéries; ce sont des micro-organismes qui tirent leur énergie de l'oxydation du fer et du manganèse respectivement. Ce phénomène conduit au dépôt d'une pellicule biologique sur la paroi des conduites d'aqueduc. Ces problèmes apparaissent ordinairement lorsque la concentration du fer dépasse 0,3 mg/L et lorsque la concentration de manganèse dépasse 0,02 mg/L. Pour le manganèse, la recommandation est de 0,05 mg/L parce qu'il est difficile d'éliminer le manganèse sous cette valeur.

#### *8.5.1 Par oxydation et filtration*

Les procédés de traitement d'élimination du fer et du manganèse qui suivent sont basés sur l'oxydation des formes réduites dissoutes ( $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{2+}$ ) en formes insolubles ferriques ( $\text{Fe}^{3+}$ ) et manganiques ( $\text{Mn}^{4+}$ ) grâce à une réaction d'oxydoréduction. Ces formes insolubles sont ensuite retenues sur un milieu filtrant granulaire. La première étape de traitement est donc celle d'oxydation. En fonction des caractéristiques de l'eau brute, différents modes de traitement peuvent être envisagés. Le choix d'un procédé approprié sera déterminé à partir d'études approfondies et d'essais pilotes pour assurer l'efficacité du traitement et fixer les critères de conception optimaux.

##### 8.5.1.1 Aération

#### **Description du procédé**

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. L'aération suit les lois de l'échange gaz-liquide, c'est-à-dire les lois de Henry, de Dalton et des gaz parfaits ainsi que les théories de Witman et Lewis pour le transfert des solutés à travers une interface air-liquide.

#### **Champs d'application**

L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de pré-oxydation. Cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène et permet alors, soit :

- D'oxyder des éléments réduits, tels les ions ferreux;
- D'augmenter la teneur en oxygène dans l'eau (améliorer le goût, éviter la corrosion des conduites métalliques en formant une couche protectrice);
- D'éliminer des gaz indésirables ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  libre, sursaturation en oxygène, composés organiques volatils, etc.).

En comparant les potentiels d'oxydoréduction du fer et du manganèse, on constate que le fer peut être oxydé facilement par l'oxygène de l'air tandis que le manganèse ne l'est qu'à un pH alcalin. L'aération peut aussi faire partie intégrante d'une étape de traitement spécifique et se trouver alors au milieu de la chaîne du traitement de l'eau. Enfin, l'aération peut compléter la chaîne de

traitement de l'eau afin de la rendre plus agréable au goût. Elle se situe alors avant la réserve d'eau traitée et sa distribution dans le réseau.

L'aération permet aisément l'oxydation du fer s'il n'est pas à l'état complexé soit par la matière organique (acides humiques) ou par la silice dissoute.

### Critères de conception

#### *Dispersion de l'eau dans l'air*

Dans ces systèmes, on provoque artificiellement la turbulence de l'eau. Une bonne dispersion de l'eau est nécessaire afin d'accroître l'interface air-eau permettant l'échange de gaz. Parmi les procédés utilisant la dispersion de l'eau dans l'air, notons les cascades, les plateaux, les masses de contact et la pulvérisation. Le tableau 8-2 suivant présente les principales caractéristiques et critères de conception de ces procédés.

**Tableau 8-2 : Caractéristiques et critères de conception pour la dispersion de l'eau dans l'air**

| Cascade                                                                                | Plateau                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Masse de contact                                                                                                                                                                                                                                                            | Pulvérisation                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Description</b>                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                       |
| Créer une bonne turbulence à l'aide d'une chute en cascades sur plusieurs paliers      | Écoulement de l'eau par gravité sur une série de plateaux perforés ou en pente                                                                                                                                                                                                                            | Tour de garnissage avec écoulement à contre-courant de l'air et de l'eau (anneaux Raschig, Pall, etc.)                                                                                                                                                                      | Tuyères fixées sur les collecteurs d'eau (utilisées surtout en dégazage et oxygénation de l'eau; peuvent être combinées aux cascades) |
| <b>Critères de conception</b>                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                       |
| Hauteur de chaque palier :<br>30 à 80 cm<br><br>Vitesse d'approche :<br>25 m/h et plus | Distribution sur le plateau de tête : Uniforme<br><br>Nombre d'unités :<br>3 à 5 plateaux<br><br>Écart entre les plateaux :<br>15 cm ou plus<br><br>Charge superficielle :<br>moins de 12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h<br><br>Taille des perforations :<br>entre 1,2 et 5 cm<br>distancées de 7,5 cm | Vitesse de l'eau :<br>de 10 à 50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h<br><br>Vitesse de l'air :<br>de 1500 à 2000 N.m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h<br><br>Hauteur de garnissage :<br>de 1500 à 3000 mm<br><br>Autres éléments de conception :<br>Fabricants et fournisseurs | Débits :<br>selon modèle retenu<br>(mais débit stable)<br><br>Autres éléments de conception :<br>Fabricants et fournisseurs           |

La température de l'eau et de l'air auront une grande influence sur l'efficacité du transfert. De plus, les eaux aérées doivent subir une désinfection adéquate avant distribution.

#### *Dispersion de l'air dans l'eau*

Dans ces systèmes, l'air est injecté dans la masse d'eau à aérer. Encore une fois, une bonne dispersion de l'air est nécessaire afin d'accroître l'interface air-eau permettant l'échange de gaz. Parmi les procédés utilisant la dispersion de l'air dans l'eau, notons les diffuseurs et l'aération sous pression. Le tableau 8-3 suivant présente les principales caractéristiques de ces procédés.

**Tableau 8-3 : Caractéristiques pour la dispersion de l'air dans l'eau**

|                         | <b>Diffuseurs</b>                                                                                                     | <b>Aération sous pression</b>                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Description</b>      | Injection d'air sous pression dans une masse liquide                                                                  | Injection d'air dans une conduite sous pression                                                                                                                                                                                             |
| <b>Type d'injecteur</b> | 1) Dispositif déprimogène<br>2) Réseau de diffuseurs dans un réservoir d'aération (fines, moyennes ou grosses bulles) | Pot mélangeur                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Rendement</b>        | Dépend du type de diffuseur et de son coefficient de transfert                                                        | 1) À utiliser seulement pour fins d'oxydation suite à des essais de traitabilité<br>2) Filtres en aval doivent être équipés de soupapes de soulagement<br>3) L'air doit être débarrassé des contaminants (fumée, poussières, vapeurs, etc.) |

*Données requises pour la conception*

Pour la conception de l'aération, il est nécessaire de connaître : la température de l'air et de l'eau, la concentration des éléments à éliminer ou à oxyder et le débit d'air à injecter (si on utilise la diffusion de l'air dans l'eau).

**Autres éléments de conception**

Afin de compléter la conception de l'aération, il faut tenir compte des éléments suivants :

- Il existe sur le marché de nombreux types d'aérateurs. D'autres méthodes d'aération peuvent être acceptées pourvu que leur application soit justifiée par des essais pilotes ou des caractéristiques particulières des eaux à traiter;
- Des essais pilotes peuvent être nécessaires pour déterminer certains paramètres de fonctionnement;
- Quand la décharge du système débouche directement dans l'atmosphère, le système d'aération (tour, cascades, etc.) doit être installé dans une enceinte fermée munie de louves et facilement accessible pour fins d'inspection et d'entretien;
- Protéger adéquatement contre les oiseaux et insectes les systèmes d'aération où les eaux aérées ne subissent qu'une simple chloration avant d'être distribuées;
- Une conduite de contournement doit être prévue sur chaque unité d'aération.

8.5.1.2 Oxydation chimique

**Description du procédé**

Les oxydants chimiques jouent le même rôle que l'aération en ce qui a trait à l'oxydation des éléments réduits comme les ions ferreux. La combinaison avec l'étape d'aération est toutefois intéressante puisque la demande en oxydant chimique peut être abaissée grâce à l'action préalable de l'oxygène de l'air sur les composés réducteurs, volatils ou autres.

**Champs d'application**

Les oxydants chimiques forts autres que l'oxygène de l'air permettent d'oxyder à la fois le fer et le manganèse dissous.

### Critères de conception

Les différents oxydants forts susceptibles d'être utilisés dans un traitement de déferrisation et/ou de démantanisation sont présentés dans le tableau 8-4 suivant.

**Tableau 8-4 : Critères de conception utilisés en oxydation chimique**

| <i>Oxydant</i>                                    | <b>Chlore</b>                                                                                                                              | <b>Permanganate de potassium</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Ozone</b>                                                                                | <b>Bioxyde de chlore</b>   |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b><i>Dose stœchiométrique <sup>(1)</sup></i></b> |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                             |                            |
| <b><i>Par g de Fe</i></b>                         | 0,63 g de Cl <sub>2</sub>                                                                                                                  | 0,94 g de KMnO <sub>4</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,43 g d'ozone                                                                              | 1,21 g de ClO <sub>2</sub> |
| <b><i>Par g de Mn</i></b>                         | 1,3 g de Cl <sub>2</sub>                                                                                                                   | 1,9 g de KMnO <sub>4</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,87 g d'ozone                                                                              | 2,45 g de ClO <sub>2</sub> |
| <b><i>Critères de conception</i></b>              |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                             |                            |
| <b><i>Temps de rétention <sup>(2)</sup></i></b>   | Plus de 2 minutes                                                                                                                          | De quelques secondes à 3 minutes                                                                                                                                                                                                                                                               | Dépend du type d'ozonateur (voir chapitre 10)                                               | Moins de 5 minutes         |
| <b><i>Point d'injection</i></b>                   | En amont des filtres                                                                                                                       | En amont des filtres                                                                                                                                                                                                                                                                           | En amont des filtres                                                                        | En amont des filtres       |
| <b><i>Éléments à considérer</i></b>               |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                             |                            |
| <b><i>Dosage</i></b>                              | -Tenir compte des autres éléments qui peuvent être oxydés par le chlore (matières organiques dissoutes, hydrogène sulfuré, ammoniac, etc.) | -Comme pour le chlore, tenir compte des autres éléments qui peuvent être oxydés par le permanganate de potassium<br>-Dosage précis car l'excédent est très visible (teinte rose si > 0,05 mg/L) et doit être enlevé par un agent réducteur (sable vert, charbon actif, SO <sub>2</sub> , etc.) | -Comme pour le chlore, tenir compte des autres éléments qui peuvent être oxydés par l'ozone |                            |

<sup>(1)</sup> La dose finale devra être ajustée en tenant compte des autres éléments qui peuvent consommer l'oxydant retenu : azote ammoniacal, sulfures, etc.

<sup>(2)</sup> Dépend de la température et des conditions de pH de l'eau à traiter

### Autres éléments de conception

Afin de compléter la conception de l'oxydation chimique, il faut tenir compte des éléments suivants :

- Des essais de traitabilité peuvent être réalisés afin de déterminer les doses optimales et les temps de contact nécessaires pour compléter l'oxydation du fer et du manganèse;
- Le peroxyde d'hydrogène peut aussi être utilisé mais son temps de réaction est plus long que celui des autres oxydants;
- Le temps de résidence dans le réacteur doit permettre la réaction complète;
- Les cinétiques d'oxydation sont plus rapides à pH et température élevés;
- Le fer et le manganèse peuvent être complexés par la matière organique, ce qui peut mener à l'inhibition de la réaction d'oxydation du fer et du manganèse;
- La présence d'oxygène dissous peut accélérer la cinétique d'oxydation;
- L'alcalinité a un pouvoir tampon sur le pH, mais si l'eau a un caractère incrustant, elle peut retarder la réaction d'oxydation.

### 8.5.1.3 Filtration sur sable vert

#### **Description du procédé**

Le sable vert est un média manufacturé qui permet l'adsorption ou la filtration physique du fer et du manganèse ou encore l'oxydation catalytique du manganèse, selon le mode d'opération qui est choisi. Le sable vert est constitué d'un matériau minéral (la glauconite) qui est recouvert en usine d'une couche d'oxyde de  $\text{MnO}_2$ . En plus de conférer au sable vert son pouvoir catalytique, l'oxyde de manganèse possède un pouvoir tampon qui permet de stabiliser le procédé lors des variations de concentration de minéraux ou d'oxydants dans l'eau à traiter. De fait, en cas de carence d'oxydants, le sable vert adsorbe en surface le fer et/ou le manganèse qui n'a pas été oxydé. Lorsque le dosage de  $\text{KMnO}_4$  excède les besoins, le  $\text{KMnO}_4$  résiduel est capté par la couche d'oxyde de manganèse, évitant ainsi l'apparition d'une teinte rosâtre à l'eau filtrée.

La filtration sur sable vert peut être exploitée selon trois modes d'opération :

- la régénération intermittente au  $\text{KMnO}_4$  ;
- la régénération continue au  $\text{KMnO}_4$  ;
- l'oxydation catalytique.

#### *Régénération intermittente au $\text{KMnO}_4$*

Ce mode d'opération ne nécessite l'injection d'aucun oxydant avant l'étape de filtration sur le sable vert. Le fer et le manganèse dissous sont adsorbés sur la couche de  $\text{MnO}_2$ . Lorsque la capacité d'adsorption du sable vert est atteinte, une régénération du pouvoir adsorbant du média à l'aide d'une solution de  $\text{KMnO}_4$  concentrée est nécessaire. Durant cette étape, le filtre doit être mis hors service et un rétrolavage à l'eau est effectué.

#### *Régénération continue au $\text{KMnO}_4$*

Ce mode d'opération consiste à provoquer l'oxydation complète du fer et du manganèse avec du  $\text{KMnO}_4$  préalablement à la filtration sur le sable vert. Dans ce contexte, ce dernier agit principalement comme simple média filtrant. Son pouvoir tampon est cependant mis à contribution pour garantir la stabilité du procédé, tel que mentionné au début de cette section. Un oxydant complémentaire (chlore, oxygène, etc.) peut également être employé en combinaison avec le  $\text{KMnO}_4$ . Après un certain temps de filtration, ou lorsque la perte de charge est trop élevée, un rétrolavage à l'eau doit être réalisé.

#### *Oxydation catalytique*

Ce dernier mode d'opération exploite le pouvoir catalytique du sable vert. Le processus d'oxydation du manganèse est réalisé en plusieurs étapes. Dans un premier temps, du chlore est dosé à l'eau brute en quantité suffisante pour obtenir un résiduel de 0,5 mg/L ou plus à l'effluent du filtre. L'eau brute contenant le manganèse dissous et une certaine concentration en chlore est, par la suite, filtrée sur le sable vert qui adsorbe le manganèse dissous. Finalement, après un temps très court, le manganèse est oxydé par le chlore en mettant à profit le  $\text{MnO}_2$  catalyseur qui permet de diminuer l'énergie nécessaire à l'oxydation du manganèse. Après un certain temps de filtration, ou lorsque la perte de charge est trop élevée, un rétrolavage à l'eau doit être réalisé.

## Critères de conception

### Données requises pour la conception

En plus des paramètres cités aux tableaux 6-1 (paramètres de base pour l'eau brute) et 6-2 (paramètres de contrôle de l'eau brute), il serait bon d'inclure les paramètres suivants :

- Silice (mg/L Si O<sub>2</sub>)
- Oxygène dissous (mg/L O<sub>2</sub>)
- Potentiel redox (mV)
- Ferro et manganobactéries (UFC/100 ml)

La silice, lorsqu'en quantité moindre que 10 mg/L SiO<sub>2</sub>, peut amener la couche d'oxyde de manganèse à se détériorer prématurément. L'oxygène dissous et le potentiel redox permettent d'apprécier l'état réducteur ou oxydant de l'eau souterraine. Finalement, la présence des ferro et manganobactéries donne des indications sur le pouvoir colmatant de l'eau dans le puits à plus ou moins court terme.

### Critères de conception

Le tableau 8-5 suivant présente les critères de conception d'un filtre à sable vert :

**Tableau 8-5 : Critères de conception pour la filtration sur sable vert**

| Paramètres                                    | Régénération intermittente                                          | Régénération continue                                                                                     | Oxydation catalytique                                 |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Taux de filtration maximal admissible (m/h)   | 15 m/h                                                              | 10 m/h                                                                                                    | 20 m/h                                                |
| Expansion du lit filtrant lors du lavage      | 40%                                                                 | 40%                                                                                                       | 40%                                                   |
| Limite d'application                          | Non chiffrée : manganèse seul ou avec très peu de fer               | Fer<10 mg/L<br>Mn<5 mg/L<br>H <sub>2</sub> S<2 mg/L                                                       | Non chiffrée : manganèse seul ou avec très peu de fer |
| Type de média filtrant et profondeur minimale | Sable vert seul<br>600 à 900 mm<br>d <sub>10</sub> de 0,3 à 0,35 mm | Anthracite: 400-900 mm, d <sub>10</sub> 0,6-0,8 mm<br>Sable vert: 400-600 mm, d <sub>10</sub> 0,3-0,35 mm |                                                       |
| Essai de traitabilité                         | Au besoin                                                           | Au besoin                                                                                                 | 1 semaine minimum requise                             |

Le concepteur doit aussi tenir compte des spécifications mentionnées à la section 9.9 en ce qui concerne les accessoires requis en filtration (pompes de lavage, planchers perforés, compresseur et autres). Il doit aussi prévoir l'installation des points d'échantillonnage minimaux suivants afin de faire le suivi du fer et du manganèse :

- À l'eau brute;
- À l'eau oxydée (avant chaque filtre);

- À l'interface de l'anthracite et du sable vert le cas échéant (pour chaque filtre);
- Au milieu du sable vert (pour chaque filtre);
- À l'effluent (chaque filtre).

### **Autres éléments de conception**

Le concepteur peut prendre en considération les éléments suivants dans la conception des filtres sur sable vert :

- Le récurage à l'air est préférable pour éviter la formation de boules de boue dans le média (régénération en continu) ou le grossissement du grain de sable vert (régénération intermittente et oxydation catalytique);
- Le taux de lavage à l'eau suit les recommandations du manufacturier. Il doit être ajusté selon la température de l'eau pour obtenir l'expansion désirée;
- Un détecteur d'eau rose doit être installé à l'effluent des filtres si la régénération en continu est utilisée et particulièrement si le filtrat est dirigé directement dans l'aqueduc sans passer par un réservoir (tampon);
- Dans tous les cas, les eaux de procédé doivent être caractérisées et traitées adéquatement avant d'être rejetées dans un cours d'eau;
- La perte de charge maximale admissible est de 60 kPa pour éviter que la couche de  $\text{MnO}_2$  ne craque. Un détecteur de perte de charge est recommandé lorsque la concentration en fer et en manganèse est élevée (régénération en continu);
- Si la concentration en fer dépasse 5 mg/L et celle de manganèse dépasse 1 mg/L, la décantation avec ou sans aération et rétention devient essentielle car la fréquence de rétrolavage devient trop importante;
- Un essai de traitabilité est souhaitable pour la régénération en continu ou intermittente, afin de déterminer les paramètres d'opération et pour adapter les pré-traitements et les post-traitements à la qualité de l'eau brute.

### **Fournisseurs**

Le seul fabricant connu de sable vert en Amérique du Nord est la compagnie *Inversand*.

#### 8.5.1.4 Filtration sur sable avec ou sans anthracite

### **Description du procédé**

Pour certains types d'eau, la déferrisation et la démanganisation peuvent être réalisées par une filtration sur sable ou sur sable et anthracite après une oxydation par aération (section 8.5.1.1) ou par un oxydant chimique (section 8.5.1.2). Ce procédé peut être effectué par filtration sous pression ou gravitaire.

### **Champs d'application**

La filtration sur sable avec ou sans anthracite peut se faire lorsque les concentrations de fer et de manganèse sont faibles ( $\text{Fe} < 5,0 \text{ mg/L}$  et  $\text{Mn} < 0,1 \text{ mg/L}$ ).

### **Critères de conception**

Le tableau 8-6 suivant présente les critères de conception pour les filtres à sable avec ou sans anthracite utilisés pour la séparation du fer et du manganèse oxydés.

**Tableau 8-6 : Critères de conception pour les filtres à sable avec ou sans anthracite**

|                              | <b>Filtre à sable</b>                                                    | <b>Filtre à sable avec anthracite</b>                                                                                                                   |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vitesse de filtration</b> | 4 à 12 m/h                                                               | 5 à 15 m/h                                                                                                                                              |
| <b>Milieu filtrant</b>       | Sable :<br>Hauteur : 800 à 1200 mm<br>Diamètre effectif : 0,75 à 0,95 mm | Sable :<br>Hauteur : 300 à 500 mm<br>Diamètre effectif : 0,55 à 0,75 mm<br>Anthracite :<br>Hauteur : 500 à 800 mm<br>Diamètre effectif : 0,90 à 1,70 mm |

### **Autres éléments de conception**

En plus des autres éléments de conception indiqués pour les filtres sur sable vert (section 8.5.1.3), les éléments suivants sont à considérer :

- Les cycles sont d'une durée d'au moins 24 heures;
- Les lavages sont plus efficaces s'ils sont effectués simultanément à l'eau et à l'air;
- Pour certains types d'eaux, l'ajout d'un coagulant ou floculant permet d'améliorer la qualité de l'eau traitée;
- Les données requises pour la conception sont les mêmes que pour les filtres sur sable vert (section 8.5.1.3).

#### **8.5.1.5 Filtration sur média conditionné**

### **Description du procédé**

Le média conditionné est un média similaire au sable vert, mais dont le mode de fabrication diffère. Le support utilisé peut être du sable ou de l'anthracite de granulométrie contrôlée. Le ou les médias sélectionnés sont installés dans le système de filtration où ils reçoivent, avant leur mise en service, un traitement chimique contenant du permanganate de potassium ainsi qu'un agent fixatif servant à conditionner le média. Ce traitement chimique provoque la précipitation d'oxyde de manganèse directement sur les grains de média en place. Les réactions d'adsorption et d'oxydation qui prévalent sur ce type de média sont donc similaires à celles du sable vert.

L'efficacité du média conditionné dépend de la densité d'oxyde de manganèse précipité sur les grains de média. En pratique, la période de conditionnement chimique doit être d'au moins 24 heures pour obtenir une densité d'oxyde de manganèse adéquate.

Le média conditionné peut être placé à l'intérieur : (1) de différents systèmes de filtration dont les filtres à sable sous pression standards; (2) des réservoirs ouverts à l'atmosphère à plusieurs compartiments, ce qui permet le lavage d'un compartiment du filtre en utilisant l'eau filtrée des trois autres compartiments du filtre.

### **Champs d'application**

Les conditions d'application sont similaires à celles du sable vert (section 8.5.1.3) et doivent tenir compte des autres constituants de l'eau et des concentrations en fer et en manganèse. De façon générale, l'oxydation chimique du manganèse a tendance à générer un précipité colloïdal

très difficile à filtrer. Pour cette raison, plus le média filtrant sera fin, meilleur sera la qualité de l'effluent. Des installations de dosage d'aide coagulant sont également systématiquement demandées lorsque du manganèse est présent dans l'eau brute afin de garantir le succès du traitement. Inversement, le fer oxydé s'adsorbe facilement sur le média et a tendance à le colmater très rapidement. On favorisera alors l'emploi d'un média plus grossier (anthracite).

### Critères de conception

Le choix des médias est intimement relié à la nature de l'eau à traiter. Le tableau 8-7 suivant donne les principaux critères de conception selon le média choisi et la quantité de fer et de manganèse dans l'eau brute :

**Tableau 8-7 : Critères de conception pour la filtration sur média conditionné**

|                       | <b>Média conditionné seul</b>                                                                                                                                          | <b>Sable et anthracite conditionné</b>                                                                                                          |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vitesse de filtration | 5 à 7,5 m/h                                                                                                                                                            | 7,5 m/h                                                                                                                                         |
| Fe + Mn = 0 à 3 mg/L  | Sable seul : (Fe + Mn < 2 mg/L)<br>Hauteur : 600 mm<br>Diamètre effectif : 0,45 à 0,55 mm<br>Anthracite seul :<br>Hauteur : 600 mm<br>Diamètre effectif : 0,6 à 0,8 mm | Sable :<br>Hauteur : 300 mm<br>Diamètre effectif : 0,45 à 0,55 mm<br>Anthracite :<br>Hauteur : 300 à 460 mm<br>Diamètre effectif : 0,6 à 0,8 mm |
| Fe + Mn = 3 à 5 mg/L  |                                                                                                                                                                        | Sable : <b>Idem</b><br>Anthracite :<br>Hauteur : 300 à 460 mm<br>Diamètre effectif : 0,80 à 1,0 mm                                              |
| Fe + Mn = 5 à 6 mg/L  |                                                                                                                                                                        | Sable : <b>Idem</b><br>Anthracite :<br>Hauteur : 300 à 460 mm<br>Diamètre effectif : 1,0 à 1,20 mm                                              |

### Autres éléments de conception

En plus des autres éléments de conception indiqués pour les filtres sur sable vert (section 8.5.1.3), les éléments suivants sont à considérer :

- Les données requises pour la conception sont les mêmes que pour les filtres sur sable vert (section 8.5.1.3);
- Le fournisseur recommande l'injection systématique de permanganate de potassium en amont de l'*Anthra/sand*, avec ou sans chloration;
- L'anthracite conditionné peut être utilisé seul lorsqu'il n'y a principalement que du fer (<5 mg/L);
- Au besoin, une étape de décantation devra être ajoutée en amont des filtres.

### Fournisseur

Le seul fournisseur reconnu de média conditionné est la compagnie *USFilter (Anthra/sand)*.

#### 8.5.1.6 Filtration sur autres types de médias granulaires

##### **Description du procédé**

Ces procédés d'oxydation et filtration sont similaires. Le principe de traitement consiste à oxyder le fer et le manganèse avec du chlore en présence d'un média catalytique à base d'oxyde de magnésium. L'oxydation du fer est rapide et souvent complète avant l'atteinte du média. L'oxydation du manganèse dissous est moins rapide que celle du fer. La partie dissoute résiduelle de manganèse s'adsorbe sur le média, ce qui lui permet d'être en contact avec le chlore durant une plus longue période. Le pouvoir catalytique du média réduit également le temps requis pour l'oxydation du manganèse par rapport au temps observé en eau libre.

##### **Champs d'application**

Pour utiliser les médias granulaires à base d'oxyde de magnésium, les concentrations de fer et de manganèse doivent être inférieures à 10 mg/L et 1 mg/L respectivement.

##### **Critères de conception**

Pour les milieux filtrants d'oxyde de magnésium, les critères de conception sont les suivants :

- Vitesse de filtration admissible : 25 m/h à 37m/h
- Vitesse de lavage : 50 m/h
- Réservoirs de contact : 2 pour un temps total de rétention de 2 minutes

##### **Autres éléments de conception**

En plus des autres éléments de conception indiqués pour les filtres sur sable vert (section 8.5.1.3), les éléments suivants sont à considérer :

- Les données requises pour la conception sont les mêmes que pour les filtres sur sable vert (section 8.5.1.3) en ajoutant le pH de saturation de l'eau brute et le pH de l'eau oxydée;
- La capacité d'emmagasiner des hydroxydes formés dans le média filtrant est limitée (tout comme pour les autres procédés d'oxydation et de filtration) et des essais de traitabilité doivent obligatoirement être réalisés afin de confirmer le potentiel du système;
- En présence de sulfures d'hydrogène, des ions sulfites ( $\text{SO}_3^-$ ) sont injectés afin de forcer la transformation des polysulfures et du soufre particuliers en sulfates (pour réduire les goûts qu'induisent les polysulfures générés lors de l'oxydation du  $\text{H}_2\text{S}$ );
- Ces systèmes ne peuvent être utilisés lorsque des substances organiques précurseurs de THM sont présentes en quantité notable (réaliser des essais pour vérifier le potentiel de formation des THM en réseau);
- L'indice de Langelier de l'eau appliquée sur le média doit être maintenu entre -0,5 et 0 afin de réduire la vitesse de disparition du média qui a tendance à se dissoudre avec le temps;
- Un résiduel de l'ordre de 0,5 mg/L en chlore doit être maintenu dans l'effluent afin de satisfaire les performances du traitement;
- Des rétrolavages périodiques à l'eau potable doivent être effectués : (1) lorsque la perte de charge maximale est atteinte; (2) lorsqu'il se produit une crevaision du média; (3) après huit heures d'opération ou (4) avant l'arrêt des filtres. Le rétrolavage est rendu nécessaire pour les deux derniers points afin d'éviter l'agglomération du média en pain.

## **Fournisseurs**

Les technologies éprouvées pour les médias à base d'oxyde de magnésium sont *Electromedia* et *MABAREX*.

### **8.5.1.7 Filtration par membrane**

#### **Description du procédé**

La filtration par membrane est décrite de façon exhaustive à la section 9.10 du présent *Guide de conception*. Certaines informations relatives à l'enlèvement du fer et du manganèse par oxydation et filtration membranaire peuvent aussi être trouvées dans la section 9.10 du volume 2.

#### **Champs d'application**

La filtration membranaire appliquée ici survient après l'oxydation complète du fer et du manganèse. Contrairement au sable vert et au média conditionné qui peuvent adsorber les ions dissous pour les oxyder par la suite, les membranes réagissent mal au fer et au manganèse dissous qui se précipitent à leur surface. C'est pourquoi, l'oxydation des ions dissous doit être complétée avant la filtration membranaire. Dans ces conditions, l'eau brute peut contenir jusqu'à 10 mg/L de fer et 2 mg/L de manganèse et une fois l'oxydation et la filtration complétées, l'eau traitée contient moins de 0,02 mg/L de chacun des ions visés.

#### **Critères de conception**

Au moment de mettre à jour le *Guide de conception*, il n'y avait encore aucune technologie de filtration par membrane reconnue au Québec pour l'enlèvement du fer et du manganèse. Il n'est donc pas possible de déterminer des critères de conception spécifiques. Afin de vérifier si des technologies de filtration par membrane ont été reconnues pour l'enlèvement du fer et du manganèse par oxydation et filtration, il faut vérifier auprès du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

### **8.5.2 Par des procédés biologiques**

La déferrisation et démanganisation biologiques ont été développées en France il y a plus de 25 ans. Ce procédé permet, dans de nombreux cas, de pallier aux problèmes que les procédés conventionnels ne peuvent résoudre. On a constaté que de nombreuses bactéries qui se trouvent naturellement dans la nature sont susceptibles d'oxyder le fer et le manganèse en formant un précipité plus compact et moins colmatant que les procédés d'oxydation conventionnels.

#### **8.5.2.1 Description du procédé**

Certains types de bactéries, communément appelées ferrobactéries et manganobactéries, dans des conditions ambiantes appropriées (pH, température et oxygène) peuvent accélérer l'oxydation du Fe (II) et du Mn (II) par leur action catalytique pour accumuler ensuite les produits d'oxydation sous une forme beaucoup moins colmatante pour les filtres. Ces bactéries demeurent fixées au matériau filtrant dans le système, même après un lavage à contre-courant, ce qui permet au système de fonctionner continuellement durant une période indéfinie.

#### 8.5.2.2 Champs d'application

Ce procédé permet de traiter des concentrations de fer et de manganèse relativement élevées. Cependant, pour une application judicieuse de la déferrisation et de la démanganisation biologiques, il faut tenir compte de certains paramètres qui peuvent être défavorables au développement des bactéries responsables du traitement, c'est-à-dire des concentrations importantes d'inhibiteurs de croissance bactérienne, à savoir :

- Présence de  $H_2S$ ;
- Présence d'ammoniac;
- Présence de certains métaux lourds, comme le zinc;
- Présence de carbone organique total (COT);
- Conditions de pH et de potentiel d'oxydoréduction nécessitant un ajustement préalable.

#### 8.5.2.3 Critères de conception

Les critères de conception de la déferrisation et de la démanganisation biologiques sont similaires sauf en ce qui a trait aux conditions de pH optimal pour la croissance et l'activité des bactéries spécifiques (voir figure 8-1). Les principaux critères à respecter sont les suivants :

- pH de 5 à 7,5 pour la déferrisation et de 7,5 et 8,5 pour la démanganisation biologique;
- Vitesse de filtration de 15 m/h à 50 m/h, suivant les concentrations de Fe et de Mn dans l'eau brute;
- Épaisseur du milieu filtrant : 1200 mm à 2000 mm;
- Taille effective du biolite : 0,95 mm à 1,35 mm.

#### 8.5.2.4 Autres éléments de conception

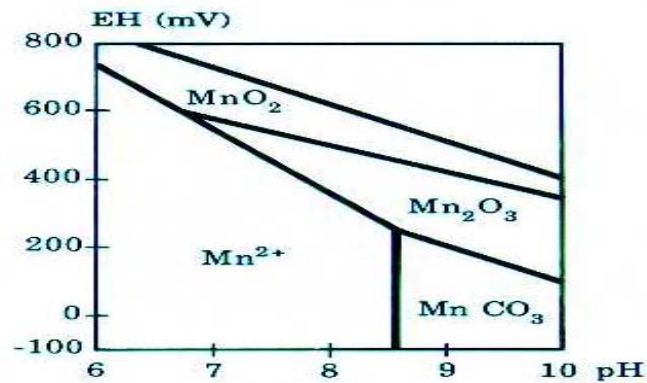
En plus des critères indiqués plus haut, les éléments suivants sont à considérer :

- Prévoir un système d'aération pour oxygéner l'eau;
- Prévoir un ensemble de lavage soit à l'eau brute, soit à l'eau traitée avec sa soufflante d'air de lavage;
- La vitesse d'eau de lavage est de 6 à 20 m/h (suivant la granulométrie du média) et celle de l'air de lavage de 50 à 60 m/h;
- Le principe de dimensionnement d'un procédé de déferrisation et/ou démanganisation biologique est basé sur les diagrammes de stabilité pH-oxydoréduction (voir figure 8-1).

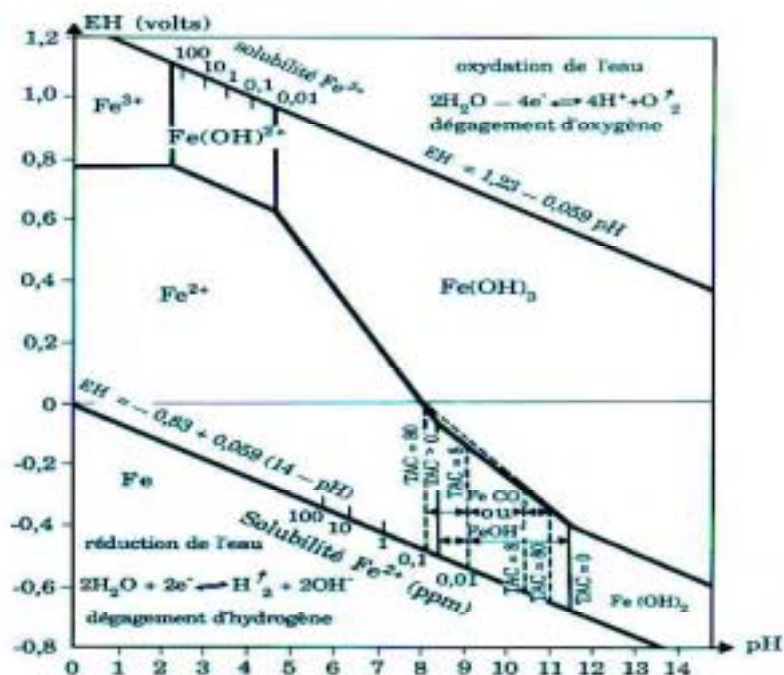
#### 8.5.2.5 Fournisseur

La seule technologie reconnue pour l'enlèvement du fer et du manganèse par un procédé biologique est le *Ferazur-Mangazur* (voir fiche technique du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable*).

Figure 8-1 : Diagrammes de stabilité du fer et du manganèse. Domaines d'existence respectifs des ferro et des manganobactéries.



a) Diagramme pH vs potentiel redox du manganèse



b) Diagramme pH vs potentiel redox du fer

### 8.5.3 Par séquestration

#### 8.5.3.1 Description du procédé

Ces procédés consistent non pas à retirer le fer et le manganèse de l'eau, mais à les enfermer dans une matrice stable par l'addition d'un réactif de complexation à base de silicate ou de produits phosphatés. Ce procédé maintient donc les ions dans un état soluble afin d'éviter

l'apparition de conditions esthétiques inacceptables. Pour des raisons évidentes, les séquestrants ne doivent pas être injectés en amont des procédés d'enlèvement du fer et du manganèse.

#### 8.5.3.2 Champs d'application

La séquestration ne peut se faire que si les métaux se trouvent sous forme dissoute. Il faut donc procéder à la séquestration avant l'introduction d'un oxydant quelconque (oxygène, chlore, etc.). Ces modes de contrôle des dépôts de composés ferriques sont appliqués lorsque les concentrations en fer sont relativement faibles, de l'ordre de 1 mg/L de fer. La séquestration du manganèse apporte très rarement des résultats satisfaisants et, le cas échéant, il faut limiter son application à une concentration inférieure à 0,1 mg/L.

Les produits chimiques utilisés sont des composés à base de phosphates ou de silicate de sodium. Le dosage des produits chimiques doit prendre en considération la demande en séquestrant exercée par d'autres composés de l'eau (dureté).

Ces séquestrants se détériorent avec le temps, ce qui produit une augmentation de couleur et de turbidité en raison de la précipitation des métaux libérés. Pour les systèmes de distribution possédant plusieurs jours de rétention, des dosages plus élevés peuvent être appliqués. On note également une certaine détérioration des séquestrants lors de leur séjour dans un chauffe-eau : le fer oxydé a tendance à s'y déposer sans toutefois générer de plaintes de la part des consommateurs.

#### 8.5.3.3 Critères de conception

##### **Les polyphosphates**

L'utilisation des polyphosphates comme agent de séquestration exige le maintien d'une concentration de chlore résiduel adéquate pour la protection du réseau. L'addition des polyphosphates provoque la formation d'un complexe dissous. L'effet de dispersion des polyphosphates peut aussi amener la remise en circulation des dépôts existants dans les conduites, provoquant ainsi une augmentation importante de la turbidité dans le réseau. Les principaux critères de conception sont les suivants :

- Dose de polyphosphate (par mg/L de Fe ou de Mn) : 2 mg/L de  $\text{PO}_4^{2-}$
- Dose maximale de polyphosphate : 10 mg/L de  $\text{PO}_4^{2-}$

##### **Les silicates**

Les silicates permettent de contrôler la formation « d'eau rouge » résultant de la précipitation du fer. Les silicates agissent par dispersion et doivent être rajoutés après oxydation avec du chlore afin de favoriser la formation de complexes chélatés. Les complexes formés avec le fer sont des colloïdes incolores mais ce n'est pas le cas avec le manganèse. Les principaux critères de conception sont les suivants :

- Dose minimale de silicate : 4 mg/L (optimale à 8 mg/L)
- Dose maximale de silicate : 10 mg/L

#### 8.5.3.4 Autres éléments de conception

##### **Les polyphosphates**

Voici d'autres éléments à considérer lors de l'utilisation des polyphosphates :

- La présence de dureté calcique élevée peut occasionner l'apparition d'un précipité blanchâtre de phosphate de calcium, ce qui augmente la turbidité de l'eau;
- Si l'eau possède un pH supérieur à 7,5 ou contient des oxydants tels que le chlore, le dosage des polyphosphates peut être doublé;
- Les polyphosphates peuvent se convertir en orthophosphates, entraînant la formation d'un précipité lorsqu'ils réagissent avec le fer. Cette transformation peut être retardée par l'ajout d'un sel de zinc;
- Les polyphosphates possèdent un caractère dispersant qui ameublissent les dépôts et provoque leur remise graduelle en suspension. Leur utilisation doit être accompagnée d'un programme de rinçage systématique du réseau de distribution;
- L'équipement d'analyse pour les orthophosphates doit être prévu ainsi qu'un appareil pour la digestion adéquate des polyphosphates en orthophosphates.

##### **Les silicates**

Voici d'autres éléments à considérer lors de l'utilisation des silicates :

- Au-delà d'un délai de 15 secondes entre l'injection du silicate et celui du chlore, l'efficacité de séquestration diminue rapidement;
- La diminution de la concentration d'injection de la solution en deçà de 5% de  $\text{SiO}_2$  doit également être évitée pour ne pas diminuer l'efficacité de la séquestration;
- Deux points d'application doivent être prévus : 5 secondes en amont de tout procédé d'aération ou d'oxydation et simultanément à l'ajout des oxydants;
- Les silicates de sodium doivent être utilisés en conformité avec leur approbation selon le Standard 60 de NSF International.

#### 8.5.4 *Par échange d'ions*

##### 8.5.4.1 Description du procédé

Le procédé de traitement par échange d'ions est décrit à la section 8.6.2.

##### 8.5.4.2 Champs d'application

À l'instar des autres ions, le fer et le manganèse peuvent être retenus sur des résines échangeuses d'ions. Par contre, l'eau à traiter doit être exempte d'oxygène dissous et d'oxydants et les ions de fer et de manganèse doivent être bivalents. En respectant ces conditions, l'échange d'ions peut être efficace pour l'enlèvement du fer et du manganèse jusqu'à des valeurs élevées dans l'eau brute ( $>10$  mg/L en fer et  $>2$  mg/L en manganèse). Par contre, le volume de résine nécessaire à l'échange d'ions fait en sorte que ce type de procédé est surtout intéressant pour les petits systèmes et qu'il est difficile de le mettre en application pour les municipalités.

##### 8.5.4.3 Critères de conception

En plus des critères de conception du procédé de traitement par échange d'ions décrits à la section 8.6.2, le concepteur doit porter une attention particulière au lavage. Le fer et le manganèse captés par la résine sont encore sous forme dissoute. Alors si l'eau de lavage contient un oxydant (chlore, oxygène ou autre), le fer et le manganèse peuvent précipiter dans la résine, la rendant à toute fin pratique inutile.

#### *8.5.5 Par précipitation à la chaux*

##### 8.5.5.1 Description du procédé

Le procédé de traitement par précipitation à la chaux est décrit à la section 8.6.1.

##### 8.5.5.2 Champs d'application

Le fer et le manganèse, sous forme dissoute dans l'eau brute, sont amenés à précipiter en ajoutant de la chaux qui vient modifier le pH de l'eau. Les ions de fer et de manganèse forment alors des précipités de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  et  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  respectivement. Ce procédé se combine bien avec l'adoucissement à la chaux.

##### 8.5.5.3 Critères de conception

Pour précipiter le fer et le manganèse par la chaux, il faut respecter les critères de conception suivants :

- |                                                |                                         |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| • pH minimal (voir figure 8-52) :              | 9,5 (entre 10,5 et 11 de façon usuelle) |
| • Dose de chaux (par mg/L de Fe ou de Mn) :    | 1 mg/L (CaO)                            |
| • Concentration de Fe et de Mn à l'eau brute : | maximum combiné de 4 mg/L               |

### **8.6 Adoucissement et enlèvement du baryum**

L'eau douce peut corroder les canalisations et certains métaux lourds comme le cuivre, le zinc, le plomb et le cadmium peuvent se retrouver dans l'eau du réseau de distribution. Dans les régions où l'eau est dure, les canalisations domestiques peuvent être colmatées par l'entartrage; les eaux dures entartrent également les ustensiles de cuisine et augmentent la consommation de savon. L'eau dure est donc à la fois un désagrément et un fardeau économique pour le consommateur. On prétend qu'une dureté comprise entre 80 et 100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  assure un équilibre acceptable entre la corrosion et l'entartrage.

Le baryum n'est pas un élément essentiel de l'alimentation humaine et l'absorption d'une quantité trop élevée de baryum, sur une base continue, peut provoquer des troubles circulatoires. C'est pourquoi la norme quant à la teneur dans l'eau potable de ce produit est fixée à 1 mg/L.

## 8.6.1 Par précipitation chimique

### 8.6.1.1 Description du procédé

L'objectif de ce type de traitement est d'éliminer par précipitation (en formant un composé insoluble) : (1) la dureté temporaire (liée au bicarbonate) à l'aide de la chaux; (2) la dureté permanente (liée aux sels d'acides forts) à l'aide d'une combinaison de chaux, de carbonate de sodium ou de soude caustique et (3) les ions métalliques indésirables comme le baryum ou le fer et le manganèse (voir section 8.5.5). Les principaux réactifs chimiques utilisés dans le procédé de précipitation sont (AWWA, 1999) :

- La chaux;
- Le carbonate de sodium avec ou sans chaux;
- La soude caustique.

### 8.6.1.2 Champs d'application

L'adoucissement par précipitation chimique permet de traiter des eaux excessivement dures sans ajout important d'ions de sodium dans l'eau. Il peut adoucir les eaux dont la dureté peut dépasser 500 mg/L en  $\text{CaCO}_3$ . Pour la précipitation chimique du baryum, il faut maintenir le pH entre 11 et 11,5 dans le décanteur afin de favoriser la précipitation maximale du carbonate de baryum.

### 8.6.1.3 Critères de conception

Les équipements requis pour la réalisation de ce traitement sont :

- Un mélange rapide : le bassin de mélange rapide doit avoir une rétention hydraulique de 2 min au débit de conception;
- Une décantation : un temps de rétention d'au moins une heure au débit de conception doit être prévu pour une bonne séparation (voir section 9.8).

À des fins de conception, les paramètres suivants doivent être documentés et suivis quotidiennement :

- |                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| • Couleur apparente :           | unité Pt/Co |
| • Silice :                      | mg/L        |
| • Salinité dissoute et totale : | mg/L        |

### 8.6.1.4 Autres éléments de conception

Les autres éléments de conception à considérer sont :

- La décantation est complétée par une filtration pour éliminer les floccs qui peuvent s'échapper du décanteur ainsi que pour réduire la turbidité dans l'eau traitée;
- Les boues produites auront une consistance variant de 5 à 30% (précipitation de l'alcalinité sous forme de carbonates et matières en suspension présentes dans l'eau à traiter);

- Les boues sont granuleuses et faciles à déshydrater;
- Des essais de traitabilité sont requis pour déterminer le ou les réactifs nécessaires au procédé, les doses requises et la vitesse de décantation des floccs formés.

## 8.6.2 Par échange d'ions

### 8.6.2.1 Description du procédé

Les résines échangeuses d'ions captent les ions présents dans l'eau brute (dans l'ordre : radium, baryum, cuivre, calcium, zinc, fer, magnésium, potassium, manganèse) pour les remplacer par du sodium. La qualité minérale de l'eau doit être considérée dans l'adoucissement par échangeurs d'ions, étant donné que ce procédé ne réduit pas les solides totaux présents, mais ne substitue que des ions sodium aux ions présents. Après un certain temps, les résines doivent être régénérées afin de les libérer des ions captés pour les remplacer par le sodium.

### 8.6.2.2 Champs d'application

Les échangeurs d'ions ne doivent pas être utilisés si la quantité de sodium présent à l'effluent de l'échangeur excède 200 mg/L. La présence de fer et de manganèse doit être surveillée avec attention (voir section 8.5.2). Une eau ayant une turbidité de 1 UTN et plus ne doit pas être appliquée directement aux résines. Les résines synthétiques à base de silicates doivent être utilisées pour des eaux dépourvues de fer et d'un pH supérieur à 8,4. Quand l'eau à adoucir contient du chlore résiduel, les résines devront être résistantes à l'action du chlore. Les résines à base phénolique ne doivent pas être utilisées.

Dans la pratique, l'adoucissement n'est pas appliqué à tout le débit d'eau à traiter. Afin d'obtenir une eau équilibrée, on mélange une partie de l'eau brute avec de l'eau adoucie. La proportion de l'eau brute qui subit l'adoucissement dépend de la dureté de l'eau brute : plus l'eau brute est dure, plus cette portion devient importante. Toutefois, il faut concevoir le système en fonction de l'enlèvement de baryum et non en fonction de l'enlèvement de la dureté, le cas échéant. La pratique qui consiste à mélanger de l'eau traitée avec de l'eau brute doit être documentée et analysée à fond avant d'être appliquée (voir section 4.3).

### 8.6.2.3 Critères de conception

Les principaux critères de conception sont les suivants :

- La capacité d'échange ne doit pas excéder 45 mg/L en  $\text{CaCO}_3$  de résine avec une régénération requise de 135 g de sel par 65 g de dureté éliminée;
- La hauteur du lit de résine doit être d'au moins 0,9 m et d'au plus 1,8 m;
- Dans les systèmes à co-courant, une hauteur totale de 30 cm constituée de plusieurs couches de gravier gradé d'une dimension de 0,3 à 2,5 cm est souhaitable pour supporter les résines d'échangeurs d'ions. Ce support n'est pas requis dans les adoucisseurs de type contre-courant à blocage mécanique ou les adoucisseurs munis de planchers à buselures;
- Le système de crépines posé au fond des unités doit permettre un drainage complet de l'unité de façon à s'assurer qu'aucune saumure ne sera présente après le rinçage;

- La hauteur d'eau au-dessus des résines doit être de 30 à 100% de la hauteur du média selon sa densité et la direction de l'écoulement de l'eau par rapport à la solution de régénération (co-courant, contre-courant);
- Le système d'écoulement doit assurer une parfaite répartition de l'eau à travers toute la masse de résine. Pour les adoucisseurs à co-courant, le taux d'adoucissement à travers une unité ne doit pas dépasser 17 m/h. Dans le cas d'unités d'adoucissement à contre-courant et à blocage mécanique, cette vitesse sera inférieure à 50 m/h (voir fiche des fournisseurs);

#### 8.6.2.4 Autres éléments de conception

Pour les échangeurs d'ions, il faut aussi considérer les éléments suivants :

- L'équipement nécessaire à la distribution de la saumure doit être prévu. La distribution doit être effectuée de manière uniforme sur toute la surface de l'adoucisseur (ascendant ou descendant). Les conduites de décharge de l'air, de l'eau de lavage et de rinçage doivent être installées de sorte qu'il n'y ait aucune possibilité de siphon. Un débitmètre, pour mesurer le débit de la saumure, doit être installé sur chaque adoucisseur;
- Une conduite de dérivation est requise pour chaque unité d'adoucissement. Un dispositif automatique de régulation ou de proportionnalité et une valve de sécurité doivent être prévus sur cette conduite;
- Les réservoirs d'emménagement de sel mouillé doivent être recouverts et équipés de regards ou d'écouilles à rebords surélevés munies d'un couvercle étanche;
- Ces réservoirs doivent avoir une capacité suffisante pour emmagasiner 1,5 fois la charge d'une livraison de sel pour permettre le remplissage avant que le réservoir ne soit vide;
- L'eau de remplissage du réservoir doit être distribuée sur toute la surface du bassin par des conduites dont l'entrée est aménagée au-dessus du niveau maximum de la saumure. Le sel doit être installé sur des couches de gravier de support au-dessous desquelles sera installé l'équipement adéquat de collecte de la solution de saumure. La provision de sel doit être prévue pour une période d'au moins un mois soit par un réservoir de sel mouillé ou par un emmagasinement à sec;
- Si des conduites de trop-plein sont prévues, elles doivent être en forme de bec de cygne à la sortie, avoir une décharge à l'air libre et être protégées par des grilles ou des clapets non corrosifs;
- Toutes les conduites et les matériaux en contact avec le sel doivent y être résistants. Les réservoirs d'emménagement de sel et les équipements de dosage doivent être isolés et protégés des autres aires opérationnelles;
- La nécessité d'un traitement complémentaire subséquent doit être déterminée. Une stabilisation pour le contrôle de la corrosion, dans certains cas, doit être prévue;
- Quand le sel fourni est de qualité inférieure ou que la manipulation soulève des doutes, une désinfection de la saumure ou de l'eau adoucie est requise;
- Des prises d'échantillonnage doivent être prévues pour la collecte d'échantillons représentatifs d'analyse bactériologique et physico-chimique de l'eau;
- Des essais de traitabilité sont utiles pour déterminer la performance du système, établir les caractéristiques de l'eau traitée avant et après le mélange selon le cas, déterminer les caractéristiques du rejet en vue de son traitement et vérifier les conditions d'opération.

### 8.6.3 Par membrane

#### 8.6.3.1 Description du procédé

La filtration par membrane est décrite aux sections 9.10 des volumes 1 et 2.

#### 8.6.3.2 Champs d'application

La filtration membranaire est une excellente façon d'adoucir l'eau. Les membranes de NF permettent une séparation élevée des ions divalents (calcium et magnésium dans le cas qui nous intéresse) tandis que les membranes de NUF ne réalisent qu'une séparation plus faible de ces ions. Il est courant de voir un système de NF ne traiter qu'une partie de l'eau et réduire ainsi considérablement la dureté. L'eau filtrée mélangée avec l'eau brute permet alors d'obtenir une dureté plus acceptable. La proportion filtrée dépend de la dureté de l'eau brute.

D'un autre côté, l'enlèvement du baryum peut représenter un problème lorsque des membranes sont utilisées. Tout comme le fer et le manganèse, le baryum peut précipiter à la surface des membranes, provoquant un colmatage important. Il faut donc utiliser un séquestrant retardant la précipitation du baryum avant la filtration membranaire.

#### 8.6.3.3 Critères de conception

Au moment de mettre à jour le *Guide de conception*, il n'y avait encore aucune technologie de filtration par membrane reconnue au Québec pour l'adoucissement et l'enlèvement du baryum. Il n'est donc pas possible de déterminer des critères de conception spécifiques. Afin de vérifier si des technologies de filtration par membrane ont été reconnues pour l'adoucissement et l'enlèvement du baryum, il faut se renseigner auprès du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

## 8.7 Enlèvement des nitrates

La présence de nitrates dans l'eau potable peut avoir un impact sur la santé des nourrissons de moins de trois mois nourris au biberon et, dans une moindre mesure, sur les adultes consommant de l'eau potable contenant une quantité appréciable de nitrates. C'est pourquoi la norme quant à la teneur dans l'eau potable de ce produit a été fixée à 10 mg/L.

### 8.7.1 Par échangeurs d'ions

#### 8.7.1.1 Description du procédé

Il existe des résines anioniques qui ont une affinité sélective pour les ions nitrates. Toutefois, elles ne sont pas spécifiques au seul ion nitrate et la présence d'autres anions influence sa sélectivité (sulfates, chlorures, bicarbonates, etc.). Les résines anioniques remplacent les ions nitrates par des ions chlorures.

#### 8.7.1.2 Champs d'application

L'échange d'ions est le moyen le plus efficace et le plus économique pour l'enlèvement des nitrates. La capacité de la résine et la période d'intervalle entre deux régénérations dépendent de la qualité de l'eau à traiter, plus spécifiquement de la quantité de nitrates à enlever, de la quantité de chlorures déjà présents dans l'eau brute et de la présence de sulfates qui ont une affinité plus grande que les nitrates avec les résines anioniques. La section 8.6.2 donne également certaines indications sur l'utilisation des échangeurs d'ions.

#### 8.7.1.3 Critères de conception

Les principaux critères de conception sont les suivants :

- La vitesse de filtration est de 5 à 40 m<sup>3</sup>/h d'eau par m<sup>3</sup> de résine;
- L'épaisseur de média dans le filtre est d'au minimum 700 mm et inférieure à 1,8 m;
- La régénération peut se faire soit à co-courant, soit à contre-courant. À la fin de la régénération, la résine doit être bien rincée à raison de 10 à 15 volumes d'eau par volume de résine;
- La régénération se fait au moyen d'une solution de chlorure de sodium (NaCl) à une concentration de 5 à 10% à raison de 125 à 250 g de NaCl par litre de résine.

#### 8.7.1.4 Données requises pour la conception

Les paramètres qui suivent s'ajoutent à ceux prévus au tableau 6.2 :

- Salinité totale            mg/L
- H<sub>2</sub>S                        mg/L H<sub>2</sub>S
- Sulfates                   mg/L SO<sub>4</sub>

### 8.7.2 Par membranes

#### 8.7.2.1 Description du procédé

La filtration par membrane est décrite aux sections 9.10 des volumes 1 et 2.

#### 8.7.2.2 Champs d'application

L'enlèvement des nitrates par filtration membranaire n'est possible que par OI. Le taux d'enlèvement des nitrates par OI est supérieur à 90%, ce qui est similaire à l'enlèvement d'autres anions tels que les sulfates et les chlorures.

#### 8.7.2.3 Critères de conception

Au moment de mettre à jour le *Guide de conception*, il n'y avait encore aucune technologie de filtration par membrane reconnue au Québec pour l'enlèvement des nitrates. Il n'est donc pas possible de déterminer des critères de conception spécifiques. Afin de vérifier si des technologies

de filtration par membrane ont été reconnues pour l'enlèvement des nitrates, il faut se renseigner auprès du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

### 8.7.3 Par procédés biologiques

#### 8.7.3.1 Description du procédé

La dénitrification biologique des nitrates demande l'utilisation de micro-organismes particuliers qui peuvent réduire les nitrates en azote gazeux. Ces organismes hétérotrophes exigent la présence d'une source d'énergie organique et, étant donné que le carbone organique se trouve souvent en faible quantité dans les eaux souterraines, il est nécessaire d'ajouter une base organique dans l'eau à traiter (éthanol, méthanol ou acide acétique). Un ajout de phosphate peut aussi être nécessaire.

#### 8.7.3.2 Champs d'application

L'enlèvement biologique des nitrates convient bien au traitement des eaux usées et son utilisation pour le traitement de l'eau potable s'est développée surtout en Europe. L'ajout d'une étape d'aération nécessaire à l'évacuation de l'azote gazeux, l'ajout d'une source de carbone dans l'eau brute, la nécessité de désinfecter due à la présence des micro-organismes et le risque potentiel de créer ainsi des sous-produits de désinfection sont autant d'éléments qui freinent le développement de ce procédé. Il faut de plus éliminer le surplus de carbone organique à l'effluent des filtres. Habituellement, il faut prévoir un filtre à charbon actif à cette fin.

#### 8.7.3.3 Critères de conception

Au moment de mettre à jour le *Guide de conception*, il n'y avait encore aucune technologie de traitement biologique des nitrates reconnue au Québec. Il n'est donc pas possible de déterminer des critères de conception spécifiques. Afin de vérifier si des technologies de traitement biologique des nitrates ont été reconnues, il faut se renseigner auprès du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

## 8.8 Enlèvement des sulfures

Des concentrations excessives de sulfure donnent à l'eau potable un goût et une odeur désagréables (œufs pourris). Bien que l'ingestion orale de grandes quantités de sulfure puisse avoir des effets toxiques pour l'être humain, il est peu probable qu'une personne puisse consommer une dose nuisible de sulfure d'hydrogène en raison du goût et de l'odeur désagréables qu'il donne à l'eau potable. De plus, ce composé est à l'origine de sévères problèmes de corrosion dans les réseaux de distribution. On estime que le seuil du goût et de l'odeur du sulfure d'hydrogène dans les solutions aqueuses varie de 0,05 à 0,104 mg/L. En conséquence, on a fixé pour le sulfure (sous forme de sulfure d'hydrogène) dans l'eau potable un objectif de qualité esthétique ou organoleptique de  $\leq 0,05$  mg/L.

Pour le dimensionnement d'un système de désulfuration, les données suivantes seront nécessaires, en plus des paramètres prévus au tableau 6.2.

- Potentiel redox (Eh) mV
- Oxygène dissous mg/L
- Hydrogène sulfuré mg/L
- Soufre total mg/L

### 8.8.1 Par aération

#### 8.8.1.1 Description

Il s'agit d'une désorption du H<sub>2</sub>S dissous dans l'eau. La densité de ce gaz à 0°C et à pression atmosphérique est de 1,54 g/L et sa constante de Henry, en fonction de la température, est de :

| Température °C        | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| MH X 10 <sup>-2</sup> | 2,68 | 3,15 | 3,67 | 4,23 | 4,83 | 5,45 | 6,09 |

Les équipements utilisés sont des tours d'aération soit par masse de contact ou plateaux, soit par cascades ou encore par pulvérisation. Le rendement d'élimination, sur une tour calculée en désorption, varie de 95 à 99%. En acidifiant un peu l'eau à traiter (pH de 6 à 6,2), on améliore nettement la désorption. Par contre, dans les eaux souterraines contenant beaucoup de gaz carbonique, la désorption du CO<sub>2</sub> provoque la hausse du pH et diminue d'autant l'élimination du H<sub>2</sub>S qui finit par s'oxyder dans la réserve grâce à l'oxygène de l'air. Les équipements d'élimination du H<sub>2</sub>S doivent être confinés dans une enceinte hermétique munie d'un évent à l'atmosphère et équipée d'un système de ventilation approprié afin de protéger le personnel d'opération et d'entretien des équipements. Un détecteur du H<sub>2</sub>S dans l'air doit être aussi prévu dans l'enceinte de l'équipement.

D'autres informations sur l'aération sont fournies à la section 8.5.1.1.

### 8.8.2 Par précipitation

#### 8.8.2.1 Description

Les sels de fer (sulfate ferreux, sulfate ferrique ou chlorure ferrique) permettent de former un précipité de sulfure de fer. Cependant, le floc formé s'épaissit et se déshydrate mal. Les doses sont les suivantes :

1 mg de S<sup>2-</sup> précipite avec 9 mg de FeSO<sub>4</sub>.  
 7 H<sub>2</sub>O ou 5 mg de FeCl<sub>3</sub> pour produire 2,8 mg de FeS précipité.

Des essais de traitabilité devront être réalisés afin de définir les paramètres de dimensionnement. Une aération préalable de l'eau à traiter peut favoriser la réaction chimique de formation du floc. Les équipements pouvant être utilisés sont soit des décanteurs, soit des flottateurs.

### 8.8.3 *Par adsorption sur charbon actif catalytique*

#### 8.8.3.1 Description

Il existe sur le marché des charbons actifs qui sont imprégnés soit avec une solution alcaline, soit avec une solution de sel métallique (argent). L'action catalytique du charbon imprégné permet de retenir les sulfures. Ce type de charbon s'utilise en général dans des filtres sous pression.

L'eau à traiter doit contenir une concentration minimale d'oxygène dissous de 4 mg/L, ce qui oblige donc à prévoir une pré-aération. Le taux de filtration est d'environ 25 volumes d'eau par volume de matériau filtrant à l'heure.

### 8.8.4 *Par filtres à sable vert ou à média spécifique*

#### 8.8.4.1 Description

Une alternative aux procédés précédemment décrits consiste à utiliser un filtre à sable vert (comme utilisé en déferrisation/démanganisation, voir section 8.5.1.3) ou des filtres à médias spécifiques développés par différents fabricants. Ces filtres doivent être régénérés périodiquement. Dans le cas du sable vert, il faut compter une dose triple de celle requise pour retenir le fer, soit 3 mg de  $\text{KMnO}_4$  par mg de  $\text{S}^{2-}$ .

Des essais de traitabilité préalables permettront d'ajuster le paramètre de dimensionnement.

### 8.8.5 *Par oxydation et filtration*

#### 8.8.5.1 Description

Le chlore, le permanganate de potassium ou l'ozone sont des oxydants forts qui peuvent être utilisés pour l'élimination du  $\text{H}_2\text{S}$ . Toutefois, plusieurs paramètres influencent leur utilisation, dont le pH, la température et l'oxygène dissous dans l'eau. La section 8.1 fournit des informations supplémentaires sur l'oxydation et la filtration.

Des essais de traitabilité permettront de cerner les paramètres de dimensionnement adéquats comme le dosage et le temps de contact.

## 8.9 **Enlèvement de l'arsenic**

La réglementation concernant l'arsenic a beaucoup été discutée au cours des dernières années. Cette situation a été engendrée par l'introduction récente d'une nouvelle norme américaine fixant la concentration maximale à 10  $\mu\text{g/L}$ , norme qui entrera en vigueur en janvier 2006. En 2001, la nouvelle administration américaine a émis des réserves quant à son adoption et a par conséquent demandé à ce que des évaluations scientifiques additionnelles soient effectuées. Le résultat de ce processus a renforcé la position de l'EPA quant à la valeur de 10  $\mu\text{g/L}$ .

L'arsenic est un produit reconnu pour être cancérigène pour les humains. Au Québec, la norme actuelle est de 25 µg/L, ce qui correspond, pour une personne consommant quotidiennement 1.5 litre d'eau potable contenant plus de 25 µg/L, à un risque d'environ un sur un million de développer un cancer au cours de sa vie. Par ailleurs, si un système doit être conçu pour l'élimination de l'arsenic, il devrait viser l'élimination la plus complète possible de ce produit. Les meilleurs procédés disponibles sont décrits dans les sections suivantes.

### *8.9.1 Par oxydation et filtration*

#### 8.9.1.1 Description

La forme oxydée (arséniate, As V) est plus facile à précipiter. Il faut donc oxyder la forme réduite (arsénite, As III) et, pour ce faire, plusieurs oxydants sont utilisables tels que le chlore, l'ozone et le permanganate de potassium. Une fois oxydé, l'arséniate pourra être éliminé par précipitation. Des essais de laboratoire permettront de définir la dose optimale d'oxydant ainsi que le temps de résidence dans le réacteur d'oxydation.

L'élimination de l'arsenic par les procédés d'oxydation est réalisée par adsorption ou par co-précipitation avec les oxydes de fer et de manganèse (voir section 8.5.1). Les filtres à sable vert permettent aussi un abattement de la concentration d'arsenic dans les eaux à traiter. La capacité d'adsorption de l'arsenic par le sable vert est inférieure à celle du fer ou du manganèse. Par contre, pour obtenir des taux d'enlèvement élevés, le ratio fer/arsenic doit être de 20 pour 1. Un ajout de sel de fer permet une meilleure rétention de l'arsenic par le média filtrant. La régénération doit se faire en continu, tel que mentionné à la section 8.5.1.3. Des essais pilotes sont nécessaires afin d'optimiser les paramètres de dimensionnement.

### *8.9.2 Par coagulation, floculation et filtration*

#### 8.9.2.1 Description

Une fois oxydé, l'arséniate peut être éliminé par précipitation et décantation en utilisant un sel d'aluminium ou de fer comme coagulant, ce dernier étant plus performant et pouvant atteindre des rendements de 80 à 90% d'enlèvement. Le taux de décantation devra être inférieur à 2 m/h.

Des essais de traitabilité permettront d'ajuster la dose de coagulant à utiliser. D'autres informations sur les étapes de coagulation, floculation et filtration sont fournies au chapitre 9.

### *8.9.3 Par adoucissement à la chaux ou à la magnésie*

#### 8.9.3.1 Description

La co-précipitation de l'arsenic avec la chaux, à un pH supérieur à 10,5, donne un rendement d'élimination supérieur à 95%. La magnésie [Mg(OH)<sub>2</sub>] donne aussi d'excellents résultats. Les décanteurs utilisés sont similaires à ceux décrits à la section 9.8.1. Le traitement doit être complété d'une filtration sur filtre bicouche.

#### 8.9.4 *Par adsorption sur alumine activée*

##### 8.9.4.1 Description

L'alumine activée peut être utilisée en lits filtrants pour éliminer l'arsenic (III) ainsi que le fluor, le sélénium, la silice et les substances humiques. Elle est composée de grains de 0,3 à 0,6 mm de diamètre de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtenus par déshydratation de  $\text{Al}_2(\text{OH})_3$  à faibles températures (300 à 600°C). Sa surface spécifique varie de 150 et 400  $\text{g/m}^2$ . L'alumine activée en lits peut traiter de l'eau souterraine contenant des concentrations d'arsenic d'environ 100  $\mu\text{g/L}$ . Le pH optimum étant de 5 ou 6, il est souvent nécessaire d'abaisser le pH de l'eau brute et/ou de l'alumine activée. En outre, l'alumine activée éliminerait aussi l'arsenic (III), mais dans une moindre proportion. L'oxydation de l'arsenic (III) en arsenic (V) permettrait donc toujours d'améliorer l'élimination de l'arsenic. Enfin, même si la présence de sulfates diminue le rendement d'élimination, des essais pilotes sont nécessaires afin d'optimiser le taux de filtration et le cycle entre les régénérations.

#### 8.9.5 *Par échange d'ions*

##### 8.9.5.1 Description

L'enlèvement de l'arsenic par échange d'ions avec une résine anionique est un choix judicieux, surtout lorsque la teneur en matières dissoutes est inférieure à 500  $\text{mg/L}$  et que la teneur en sulfate est inférieure à 150  $\text{mg/L}$ . Le procédé de traitement par échange d'ions est décrit à la section 8.6.2.

### 8.10 **Enlèvement du fluorure**

La présence de fluorure dans l'eau potable en trop grande quantité peut avoir des effets nocifs sur le développement et la santé des os. C'est pourquoi la recommandation canadienne concernant ce produit se situe à 1,5  $\text{mg/L}$  et Santé Canada recommande que l'ajout de fluorure dans l'eau potable ne dépasse pas 1,0  $\text{mg/L}$ . Par contre, lorsque l'eau brute contient plus de 1,5  $\text{mg/L}$  de fluorure, on doit chercher à l'éliminer.

#### 8.10.1 *Par adsorption sur alumine activée*

##### 8.10.1.1 Description

Pour ce type d'application, l'alumine activée est un produit granulaire de 0,3 mm utilisé en filtration. La vitesse de filtration sera fonction de la concentration de fluor à éliminer, à raison de 6 à 20  $\text{m/h}$  pour des concentrations de 15 à 5  $\text{mg/L}$ , respectivement. L'épaisseur de la couche de média sera de 1,5 m.

Le produit épuisé sera régénéré à la soude caustique à 10  $\text{g/L}$  à une vitesse de 5  $\text{m/h}$ . Les eaux de régénération devront être récupérées séparément pour un traitement ultérieur par neutralisation.

### *8.10.2 Par adsorption sur phosphate tricalcique*

#### 8.10.2.1 Description

Ce procédé a été utilisé aux États-Unis dans le passé. Il s'agit d'un échange d'ions entre l'ion fluorure et l'ion carbonate ou hydroxyde de l'apatite ou de l'hydroxyapatite. Les produits utilisés sont soit naturels (poudre ou cendre d'os) ou synthétiques. Le matériau granulaire de 0,3 à 0,6 mm est confiné dans un filtre (atmosphérique ou sous pression) d'une hauteur d'au moins 1,4 m à un taux de filtration de 5 à 8 m/h. Ce procédé est plus coûteux et moins efficace que le traitement par alumine activée.

Le matériau sera régénéré périodiquement avec de la soude caustique et rincé à l'acide. Les eaux de régénération devront être récupérées puis traitées séparément.

### *8.10.3 Par précipitation à la chaux*

#### 8.10.3.1 Description

Par l'addition d'une dose importante de chaux, il est possible de réduire la teneur en fluorure de l'eau brute. Par contre, l'ajout de magnésie  $[Mg(OH)_2]$  améliore le rendement.

L'ajout d'un coagulant peut s'avérer nécessaire pour clarifier l'eau traitée. Dans ce type de procédé, les doses de réactifs sont importantes. À titre d'exemple seulement, on doit précipiter 130 mg de magnésium pour éliminer de 4 à 5 mg de fluorure. Le traitement peut se réaliser dans des décanteurs, tels que ceux décrits à la section 9.5.1. Le traitement doit être complété par une filtration.

## **8.11 Enlèvement des chlorures (dessalement)**

L'effet des chlorures est strictement esthétique et pratique. En quantité élevée, il donne un goût désagréable à l'eau et peut provoquer un accroissement de la corrosion des conduites. C'est pourquoi la recommandation canadienne concernant ce produit est de 250 mg/L.

Le seul traitement efficace pour l'enlèvement des chlorures est l'osmose inverse et l'enlèvement optimal est obtenu en ajoutant du charbon actif granulaire avant les membranes. Plusieurs systèmes de dessalement de l'eau de mer sont installés un peu partout dans le monde. Au Québec, l'utilisation de l'OI pour éliminer les chlorures peut se présenter dans un cas d'eau souterraine saumâtre.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 9

|            |                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>9.</b>  | <b>APPROVISIONNEMENT EN EAUX DE SURFACE ET TRAITEMENT .....</b> |
| <b>9.1</b> | <b>Contexte .....</b>                                           |
| 9.1.1      | <i>Procédés et technologies .....</i>                           |
| 9.1.2      | <i>Essais de traitabilité .....</i>                             |
| <b>9.2</b> | <b>Recherche en eau de surface et traitement .....</b>          |
| <b>9.3</b> | <b>Système d’approvisionnement en eau de surface .....</b>      |
| 9.3.1      | <i>Généralités .....</i>                                        |
| 9.3.2      | <i>Législations, règlements et politiques connexes .....</i>    |
| 9.3.3      | <i>Capacité .....</i>                                           |
| 9.3.4      | <i>Qualité .....</i>                                            |
| 9.3.4.1    | <i>Mesures préventives .....</i>                                |
| 9.3.4.2    | <i>Critères de qualité .....</i>                                |
| 9.3.5      | <i>Aménagement des infrastructures .....</i>                    |
| 9.3.5.1    | <i>Localisation de la prise d’eau .....</i>                     |
| 9.3.5.2    | <i>Ouvrage d’entrée .....</i>                                   |
| 9.3.5.3    | <i>Conduite d’adduction .....</i>                               |
| 9.3.5.4    | <i>Regard de rive ou poste de pompage d’eau brute .....</i>     |
| 9.3.5.5    | <i>Tamis fins .....</i>                                         |
| 9.3.5.6    | <i>Système de mesure de débit .....</i>                         |
| <b>9.4</b> | <b>Réservoirs d’emmagasiner .....</b>                           |
| 9.4.1      | <i>Éléments de conception .....</i>                             |
| 9.4.2      | <i>Préparation de l’emplacement .....</i>                       |
| <b>9.5</b> | <b>Dégrillage et microtamisage .....</b>                        |
| 9.5.1      | <i>Dégrillage .....</i>                                         |
| 9.5.2      | <i>Microtamisage .....</i>                                      |
| <b>9.6</b> | <b>Coagulation .....</b>                                        |
| 9.6.1      | <i>Description .....</i>                                        |
| 9.6.2      | <i>Conditions d’application .....</i>                           |
| 9.6.3      | <i>Critères de conception .....</i>                             |
| 9.6.3.1    | <i>Bassin de coagulation .....</i>                              |
| 9.6.3.2    | <i>Mélangeur statique .....</i>                                 |
| 9.6.4      | <i>Autres éléments importants de conception .....</i>           |
| <b>9.7</b> | <b>Floculation .....</b>                                        |
| 9.7.1      | <i>Description .....</i>                                        |
| 9.7.2      | <i>Conditions d’application .....</i>                           |
| 9.7.3      | <i>Critères de conception .....</i>                             |
| 9.7.4      | <i>Autres éléments de conception .....</i>                      |

|                                                                                          |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>9.8 Clarification</b>                                                                 | ..... |
| 9.8.1 <i>Décantation</i>                                                                 | ..... |
| 9.8.1.1 Champs d'application                                                             | ..... |
| 9.8.1.2 Décantation à lit de boues pulsé                                                 | ..... |
| 9.8.1.3 Décantation à recirculation interne de boues                                     | ..... |
| 9.8.1.4 Décantation lamellaire à recirculation externe de boues et à épaissement intégré | ..... |
| 9.8.1.5 Décantation lamellaire à floc lesté                                              | ..... |
| 9.8.1.6 Autres éléments importants de conception pour la décantation                     | ..... |
| 9.8.2 <i>Flottation à air dissous</i>                                                    | ..... |
| 9.8.3 <i>Filtre clarificateur</i>                                                        | ..... |
| <b>9.9 Filtration</b>                                                                    | ..... |
| 9.9.1 <i>Filtration rapide à lavage intermittent</i>                                     | ..... |
| 9.9.2 <i>Filtration à lavage en continu</i>                                              | ..... |
| 9.9.3 <i>Filtration sur charbon actif biologique</i>                                     | ..... |
| 9.9.4 <i>Filtration sur précouche (terre à diatomée)</i>                                 | ..... |
| 9.9.5 <i>Filtration lente sur sable</i>                                                  | ..... |
| 9.9.6 <i>Filtration sur charbon actif granulaire</i>                                     | ..... |
| 9.9.7 <i>Filtration directe</i>                                                          | ..... |
| 9.9.8 <i>Filtration sous pression</i>                                                    | ..... |
| <b>9.10 Filtration membranaire</b>                                                       | ..... |
| 9.10.1 <i>Description</i>                                                                | ..... |
| 9.10.1.1 Classification des membranes                                                    | ..... |
| 9.10.1.2 Perméabilité                                                                    | ..... |
| 9.10.1.3 Mise en œuvre des membranes                                                     | ..... |
| 9.10.2 <i>Champs d'application</i>                                                       | ..... |
| 9.10.3 <i>Critères de conception</i>                                                     | ..... |
| 9.10.3.1 Bases de conception                                                             | ..... |
| 9.10.3.2 Données générales requises pour la conception                                   | ..... |
| 9.10.4 <i>Autres éléments de conception</i>                                              | ..... |
| 9.10.4.1 Chaînes de traitement                                                           | ..... |
| 9.10.4.2 Limites d'utilisation                                                           | ..... |
| 9.10.4.3 Rejets du procédé                                                               | ..... |

## 9. APPROVISIONNEMENT EN EAUX DE SURFACE ET TRAITEMENT

### 9.1 Contexte

Ce chapitre présente les informations concernant l'approvisionnement et le traitement des eaux de surface. Les sections 9.2 à 9.4 s'attardent à la recherche ayant trait à l'eau de surface, la conception des prises d'eau et la conception des réservoirs d'emménagement d'eaux brutes. Les sections 9-5 à 9-9 décrivent différentes étapes et procédés utilisés pour le traitement de l'eau potable. La section 9.10 est réservée à la membranaire.

Le tableau 9.1 ci-après propose une grille de sélection des procédés.

#### 9.1.1 Procédés et technologies

Plusieurs procédés ont été retenus en vue d'offrir un choix multiple au concepteur. Certains procédés sont présentés dans le *Guide* même s'ils n'ont pas encore d'application connue au Québec, ni de technologie éprouvée. Ils ont été retenus parce qu'ils possèdent un potentiel d'application pour le Québec et parce qu'ils ont obtenu des résultats intéressants lors de mises à l'essai à l'extérieur du Québec. Le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* est mandaté pour procéder à la reconnaissance et à la détermination des critères de conception de ces technologies. Il est donc recommandé de consulter régulièrement le site Internet du MENV où l'on retrouve les fiches techniques des technologies évaluées.

([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)).

#### 9.1.2 Essais de traitabilité

Des essais de traitabilité pour les projets de production d'eau potable provenant d'une source d'eau de surface peuvent être requis pour établir la conception finale d'une technologie ou d'une filière de traitement déjà éprouvée. Ces essais visent à :

- établir le degré d'efficacité du système en relation avec certains critères de conception;
- déterminer le niveau de prétraitement ou les équipements périphériques requis;
- vérifier l'incidence de certains contaminants sur la qualité finale de l'eau produite et la nécessité d'un traitement d'appoint;
- définir les paramètres d'opération, le type et la quantité des produits chimiques à utiliser;
- caractériser les boues ainsi que les eaux résiduaires afin de définir les modes appropriés permettant d'en disposer.

Le concepteur a plusieurs décisions à prendre : réaliser ou non de tels essais, l'échéancier, les modalités, le protocole de ces essais ainsi que leur suivi. Le MAMM et le MENV peuvent être consultés et ils le seront préférentiellement dans les cas où les essais influencent de façon décisive le cheminement de la conception. En général, les essais peuvent durer de une semaine à trois mois (selon la technologie) et couvrir la période la plus défavorable de l'année pour ce qui est de la qualité de l'eau brute.

Les essais de traitabilité ne sont pas des essais pilotes. Les essais pilote concernent les technologies (ou des filières utilisant des technologies) non éprouvée et/ou en validation. Dans certains cas impliquant des technologies déjà éprouvées, des essais pilotes peuvent être requis pour des applications particulières, notamment lorsque la valeur des paramètres de l'eau à traiter excède les limites d'application acceptées de la technologie ou pour des critères de conception dépassant les limites usuelles reconnues de la technologie. Le protocole et le suivi de ces essais sont assujettis aux exigences du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable*.

**Tableau 9-1 : Application des procédés de traitement pour les eaux de surface**

| QUALITÉ À L'EAU BRUTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | < 3 mg/l de COT et < 80 ug/l de THM <sup>8</sup> |                    |                        |                    |                     |                                                                                                          | > 3 mg/l en COT et > 80 ug/l de THM <sup>8</sup> |                    |                        |                    |                     |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | turbidité < 5 utn                                |                    | turbidité de 5 à X utn |                    | turbidité > X utn   |                                                                                                          | turbidité < 5 utn                                |                    | turbidité de 5 à X utn |                    | turbidité > X utn   |                    |
| FILIÈRES DE TRAITEMENT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1000 pers. et moins                              | plus de 1000 pers. | 1000 pers. et moins    | plus de 1000 pers. | 1000 pers. et moins | plus de 1000 pers.                                                                                       | 1000 pers. et moins                              | plus de 1000 pers. | 1000 pers. et moins    | plus de 1000 pers. | 1000 pers. et moins | plus de 1000 pers. |
| Filtration lente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | A                                                | B                  | A+X <sup>1</sup>       | B+X <sup>1</sup>   | n/a                 | n/a                                                                                                      | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | n/a                |
| Préozonation et Filtration lente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | n/a                                                                                                      | A                                                | B                  | A+X <sup>1</sup>       | B+X <sup>1</sup>   | n/a                 | n/a                |
| Filtration sur précouche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | B                                                | B                  | B+X <sup>2</sup>       | B+X <sup>2</sup>   | n/a                 | n/a                                                                                                      | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | n/a                |
| Traitement classique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | n/a                                              | n/a                | n/a                    | B                  | n/a                 | A                                                                                                        | n/a                                              | A                  | n/a                    | A                  | n/a                 | A                  |
| Traitement classique et affinage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | n/a                                                                                                      | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | A <sup>5</sup>     |
| Filtration directe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | B                                                | B                  | B+X <sup>2</sup>       | B+X <sup>2</sup>   | n/a                 | n/a                                                                                                      | B                                                | B                  | B+X <sup>2</sup>       | B+X <sup>2</sup>   | n/a                 | n/a                |
| Filtration Membranaire NF <sup>6*</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | B                                                | B                  | B                      | B                  | B                   | B                                                                                                        | B                                                | B                  | B                      | B                  | A                   | B                  |
| Filtration Membranaire UF <sup>7*</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | B                                                | B                  | B                      | B                  | B                   | B                                                                                                        | B                                                | B                  | B                      | B                  | B                   | B                  |
| Filtration Membranaire MF <sup>6*</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | B                                                | A                  | B                      | A                  | A                   | B                                                                                                        | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | n/a                |
| Coagulation+Filtration Membranaire MF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | n/a                                              | n/a                | n/a                    | n/a                | n/a                 | n/a                                                                                                      | B                                                | B                  | B                      | B                  | B                   | B                  |
| Désinfection pour l'enlèvement de 3 log de Giardia et 4 log de virus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |                    |                        |                    |                     | voir Tableau 10-3                                                                                        |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |
| <b>note<sup>5</sup></b> :cette filière inclut un traitement additionnel (tel que la filtration biologique sur CAG) après les filtres à sable dans les cas d'eau brute contenant des COT > 5 mg/l.                                                                                                                                                                                                                                            |                                                  |                    |                        |                    |                     | <b>A</b> : solution à prioriser                                                                          |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |
| <b>note<sup>6</sup></b> :en fonction de la qualité de l'eau brute il faudra prévoir un prétraitement approprié.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                  |                    |                        |                    |                     | <b>B</b> : solution alternative à considérer lors de l'étude technico-économique                         |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |
| <b>note<sup>7</sup></b> :dépendant du seuil de coupure et du type de la membrane UF il faudra prévoir le prétraitement et le niveau désinfection appropriée.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                  |                    |                        |                    |                     | <b>n/a</b> : solution non acceptable                                                                     |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |
| <b>note<sup>8</sup></b> :Le critère de THM s'applique à l'eau traitée après une désinfection au chlore aux conditions normales d'opération du réseau de distribution.                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                  |                    |                        |                    |                     | <b>X</b> : Cette valeur représente la valeur limite en turbidité en fonction de la filière de traitement |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |
| <b>note</b> : toutes les filières de traitement impliquant la filtration membranaire devront être soumises au Comité des technologies en eau potable                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |                    |                        |                    |                     | <b>X<sup>1</sup></b> : turbidité maximum de 10 utn avec un préfiltre dans le cas de très variable        |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |
| Plusieurs filières de traitement pourraient nécessiter des essais de traitabilités pour vérifier les performances ainsi que les critères de conception et d'exploitation.. Le traitement classique est une filière comprenant la coagulation, floculation, décantation et la filtration rapide. La filtration rapide peut être faite à l'aide de filtre à sable ou de filtre à sable et anthracite ou par une filtration membranaire sur MF. |                                                  |                    |                        |                    |                     | <b>X<sup>2</sup></b> : turbidité maximum de 10 utn                                                       |                                                  |                    |                        |                    |                     |                    |

## 9.2 Recherche en eau de surface et traitement

Par rapport à l'eau souterraine, l'eau de surface présente habituellement une plus grande variabilité en ce qui concerne la qualité. Elle est également plus vulnérable à la contamination, autant biologique que chimique. Finalement, les installations de traitement de l'eau de surface sont souvent plus complexes que celles qui traitent l'eau souterraine. Pour ces raisons, la recherche en eau de surface n'est souvent pas la première activité d'un projet.

Lorsque requis, les principales étapes d'analyse pour cette avenue de solution sont :

- Recenser les sources d'eau de surface (lacs, rivières et résurgences) disponibles à proximité du réseau de distribution;
- Favoriser en premier lieu l'utilisation des résurgences et particulièrement si elles peuvent être interceptées sous terre. Dans ce dernier cas, l'eau captée pourrait être assujettie aux critères de désinfection et de turbidité d'une eau souterraine (beaucoup moins sévères que pour une eau de surface);
- Favoriser en second lieu les plans d'eau (lacs et réservoirs), car la qualité de l'eau brute est plus stable que celle véhiculée dans une rivière. De ce fait, le traitement est également plus sécuritaire et plus simple d'opération;
- Dans les cas de lacs, réservoirs et cours d'eau, caractériser le bassin versant et particulièrement les environs immédiats de la prise d'eau prévue (usages anthropiques et sources de pollution, nature du bassin versant, nombre d'usagers, habitats particuliers, propriétés, etc.);
- Procéder à une caractérisation complète de la source d'eau de surface prévue selon les indications contenues dans la section 6.2 du présent *Guide de conception*;
- Évaluer les conflits d'usages et les implications législatives, réglementaires et politiques connexes;
- Évaluer la capacité d'extraction admissible pour le plan d'eau ou le cours d'eau afin de préserver le débit écologique en aval du plan ou du cours d'eau;
- Évaluer le mode de captage admissible (prise d'eau, réservoir, etc.).

## 9.3 Système d'approvisionnement en eau de surface

### 9.3.1 Généralités

- L'approvisionnement par eau de surface comprend les systèmes avec prise d'eau dans : 1) un cours d'eau à écoulement naturel ou régularisé; 2) un lac naturel; 3) un réservoir d'emmagasinement artificiel;
- Pour l'acceptation d'un projet de prise d'eau, le concepteur doit démontrer, à la satisfaction du MENV, qu'une quantité suffisante d'eau sera disponible et que l'eau qui sera distribuée rencontrera les normes de qualité décrites dans le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* et les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*;
- Un système d'approvisionnement en eau doit puiser son eau brute à partir de la meilleure source disponible et qui soit à la fois économiquement rentable et techniquement possible à aménager en tenant compte des impacts environnementaux et de la vulnérabilité de la source d'eau;

- La conception des ouvrages doit se faire de façon à assurer le maintien d'une qualité d'eau brute adéquate dans le temps (influence des tributaires, remise en suspension des sédiments, etc.);
- Dans les installations importantes, il est préférable d'utiliser deux entrées autonomes jusqu'au poste de pompage d'eau brute ou au regard de rive;
- Si un seuil est aménagé sur le cours d'eau, comme source d'approvisionnement, un système de mesure des débits totaux et des niveaux est nécessaire. Des mesures de contrôle doivent être mises en place afin de préserver et de sécuriser la qualité de la source d'eau. Ces mesures comprennent entre autres l'identification des utilisateurs et des activités pouvant affecter la source d'eau;
- Le concepteur doit utiliser toutes les données hydrologiques disponibles caractérisant le cours d'eau où il compte établir la prise d'eau. Pour les lacs et les réservoirs existants, ces données concerneront les tributaires et les émissaires. Des relevés doivent aussi être effectués au point de prélèvement prévu afin de bien cerner les phénomènes hydrauliques du secteur tels que la bathymétrie, les vitesses de courant, la nature du substrat, etc.;
- Le système d'approvisionnement en eau de surface (ouvrage d'entrée, conduite d'adduction et poste de pompage ou regard de rive) doit comporter des aménagements remplissant les fonctions suivantes : 1) prévenir l'entrée de débris grossiers en conduite sans générer de problème de colmatage fréquent; 2) éviter l'entraînement des poissons dans le système et limiter la sédimentation; 3) prévenir le piégeage des poissons dans le système;
- Tout projet de prise d'eau doit tenir compte de la faune aquatique qui habite le plan ou cours d'eau visé. Le projet doit également être entériné par la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ) et par Pêches et Océans Canada.

### 9.3.2 *Législations, règlements et politiques connexes*

La conception, les demandes d'autorisations ainsi que la réalisation des travaux pour une prise d'eau doivent se faire en tenant compte de plusieurs lois, règlements et politiques. Les informations relatives à ces textes sont regroupées et résumées dans le tableau 9-2 suivant.

**Tableau 9-2 : Informations pertinentes selon le palier législatif**

| Ministères/<br>Organismes                                   | Directions/services                                | Lois et/ou règlements                                                                                         | Champs d'application                                                                                                                                     | Procédures et remarques                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LÉGISLATION PROVINCIALE</b>                              |                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                     |
| FAPAQ                                                       | Directions régionales<br>Faune                     | Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune. Loi sur les espèces menacées ou vulnérables         | Tout le milieu aquatique ou terrestre. Les « agents de conservation » mandatés comme « police verte »                                                    | Le promoteur doit consulter les coordonnateurs des habitats fauniques au stade préliminaire de conception de nouvelles prises d'eau de surface                                                      |
| MENV                                                        | Directions régionales<br>Environnement             | Tous les règlements et lois du MENV                                                                           | L'ensemble de l'environnement. Délivre les certificats d'autorisation                                                                                    | Toute intervention en milieu aquatique requiert un C.A. de la part du promoteur ou du propriétaire                                                                                                  |
| MENV                                                        | Direction des évaluations<br>environnementales     | Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts                                                            | Tout projet de plus de 300 m.lin. ou 5000 m <sup>2</sup> sous la limite des hautes eaux moyennes (2 ans)                                                 | Un avis de projet doit être présenté à la D.R. qui fera suivre à la D.E.E. Attention aux routes et chemins d'accès à moins de 60 m. d'un cours d'eau.                                               |
| MENV                                                        | Direction du suivi de<br>l'état de l'environnement | Tous les règlements et lois du MENV                                                                           | Analyse des cours d'eau et banque de données sur la qualité de l'eau brute                                                                               | Un avis est requis pour la disposition des eaux de rejet dans le milieu récepteur                                                                                                                   |
| <b>LÉGISLATION FÉDÉRALE</b>                                 |                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                     |
| Pêches et<br>Océans                                         | Garde côtière<br>canadienne                        | Loi de protection des eaux navigables                                                                         | Toutes les « eaux navigables » selon LEUR évaluation                                                                                                     | Porte d'entrée de tous les organismes fédéraux. Le promoteur doit présenter son projet préliminaire. Une communication adéquate s'établit.                                                          |
| Pêches et<br>Océans                                         | Gestion des pêches et de<br>l'habitat              | Loi sur les pêches – Politique de gestion de l'habitat du poisson                                             | Tout le milieu aquatique. S'occupe du « milieu marin » et délègue l'application à la FAPAQ ailleurs (eau douce)                                          | La GCC informera le requérant s'il est nécessaire de communiquer avec ce service.                                                                                                                   |
| Environnement<br>Canada                                     | Direction de la protection<br>– région du Québec   | Loi des immersions en mer                                                                                     | Est de l'île Anticosti et Baie des Chaleurs jusqu'à Gaspé                                                                                                | Autorisation nécessaire pour tout travail dans ces zones. La GCC devrait assurer la liaison avec ce service.                                                                                        |
| Environnement<br>Canada                                     | Direction des évaluations<br>environnementales     | Loi et règlements<br>environnementaux fédéraux                                                                | Territoires et organismes fédéraux (parcs, réserves, CN)                                                                                                 | Agit à titre consultatif pour les organismes fédéraux ayant à fournir des autorisations.                                                                                                            |
| <b>LÉGISLATION RÉGIONALE CONCERNANT LE MILIEU AQUATIQUE</b> |                                                    |                                                                                                               |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                     |
| MRC                                                         | Secteurs<br>environnementaux                       | Règlements de contrôle<br>intérimaire : politique de protection des rives du littoral et des zones inondables | Aide aux municipalités dans la préparation des règlements de protection environnementale sur leur territoire.                                            | Ne donne pas d'autorisations proprement dites. Doit obliger les municipalités à adopter les règlements dont le MENV veut leur confier l'application.                                                |
| Municipalités                                               | « Inspecteur » ou gérant                           | Règlements municipaux<br>concernant l'environnement                                                           | Protection des rives et plaines inondables, déchets solides protection des arbres, qualité de l'air, aménagement du territoire. SECTEUR PRIVÉ SEULEMENT. | Donne des permis ou autorisations selon leur degré d'élaboration de leur réglementation. Pour les secteurs en zones industrielles ou commerciales, une autorisation de la D.R. du MENV est requise. |

### 9.3.3 Capacité

- Généralement, la capacité d'une source d'approvisionnement en eau de surface correspond à la quantité maximale d'eau qui peut y être puisée de façon continue dans les pires conditions de sécheresse (tel que décrit dans la présente section), en tenant compte des pertes attribuables à l'évaporation, l'infiltration, l'envasement et le débit à assurer en aval. La capacité de la source ainsi établie doit respecter les contraintes environnementales et fauniques;
- La capacité estimée de la source d'approvisionnement doit être suffisante pour fournir le débit correspondant aux besoins futurs d'eau établis selon les critères des chapitres 5 et 15. Une perspective minimale de 30 ans, incluant tous les besoins à long terme (expansion du réseau), est préconisée;
- Le débit de conception des éléments du système d'approvisionnement en eau de surface doit être établi en majorant les besoins futurs en eau (tel que défini à l'alinéa ci-dessus) de 10%;
- La conception des ouvrages et les volumes d'eau soutirés ne doivent pas affecter les autres utilisateurs du cours d'eau, qu'ils soient placés en amont ou en aval de la prise d'eau planifiée;
- Le débit pouvant être prélevé d'une source d'eau de surface non régularisée (capacité d'approvisionnement) sera évalué selon la méthode suivante :
  - On utilisera le débit d'étiage sur sept jours consécutifs ayant une période de récurrence de deux ans ( $Q_{2-7}$ ). Pour un lac ou un réservoir, on utilisera le  $Q_{2-7}$  à l'émissaire. Ces données devront être entérinées par le MENV;
  - Le débit d'étiage doit être calculé sur la base des conditions originelles du cours d'eau ou plan d'eau, c.-à-d. en considérant qu'il n'y a aucun prélèvement en amont (prise d'eau ou autre);
  - Le débit maximum qu'il est permis de prélever est établi à 15% du  $Q_{2-7}$  originel, débit duquel il faut soustraire les prélèvements en amont. La valeur ainsi obtenue est, par définition, la capacité de la source d'approvisionnement au point de prélèvement. Cette base de calcul est issue de l'article 17 du *Règlement sur les habitats fauniques* (Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune) qui stipule que « le prélèvement ne peut excéder 15 % du débit du cours d'eau à l'endroit où le prélèvement est effectué ». Il est possible d'excéder le 15% du  $Q_{2-7}$  originel en effectuant la démonstration prévue au cinquième alinéa. Par contre, si cette démonstration s'avère négative, le 15% du  $Q_{2-7}$  originel demeure la valeur de référence;
  - Lorsqu'il existe des points de prélèvement en aval de l'éventuelle prise d'eau, il faut démontrer que la capacité de prélèvement de la source ne sera pas excédée suite à l'implantation de la nouvelle prise d'eau;
  - Dans le cas où la capacité de la source d'approvisionnement, établie selon la méthode décrite aux quatre alinéas précédents, est insuffisante (inférieure aux besoins en eau futurs), il est possible de démontrer, par des méthodes plus évoluées (méthodes hydrauliques et méthode des habitats préférentiels), que le débit écologique nécessaire pour le maintien des écosystèmes existants est inférieur à celui établi par la méthode du  $Q_{2-7}$ ;
  - À l'extérieur de la période d'étiage, il est permis de prélever un débit d'eau supérieur jusqu'à un maximum de 15% du débit du cours d'eau;

- Dans le cas d'un lac ou d'un réservoir, la modélisation des différentes conditions de débits (crues, étiages, apports moyens), le respect des exigences pour la faune, le respect des exigences pour les usages récréatifs, l'impact du marnage, l'effet des barrages sur la migration des poissons, etc., devraient être établis au besoin.

#### 9.3.4 Qualité

##### 9.3.4.1 Mesures préventives

Tous les facteurs susceptibles d'affecter à court ou à long terme la qualité de l'eau puisée à une source doivent être considérés et tout particulièrement les points suivants :

- Inventorier et évaluer, de façon sommaire (cartographie, photographie aérienne, informations auprès des municipalités, etc.) les différents usages anthropiques situés immédiatement en amont :
  - Agriculture;
  - Production animale;
  - Émissaire d'eaux usées municipales, traitées ou non;
  - Rejets industriels;
  - Sols contaminés;
  - Sites d'enfouissement;
  - Sites de villégiature;
  - Secteurs où le sol est dénudé;
  - Exploitation forestière.
- Évaluer sommairement les variations possibles de qualité lors d'un étiage et d'une crue en termes de matières en suspension, matières organiques, couleur et débris;
- Étudier et proposer, en fonction de la législation, les règlements et les politiques connexes, ou si le MENV le juge nécessaire, des mesures de contrôle et de protection du bassin versant et des cours d'eau tributaires du propriétaire, telles que :
  - L'élimination des sources de pollution;
  - L'acquisition de propriétés ou de terrains;
  - La végétalisation des sols dénudés tout en évitant certaines espèces susceptibles d'altérer la qualité de l'eau (plantes annuelles et arbres à feuilles caduques);
  - L'adoption de règlements municipaux prohibant les activités susceptibles de polluer;
- Évaluer les risques que la source soit atteinte par un déversement accidentel ou une fuite de matières pouvant être toxiques pour les consommateurs ou nuisibles au procédé de traitement (voie ferrée ou autoroute, industries, etc.);
- Concevoir la prise d'eau de façon à assurer la meilleure qualité d'eau possible en évitant l'intrusion de débris ou d'autres matières nuisibles. Si un réservoir d'emmagasinage est prévu, évaluer l'influence des facteurs spécifiques comme le décapage, l'érosion et la stabilisation des berges, l'accès contrôlé, etc.;
- Planter une zone de protection minimale de 30 m ceinturant la partie terrestre de la prise d'eau au moyen d'une clôture d'une hauteur minimale de 1,8 m pour interdire l'accès au regard de rive, au poste de pompage ou autres ouvrages localisés sur la rive. Si une telle zone de protection ne peut être assurée, des mesures spéciales de protection doivent être envisagées. La barrière d'accès doit être cadenassée;

- Construire des fossés pour détourner les eaux de ruissellement vers l'aval de la prise d'eau;
- Installer des affiches aux endroits stratégiques indiquant qu'il s'agit d'une source d'approvisionnement en eau potable;
- Il est recommandé aux exploitants de prévoir un ou plusieurs plans d'urgence pour tenir compte des situations où la source d'eau de surface serait affectée par un ou plusieurs événements inhabituels susceptibles d'introduire dans la source d'eau brute de nouveaux contaminants ou des contaminants existants en quantités excessives. Les mesures à prendre pour identifier et réduire les risques d'impact sur le traitement ou sur l'eau traitée sont à considérer.

#### 9.3.4.2 Critères de qualité

La qualité de l'eau brute doit être déterminée à partir d'un échantillonnage sur une période de temps suffisamment longue pour pouvoir évaluer les caractéristiques bactériologiques, physiques et chimiques de l'eau, leur évolution dans le temps et le choix d'un procédé de traitement, le cas échéant. Les paramètres minimum et obligatoires à mesurer ainsi que leur fréquence d'analyse sont décrits à la section 6.2.

### 9.3.5 Aménagement des infrastructures

#### 9.3.5.1 Localisation de la prise d'eau

Les principaux facteurs à considérer dans la localisation d'une prise d'eau sont la sécurité d'approvisionnement, la qualité de l'eau brute ainsi que l'impact sur l'environnement et le milieu aquatique. Plus spécifiquement, les points suivants doivent être pris en considération :

- La prise d'eau doit être située à l'endroit où la qualité de l'eau est la meilleure et la moins vulnérable à la pollution, tout en causant le moins de dommage à la faune aquatique;
- Des relevés bathymétriques sont souvent nécessaires afin de choisir la localisation exacte de la prise d'eau et le tracé de conduite d'adduction pour sa partie immergée;
- Dans la mesure du possible, la mise en place d'ouvrages artificiels de retenue (barrages, seuils, etc.) doit être évitée afin de minimiser les impacts sur le régime hydraulique du cours d'eau (écoulement, sédimentation, etc.) et la faune aquatique. Le cas échéant, le concepteur contactera le MENV pour discuter de l'aménagement de la prise d'eau;
- Lorsque la source d'eau est une rivière, l'aménagement d'un système de captage souterrain sur les berges (principalement si elles sont constituées de gravier) ou d'un réservoir artificiel hors cours d'eau pourrait être envisagé;
- La prise d'eau doit être aménagée de façon à ne pas être influencée par des usages incompatibles, tels les rejets d'eaux usées, la navigation ou toutes autres activités pouvant l'affecter;
- Évaluer les risques de formation de frasil et de colmatage de la prise d'eau. Étudier le régime de formation des glaces;
- Le site doit être facile d'accès en toute saison et offrir la possibilité d'un agrandissement futur;

- Localiser les ouvrages en tenant compte de la variation locale des conditions affectant la qualité de l'eau brute de manière à assurer le captage de la meilleure eau en tout temps;
- Lorsque le niveau d'une rivière est assez stable et que les berges sont suffisamment abruptes, il pourrait s'avérer économique d'installer la prise d'eau près de la rive et de combiner, s'il y a lieu, la prise d'eau et la station de pompage dans une même structure;
- Les canaux de navigation devraient être évités le plus possible, tant à cause des dangers de pollution de certains rejets provenant des bateaux que des risques de dommages à la prise d'eau par un navire ou lors d'opérations de dragage;
- Si des courants d'eau de diverses qualités peuvent être rencontrés, il peut s'avérer nécessaire d'effectuer une étude spécifique de ces courants;
- Une localisation permettant l'alimentation gravitaire doit être privilégiée, lorsque cela est possible, des points de vues économique et technique. Ceci afin de réduire les problèmes et les frais d'opération et de diminuer les besoins énergétiques;
- Une prise d'eau doit être placée de préférence en un endroit où l'écoulement est calme et la surface gèle rapidement, car les risques de formation de glace de fond et de frasil sont ainsi réduits. On évitera d'installer une prise d'eau dans ou immédiatement en aval de rapides, même s'il y a amorce de couverture de glace (le frasil a tendance à se former dans les passages plus rapides et à s'accumuler sous la glace en aval) ;
- Un soin particulier doit être porté au choix de la localisation pour que l'endroit retenu ne soit pas propice à l'érosion ou aux dépôts de bancs de sable, qui pourraient gêner l'exploitation et l'entretien. S'assurer que la prise d'eau repose sur une assise stable;
- Une attention particulière doit être portée aux cours d'eau susceptibles d'abriter des moules zébrées. La conception des ouvrages d'entrée et des conduites d'adduction devra tenir compte de critères particuliers reliés à cette problématique. Il faudra entre autres porter une attention particulière aux vitesses minimums requises pour prévenir l'accroissement des moules zébrées dans les ouvrages d'entrée et dans les conduites d'adduction, tout en respectant les vitesses d'approche maximums afin de prévenir l'entraînement de poissons. Des solutions de pré-chloration dans la conduite ont déjà été appliquées en Ontario.

#### 9.3.5.2 Ouvrage d'entrée

- Lorsque deux entrées sont prévues, il est préférable de les placer de façon à ce qu'une entrée puisse demeurer en opération dans le cas où l'autre se bloquerait;
- Lorsque deux entrées sont prévues, il pourrait s'avérer intéressant de les installer à deux niveaux différents afin de permettre la sélection de la meilleure qualité d'eau possible (la qualité de l'eau est susceptible de changer selon la profondeur et la saison);
- Les données hydrosédimentologiques dicteront les distances à respecter entre les radiers des entrées et le lit du cours ou du plan d'eau afin d'éviter l'envasement, l'ensablement ou la dégradation de la qualité de l'eau brute;
- L'entrée doit être submergée en tout temps et située à une profondeur suffisante pour éviter les inconvénients dus à la présence de glace ou de débris flottants et empêcher l'entraînement d'air, créant des vortex au-dessus de la prise. La profondeur minimale d'eau au-dessus de l'ouverture doit être la plus grande des dimensions suivantes : 1,5 m ou 2 à 3 fois le diamètre de l'ouverture;
- Lorsque des problèmes de frasil actif (cristaux de glace qui se forment sur la grille d'entrée) sont anticipés, une plus grande profondeur est requise. Dans ce cas, l'entrée devrait être à au

moins 9 m sous la surface, si la profondeur et la qualité de l'eau le permettent, et à un endroit rapidement recouvert par la glace. Au besoin ou si l'impact économique d'une telle profondeur est inacceptable, une méthode d'intervention d'urgence doit être prévue. Des éléments chauffants, des systèmes d'injection de bulles ou d'eau chaude peuvent être prévus pour contrer ce problème. L'utilisation d'un matériau peu conducteur réduit également l'ampleur du problème;

- La possibilité d'installer une chasse d'eau à contre-courant doit être envisagée pour permettre l'enlèvement des dépôts et blocs de glace et aussi éliminer les problèmes dus au frasil passif (lentille de glace libre dans l'eau);
- Lorsque l'ouvrage d'entrée est constitué d'une conduite en eau libre, son extrémité doit être pourvue d'une grille grossière afin de filtrer les débris grossiers qui pourraient nuire à l'écoulement dans le système d'adduction. Il est important de ne pas orienter la surface de prise face au courant dans le cours d'eau;
- L'espacement entre les barreaux de la grille doit se situer entre 10 et 15 cm. Un espacement important limitera le pontage de glace entre les barreaux lorsque du frasil actif est anticipé;
- La vitesse d'approche ou d'entrée dans une prise d'eau doit être inférieure à 15 cm/s pour limiter l'aspiration de débris passant devant l'ouvrage d'entrée. Cependant, étant donné les conditions climatiques qui prévalent au Québec, il est préférable de se limiter à une valeur entre 7,5 et 10 cm/s lorsqu'une grille est prévue. Une vitesse plus élevée favorisera la formation de frasil actif;
- L'aménagement d'un système de collecte continuellement submergé et susceptible de se colmater nécessite, dans bien des cas, un entretien fréquent et délicat (p. ex., conduites perforées recouvertes de matériaux granulaires au fond d'un cours d'eau ou d'un lac). Le recours à un tel aménagement n'est pas permis lorsque d'importantes quantités de particules fines (argile, limon, etc.) peuvent être transportées jusqu'à la prise d'eau et favoriser son colmatage;
- Les prises d'eau doivent être conçues de façon à demeurer stables lors de tempêtes et pouvoir résister à l'action des vagues, des courants, à la pression des glaces et à l'impact des débris flottants ou submergés. Si cela est requis, elles doivent être ancrées.

#### 9.3.5.3 Conduite d'adduction

- La conduite d'adduction doit être posée en pente constante à un niveau de radier croissant en direction de la berge afin d'éviter l'accumulation d'air ou de gaz;
- Pour des conduites d'un diamètre important, des regards d'inspection doivent être installés à tous les 300 m (à l'extérieur de la limite des hautes eaux) afin de permettre une inspection visuelle;
- Si la conduite est sujette à l'accumulation de sédiments ou de boues, un système de nettoyage par purge ou autre devrait être prévu pour les enlever;
- Dans le cas où la conduite est accessible aux poissons (accès permis par des ouvertures de l'ouvrage d'entrée supérieures à 12 mm), la vitesse de circulation de l'eau ne doit pas excéder 0,5 m/s afin de permettre aux poissons de remonter le courant s'ils s'introduisaient dans la conduite;
- Dans le cas où la conduite n'est pas accessible aux poissons (grillage fin ou gravier à l'ouvrage d'entrée), la vitesse dans la conduite d'adduction doit être suffisante pour limiter la

formation de dépôts. Cependant, elle ne doit pas dépasser 1,5 m/s et doit préférablement être comprise entre 0,6 et 1,2 m/s;

- Pour diminuer les problèmes de frasil, on peut utiliser des matériaux de faible conductivité thermique, chauffer la conduite ou pomper de l'eau à rebours dans la conduite.

#### 9.3.5.4 Regard de rive ou poste de pompage d'eau brute

- Dans le cas où il n'y aurait pas de poste de pompage d'eau brute ou que celui-ci soit éloigné de la source d'eau, un regard de rive est requis. Celui-ci pourra abriter les ouvrages connexes requis (tamis fins, robinet d'isolation, raccordement de deux prises d'eau indépendantes, installation pour les purges à contre-courant, etc.);
- Dans le cas où il y aurait un poste de pompage d'eau brute près de la rive, un regard de rive pourrait alors ne pas être requis. Se référer alors à la section 7.1 pour les postes de pompage d'eau brute.

#### 9.3.5.5 Tamis fins

- Des tamis fins doivent être prévus pour empêcher l'accès des poissons aux ouvrages en aval (poste de pompage d'eau brute, conduite et installation de traitement);
- Ces tamis doivent être accessibles pour l'entretien et le nettoyage. Pour cette raison, on les retrouvera fréquemment dans le poste de pompage d'eau brute ou le regard de rive. Ils doivent être protégés par une grille grossière tel que décrit dans la section ouvrage d'entrée;
- Les tamis doivent avoir de 0,8 à 3 mailles au centimètre selon le type de matières en suspension dans l'eau. Les tamis doivent être en métal anticorrosion et pouvoir s'enlever facilement pour leur nettoyage. La vitesse de l'eau à travers les tamis doit varier entre 7,5 et 15 cm/s afin d'éviter le dépôt des particules et le piégeage des petits poissons sur le tamis;
- Au besoin, des tamis plus grossiers peuvent être aménagés en amont des tamis fins pour réduire le colmatage;
- Les tamis fins et grossiers sont décrits à la section 9.5.

#### 9.3.5.6 Système de mesure de débit

Prévoir l'installation d'un système permettant d'informer l'exploitant du respect des consignes de captage découlant du calcul de la capacité de la source (élaboré dans la présente section) et des exigences du MENV. Prévoir également l'installation d'un système de mesure du débit, soit à la prise d'eau ou au poste de pompage d'eau brute.

### 9.4 Réservoirs d'emmagasinement

Selon la source d'eau de surface choisie, un réservoir d'emmagasinement pourra être requis de manière à assurer un approvisionnement d'eau brute minimum, en tout temps, à l'installation de traitement.

Dans la mesure du possible, les réservoirs d'emmagasinement doivent être considérés uniquement dans les situations où la source d'eau de surface naturelle (cours d'eau ou lac) ne peut garantir le débit journalier maximum de conception pour l'installation de traitement et/ou dans les cas où la qualité physico-chimique de la source d'eau de surface naturelle est sujette à des variations

brusques. Dans certains cas, le réservoir d'emmagasiner pourra servir comme prétraitement en amont de l'installation de traitement (aération/oxygénation, décantation naturelle, contrôle de la croissance des algues, contrôle des goûts et odeurs, ajustement du pH, etc.).

#### 9.4.1 *Éléments de conception*

La conception ainsi que le choix de l'emplacement d'un réservoir d'emmagasiner doivent être faits de façon à pouvoir maintenir la meilleure qualité d'eau tout en bouleversant le moins possible les milieux écologiques et humains et en tenant compte des facteurs économiques. Les facteurs suivants doivent être pris en considération lors des étapes de conception :

- Vérifier si le projet respecte les critères d'exclusion des études d'impact sur le milieu;
- Évaluer les conséquences d'une brèche dans le réservoir et, au besoin, établir un plan d'urgence dans un tel cas;
- Organiser la capacité d'emmagasiner désirée en fonction des ouvrages de régularisation existants et futurs en amont du point d'alimentation du réservoir et en fonction de la demande maximale projetée;
- La capacité d'emmagasiner doit aussi tenir compte de facteurs tels que les besoins futurs, l'évaporation, l'envasement, l'ensablement, les possibilités de prélèvement (section 9.3.3.5) et les pertes par infiltration;
- S'assurer de l'intégrité structurale des digues du réservoir et prévoir une protection contre l'action des vagues et l'érosion;
- La géométrie du réservoir doit favoriser la bonne circulation de l'eau tout en minimisant les zones mortes;
- La configuration topographique du lieu. Les conditions les plus favorables consistent en une vallée étroite au niveau d'un barrage permettant ainsi d'obtenir un plus grand volume d'emmagasiner par unité de hauteur et de surface. Ces conditions sont favorables tant du point de vue économique que de celui de la qualité de l'eau;
- Prévoir l'emplacement du réservoir par rapport à l'installation de traitement;
- La nature du sol et du sous-sol doit offrir une bonne résistance à la percolation de l'eau et permettre que la qualité physico-chimique de l'eau ne soit pas affectée par des minéraux ou des sels solubles;
- La surface devant être inondée doit, autant que possible, être exempte d'arbres, broussailles ou autres végétaux indésirables, ceux-ci devant être enlevés de toute manière. Les sols marécageux sont à éviter pour ne pas occasionner de problèmes d'odeur, de couleur ou de goût à l'eau emmagasinée;
- Dans le cas des réservoirs alimentant par gravité un poste de pompage d'eau brute ou une installation de traitement, une attention particulière doit être apportée à la jonction entre le point de raccordement au réservoir et la tranchée de la conduite d'amenée au poste de pompage ou à l'installation de traitement. Un système d'étanchéité doit être construit en travers, dans la tranchée de la conduite, de manière à prévenir les pertes d'eau non-contrôlées du réservoir via les matériaux filtrants installés dans la tranchée de la conduite;
- Le coût d'achat des terrains de même que les contraintes sociales et humaines telles que le type d'occupation actuel du terrain ou les potentiels d'utilisation du terrain ou du cours d'eau à l'endroit du site, doivent être pris en considération;
- Les répercussions sur l'ensemble du milieu écologique doivent être minimisées;

- À l'emplacement du réservoir, le bassin doit être exempt d'activités polluantes susceptibles de contaminer l'eau emmagasinée et le propriétaire doit être en mesure d'assurer un certain contrôle des activités dans le bassin. À cet effet, le réservoir doit être intégré au programme de protection du bassin versant de la source d'eau de surface alimentant le réservoir;
- Le réservoir doit être identifié comme prise d'eau potable et doit être clôturé;
- Des mesures doivent être prises pour empêcher la croissance des mauvaises herbes et l'érosion dans la zone de variation du niveau d'eau;
- Des mesures doivent être prises pour contrôler les eaux de ruissellement voisines du réservoir;
- Les éléments suivants doivent également être considérés : mode de drainage du réservoir, accumulation de sédiments prévue et mode de disposition, formation de glace, mode de régulation des débits d'entrée au réservoir, mode de régulation du niveau du réservoir, suivi des paramètres de qualité physico-chimiques.

#### *9.4.2 Préparation de l'emplacement*

- Les arbres, broussailles et mauvaises herbes doivent être enlevés de l'emplacement du réservoir;
- L'on doit étudier l'influence de la qualité de l'eau brute de la couche superficielle du sol sur la qualité de l'eau brute;
- Les aires marécageuses doivent être excavées ou recouvertes de sable et de gravier;
- Toutes les habitations, structures souterraines et autres sources potentielles de contamination présentes sur les lieux doivent être enlevées.

### **9.5 Dégrillage et microtamisage**

#### *9.5.1 Dégrillage*

##### **9.5.1.1 Description**

Le dégrillage permet d'enlever les débris de dimensions intermédiaires (passant à travers la grille grossière décrite à la section 9.3, afin d'éviter qu'ils interfèrent avec le fonctionnement des équipements aval. Il sert également à empêcher l'accès des poissons aux ouvrages aval (poste de pompage, conduite et installation de traitement). Pour ces raisons, il doit être localisé dans le regard de rive (voir aussi section 9.3), au poste de pompage d'eau brute ou à l'entrée de l'usine, s'il s'agit d'une alimentation gravitaire. Trois types de dégrilleurs peuvent être utilisés à cette fin :

#### **Grilles à nettoyage manuel**

La grille à nettoyage manuel est légèrement inclinée (afin de faciliter le raclage) et est surmontée d'une plate-forme qui facilite le ramassage manuel des débris retirés de l'eau. La grille doit être amovible et dotée d'un système mécanique ou motorisé permettant son relevage à des fins de nettoyage. Les tiges qui composent le grillage doivent être robustes en plus d'être droites, rondes ou rectangulaires.

### **Grilles mobiles à nettoyage automatique**

Ces grilles sont composées d'une série de tamis rectangulaires dont le mouvement mécanique est rotatoire et ascendant. Chaque tamis est nettoyé par des jets d'eau lorsqu'il atteint le niveau du plancher.

### **Grilles fixes à nettoyage automatique**

Ces grilles, fixes et robustes, sont équipées d'un système de raclage permettant de gérer efficacement d'importantes quantités de débris de différentes tailles.

Plusieurs modèles sont disponibles. Les principales caractéristiques de ces appareils sont :

- Le champ de grille, de forme courbe ou droite, est généralement réalisé en barreaux de section rectangulaire ou trapézoïdale (diminuant le risque de coincement des matières solides) à angles vifs ou arrondis;
- Un dispositif constitué de peignes, râteaux, racleurs ou grappins remonte les détritiques le long de la grille puis redescend en position écartée du champ de grille. Les détritiques sont récupérés en position haute dans un réceptacle.

Quelques éléments supplémentaires se retrouvent à la section 9.5 du volume 2.

#### **9.5.1.2 Domaine d'application**

Le domaine d'application pour chacun des types de grilles est présenté ci-après.

| <b>Type de grilles</b>                  | <b>Taille de l'installation</b>                |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Grilles à nettoyage manuel              | Petite et moyenne avec faible charge de débris |
| Grilles mobiles à nettoyage automatique | Moyenne (< 20 000 m <sup>3</sup> /d)           |
| Grilles fixes à nettoyage automatique   | Grande envergure (> 20 000 m <sup>3</sup> /d)  |

De faibles charges de débris sont habituellement observées lorsque l'ouvrage d'entrée de la prise d'eau est localisé dans un lac et qu'elle est éloignée de toute source de transport de débris (cours d'eau de recharge par exemple). Dans le cas d'un cours d'eau dont la charge saisonnière en débris peut varier rapidement (feuilles en automne par exemple) et/ou n'est pas documentée (aucune prise d'eau existante), il est préférable de prévoir des grilles à nettoyage automatiques. Ces dernières permettent d'éviter le nettoyage parfois quotidien que nécessitent les grilles à nettoyage manuel.

#### **9.5.1.3 Critères de conception**

Les critères de conception pour ces différents types de grilles sont présentés ci-après.

|                              |                                            |
|------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Dimension des mailles</b> | 4 à 10 mm de côté                          |
| <b>Vitesse d'approche</b>    | 7,5 à 15 cm/s                              |
| <b>Angle de la grille</b>    | 60 à 80 degrés par rapport à l'horizontale |

Lorsqu'une grille à nettoyage manuel est utilisée, il est préférable de la faire précéder d'une grille plus grossière (mailles d'environ 50 mm X 50 mm) afin d'éviter qu'elle ne se colmate trop rapidement dû aux feuilles et autres débris plus volumineux.

Les matériaux constituant la grille doivent être résistants à la corrosion.

### 9.5.2 *Microtamisage*

#### 9.5.2.1 Description

Le microtamisage permet l'enlèvement des fines matières en suspension (MES) présentes dans l'eau à l'aide d'une toile métallique (microtamis) à mailles très serrées. Ces dernières sont habituellement montées sur un cylindre rotatif horizontal (bien qu'il en existe également d'autres types) qui est installé de façon à ce qu'il soit partiellement immergé. Un système à nettoyage automatique est requis pour éliminer les MES retenues lorsque l'eau traverse les microtamis.

#### 9.5.2.2 Domaine d'application

Il s'agit d'un équipement rarement utilisé au Québec. Son usage peut être envisagé lorsqu'un type particulier de MES (des algues par exemple) nuit à la filière de traitement aval (décantation, filtration, filtre à terre à diatomée, filtration lente, désinfection UV, etc.). Le choix de la dimension des mailles doit être adapté à celle des MES que l'on désire enlever. Des détails additionnels relativement à la conception des microtamis sont présentés à la section 9.6 du volume 2.

Les microtamis ne permettent pas de réduire la turbidité de l'eau due aux particules colloïdales.

## 9.6 **Coagulation**

### 9.6.1 *Description*

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables. Le coagulant peut être introduit dans un bassin de mélange rapide ou dans un mélangeur statique en ligne qui génèrent tous deux une violente agitation au point d'injection.

### 9.6.2 *Conditions d'application*

La coagulation est toujours la première étape d'un traitement physico-chimique. Elle précède ainsi la floculation/décantation/filtration, la filtration directe ou la filtration membranaire (microfiltration ou ultrafiltration).

En eau de surface, la coagulation est utilisée lorsque l'on désire enlever la couleur vraie, la turbidité ainsi que les algues, mais elle peut également être utilisée à d'autres fins (arsenic <sup>+5</sup>, etc.).

Lorsque l'ajout d'un produit alcalin ou acide est requis pour optimiser la coagulation, celui-ci devrait toujours être injecté soit en amont (de préférence), soit au même endroit que le coagulant afin que les conditions propices à la coagulation soient présentes au moment de l'introduction du coagulant.

### 9.6.3 Critères de conception

#### 9.6.3.1 Bassin de coagulation

- Le temps de rétention hydraulique d'un tel bassin doit être conforme aux recommandations du fournisseur du décanteur (ou autre ouvrage appelé à fournir une garantie de performance sur le procédé) et être d'au moins 1 à 2 minutes, sur la base du débit de conception. En eau froide, il peut être parfois préférable de prolonger la rétention pour permettre un contact efficace entre l'eau et le coagulant. Le temps de rétention requis peut également varier selon la vitesse de réaction du coagulant utilisé;
- Le bassin doit être équipé d'une unité mécanique de mélange rapide. Le gradient de vitesse doit respecter les recommandations du fournisseur du type de décanteur utilisé et être de l'ordre de 300 à 1500 s<sup>-1</sup> selon les applications (les valeurs supérieures s'appliquant pour la coagulation par neutralisation des charges). Le momentum de l'eau en mouvement dans le bassin peut être considéré dans le calcul de la puissance de l'agitateur;
- L'entrée d'eau brute ne doit pas être dirigée directement sur l'arbre ou l'hélice de l'agitateur;
- L'entrée et la sortie du bassin doivent être disposées de manière à éviter les courts-circuits hydrauliques.

#### 9.6.3.2 Mélangeur statique

Le mélangeur statique peut être utilisé lorsque le mode de coagulation principal se fait par neutralisation des charges (le temps de réaction du coagulant est court, soit de l'ordre de 0,5 à 1,0 s) et lorsque le débit d'eau brute ne varie pas ou très peu (l'énergie de mélange varie avec le débit). Le nombre d'éléments de mélange intérieur doit être choisi en fonction du débit et des produits chimiques injectés. Ces éléments doivent être amovibles pour des raisons d'entretien. L'injection du coagulant doit se faire, de préférence, directement dans le mélangeur statique.

### 9.6.4 Autres éléments importants de conception

- Le dosage doit être effectué de façon continue et proportionnelle au débit;
- Lorsqu'un agitateur est utilisé, le coagulant doit être injecté dans la zone où la turbulence est la plus grande, soit au-dessus ou au-dessous de l'hélice selon qu'elle refoule ou aspire l'eau. Il est souhaitable de prévoir au moins un autre point de dosage supplémentaire pour s'assurer que le mélange sera optimisé pour toutes les périodes de l'année;
- Lorsqu'un mélangeur statique est utilisé avec des pompes de type à pulsations, la fréquence de pulsation de ces dernières doit être beaucoup plus élevée que dans le cas d'un bassin de mélange rapide (en raison du faible temps de séjour);

- Des déflecteurs peuvent devoir être nécessaires dans le bassin de coagulation pour éviter la formation d'un vortex, ce dernier pouvant diminuer l'efficacité du mélange.

## 9.7 Flocculation

### 9.7.1 Description

La flocculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de floccs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant.

### 9.7.2 Conditions d'application

La flocculation doit obligatoirement être réalisée avant l'étape de clarification et peut être aussi utilisée avant une filtration directe.

### 9.7.3 Critères de conception

Certains procédés de décantation brevetés (voir section 9.9) intègrent l'étape de flocculation et par conséquent, les critères de conception découlent alors des exigences du fabricant. Dans d'autres cas, elle est faite séparément.

En tout temps, le bassin, le système d'agitation et les équipements connexes doivent être conçus pour :

- Assurer le temps nécessaire pour la flocculation (de 6 à 30 minutes, voir ci-après) au débit de conception. Une flocculation trop longue conduit à la destruction progressive du floc;
- Permettre l'ajustement de l'intensité de mélange en pourvoyant les agitateurs de variateurs de vitesse;
- Éviter le bris du floc (vitesse maximale d'extrémité de pale inférieure à 0,6 et à 1,2 m/s respectivement pour un floc fragile et un floc fort);
- Éviter la déposition du floc dans le bassin ( $G > 10 \text{ s}^{-1}$ );
- Résister à la corrosion.

#### Technologie de flocculation

Coagulant seul

Coagulant et flocculant

Coagulant, flocculant et microsable

#### Temps de résidence minimum

30 minutes

15 minutes

6 minutes

### 9.7.4 Autres éléments de conception

- La configuration du bassin doit être conçue pour assurer une bonne distribution de l'eau afin d'éviter les courts-circuits et prévenir la destruction du floc aux entrées et sorties du bassin;

- Le dosage d'un flocculant doit être effectué de façon continue et proportionnelle au débit. Il doit parfois être réajusté selon la charge de MES (dosage du coagulant et turbidité);
- Il est souhaitable de prévoir plus d'un point de dosage du flocculant. Dans le cas de l'utilisation d'un décanteur breveté, l'expérience du fournisseur pourra être mise à contribution;
- Il importe de ne pas briser le floc lors de son transfert du flocculateur à la zone de décantation. Les bassins de floculation doivent être situés près des décanteurs (s'ils n'en font pas déjà partie) et les vitesses d'acheminement de l'eau flocculée vers les bassins de décantation se situent préférentiellement entre 0,15 et 0,45 m/s pour éviter la déposition et le bris des floccs, ceci doit être fait en minimisant la turbulence aux coudes et autres changements de direction;
- Il est recommandé d'installer une lumière, de préférence submergée, à chaque bassin de floculation afin de permettre l'observation du floc. L'observation est le paramètre de contrôle le plus important pour la floculation. Sous une même intensité d'agitation, la grosseur du floc est proportionnelle à sa résistance. Plus le floc est dense et de grande taille, mieux il décantera.

## 9.8 Clarification

### 9.8.1 Décantation

#### 9.8.1.1 Champs d'application

La décantation physico-chimique permet la séparation solide-liquide désirée. Elle doit obligatoirement être précédée d'une coagulation et d'une floculation en plus d'être suivie d'une filtration.

L'étape de décantation est nécessaire lorsque la charge de l'eau brute est trop élevée pour permettre l'usage d'une filtration directe sans provoquer le colmatage trop rapide des filtres (voir section 9.9.7).

La décantation physico-chimique peut être utilisée pour réduire les impuretés d'origine particulaire (turbidité) et/ou dissoutes (couleur vraie ou COT, fer, sulfures, arsenic valence 5, dureté, etc.). Les matières dissoutes doivent préalablement avoir été précipitées et/ou adsorbées à un floc de coagulant.

La plupart des procédés de décantation implantés au Québec sont de type « dynamique », ces procédés ont fait leur preuve en eau froide et sont brevetés. Dans la majorité des cas, la floculation est intégrée au procédé de décantation.

Les types de procédés reconnus au Québec sont :

- Décantation à lit de boues pulsé;
- Décantation à recirculation de boues interne;
- Décantation à recirculation externe de boues;
- Décantation à floccs lestés.

Plusieurs installations existantes comprennent des décanteurs statiques. De nouvelles applications sont toujours possibles dans la mesure où une analyse technico-économique démontrerait leur intérêt.

#### 9.8.1.2 Décantation à lit de boues pulsé

##### Description

Ce type de décanteur doit son appellation au fait qu'il maintient en suspension une masse de boues compacte appelée «lit de boues». L'eau brute coagulée est introduite à la base du décanteur par l'intermédiaire d'un caisson faisant office de cloche à vide. Cette dernière génère des pulsations périodiques afin de maintenir le lit de boues homogène et pour favoriser la floculation de l'eau. Celle-ci est complétée, simultanément à la clarification, lors du passage de l'eau à travers le lit de boues en suspension. L'eau clarifiée est reprise par un réseau de tuyaux de collecte installé en surface du décanteur. Le surplus de boues est évacué périodiquement par un système de collecte gravitaire installé dans un concentrateur de boues situé à l'intérieur du décanteur.

La technologie *Pulsator* a été le premier modèle de décanteur à lit de boues pulsé. Des variantes du *Pulsator* ont, par la suite, été développées afin d'augmenter la capacité de décantation dans un espace donné. Ce sont le *Pulsatube*, le *Superpulsator* et l'*Ultrapulsator*. Il s'agit de technologies éprouvées.

##### Critères de conception

Pour chacun des modèles de décanteur à lit de boues pulsé, la vitesse ascensionnelle limite permise en eau de surface froide ainsi que les caractéristiques qui les distinguent entre eux sont indiquées au tableau 9.3. Ces valeurs sont valides pour des plaques et des tubes inclinés à 60 degrés par rapport à l'horizontale. Les tubes ont une section de 50 mm et sont de forme hexagonale.

**Tableau 9-3 : Vitesses ascensionnelles limites pour la décantation à lit de boues pulsé**

| Type de Procédé      | Hauteur verticale des Tubes ou plaques                                       | Vitesse Ascensionnelle Limite (m/h) |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Pulsator</i>      | Aucun tube                                                                   | 2,45                                |
| <i>Pulsatube</i>     | Tubes de 60 cm                                                               | 4,5                                 |
|                      | Tubes de 90 cm                                                               | 6,5                                 |
| <i>Superpulsator</i> | Plaques de 1,75 m dans lit de boues                                          | 6,5                                 |
| <i>Ultrapulsator</i> | Plaques de 1,75 m dans lit de boues et tubes de 60 cm dans partie supérieure | 9,8                                 |

### 9.8.1.3 Décantation à recirculation interne de boues

Notons que, selon le fournisseur, la vitesse de 9,8 m/h de l'Ultrapulsator correspondrait à la valeur maximum observée au Québec.

#### **Description**

Ce type de décanteur, bien qu'encore existant, n'est pratiquement plus utilisé au Québec pour la clarification de l'eau de surface. Il demeure cependant une option à considérer dans le cas d'un adoucissement par précipitation à la chaux.

Dans ce type de décanteur, la floculation et la décantation s'effectuent dans un même ouvrage. Le coagulant doit avoir été ajouté au préalable dans un ouvrage indépendant dédié à cette fin.

La zone centrale est une zone de mélange réservée à la floculation. La séparation des boues, de l'eau clarifiée, s'effectue dans une zone calme située en périphérie de la zone centrale. Une partie de celle-ci atteint par gravité la zone de mélange centrale pour y être recirculée à l'interne, alors que l'autre partie atteint un concentrateur localisé d'un côté du décanteur et est éliminée par un système de collecte gravitaire. L'eau clarifiée est reprise habituellement par des déversoirs crénelés situés en périphérie.

Cette technologie permet une capture ou une adsorption efficace des colloïdes et autres particules dans la masse de boues, ce qui confère aux floes des propriétés facilitant la séparation solide-liquide.

Les technologies *Accelator*, *Circulator*, *Turbocirculator*, *Reactor-Clarifier*, *IWS Solids Contacts Clarifier*, *Contraflo*, *MC Clariflow*, sont tous des décanteur à recirculation interne de boues. En eau de surface, ces technologies sont présentement considérées comme étant en phase de validation.

#### **Critères de conception**

La vitesse ascensionnelle maximale des décanteurs à recirculation interne de boues est de 2,5 m/h, appliquée sur la surface de décantation utile (zone centrale exclue). Si des tubes de 60cm de hauteur sont ajoutés dans la partie supérieure du décanteur, la vitesse ascensionnelle maximale alors permise est alors de 4,5 m/h.

Ces décanteurs doivent être pourvus d'orifices submergés ou de déversoirs localisés en périphérie pour la collecte de l'eau décantée sur une distance horizontale maximale de 30 mètres.

### 9.8.1.4 Décantation lamellaire à recirculation externe de boues et à épaissement intégré

#### **Description**

Cette technologie, connue sous le nom de *Densadeg*, intègre les étapes : 1) de floculation (s'effectue dans un bassin séparé de la zone de décantation qui reçoit également les boues recirculées); 2) de décantation lamellaire (l'eau décantée est reprise par un réseau de goulottes à

créneaux ou de conduites submergées); et 3) d'épaississement des boues (un racleur est intégré au bassin de décantation).

Le principe sous-jacent à cette technologie consiste à profiter au maximum de l'effet de concentration des boues, qui favorise le contact avec les constituants de l'eau brute, permet le grossissement des flocons et leur confère d'excellentes propriétés de décantation. L'extraction puis la recirculation mécanique externe des boues permet un excellent contrôle de la concentration des boues recirculées dans le décanteur.

### **Critères de conception**

La vitesse ascensionnelle maximale admissible est de 25 m/h en eau de surface lorsque des tubes alvéolés de 50 mm de section et de 1300 mm de hauteur sont utilisés. Ces vitesses sont toutefois à valider par des essais pilotes, car peu d'expériences en eau froide ont été menées au Québec jusqu'à maintenant. Pour cette raison, la technologie est considérée comme étant en phase de validation.

#### **9.8.1.5 Décantation lamellaire à floc lesté**

### **Description**

Le décanteur lamellaire à floc lesté est un décanteur associant les techniques de la floculation lestée et de la décantation lamellaire. Ce procédé intègre un bassin de coagulation, un bassin d'injection de floculant et de microsable, un bassin de floculation (chacun des bassins est muni d'un agitateur vertical à hélice) et un décanteur lamellaire muni d'un racleur de boues ou de trémies. Une pompe à boues et un hydrocyclone permettent de recirculer le microsable et d'éliminer les boues.

Le principe de ce procédé est basé sur l'usage d'un microsable qui s'intègre au floc et lui confère une vitesse de décantation très élevée. La seule technologie utilisée actuellement au Québec est le décanteur *Actiflo*. Elle est considérée comme étant éprouvée.

### **Critères de conception**

Bien que certaines installations fonctionnent actuellement à des vitesses ascensionnelles comprises entre 40 m/h et 60 m/h, la vitesse maximale de conception recommandée est de 40 m/h. à la date de tombée du texte, le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* préparait une fiche technique définissant les conditions dans lesquelles la conception peut être faite pour des vitesses supérieures à 40 m/h.

Le temps de rétention hydraulique dans les bassins de conditionnement de l'eau est de l'ordre de :

- Pour la coagulation : minimum 1 minute (typiquement 1,5 à 2 minutes);
- Pour l'injection : minimum 2 minutes (typiquement 2 minutes);
- Pour la floculation : minimum 3 minutes (typiquement 6 minutes).

Les tubes de décantation, d'une hauteur verticale de l'ordre de 800 mm, ont une section alvéolée de 38 mm .

### 9.8.1.6 Autres éléments importants de conception pour la décantation

#### Éléments hydrauliques :

- l'écoulement dans les décanteurs doit être homogène et le moins turbulent possible pour ne pas nuire à la décantation et minimiser les chemins préférentiels ;
- le taux de débordement des déversoirs (crénelés, etc.) et/ou des conduites de sortie avec orifices ne devrait pas dépasser 10 m<sup>3</sup>/m/h;
- les orifices submergés doivent être entre 600 mm et 900 mm en dessous du niveau d'eau d'opération et la vitesse d'entrée devrait être inférieure à 0,15 m/s;
- l'eau ne doit pas parcourir une distance horizontale supérieure à 3 mètres pour atteindre les ouvrages de collecte d'eau clarifiée;
- la hauteur de la lame d'eau dans les goulottes ne doit pas dépasser la hauteur des bas de créneaux au débit nominal de conception;
- les zones de mélange doivent être pourvues d'une agitation suffisante pour éviter la déposition ( $G > 10 \text{ s}^{-1}$ ).

#### Aménagement

- l'installation des équipements doit inclure tout le nécessaire pour permettre la réparation ainsi que l'opération, l'analyse et le contrôle adéquat du procédé;
- l'accès pour l'entretien et l'observation (échantillonnage) du floc en divers points du décanteur doit être prévu;
- prévoir un dispositif d'eau de détassage pour les décanteurs avec trémies.

#### Accessoires

- les tubes de décantation avec leur système de support doivent :
  - être facilement enlevés et réinstallés;
  - être hexagonaux, de 50 mm de longueur de section, et être inclinés à 60 degrés par rapport à l'horizontal;
  - avoir une déflexion maximale de 1/240 de la portée sous la charge des tubes et d'un ou des opérateurs selon les besoins;
  - être submergés à une profondeur d'au moins 600 mm;
  - pouvoir être nettoyés rapidement à l'eau, à l'air ou par vidange partielle du décanteur;
- Pour chaque décanteur, prévoir la tuyauterie nécessaire pour :
  - échantillonner l'eau clarifiée ainsi que les boues;
  - vidanger les bassins et faciliter leur entretien;
  - extraire les boues.

### 9.8.2 Flottation à air dissous

#### 9.8.2.1 Description et principe du procédé

La flottation est un procédé de clarification qui utilise de fines bulles d'air auxquelles s'attachent les particules coagulées en suspension pour former un agglomérat (dont la densité est inférieure à celle de l'eau) qui monte vers la surface. Les fines bulles d'air sont produites par dissolution

d'air dans l'eau sous pression, puis par détente à l'atmosphère lorsque l'eau sursaturée est introduite dans la zone d'entrée du flottateur. L'eau traitée est soutirée au bas de l'unité de flottation et les boues flottées sont généralement éliminées par raclage de la surface ou par rehaussement du niveau d'eau afin que les boues débordent dans une goulotte dédiée à cette fin.

Pour l'instant, aucune technologie de flottation n'est reconnue comme étant éprouvée au Québec.

#### 9.8.2.2 Conditions d'application

Parmi les applications pour lesquelles la flottation à air dissous est attrayante, on note les eaux de surface colorées, de faible turbidité et de faible alcalinité ou les eaux de surface riches en algues. Ces eaux sont généralement difficiles à traiter par décantation, car leur conditionnement chimique entraîne la formation de floccs de faible densité qui ont une vitesse de sédimentation très faible.

La flottation à air dissous doit être précédée d'un conditionnement chimique de l'eau brute (coagulation et floculation) de façon à former des floccs de taille adéquate pour la flottation et être suivie d'une filtration. L'usage d'un aide-filtrant est nécessaire.

#### 9.8.2.3 Critères de conception

Pour l'instant des critères de conception ne sont pas encore définis pour le Québec. Le concepteur pourra toutefois se référer à la section 9.9.2.3 du volume 2 qui présente une synthèse de l'expérience européenne et nord-américaine.

### 9.8.3 *Filtre clarificateur*

#### 9.8.3.1 Principe de fonctionnement

Le filtre clarificateur est un filtre muni d'un média homogène de forte granulométrie. Ce média grossier permet l'utilisation de la pleine profondeur du lit filtrant et lui confère une bonne capacité d'emmagasinement sous une faible perte de charge, et ce, à un taux de filtration élevé.

La durée du cycle de filtration du clarificateur est relativement courte (entre 4 et 12 h) selon la charge appliquée. Puisqu'il ne constitue pas l'étape de filtration finale, son lavage peut se faire à l'eau brute et à l'air sur une courte période sans nécessiter de filtration à l'égout ni de lavage prolongé. La période d'arrêt est donc très courte et les coûts de l'eau utilisée pour le lavage sont infimes. La configuration habituelle de ce type de filtre (filtration ascendante) ainsi que le taux de charge hydraulique qui lui est appliqué correspondent aux critères de lavage usuels pour ce type de média. Aucune pompe de lavage spécifique n'est donc requise à cet effet.

#### 9.8.3.2 Conditions d'application

Le filtre clarificateur doit être précédé d'une coagulation et suivi d'une filtration. Contrairement à la décantation et à la flottation, qui peuvent clarifier des eaux très chargées en matières en

suspension, le filtre clarificateur permet de traiter des eaux brutes moins chargées correspondant à environ deux fois la charge admissible en filtration directe (voir section 9.10.7).

Cette technologie pourrait s'avérer intéressante pour les petites installations dont la qualité de l'eau brute répond aux conditions susmentionnées. Elle n'est cependant pas considérée comme éprouvée au Québec.

#### 9.8.3.3 Critères de conception

Le taux de filtration maximal admissible est de 25 m/h. Les autres critères de conception ne sont pas encore reconnus au Québec. Le concepteur peut néanmoins se guider sur les critères préconisés par les fabricants qui sont présentés à la section 9.8.3.3 du volume 2.

## 9.9 Filtration

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle vise à réaliser ou à compléter, à travers un lit filtrant, la réduction des particules en suspension, des coliformes, des virus, des parasites ainsi que la turbidité. Sans elle, plusieurs filières de traitement ne pourraient obtenir de crédits pour l'enlèvement des virus et des kystes de protozoaires.

Les filières de traitement incorporant une filtration peuvent être de type physico-chimique, physique, biologique ou adsorptive (voir aussi section 9.9 du volume 2).

Peu importe le type de filtre retenu, les équipements suivants sont exigés pour chaque filtre :

- Un débitmètre avec totalisateur du débit;
- Un dispositif de mesure de perte de charge;
- Un système de contrôle de débit à la sortie de chaque filtre pour assurer une répartition égale entre les filtres;
- Des robinets d'échantillonnage pour l'eau brute et l'eau filtrée (avant l'ajout d'autres produits chimiques);
- Un turbidimètre en continu sur chaque filtre avec enregistreur et alarme.

### 9.9.1 Filtration rapide à lavage intermittent

#### 9.9.1.1 Description du procédé

Ce procédé de filtration est celui qui est le plus utilisé au Québec. Il est caractérisé par un lavage intermittent de son média filtrant. Le sens de la filtration est habituellement descendant. Le taux de filtration et le type de lavage à utiliser dépendent de la composition du lit filtrant. On retrouve 3 types de filtres.

Les filtres à sable conventionnels sont composés d'un matériau de granulométrie uniforme. Les filtres à forte granulométrie uniforme doivent nécessairement être précédés d'une décantation

dynamique. La granulométrie grossière confère à ce filtre une grande capacité de stockage des boues mais la qualité du filtrat s'en trouve réduite si la charge qui lui est appliquée n'est pas abaissée au préalable.

Dans les filtres bicouches, l'eau traverse d'abord l'anthracite puis le sable. Ces filtres sont présentement très utilisés au Québec, car ils sont plus compacts que les deux premiers (taux de filtration supérieur) tout en demeurant efficaces. En raison de sa forte granulométrie, l'anthracite confère à ce type de filtre une bonne capacité de stockage pour les substances enlevées (réduit le taux d'augmentation de la perte de charge par rapport au filtre à sable conventionnel), tandis que le sable (de plus faible granulométrie) permet de maintenir une bonne qualité de filtrat.

Dans les filtres multicouches l'eau traverse d'abord l'anthracite puis le sable et finalement le grenat ou l'ilménite. La densité de ces matériaux est croissante afin d'assurer un reclassement automatique des médias lors des lavages. Ces filtres ont jusqu'à présent été moins populaires que les filtres bicouches au Québec, mais ils peuvent également être utilisés. La couche d'ilménite, dont la granulométrie est plus fine que celle du sable, permet d'optimiser plus facilement la qualité du filtrat que dans le cas des filtres bicouches.

#### 9.9.1.2 Champs d'application

Les filtres rapides à lavage intermittent sont tous des filtres de type physico-chimique. Seuls les filtres à granulométrie uniforme doivent être précédés d'une étape de décantation. Les autres peuvent être intégrés à une filière conventionnelle ou à la filtration directe :

Il est à noter que pour obtenir le crédit d'enlèvement requis pour les *Cryptosporidium*, la turbidité à la sortie de la filtration doit être inférieure ou égale à de 0,3 UTN.

### 9.9.1.3 Critères de conception

Le tableau 9-4 suivant résume les critères de conception des filtres rapides à lavage intermittent.

**Tableau 9-4 : Synthèse des critères de conception des filtres à lavage intermittent:**

|                         | <b>Sable</b>                                                                                                                       | <b>Granulométrie uniforme</b>                                                                        | <b>Bicouche</b>                                                                                                                                                                                                                         | <b>Multicouche</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Milieu filtrant         | Sable :<br>Haut : 600 à 750 mm<br>D <sub>10</sub> : 0,4 à 0,6 mm<br>CU : < 1,5                                                     | Sable :<br>Haut : 900 à 1200 mm<br>D <sub>10</sub> : 0,7 à 0,9 mm<br>CU : < 1,5                      | Hauteur minimale de 750 mm<br><br>Anthracite :<br>Haut : 450 à 600 mm<br>D <sub>10</sub> : 0,9 à 1,1 mm<br>CU : < 1,5<br>Dureté : 2,7 à 3,0 (MOH)<br><br>Sable :<br>Haut : 150 à 300 mm<br>D <sub>10</sub> : 0,4 à 0,6 mm<br>CU : < 1,5 | Grenat ou ilménite :<br>Haut : > 100 mm<br>D <sub>10</sub> grenat: 0,2 à 0,32 mm<br>D <sub>10</sub> ilménite: 0,15 mm<br>CU : < 1,5<br><br>Anthracite :<br>Haut : > 450 mm<br>D <sub>10</sub> : 0,9 mm<br>CU : < 1,5<br>Dureté : 2,7 à 3,0 (MOH)<br><br>Sable :<br>Haut : > 230 mm<br>D <sub>10</sub> : 0,45 mm<br>CU : < 1,5 |
| Taux de filtration      | 5 m/h                                                                                                                              | 7,5 m/h                                                                                              | 10 m/h                                                                                                                                                                                                                                  | 10 m/h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Profondeur filtre       | 2,6 m minimum                                                                                                                      | 2,6 m minimum                                                                                        | 2,6 m minimum                                                                                                                                                                                                                           | 2,6 m minimum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Lavage à contre courant | Eau seulement de 40 à 50 m/h avec lavage de surface<br><br>Ou encore<br><br>Lavage à l'air 55 à 70 m/h<br>Puis à l'eau 35 à 40 m/h | Air et eau simultané<br>Air : 50 à 60 m/h<br>Eau : 15 à 20 m/h<br>Suivi d'un rinçage<br>Eau : 20 m/h | le plus fréquent :<br>Lavage à l'air 55 à 70 m/h<br>Puis à l'eau 35 à 40 m/h<br><br>Ou encore<br><br>Eau seulement de 40 à 50 m/h avec lavage de surface                                                                                | Lavage à l'air 55 à 70 m/h<br>Puis à l'eau 35 à 40 m/h<br><br>Ou encore<br><br>Eau seulement de 40 à 50 m/h avec lavage de surface                                                                                                                                                                                            |

### 9.9.1.4 Autres éléments de conception

#### Fond de filtres

Le fond des filtres doit être conçu de telle façon que le taux de filtration et la distribution de l'eau de lavage soient uniformes sur toute la surface filtrante et que la perte de charge soit minimale. Il existe différents types de fond. Le fond le plus utilisé au Québec est le faux plancher muni de buselures à queue percée de fentes, ce qui peut permettre la constitution d'un matelas d'air sous le lit filtrant dans le cas d'un lavage à l'air et à l'eau. Cela assure également l'équipartition de l'air dans le filtre lors des lavages et permet l'élimination de la couche de support de gravier. Le fond de gravier avec drains perforés peut aussi être accepté pour supporter le média filtrant, si celui-ci est conçu selon les règles de l'art.

Dans le cas de l'utilisation de buselures, celles-ci doivent être composées d'un matériau inerte et être installées uniformément dans le faux plancher à raison d'environ 55 buselures/m<sup>2</sup>, de façon à s'assurer d'une bonne répartition. Les fentes des têtes des buselures doivent toujours être plus petites que la taille des grains du matériau filtrant et cumuler au moins 0,3% de la superficie totale du filtre.

Les fonds de filtres en gravier sont rarement utilisés dans les installations récentes. On retrouve à la section 9.9.1 des informations relatives à leur conception. On retrouve plus souvent des systèmes préfabriqués brevetés de fonds poreux ainsi que des systèmes de collecte et de distribution des eaux s'installant directement sur la dalle de fond du filtre.

### **Lavage des filtres**

Le lavage des filtres est toujours assuré en flux ascendant à l'aide d'un ou deux fluides, soit consécutivement, soit simultanément. Les taux d'air de lavage et d'eau de lavage indiqués plus haut sont fournis à titre indicatif, car la conception doit plutôt être basée sur un taux d'expansion du lit de 50%. Ultimement, les courbes d'expansion des matériaux de média filtrants demeurent la façon la plus précise de déterminer les taux d'air de lavage et d'eau de lavage.

Le taux d'eau de lavage utilisé peut varier légèrement en fonction des saisons à cause du changement de viscosité de l'eau. Le taux requis pour réaliser la même expansion du lit filtrant augmente lorsque la température de l'eau augmente. Les systèmes doivent être conçus pour être efficaces pour les températures d'eau de lavage les plus chaudes.

La durée totale du lavage devra être optimisée lors des premiers mois d'opération. La consommation d'eau de lavage est généralement plus grande en lavage à l'air, puis à l'eau, qu'en lavage simultané air et eau. La quantité d'eau utilisée pour le lavage des filtres ne devrait pas dépasser :

- 1% du volume d'eau traitée dans le cas d'un lavage air et eau simultané;
- 2% du volume d'eau traitée dans le cas d'un lavage air et eau séparé.

### **Lavage de surface**

Les systèmes de lavage fixes (4,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h) ou rotatifs (1,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h) sont acceptés. Ces derniers sont reconnus comme supérieurs aux premiers. L'arrangement du système doit permettre un nettoyage efficace des coins de filtres. En général, le diamètre de la conduite d'alimentation ne doit pas être inférieur à 4 cm. La pression requise est de 140 à 230 kPa. Il faut prévoir un système anti-siphon sur la conduite alimentant les gicleurs. Quand l'eau décantée est utilisée pour le lavage de surface, une pompe séparée (munie d'un clapet de sortie pour éviter toute interconnexion) est exigée.

### **Goulottes de lavage**

Les goulottes doivent être dimensionnées en fonction du débit de lavage maximal. Il doit y avoir au moins une hauteur libre (revanche) de 50 mm entre le bord supérieur des goulottes et le niveau d'eau dans celles-ci. La distance verticale entre le fond de la goutte et la surface filtrante doit être au minimum de 600 mm.

Les goulottes doivent être distancées de telle façon que chacune des goulottes desserve une surface filtrante égale et que les particules en suspension ne parcourent pas plus de 1 m pour atteindre la plus proche goutte. Le balayage de surface à l'eau décantée peut permettre de réduire considérablement le nombre de goulottes de récupération d'eau de lavage.

### **Autres éléments de conception**

Afin de compléter la conception des filtres rapides à lavage intermittent, il faut tenir compte des éléments suivants :

- Les murs intérieurs des filtres doivent être verticaux et lisses;
- Il doit y avoir une tête d'eau au-dessus du lit filtrant de 1 m ou plus;
- Un trop-plein (ou équivalent) ou un mécanisme d'alerte et de contrôle de haut niveau d'eau doit être prévu (à moins qu'il n'y ait interconnexion avec le décanteur);
- Chaque filtre possède son système de lavage indépendant et peut être isolé et vidangé;
- La tuyauterie doit être conçue pour recevoir 150% du débit de conception de chaque filtre;
- La tuyauterie doit permettre la pré-filtration à l'égout;
- La vitesse maximale permise dans les conduites ou canaux alimentant les filtres est de 0,6 m/s à 0,9 m/s et le tout doit être conçu selon les règles de l'art. Une attention spéciale doit être portée sur une répartition égale des débits d'eau décantée (pertes de charge) sur les filtres;
- Une deuxième pompe de lavage de secours est exigée pour assurer la capacité de lavage des filtres lors du bris de la première, à moins de prévoir d'autres possibilités semblables;
- Une vanne de contrôle de débit est requise sur la conduite principale d'eau de lavage. Ce débit d'eau de lavage doit pouvoir être mesuré;
- Un dispositif de sécurité (conduite de trop-plein ou interrupteur de haute pression) doit être prévu pour éviter les surpressions sous les filtres en cas de colmatage des buselures;
- Prévenir l'entrée d'air par la conduite d'effluent (siphon ou autre).

## *9.9.2 Filtration à lavage en continu*

### 9.9.2.1 Description du procédé

Ce procédé est caractérisé par un lavage en continu de son média filtrant. Le sens de la filtration peut être ascendant ou descendant, selon la marque de filtre utilisée. Dans tous les cas, le sable sale est pompé, avec une pompe à émulsion (injection d'air comprimé dans une colonne de faible diamètre), du fond du filtre vers un dispositif de nettoyage du sable localisé au-dessus du plan d'eau supérieur du filtre. Le sable nettoyé est retourné à la surface du lit filtrant. Un mouvement descendant continu du sable est ainsi généré par ce processus de nettoyage. Les eaux sales du filtre sont éliminées de manière continue.

La floculation se fait simultanément à la filtration. L'écoulement de l'eau brute coagulée à travers les interstices du sable provoque une agitation suffisante à la croissance de floccs. Ces derniers sont adsorbés directement sur les floccs déjà attachés aux grains de sable ou grossissent suffisamment pour être interceptés par le sable.

Seul le filtre *Dynasand*, utilisé en mode de filtration directe, est considéré comme une technologie éprouvée. Il ne reçoit cependant aucun crédit d'enlèvement pour les parasites et les virus (voir section 9.9.2 du volume 2). Le procédé *Dynasand* suivi de lampes UV et de chlore pourrait, par contre, permettre d'atteindre les crédits d'enlèvement requis. Dans ce cas, il faut cependant respecter la turbidité maximum de 0,5 UTN réglementaire dans le cas d'une eau filtrée et désinfectée.

#### 9.9.2.2 Champs d'application

Employé en mode de filtration directe, la charge maximale admissible appliquée sur ce type de filtre doit être inférieure à 60 mg/L en incluant les MES de l'eau brute, la partie précipitée du coagulant, le COT et les autres charges contenues dans l'affluent. En absence d'information sur la charge de l'eau brute coagulée, une turbidité maximale de 30 UTN est permise. Les limites maximales pour la couleur vraie de l'eau brute ne sont pas encore établies. Si l'eau est passablement colorée (> 40-60 UCV), des essais pilotes devraient être réalisés, particulièrement si la turbidité est également élevée. Employé en aval d'un décanteur, les limites sont similaires à celles des filtres à sable à forte granulométrie homogène.

En raison du lavage en continu de ce type de filtre, la qualité d'eau brute admissible maximale utilisée en mode de filtration directe se situe entre celle admissible pour la filtration directe traditionnelle (voir section 9.9.7) et celle admissible pour une filière de traitement conventionnelle (décanteur et filtre). Le lavage en continu permet de maintenir le média dans un état de filtration normal (perte de charge normale et constante dans le temps), et ce, malgré une charge appliquée élevée. D'autres éléments d'application se retrouvent aussi à la section 9.9.2 du volume 2.

#### 9.9.2.3 Critères de conception

L'unité de filtration sur sable à lavage en continu doit être conçue selon les critères suivants :

- Charge hydraulique : entre 2,5 m/h (et moins s'il y a risque de dégradation de la qualité du filtrat) et 7,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h;
- Profondeur du média requis lorsque utilisé en mode de filtration directe : 2 m (1 m si précédé d'une clarification);
- Granulométrie (sable seul) : D<sub>10</sub> de 1,1 mm et CU < 1,5;
- Le système doit permettre l'ajustement de la vitesse de lavage du sable et permettre au moins quatre lavages par jour;
- Le système doit pouvoir admettre une perte de charge d'au moins 1200 mm;
- Prévoir un débit de lavage continu de l'ordre de 5% à 10% du débit d'eau brute filtrée.

#### 9.9.2.4 Autres éléments de conception

Afin de compléter la conception des filtres à lavage en continu, il faut tenir compte des éléments suivants :

- L'air utilisé pour la pompe à émulsion du système de lavage doit être exempt d'huile;

- La tuyauterie doit être prévue pour assurer une filtration à l'égout indépendante pour chaque unité de filtration;
- Un système d'isolation à l'entrée et à la sortie de chaque filtre doit être prévu pour permettre l'entretien et l'opération de chaque filtre de façon indépendante;
- La tuyauterie doit être prévue pour éliminer rapidement les résidus de nettoyage obtenus après un traitement choc (nettoyage à l'air, chloration, etc.);
- Une mise à l'atmosphère du système d'alimentation en eau brute doit être assurée avant l'alimentation des filtres afin d'éviter le retour du sable filtrant à l'intérieur du système de distribution d'eau, dans le cas d'un coup de bélier dans la conduite d'alimentation (exigence applicable aux marques dont l'alimentation en eau brute est localisée dans ou sous le sable);
- Le temps de contact minimal après coagulation, mais avant l'admission au filtre, doit être d'au moins 2 minutes. Ce temps de contact peut être assuré en conduite ou dans un bassin ouvert;
- Le dégagement vertical au-dessus des filtres (intérieur du bâtiment des installations de traitement) doit être suffisant pour permettre l'enlèvement complet de la pompe à émulsion lorsqu'elle compte deux sections et plus. Une trappe située sur le toit au-dessus de chaque pompe est également acceptée (dans ce cas, la pompe peut être conçue en une seule section).

La section 9.9.2 du volume 2 apporte d'autres informations sur la conception, le suivi et le contrôle du procédé.

### 9.9.3 Filtration sur charbon actif biologique

#### 9.9.3.1 Description du procédé

L'utilisation du charbon actif en grains dans le traitement de l'eau potable a débuté par l'exploitation de ses propriétés d'adsorption. Les coûts associés à la régénération périodique du charbon sont élevés et la durée de vie utile de celui-ci peut être prolongée en l'utilisant en mode biologique. Lorsque la capacité d'adsorption du charbon s'épuise, il devient un média très efficace (en raison de sa porosité élevée) pour supporter une biomasse active capable de réduire la matière organique dissoute.

La filtration biologique est une technique d'affinage qui permet :

- L'enlèvement de la matière organique biodégradable et l'ammoniaque;
- L'amélioration des propriétés organoleptiques de l'eau (goût, odeur) et de la couleur;
- D'augmenter la stabilité biologique de l'eau pour mieux préserver la qualité de l'eau dans le réseau de distribution et limiter la possibilité d'une nouvelle croissance bactérienne;
- De réduire la concentration des sous-produits de désinfection;
- De réduire la demande en chlore.

La filtration biologique comprend deux étapes de traitement, soit l'ozonation et la filtration sur un lit de charbon actif en grains. Cette chaîne de traitement, habituellement appliquée sur une eau de surface, doit suivre une filière de traitement conventionnelle ou s'y intégrer (ozone à l'eau décantée et remplacement de l'anthracite des filtres bi-couches par du charbon actif). Ce procédé profite de l'ozonation qui favorise le fractionnement de la matière organique et augmente la

partie biodégradable de la matière organique dissoute. La section 9.9.3 du volume 2 apporte plus de détails sur la description du procédé.

#### 9.9.3.2 Champs d'application

À moins que la quantité de matière organique soit très faible dans l'eau brute, l'ozonation ne doit jamais être la dernière étape dans la chaîne de traitement, car il faut alors enlever la matière organique facilement assimilable ainsi que les sous-produits de désinfection qui se sont formés. Il a été démontré que les filtres à charbon actif biologique produisent une certaine quantité de carbone sous forme de biomasse bactérienne. L'étape de désinfection finale en aval de la filtration, permet de contrôler adéquatement la qualité microbiologique de l'eau produite.

La filière biologique offre la possibilité de pouvoir s'intégrer à une filière conventionnelle lors de la réfection d'une usine : l'antracite des filtres bi-couches est alors remplacé par du charbon actif, alors que l'ozonation est ajoutée en amont des filtres en corrigeant le profil hydraulique et en modifiant la tuyauterie ou la hauteur des filtres. Les crédits d'enlèvement accordés à la filtration sur charbon actif biologique, en remplacement des filtres actuels, dépendent alors du respect des critères de conception des filtres bicouches et de la qualité du filtrat (voir section 9.9.1).

#### 9.9.3.3 Critères de conception

##### **Ozonation**

L'unité d'ozonation pour la filtration biologique doit être conçue selon les critères suivants (voir aussi section 10.4.2) :

- Un dosage de l'ordre de 0,5 à 1,0 mg O<sub>3</sub>/mg de COD permet d'obtenir un taux optimum de formation de matière organique assimilable;
- Le dosage requis pour atteindre les objectifs de désinfection (voir section 10.4.2) est généralement supérieur à celui de l'oxydation de la matière organique biodégradable.

##### **Filtration sur charbon actif biologique**

Les filtres sur charbon actif biologique sont conçus sur la même base que les filtres bicouches (voir section 9.9.1). Les critères de conception suivants, sont par contre spécifiques à la filtration sur charbon actif biologique :

- La composition du milieu filtrant est similaire à celle des filtres bicouches à l'exception du CU qui doit être égal ou inférieur à 1,9 et de la hauteur du charbon actif qui dépendra du temps de contact nécessaire;
- Un temps de contact en fût vide (voir plus loin) compris entre 10 et 20 min permettrait d'atteindre les abattements souhaités de la matière organique biodégradable (selon des observations empiriques effectuées en France, aux États-Unis et au Canada);
- Prévoir des équipements de lavage qui puissent donner une expansion minimale de 30% du lit filtrant pour s'assurer de l'efficacité du rinçage;
- Les pompes de lavage doivent avoir le potentiel permettant de fournir un débit de 40 à 50 m/h.

### **Temps de contact**

La performance des filtres biologiques dépend essentiellement de quatre facteurs : le temps de contact, la température, la concentration de la matière organique biodégradable à l'affluent et la composition de la matière organique. Le seul de ces paramètres sur lequel on peut exercer un contrôle est évidemment le temps de contact. Peu importe le régime hydraulique, le temps de contact gouverne l'efficacité de l'abattement de la matière organique. C'est le paramètre clé dans la conception des filtres biologiques.

Le temps de contact réel dans les filtres est souvent inconnu et il est remplacé par le temps de contact en fût vide (TCFV). Le TCFV se calcule en divisant le volume total qu'occupe le média filtrant (le charbon actif en l'occurrence) par le débit d'alimentation du filtre.

#### **9.9.3.4 Autres éléments de conception**

Les éléments suivants sont aussi à considérer pour la conception des filtres sur charbon actif biologique :

- Les mesures visant à prévenir les émanations provoquées par le dégazage de l'ozone en surface des filtres et à éviter sa propagation dans l'ensemble de l'usine, sont décrites dans le chapitre 15 du volume 2;
- Il est préférable d'utiliser une eau non chlorée pour un meilleur contrôle des paramètres et le maintien d'une quantité supérieure de biomasse fixée. Toutefois, les lavages à l'eau chlorée n'ont pas d'impact significatif sur la performance globale du procédé;
- À cause de sa faible densité, on peut s'attendre à une perte annuelle de 3% due à l'attrition du charbon (réduction du matériau en fines particules sous l'effet mécanique abrasif des lavages) et aux pertes par entraînement lors des lavages;
- La hauteur de revanche entre le haut des goulottes de lavage et la surface des matériaux en expansion ne devrait jamais être inférieure à 20 cm;
- La substitution de l'anthracite par le charbon dans un filtre existant nécessite le réajustement des débits de lavage et possiblement celui du niveau des goulottes;
- La construction du fond de filtre doit être faite avec soin, de manière à ce qu'il soit parfaitement à niveau. Le dégazage de bulles d'air accumulées dans des points hauts sous le plancher des filtres risque d'entraîner la perte de charbon durant les lavages;
- La fréquence des lavages doit pouvoir être augmentée (intervalle de 4 jours) afin de contrôler la diversité biologique et le développement d'organismes supérieurs;
- Les filtres biologiques doivent être opérés en continu pour maintenir des conditions aérobies et préserver la santé de la biomasse. Toujours procéder au lavage des filtres avant leur remise en service, suite à un arrêt, afin d'éliminer des concentrations potentielles de substances indésirables telles que le COD, les nitrates, le bromure et l'ammoniaque.

La section 9.9.3 du volume 2 apporte de l'information supplémentaire sur le suivi et le contrôle du procédé.

#### 9.9.4 Filtration sur précouche (terre à diatomée)

##### 9.9.4.1 Description du procédé

La filtration sur précouche désigne un type de procédé dans lequel le milieu filtrant est formé par dépôt sur une couche de support appelée septum. La filtration se fait principalement par tamisage à la surface du milieu. Le milieu filtrant le plus couramment utilisé est la terre à diatomée. Ces filtres sont parfois appelés filtres à terre à diatomée ou filtres diatomites. La terre à diatomée est formée de diatomées qui sont des carapaces siliceuses fossiles d'origine marine, de taille très fine (5 à 17 µm) et ayant un pouvoir adsorbant reconnu.

Son fonctionnement s'effectue généralement sur un cycle comprenant trois étapes : 1) mise en place de la précouche; 2) filtration; 3) lavage à contre-courant.

Au cours de la première étape, une mince couche de milieu filtrant (environ 2 à 5 mm) est appliquée pour recouvrir le septum. Le septum est constitué d'une structure poreuse conçue pour retenir les plus petites particules de terre à diatomée. Lorsque la précouche est formée, le cycle de filtration peut commencer. Lors de la filtration, les particules insolubles de taille semi-colloïdale ou plus grande (1µm) sont capturées et retenues surtout à la surface du filtre. Lors du cycle de filtration, un apport continu de terre à diatomée (proportionnel aux solides enlevés) est mélangé à l'eau brute. Ceci permet de maintenir la perméabilité de la surface du filtre et prolonge les cycles de filtration. Lorsque la perte de charge au travers du filtre atteint un maximum, la filtration est arrêtée pour initier un lavage à contre-courant afin de nettoyer le septum de toute la boue accumulée en surface. On relance ensuite le processus de filtration avec une nouvelle épaisseur de précouche.

Il est à noter qu'il n'y a aucune installation au Québec qui utilise les filtres sur précouche.

##### 9.9.4.2 Champs d'application

En général, l'utilisation de la filtration à terre à diatomée se limite strictement au traitement d'une eau brute de faible turbidité. C'est une technologie qui utilise le principe de traitement physique, sans coagulation au préalable et ne peut donc pas servir pour l'enlèvement de couleur et de matières dissoutes. On recommande généralement de limiter les applications aux eaux brutes de turbidité inférieure à 10 UTN. Il faut cependant s'assurer que cette turbidité n'est pas provoquée par des matières colloïdales de nature argileuse, car ces dernières sont difficilement enlevées par la filtration à terre à diatomée. Pour des concentrations supérieures, des essais pilotes sont requis afin de déterminer les performances d'enlèvement ainsi que les critères d'opération. Enfin, on devra s'assurer que les analyses d'eau brute mesurent les quantités d'algues et de planctons, car celles-ci sont nuisibles au bon fonctionnement de ces filtres.

Généralement, aucun prétraitement n'est requis. Cependant, dans le cas où l'eau brute subirait des poussées de croissance d'algues, un prétraitement devrait être considéré afin de ramener la qualité de l'eau brute à des teneurs acceptables. Le prétraitement peut être réalisé avec l'aide d'un microtamisage ou d'un filtre à granulométrie grossière (*roughing filters*). Une attention

particulière devra cependant être portée à l'efficacité de nettoyage de ces filtres de manière à restaurer la capacité de traitement initiale.

#### 9.9.4.3 Critères de conception

Les filtres sur précouche doivent être conçus selon les critères suivants :

- Les filtres peuvent être sous pression ou sous vide (ces derniers sont préférés des utilisateurs puisqu'ils permettent d'observer la surface filtrante ainsi que son fonctionnement);
- Le taux de filtration est de 2,4 à 3,7 m/h (contrôlé par un dispositif mécanique);
- Pendant la formation de la précouche, l'eau filtrée sera soit recirculée (terre à diatomée appliquée : 0,49 kg/m<sup>2</sup> ou suffisamment pour former une épaisseur de 2 à 5 mm), ou rejetée à l'égout (terre à diatomée appliquée : 0,73 à 0,98 kg/m<sup>2</sup>);
- Des concentrations de 1 à 3 mg/L sont typiques pour l'ajout de terre en continu;
- La perte de charge ne pourra excéder 210 kPa pour des filtres sous pression ou –51 kPa pour des filtres sous vide;
- Les filtres doivent être conçus de façon à prévenir un colmatage et un espacement d'un minimum de 2,5 cm entre chacune des composantes des filtres doit être prévu.

#### 9.9.4.4 Autres éléments de conception

Les éléments suivants sont aussi à considérer pour la conception des filtres sur précouche :

- Le réseau de conduits servant à véhiculer la solution de terre diatomée doit être facilement accessible pour pouvoir effectuer son entretien;
- La préparation de la solution de terre à diatomée doit être maintenue continuellement en suspension pour faciliter le contrôle du dosage;
- Un taux de recirculation de 0,24 m/h devra être maintenu quand l'unité de filtration est en arrêt. Ceci préviendra le détachement de la précouche du milieu filtrant;
- Les composantes du filtre doivent pouvoir résister aux pressions maximales et aux variations de vitesses lors de la filtration et des lavages à contre-courant;
- L'entrée d'eau brute ne doit pas entraîner la formation de remous de terre à diatomée sur la surface filtrante;
- Une méthode de nettoyage doit être prévue afin de détacher efficacement le gâteau de boue sur le septum.

### 9.9.5 Filtration lente sur sable

#### 9.9.5.1 Description du procédé

La filtration lente sur sable est un procédé simple, tant par sa conception que par sa mise en place et son exploitation. Le filtre est généralement composé d'une épaisseur de sable fin supportée par une couche de gravier. L'eau traverse lentement cette couche de sable fin, de sorte que les plus grosses particules sont arrêtées près de la surface du sable. Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui favorise l'adsorption des impuretés par cette couche ou le sable sous-jacent. Cette couche poreuse est

constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires communément appelés *schmutzdecke*, c'est un terme d'origine allemande. La filtration lente combine donc les effets des processus physiques et biologiques.

#### 9.9.5.2 Champs d'application

En général, l'utilisation de la filtration lente conventionnelle se limite au traitement d'une eau brute légèrement turbide et colorée. Les valeurs maximales recommandées à l'eau brute sont de 10 UTN pour la turbidité et de 15 UCV pour la couleur. Pour des concentrations supérieures, ou si la turbidité est générée principalement par des matières colloïdales de nature argileuse, des essais pilote sont requis afin de déterminer les performances d'enlèvement de même que les critères d'opération. Enfin, on devra s'assurer que les analyses d'eau brute incluent des mesures d'algues et de planctons puisque ceux-ci sont nuisibles au bon fonctionnement des filtres lents.

La section 9.9.5 du volume 2 apporte des informations supplémentaires sur le procédé.

#### 9.9.5.3 Critères de conception

Les critères de conception pour la filtration lente sur sable sont les suivants :

- Le  $D_{10}$  doit être entre 0,15 mm et 0,30 mm avec un CU ne dépassant pas 2,5;
- Le taux de filtration est de 0,1 à 0,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h;
- Une tête d'eau de 0,9 à 1,8 m doit être maintenue au-dessus des filtres. Cette dernière détermine en partie la fréquence de raclage des filtres;
- L'entrée d'eau brute sur le filtre doit être répartie et se situer à au moins 300 mm au-dessus du lit de sable submergé afin d'éviter la formation de remous à la surface;
- La vitesse d'écoulement dans les conduites de collecte ne doit pas dépasser 0,25 m/s;
- La distance entre deux drains latéraux ne doit pas excéder 1,0 m;
- Le milieu filtrant doit être placé sur une couche de gravier de 0,8 m à 1,3 m.

#### 9.9.5.4 Autres éléments de conception

Les éléments suivants sont aussi à considérer pour la conception de filtres lents sur sable :

- Avoir une alimentation continue des filtres sur un cycle journalier afin de maintenir un apport constant en oxygène pour la biomasse;
- Chaque filtre doit être muni d'un collecteur principal et d'un nombre suffisant de drains latéraux pour recueillir l'eau filtrée;
- Le radier de la structure de sortie de l'effluent (conduite ou déversoir ajustable) doit toujours être au-dessus du niveau supérieur du sable afin d'éviter l'apparition de pression négative qui provoquerait un phénomène de dégazage (colmatage du lit filtrant);
- Les couches de gravier servant de support au lit filtrant doivent être conformes aux exigences applicables aux filtres rapides (voir section 9.9.1 du volume 2);
- L'ajout de sable sera obligatoire lorsque la profondeur de sable atteindra un minimum de 30 à 50 cm. Si on prévoit réutiliser du sable afin de réduire la période d'ensemencement, celui-ci sera toujours ajouté au-dessus du nouveau sable. Afin d'accélérer la remise en opération et

d'augmenter l'efficacité du filtre, on recommande d'ajouter en surface au moins 15 cm (sur le minimum de 50 cm) de sableensemencé ou de sable lavé et entreposé lors de l'opération de resablage;

- Le nettoyage du sable doit obligatoirement avoir été réalisé par raclage de la couche de surface colmatée. La fréquence de raclage peut varier entre un et six mois;
- Dans le cas où l'approvisionnement en sable serait problématique ou trop coûteux, prévoir des systèmes pour le lavage et l'entreposage du sable raclé;
- La filtration à l'égout et le trop-plein sont exigés sur chaque filtre;
- La conduite d'alimentation d'eau brute doit être aménagée au-dessus du niveau d'eau du filtre;
- Prévoir des conduites pour le remplissage par le fond des filtres afin de chasser l'air du média avant sa mise en opération.

### 9.9.6 Filtration sur charbon actif granulaire

#### 9.9.6.1 Description du procédé

Les procédés de filtration décrits dans les sections précédentes peuvent être adaptés pour des besoins particuliers en remplaçant des matériaux inertes comme le sable ou l'anthracite par du charbon actif granulaire (CAG). Les paramètres habituellement visés sont les goûts et odeurs, le carbone organique, les substances organiques volatiles, les précurseurs de sous-produits halogénés, les pesticides, etc. De plus, la filtration sur CAG peut faire partie d'une filière particulière comme, par exemple, la déchloration dans une situation où aucune trace de chlore résiduel ne doit subsister dans l'eau.

La section 9.9.6 du volume 2 apporte des informations supplémentaires sur le procédé.

#### 9.9.6.2 Champs d'application

Les CAG sont fabriqués avec différents matériaux, de sorte qu'on trouve sur le marché un grand nombre de produits. Avant d'arrêter un choix sur un matériau, il faut définir les besoins réels et vérifier avec les fournisseurs quels produits peuvent être considérés. Il faut en général une eau peu turbide et libre d'agents colmatants pour filtrer directement sur du CAG. Les filtres de CAG peuvent être installés à la suite d'une étape de prétraitement physico-chimique ou après des filtres inertes.

Il faut se rappeler que des métaux bivalents dissous dans l'eau peuvent se fixer dans les pores, réagir avec les composés et dégrader rapidement la capacité d'adsorption des CAG. Le chlore réagit avec les CAG et en diminue la masse ainsi que la capacité d'adsorption. Ces réactions peuvent libérer des sous-produits chlorés dans l'eau.

Dans tous les cas, il faut procéder à des essais en laboratoire et, si nécessaire, à des essais pilotes pour déterminer le matériau à retenir et établir les critères de conception pertinents.

### 9.9.6.3 Critères de conception

Les critères de conception pour la filtration sur charbon actif granulaire sont les suivants :

- Deux granulométries couramment utilisées :  $D_{10}$  entre 0,42 mm et 1,68 mm avec un CU de 1,7 à 1,9 ou  $D_{10}$  entre 0,59 mm et 2,38 mm avec un CU de 1,7 à 1,9;
- La surface spécifique est généralement de 500 à 600 m<sup>2</sup>/g et autour de 1000 m<sup>2</sup>/g en enlèvement des goûts et odeurs;
- Le diamètre des pores du CAG varie énormément selon les fournisseurs et les applications (< 2 nm à > 50 nm);
- La densité apparente varie en général entre 270 et 500 kg/m<sup>3</sup>;
- Le taux de filtration sur les filtres à charbon est de 10 m/h;
- L'épaisseur de la couche filtrante va dépendre des essais pilotes et comme il s'épuise dans le temps, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un volume supérieur de charbon pour allonger les cycles d'utilisation et augmenter le temps de contact.

La section 9.9.6 apporte des éléments supplémentaires pour la conception de la filtration sur charbon actif granulaire.

### 9.9.6.4 Autres éléments de conception

#### **Mise en place, remplacement et disposition**

Après l'utilisation en adsorption, le CAG doit être périodiquement remplacé. Il faut ainsi prévoir les moyens appropriés pour retirer le CAG des filtres et en installer du nouveau. Les charbons actifs étant des matériaux plus ou moins friables, ils contiennent habituellement des particules fines qui se dispersent facilement dans l'environnement lorsque le matériau est manipulé. Le moyen le plus simple de contrôler la poussière consiste à déplacer le matériau avec un système hydraulique comportant une étape de mouillage et un éjecteur. Il faut se rappeler que la poussière en question est explosive lorsque sa concentration dans l'air est « optimale » et qu'elle salit le milieu où elle se dépose.

Le CAG qui est extrait des filtres après usage peut être régénéré si les substances adsorbées peuvent en être retirées. Si le volume est suffisant, le fournisseur se charge de reprendre le charbon pour le régénérer. Dans le cas où le matériau ne pourrait être régénéré, il doit être transporté dans un site de disposition agréé. Il est nécessaire de faire analyser le CAG pour choisir son mode de disposition (soit l'enfouissement ou considéré comme déchet dangereux).

#### **Autres éléments de conception**

Les éléments suivants sont aussi à considérer pour la conception de filtres sur charbon actif granulaire :

- Prévoir une expansion d'environ 40% du lit filtrant lors des lavages;
- Faire attention pour éviter de perdre du CAG dans les eaux de lavages;
- Tenir compte de la température de l'eau lors de la conception des cycles de lavages;

- Si le CAG repose sur un autre média filtrant (filtre bicouche ou multicouche), prévoir un taux de lavage supérieur à 37 m/h.

### 9.9.7 Filtration directe

#### 9.9.7.1 Description du procédé

La filtration directe est un procédé de traitement des eaux de surface qui comprend l'ajout d'un coagulant, un mélange rapide, une floculation et une filtration : l'absence de décanteur constitue la particularité de ce procédé. Le terme de filtration directe s'applique donc de façon générale à deux types de procédés :

- Coagulation/filtration, encore appelée filtration en ligne ou floculation sur filtre ou encore floculation de contact (absence de bassin de floculation et de décanteur);
- Coagulation/floculation/filtration (absence de décanteur uniquement).

La section 9.9.7 du volume 2 fournit des informations supplémentaires sur ce procédé.

#### 9.9.7.2 Champs d'application

Le traitement des eaux brutes de très bonne qualité (faibles valeurs de la turbidité, du COT et de la couleur) ne nécessite pas la mise en place de toutes les étapes d'une filière conventionnelle. La filtration directe est un traitement simplifié adapté à ces types d'eau.

Selon un rapport publié par un comité de spécialistes de l'AWWA (1980), voici les critères requis pour les eaux brutes pouvant être admissibles à un traitement par filtration directe :

- Turbidité typique de moins de 5 UTN mais il existe des applications documentées jusqu'à 10 et même 50 UTN;
- Couleur vraie < 40 unités couleur;
- Algues < 2000 unités/ml;
- Fer < 0,3 mg/L;
- Manganèse < 0,05 mg/L.

Des études ont montré que lorsque la dose d'alun requise pour produire un filtrat de qualité acceptable dépasse 15 mg/L, la filtration directe ne serait pas un choix judicieux. Les eaux qui requièrent de 6 à 7 mg/L d'alun en combinaison avec un faible dosage de polymère sont propices à la filtration directe. L'utilisation d'un aide filtrant s'avère toutefois nécessaire pour assurer la qualité de l'effluent. Lorsque la quantité d'algues demeure très faible, il a aussi été démontré qu'il est possible de traiter des eaux brutes légèrement plus turbides, de l'ordre de 10 à 15 UTN. Dans certaines conditions, il est même possible d'utiliser la filtration directe jusqu'à une turbidité de l'eau brute de 50 UTN (Letterman, *Journal of AWWA*, décembre 1987).

### 9.9.7.3 Autres éléments de conception

La conception des filtres pour la filtration directe est, dans la plupart des cas, basée sur les résultats d'essais pilotes ainsi que sur les critères de conception des filtres conventionnels. Certains critères généraux sont énumérés ci-après :

- Le temps de rétention du bassin de coagulation doit être d'au moins 5 minutes en absence de floculation;
- L'emploi d'un aide-coagulant devrait être envisagé afin de réduire le volume de boue formé par l'alun. L'alun et l'aide filtrant sont toujours requis;
- Le pourcentage d'eau de lavage à considérer est plus élevé que pour un filtre dans une usine conventionnelle (6 à 10%);
- Les médias utilisés sont les mêmes que pour les filtres bi-couches et multicouches;
- Un essai de traitabilité, réalisé dans la pire saison, est toujours requis pour la conception;
- Une granulométrie homogène peut être utilisée mais un essai pilote est alors nécessaire (voir section 9.1). C'est aussi le cas lorsque le concepteur veut travailler à une vitesse de filtration plus élevée que celles définies pour les filtres conventionnels.

Les performances des filières de filtration directe sont moins documentées que celles des systèmes conventionnels et semblent davantage faire appel à une évaluation selon le type d'eau à traiter. Dans tous les cas, des essais rapides de floculation en bécher (*jar test*) et des tests de filtration sur membrane de laboratoire, complétés par des études pilotes, sont recommandés avant d'opter pour une filière de filtration directe.

### 9.9.8 Filtration sous pression

#### 9.9.8.1 Description du procédé

Les filtres sous pression utilisent les mêmes processus de filtration que les filtres gravitaires. Pour obtenir des performances similaires aux filtres gravitaires, ils font appel aux mêmes médias filtrants avec les mêmes vitesses et les mêmes pertes de charge. L'avantage des filtres sous pression réside dans la possibilité de distribuer directement l'eau traitée sans autre pompage.

La filtration sous pression est fréquemment utilisée pour le traitement des eaux souterraines, et plus spécifiquement, pour l'enlèvement du fer et du manganèse. Par contre, son utilisation pour le traitement de l'eau de surface est exceptionnelle, voire même interdite dans certains états américains et certaines provinces canadiennes. Au Québec, aucune technologie de filtration sous pression n'est reconnue comme étant éprouvée. Le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* aura peut-être à évaluer des technologies de filtration sous pression pour la production d'eau potable à partir d'eau de surface.

## 9.10 Filtration membranaire

Une membrane est une très mince couche de matière qui permet, sous l'action d'une force motrice, de faire une séparation à l'échelle microscopique. La force motrice peut être une différence de pression, de potentiel électrique ou de concentration de part et d'autre de la membrane. Dans le

présent *Guide de conception*, seuls les procédés utilisant une différence de pression comme force motrice sont présentés car ce sont, actuellement, les procédés principalement utilisés pour produire de l'eau potable. Ces procédés sont généralement classés suivant 4 catégories: microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF) et osmose inverse (OI). Au-delà de cette classification arbitraire, il est primordial de connaître les caractéristiques d'une membrane pour pouvoir faire un choix approprié.

#### 9.10.1 Description

Les membranes sont fabriquées à partir de polymères organiques ou à partir de matières inorganiques (métaux, oxydes métalliques, verre, carbone, carbure de silicium, etc.). Les principaux polymères utilisés pour fabriquer des membranes sont:

- Les polymères dérivés de la cellulose (acétate, bi- ou tri-acétate, cellulose régénérée);
- Les polyamides;
- Les polysulfones et les polyéthersulfones;
- D'autres polymères (polypropylène, fluorures de polyvinylidène, polycarbonates, etc.).

Les membranes sont fabriquées sous forme plane ou tubulaire. En pratique, la désignation de membranes tubulaires est réservée aux plus gros tubes (diamètre intérieur supérieur à 6 mm) alors que la désignation de fibres creuses est réservée aux tubes fins (diamètre externe inférieur à 2 mm). À l'exception de certaines membranes de MF, les membranes ont une structure asymétrique, c'est-à-dire qu'elles sont constituées d'une couche superficielle très mince (0,1 à 0,5  $\mu\text{m}$  d'épaisseur d'après Aptel et Buckley, 1996) de très fine porosité et d'une sous-couche plus épaisse de porosité beaucoup plus large. La séparation a lieu dans la couche superficielle tandis que la sous-couche confère une résistance mécanique à la membrane. Les deux couches peuvent être faites de différents matériaux comme c'est le cas pour les membranes composites (*Thin Film Composite*, TFC).

##### 9.10.1.1 Classification des membranes

Le pouvoir de séparation d'une membrane dépend de sa structure poreuse et de la nature du matériau membranaire. Les ordres de grandeur des tailles des pores des membranes d'OI, de NF, d'UF et de MF sont présentés au tableau 9-5. Les membranes sont aussi souvent classées en termes de masse molaire des colloïdes ou des solutés qui peuvent être retenus par une membrane. En particulier, les membranes sont souvent définies suivant leur seuil de coupure (*molecular weight cutoff* dont l'abréviation MWCO est bien connue) qui correspond à la masse molaire des solutés retenus à 90% par une membrane. À moins de spécifier les conditions dans lesquelles le seuil de coupure a été déterminé, cette classification doit être utilisée prudemment et ne devrait servir qu'à situer grossièrement le pouvoir de séparation d'une membrane. Les membranes peuvent aussi être caractérisées par des taux de rétention de substances de référence qui sont généralement :

- NaCl en OI;
- $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  ou sucre en NF;
- Dextran ou protéine en UF;
- micro-particules calibrées en MF.

Il est important de connaître les conditions dans lesquelles les taux de rétention ont été mesurés (pression transmembranaire, débit d'écoulement tangentiel ou mode d'agitation et puissance d'agitation, température, concentration, taux de récupération) car les taux de séparation observés dépendent des conditions d'opération. Soulignons aussi que peu d'informations sont généralement disponibles sur les propriétés de surface des membranes (charge de surface, hydrophobicité) même si ces caractéristiques jouent un rôle important dans la séparation, en particulier en NF et en OI.

**Tableau 9-5 : Quelques propriétés des membranes**

| Propriété                                                                       | MF                            | UF                     | NF                  | OI                      |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| Taille des pores (couche superficielle)                                         | 0,05 à quelques $\mu\text{m}$ | quelques nm à 100 nm   | $\sim 1 \text{ nm}$ | $< 1 \text{ nm}^{(a)}$  |
| Perméabilité à l'eau déminéralisée à 25°C ( $\text{m s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ) | $10^{-8}$ à $10^{-9}$         | $10^{-9}$ à $10^{-10}$ | $\sim 10^{-11}$     | $10^{-11}$ à $10^{-12}$ |

<sup>(a)</sup> La notion de pores dans le domaine de l'OI est difficile à définir, ce qui explique pourquoi certains auteurs considèrent ces membranes comme non poreuses.

La classification conventionnelle des membranes (OI, NF, UF, MF) est plus ou moins bien adaptée au domaine de l'eau potable. De plus, il existe de nombreuses différences dans les classifications des membranes dépendant de l'auteur consulté. Dans le présent *Guide de conception*, une classification un peu différente est proposée (voir figure 9-1). Celle-ci est basée avant tout sur les objectifs de traitement en eau potable, c'est-à-dire sur la désinfection, la réduction de la turbidité, l'enlèvement de la matière organique naturelle (MON) et sur la séparation des sels. Cette classification comprend 4 groupes de membranes qui sont aussi provisoirement définies en fonction de la taille des pores et/ou du seuil de coupure.

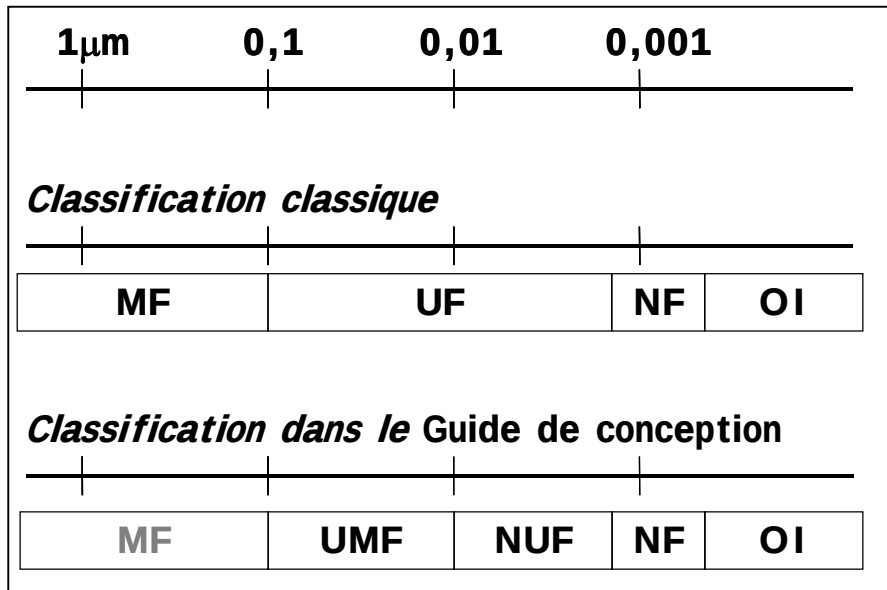
**Type UMF :** Ces membranes possèdent des pores dont le diamètre est inférieur ou égal à 0,1  $\mu\text{m}$  et supérieur à 10 nm; elles permettent de retenir les bactéries pathogènes (la taille minimale des bactéries est de 0,2  $\mu\text{m}$ ), les kystes de protozoaires et la quasi-totalité des particules à l'origine de la turbidité; elles sont classées à la limite de la MF et de l'UF et couvrent aussi la partie supérieure du spectre de l'UF;

**Type NUF :** Ces membranes possèdent des pores dont le diamètre est plus petit que 10 nm et ont un seuil de coupure qui se situe entre 50 000 et 600 Dalton; elles permettent de retenir en plus les virus (d'après AWWA, 1999A, les virus mesurent de 20 à 100 nm) ainsi qu'une proportion variable de la MON dissoute; elles sont classées à la limite de la NF et de l'UF et couvrent aussi la partie inférieure du spectre de l'UF;

**Type NF :** Ces membranes ont un seuil de coupure inférieur à environ 600 Dalton; elles permettent de retenir en plus une très forte proportion de la MON dissoute et des ions multivalents ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , etc.);

**Type OI :** Ces membranes ont un seuil de coupure inférieur à environ 300 Dalton; elles permettent un haut taux d'enlèvement des ions monovalents ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^+$ , etc.) et peuvent séparer certaines molécules organiques de très faible masse molaire.

**Figure 9-1 : Classification des membranes utilisée dans le *Guide***



Selon les critères du présent *Guide* (voir chapitre 2 et section 9.1), les membranes de type MF (pores dont le diamètre est supérieur à 0,1 µm) n'ont pas été retenues.

Il est important de considérer que la porosité d'une membrane correspond à une distribution de tailles de pores et non à une taille de pore unique. Ainsi, la porosité peut être donnée de façon nominale ou absolue. La porosité nominale considère la taille du pore moyen de la membrane, ce qui implique qu'il y a des pores plus grands que celui mentionné mais sans que la taille limite soit précisée. La porosité absolue, quant à elle, considère la taille du pore le plus gros de la distribution, ce qui est un élément essentiel, surtout lorsqu'on aborde la question de la désinfection.

#### 9.10.1.2 Perméabilité

La perméabilité d'une membrane à une eau déminéralisée dépend de sa porosité. La perméabilité exprime la proportionnalité entre la vitesse de perméation à l'eau déminéralisée et la pression transmembranaire à une température donnée (unités en  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$  ou équivalent). La mesure de la perméabilité permet de vérifier l'état d'une membrane, en particulier l'effet du colmatage. Comme pour les autres milieux filtrants, cette perméabilité augmente avec la température de l'eau. Les fabricants fournissent habituellement des corrélations empiriques qui permettent de prédire la perméabilité des membranes à différentes températures de l'eau. En première approximation, il est possible de considérer que la perméabilité d'une membrane est inversement proportionnelle à la viscosité de l'eau. À titre d'exemple, et en ne tenant compte que de l'effet sur la viscosité de l'eau, mentionnons que la perméabilité d'une membrane est approximativement divisée par 1,7 lorsque la température passe de 20 à 2°C.

### 9.10.1.3 Mise en œuvre des membranes

À cause de la séparation, il y a nécessairement une accumulation de matières à la surface des membranes, ce qui a pour effet d'accroître les risques de colmatage de celles-ci et d'augmenter la pression osmotique. Les fournisseurs d'équipements ont élaboré différentes façons de mettre en œuvre les membranes afin de limiter l'accumulation de matières à la surface des membranes, à savoir : diminuer la vitesse de perméation à travers les membranes, faire de fréquents rétrolavages et permettre un écoulement tangentiel à la surface de la membrane. La section 9.10.1 du volume 2 donne un aperçu des différentes façons de mettre en œuvre les membranes. On y traite notamment du mode de filtration, des différents types de modules et des systèmes de traitement membranaires. Comme tous les systèmes de traitement par membrane doivent être évalués par le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable*, les pages suivantes ne présentent que les grandes lignes concernant les éléments d'application et de conception des systèmes membranaires.

### 9.10.2 Champs d'application

Les membranes sont de plus en plus utilisées pour la production d'eau potable (Allgeier, 2001; USEPA, 2001). Elles sont appliquées dans des cas très différents autant pour le traitement de l'eau de surface que pour l'eau souterraine. Les fournisseurs produisent une multitude de membranes dont la composition chimique, la configuration géométrique et la perméabilité varient (voir section précédente et section 9.10.1 du volume 2). L'expertise dans ce domaine est en pleine expansion et des applications ont été réalisées dans des contextes très différents.

Les caractéristiques des eaux brutes et les objectifs de traitement influencent de façon importante le choix des procédés et leur agencement. Le tableau 9-6 permet au concepteur de cibler les chaînes de procédés qui présentent le meilleur potentiel selon les objectifs visés.

Pour chaque paramètre et chaque type de membrane, les chaînes les plus simples permettant d'atteindre l'objectif sont indiquées. Le concepteur complétera l'analyse en considérant celle-ci en fonction des risques de colmatage des membranes et en fonction des critères à respecter pour le réseau de distribution d'eau potable (voir aussi la section 9.10.4 du volume 2).

Il est important de mentionner qu'un contaminant peut être enlevé de deux façons par les membranes : soit directement ou après transformation par coagulation, adsorption sur charbon actif en poudre (CAP) ou oxydation. De plus, une filtration membranaire peut être combinée avec d'autres procédés de traitement et plusieurs types de filtration sur membranes peuvent être combinés. D'après le tableau 9-6, il est clair que plus le concepteur choisit des membranes avec des tailles de pore élevées, plus il faut compléter la filtration sur membrane avec d'autres procédés pour permettre l'enlèvement de certains contaminants.

Le tableau 9-6 n'est pas exhaustif mais il peut servir de guide pour la sélection et l'évaluation des filières de traitement faisant appel aux membranes. Il est recommandé de choisir, parmi les membranes/chaînes qui permettent d'atteindre les objectifs fixés, celles qui permettent de minimiser l'investissement et les coûts d'opération. Par exemple il est inutile d'utiliser une

membrane d'OI pour désinfecter, pour réduire la turbidité et pour enlever la MON d'une eau de surface alors que ces objectifs peuvent être atteints avec une membrane de NF, voire avec une membrane de type NUF. En effet, les membranes de NUF et de NF ont des perméabilités supérieures aux membranes d'OI et donc la surface de membrane et/ou les pressions d'opération requises devraient être plus faibles pour les membranes de NUF ou de NF que pour les membranes d'OI.

Lorsque les membranes UMF sont retenues, elles doivent obligatoirement être associées avec une étape de traitement d'inactivation (désinfection). Par contre, une étape de désinfection peut suivre n'importe quel système de traitement par membrane afin de compléter le rôle des membranes pour une eau brute dégradée, par exemple, ou pour assurer une désinfection sécuritaire.

**Tableau 9-6 : Capacité de séparation de différentes chaînes de traitement faisant appel aux membranes**

| Contaminant à enlever              | Eau brute         | Objectif de traitement            | Unité     | Classification des chaînes de traitement par type de membrane |                  |                  |                  |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                    |                   |                                   |           | UMF                                                           | NUF              | NF               | OI               |
| Turbidité                          | 3 à 10            | < 0,1                             | UTN       | XI                                                            | X                | X                | X                |
| COD                                |                   | enlèvement fraction coagulable    | mg/L      | CXI,CDXI                                                      | X, CX            | X                | X                |
| COD                                | 3 à 10            | < 0,5 mg/L <sup>(b)</sup>         | mg/L      | CXI,CDXI,AXI                                                  | X                | X                | X                |
| Couleur vraie                      | 0 à plus de 60    | < 15                              | UCV       | CXI, CDXI                                                     | X,CX             | X                | X                |
| Dureté                             | 100 à 250         | < 100                             | mg/L      |                                                               |                  | X                | X                |
|                                    | > 250             | < 100                             | mg/L      |                                                               |                  | X                | X                |
| Fe <sup>2+</sup>                   | 0,3 - 5           | < 0,3                             | mg/L      | OXI                                                           | OX               |                  |                  |
|                                    | 5 et plus         | < 0,3                             | mg/L      |                                                               |                  |                  |                  |
| Mn <sup>2+</sup>                   | jusqu'à 0,3       | < 0,05                            | mg/L      | OXI                                                           | OX               | X                | X                |
| Sulfates                           | > 500             | < 500                             | mg/L      |                                                               |                  | X                | X                |
| Nitrites-nitrates                  | > 10              | < 10                              | mg/L de N |                                                               |                  |                  | X                |
| Nitrites seuls                     | > 1               | < 1                               | mg/L de N |                                                               |                  |                  | X                |
| coliformes fécaux                  | présence          | absence                           | nb/100 ml | XI <sup>(c)</sup>                                             | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> |
| kystes de <i>Giardia</i>           | présence          | } Selon la qualité de l'eau brute | nb/100 ml | XI <sup>(c)</sup>                                             | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> |
| oocystes de <i>Cryptosporidium</i> | présence          |                                   | nb/100 ml | XI <sup>(c)</sup>                                             | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> |
| virus                              | présence          |                                   | nb/100 ml | XI <sup>(c)</sup>                                             | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> | X <sup>(c)</sup> |
| Goût                               | présence          |                                   | N/A       | AXI                                                           | AX               | X <sup>(a)</sup> | X <sup>(a)</sup> |
| Odeur                              | présence          |                                   | N/A       | AXI                                                           | AX               | X <sup>(a)</sup> | X <sup>(a)</sup> |
| Pesticides                         | dépassement norme | Sous les normes réglementaires    | µg/li     | AXI                                                           | AX               | X                | X                |
| Radionucléides                     | dépassement norme | Sous les normes réglementaires    | Bq/L      |                                                               |                  |                  | X                |
| Arsenic                            | > 25              | < 25                              | µg/L      | OXI                                                           | OX               |                  | X                |
| Bore                               | > 5               | < 5                               | mg/L      |                                                               |                  |                  | X                |
| Chlorure de sodium                 | > 250             | < 250                             | mg/L      |                                                               |                  | X                | X                |

X- Filtration sur membranes

A- Adsorption sur charbon activé en poudre

I- Inactivation obligatoire (désinfection)

C- Coagulation/floculation

D- Décantation

O- Oxydation

Atteint  
complètement  
l'objectif

Atteint  
partiellement  
l'objectif

non affecté de  
façon  
significative

aucune  
application  
pleine échelle  
connue

(a) : dépend du type de membrane et du contaminant

(b) : correspond à un enlèvement très poussé (> 90%) des précurseurs de THM

(c): dépend de l'intégrité du système

### 9.10.3 Critères de conception

Au moment de mettre à jour le *Guide de conception*, il n'y avait encore aucune technologie de filtration par membrane reconnue au Québec. Il n'est donc pas possible de présenter des critères de conception spécifiques. Afin de vérifier si des technologies de filtration par membrane ont été reconnues et peuvent être installées au Québec, il faut se renseigner auprès du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* ([www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/index.htm)). Par contre, certains éléments sont présentés ici afin de guider les concepteurs dans le choix des technologies membranaires.

#### 9.10.3.1 Bases de conception

La conception d'un système consiste à déterminer les paramètres suivants :

- Type de membrane;
- Type de module;
- Modes d'opération;
- Nombre de trains et d'unités de traitement dans chaque train (chaque train est composé de une ou plusieurs unités qui traitent l'eau de façon complète et une usine de production d'eau potable peut comporter deux ou plusieurs trains en parallèle);
- Nombre de modules et agencement des modules à l'intérieur d'une unité de traitement;
- Nombre, type(s) et caractéristiques des pompes;
- Conditions d'opération des modules (pressions, débits, taux de récupération; fréquence, durée et conditions des rétrolavages quand cela s'applique);
- Type, caractéristiques et conditions d'opération du prétraitement;
- Procédures de lavage des membranes;
- Procédure de vérification de l'intégrité des membranes;
- Procédures de santé et sécurité;
- Estimation de la consommation d'énergie et de produits chimiques.

De façon classique, ces paramètres sont déterminés en fonction des caractéristiques de l'eau brute, des objectifs de traitement (quantité et qualité), des conditions environnementales, des contraintes techniques inhérentes à la technologie des membranes au moment de la conception et des ressources techniques et humaines disponibles (AWWA, 1999A).

#### 9.10.3.2 Données générales requises pour la conception

Les données qui jouent un rôle particulier dans la conception d'un système membranaire sont présentées et discutées ci-dessous.

##### **Qualité de l'eau brute**

- Potentiel colmatant des particules en suspension : le pouvoir colmatant des particules en suspension est souvent évalué en termes de SDI ("Silt Density Index" méthode ASTM D 4189); les résultats sont exprimés en %/min; la turbidité et les comptes de particules renseignent aussi sur le potentiel colmatant de l'eau brute;

- Variation de la température de l'eau : cela affecte directement et de façon significative la perméabilité des membranes (voir section 9.10.1);
- MON (mesure du COT et de l'absorbance UV à 254nm) : ces paramètres ne sont pas normalisés mais jouent un rôle important dans la formation des SPD; de plus les membranes se distinguent les unes des autres par leur taux de rétention de la MON (voir section 9.10.1); la MON joue un rôle important dans le colmatage des membranes mais les mécanismes de colmatage ne sont pas encore clairement établis;
- Alcalinité : ce paramètre est particulièrement important quand il y a coagulation avant filtration sur membrane;
- Conductivité : ce paramètre permet d'estimer la pression osmotique et donc la pression minimale à appliquer; la règle du pouce ci-dessous peut être utilisée pour estimer la pression osmotique; il faut tenir compte du taux de concentration et de la polarisation de la concentration dans le calcul; la valeur estimée est maximale puisque cette règle surestime la pression osmotique réelle en l'associant à la pression osmotique d'une solution de NaCl ayant la même conductivité :

*pression osmotique (kPa) correspond à  $0,042 * \text{conductivité } (\mu\text{S/cm})$*

- Dureté et présence de sels dont la limite de solubilité pourrait être dépassée (membranes de NF et d'OI); d'après AWWA (1999B) les sels les plus courants qui risquent de précipiter sont :  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ; à cela il faut ajouter les risques de précipitation des sels de fer, de manganèse et de magnésium;
- Risques d'événements ponctuels de pollution; cette situation peut, par exemple, commander l'ajout occasionnel de charbon activé en poudre (voir section 9.10.4 du volume 2).

### **Conditions environnementales**

- Disponibilité de la ressource en termes de quantité : une faible disponibilité impose une récupération maximum;
- Conditions de rejet : les rejets peuvent être critiques (voir chapitre 14).

### **Relation entre les conditions d'opération et le colmatage des membranes**

- Les conditions d'opération peuvent influencer grandement les risques de colmatage des membranes tel que discuté à la section 9.10.1 du volume 2. Les conditions d'opération doivent être établies en fonction de la durée de vie ciblée des membranes. Elles vont également influencer le dimensionnement des ouvrages. Des études pilotes s'avèrent généralement nécessaires afin d'optimiser les conditions d'opération car les indicateurs de colmatage ne sont pas toujours suffisants pour faire une conception. Les fabricants de membranes et de modules peuvent aussi donner des directives ou des règles à ce sujet. En particulier, plusieurs fabricants fournissent des logiciels qui permettent de vérifier si les produits de solubilité des sels présents dans l'eau risquent d'être dépassés.

### **Ressources humaines et techniques**

- Le nombre d'opérateurs spécialisés et leurs connaissances techniques vont influencer le niveau d'automatisation et d'autonomie des systèmes requis.

#### 9.10.4 Autres éléments de conception

##### 9.10.4.1 Chaînes de traitement

Il existe de nombreuses façons d'utiliser des membranes afin de produire de l'eau potable. Les membranes peuvent constituer le cœur du traitement ou encore servir d'étape d'affinage à un traitement plus conventionnel. Compte tenu du nombre élevé de possibilités, ce *Guide de conception* n'a pas la prétention de parler de toutes les combinaisons possibles mais présente uniquement les chaînes de traitement les plus fréquemment rencontrées actuellement. À chaque fois, il est indiqué si l'application décrite s'utilise plus couramment pour le traitement des eaux de surface ou celui des eaux souterraines. Au moment de la rédaction du présent *Guide de conception*, très peu de stations municipales de filtration sur membrane sont en opération au Québec, mais plusieurs projets sont à l'étude et on s'attend à ce que ce domaine connaisse des développements importants dans les prochaines années. Le lecteur est invité à contacter le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* afin d'obtenir une information à jour sur les niveaux de développement des différentes filières de filtration sur membrane.

Tel que mentionné dans la section 9.10.1 du volume 2, une chaîne de traitement faisant appel à la filtration sur membranes comprend généralement un prétraitement et un post-traitement. Il est important de comprendre que ce prétraitement et ce post-traitement dépendent du type de membrane, du type de module mais aussi des caractéristiques de l'eau à traiter qui peuvent varier d'un endroit à un autre (Taylor et Wiesner, 1996). Comme cela est expliqué à la section 9.10.3 du volume 2, le prétraitement est un des principaux moyens pour prévenir le colmatage des membranes et l'obstruction des canaux d'écoulement tangentiel. Par contre, un prétraitement très poussé, même si cela permet de réduire de façon très significative le colmatage, n'est pas nécessairement la meilleure solution du point de vue économique (Chellam et al., 1998). Il revient donc au concepteur de trouver le meilleur compromis.

##### 9.10.4.2 Limites d'utilisation (voir aussi section 9.10.3 du volume 2)

Les manufacturiers de membranes doivent normalement spécifier les limites d'opération pour l'opération normale et pour le lavage en termes de :

- pH;
- Concentration en chlore résiduel libre ou en autre désinfectant/oxydant;
- Température;
- Pression.

De manière générale, les membranes inorganiques sont plus résistantes chimiquement et thermiquement que les membranes organiques. Les membranes en acétate de cellulose sont moins résistantes en ce qui a trait au pH et à la température et plus facilement biodégradables que les autres membranes polymériques, mais elles tolèrent des concentrations plus importantes de chlore résiduel libre que les membranes en polyamide (Cheryan, 1998.). La résistance en pression des membranes polymériques diminue à mesure que la température augmente.

#### 9.10.4.3 Rejets du procédé

Les chaînes de traitement utilisant des membranes produisent différents types de rejets : concentré, eaux de rinçage, eaux de lavage.

Comme il est expliqué dans le chapitre 14, les techniques de disposition de ces rejets varient en fonction de leur nature et de leur volume ainsi que des conditions environnementales. Le concentré est rejeté en continu pendant la production. Rappelons que le débit et la composition du concentré sont liés au taux global de récupération et au taux global de séparation. Généralement, comme le taux de récupération est supérieur ou égal à 75%, cela signifie que le débit de concentré correspond au maximum à 25% du débit d'alimentation. Les eaux de rinçage et de lavage sont générées de manière discontinue.

Lorsque les chaînes de traitement utilisant les membranes ne comportent aucun ajout de produit chimique dans l'eau brute, les rejets des membranes ne constituent en réalité qu'un concentré des substances présentes dans l'eau brute. Sous réserve de rencontrer les objectifs environnementaux de rejet, les concentrés pourraient être rejetés directement dans le milieu récepteur.

Lorsque la chaîne de traitement comprend un ou plusieurs ajouts de produits chimiques dans l'eau brute (coagulant, oxydant, acide, agent anti-tartre, etc.), les rejets des membranes contiennent, en plus des substances présentes dans l'eau brute, les produits chimiques injectés pour traiter l'eau.

Dans tous les cas, la procédure présentée au chapitre 14 doit être suivie pour identifier la marche à suivre concernant le rejet ou le traitement des eaux de procédé.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 10

|                                                                                    |       |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>10. DÉSINFECTION ET CONTRÔLE DES SOUS-PRODUITS</b>                              | ..... |
| <b>10.1 Mise en contexte</b>                                                       |       |
| <b>10.2 Choix des objectifs de traitements</b>                                     |       |
| 10.2.1 Critères minimaux d'élimination à respecter                                 |       |
| 10.2.2 Objectifs additionnels de traitement pour les eaux de classe I              |       |
| <b>10.3 Calcul de la performance des filières de traitement (log de réduction)</b> |       |
| 10.3.1 Identification des étapes de traitement efficace                            |       |
| 10.3.2 Évaluation de l'efficacité des traitements                                  |       |
| 10.3.2.1 Traitements basés sur l'enlèvement physique des pathogènes                | ..... |
| 10.3.2.2 Traitements basés sur l'inactivation des pathogènes                       | ..... |
| <b>10.4 Revue et choix du mode de désinfection</b>                                 |       |
| <b>10.4.1 Chlore</b>                                                               |       |
| 10.4.1.1 Généralités                                                               | ..... |
| 10.4.1.2 Principales applications                                                  | ..... |
| 10.4.1.3 Points d'injection                                                        | ..... |
| 10.4.1.4 Sous-produits de désinfection et prévention de leur apparition            | ..... |
| 10.4.1.5 Éléments de conception                                                    | ..... |
| <b>10.4.2 Ozone</b>                                                                | ..... |
| 10.4.2.1 Généralités                                                               | ..... |
| 10.4.2.2 Principales applications                                                  | ..... |
| 10.4.2.3 Points d'injection                                                        | ..... |
| 10.4.2.4 Sous-produits de désinfection à l'ozone                                   | ..... |
| 10.4.2.5 Paramètres de conception                                                  | ..... |
| <b>10.4.3 Monochloramines</b>                                                      | ..... |
| <b>10.4.4 Bioxyde de chlore</b>                                                    |       |
| <b>10.4.5 Rayonnement ultraviolet</b>                                              |       |
| 10.4.5.1 Généralités                                                               | ..... |
| 10.4.5.2 Principales applications                                                  | ..... |
| 10.4.5.3 Points d'application                                                      | ..... |
| 10.4.5.4 Formation de sous-produits de désinfection                                | ..... |
| 10.4.5.5 Paramètres de conception                                                  | ..... |

## 10. DÉSINFECTION ET CONTRÔLE DES SOUS-PRODUITS

### 10.1 Mise en contexte

La désinfection est depuis longtemps l'objectif premier du traitement de l'eau potable. Traditionnellement, on croyait que le chlore était le seul outil efficace pour atteindre cet objectif. Il est maintenant reconnu que les étapes du traitement de l'eau permettant la réduction de la turbidité, tels que la coagulation, la décantation et la filtration, sont importantes pour assurer une bonne désinfection. Ces étapes permettent de réduire considérablement la concentration de micro-organismes pathogènes, même plus qu'une simple chloration dans le cas des parasites. Il est donc essentiel que le concepteur considère toutes les étapes efficaces de traitement qui sont à sa disposition lors de la conception d'un système de désinfection.

Par ailleurs, les désinfectants utilisés pour la désinfection de l'eau potable sont, à l'exception du rayonnement U.V., des oxydants (chlore, bioxyde de chlore, ozone ou monochloramine). À ce titre, leur utilisation génère des sous-produits de désinfection qui doivent être minimisés le plus possible. Le grand dilemme du concepteur consistera donc à viser une désinfection suffisante afin d'éliminer les micro-organismes pathogènes tout en évitant une production excessive de sous-produits de désinfection.

Au début de la dernière décennie, le resserrement des normes américaines sur les sous-produits de la désinfection a favorisé le développement de modèles d'analyse de risque d'exposition aux sous-produits de désinfection chez les humains. Ces modèles peuvent être comparés aux modèles d'exposition à des micro-organismes pathogènes chez les humains. Suite à cet exercice, le comité scientifique consultatif de l'agence de protection environnementale américaine a jugé que le risque microbiologique représentait probablement le plus grand défi auquel était confrontée la majorité des producteurs d'eau.

Les risques sanitaires associés à l'ingestion chronique des sous-produits de désinfection revêtent un caractère plus incertain, tant du point de vue des données toxicologiques que pour les extrapolations de concentrations élevées (toxicité aiguë) à des concentrations plus faibles (toxicité chronique). La désinfection doit donc demeurer l'objectif premier du traitement malgré les études épidémiologiques suggérant un lien entre l'ingestion d'eau chlorée et divers types de cancer (vessie, colon, pancréas, etc.). Si un problème de sous-produits est engendré par l'atteinte de l'objectif de désinfection, le concepteur devra prévoir mettre en place des moyens permettant leur réduction. À cet égard, mentionnons que les moyens potentiels consistent 1) à réduire la concentration de matière organique avant l'application du désinfectant, 2) à modifier les conditions de désinfection (type de désinfectant, pH, dosage, etc.), 3) à changer de source d'eau ou 4) à enlever les sous-produits formés par un traitement additionnel.

Ce chapitre présente une méthode d'évaluation en deux étapes de l'efficacité de la désinfection. Cette méthode se base sur une approche d'analyse de risque. Dans une première étape, le concepteur doit se fixer des objectifs de traitement qui tiennent compte de la qualité microbiologique de l'eau brute à traiter. En effet, les eaux de bonne qualité nécessitent des traitements de désinfection moins poussés que les eaux de mauvaise qualité microbiologique. Dans une deuxième étape, une méthode de calcul est présentée afin de vérifier si les objectifs de

traitement retenus par le concepteur peuvent être obtenus par la filière de traitement envisagée (ou existante). Finalement, la dernière section de ce chapitre présente les critères de conception des cinq principaux désinfectants utilisés pour le traitement de l'eau potable ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{O}_3$  et U.V.). Cette section permettra au concepteur 1) de se familiariser avec les équipements spécifiques à leur utilisation, 2) de reconnaître les principales variables de conception, 3) de soupeser les avantages et les inconvénients des différents désinfectants et 4) de connaître les méthodes de contrôle de leurs sous-produits de désinfection.

## 10.2 Choix des objectifs de traitements

Afin d'évaluer la performance de la désinfection, il a été proposé, au cours de la dernière décennie, d'utiliser trois groupes d'organismes-cibles. Il s'agit des virus entériques, des kystes de *Giardia* et des oocystes de *Cryptosporidium*. Le choix de ces organismes repose sur les constats suivants :

- Ils sont détectés couramment dans les eaux de surface des lacs, des rivières et parfois même les eaux souterraines;
- Ils ont été à l'origine d'épidémies confirmées, certaines impliquant des dizaines de milliers d'individus;
- Ils offrent une grande résistance à la désinfection. Leur élimination permet donc de supposer qu'il en va de même pour tous les autres micro-organismes pathogènes moins résistants.

*Giardia* et *Cryptosporidium* sont considérés parmi les parasites intestinaux les plus communs en Amérique du Nord et dans le monde (Santé Canada, 1997). Des épidémies confirmées de giardiose ou de cryptosporidiose (maladies causées par *Giardia* et *Cryptosporidium*) ont été observées au Québec, au Yukon, en Ontario, en Colombie-Britannique, en Alberta, au Nouveau-Brunswick ainsi qu'ailleurs dans le monde (Santé Canada, 1997; Schneider, 1998; Isaac-Renton *et al.*, 1999).

### 10.2.1 Critères minimaux d'élimination à respecter

Le règlement québécois sur la qualité de l'eau a établi des critères de réduction des oocystes de *Cryptosporidium*, des kystes de *Giardia* et des virus entériques, selon le type de source d'eau brute. Ces critères sont présentés au tableau 10-1. Le log décimal est généralement utilisé afin d'évaluer la réduction obtenue par les traitements. Un log décimal correspond à une réduction de la concentration initiale de 90%, 2 log à 99%, 3 log à 99,9% et ainsi de suite.

Les log décimaux de réduction de parasites ou virus peuvent être obtenus par une combinaison :

- D'enlèvements physiques tels que la décantation/filtration (on parle alors de log d'enlèvement) et/ou;
- D'inactivations chimiques telle que la chloration ou physique telle que le rayonnement U.V..

Pour une installation de traitement donnée, la somme totale des log d'enlèvement et des log d'inactivation doit être supérieure aux critères définis au tableau 10-1.

**Tableau 10-1 : Critères minimums de traitement selon le type d'eau brute à traiter**

| Classe | Types d'eau brute                                                                                                                                               | Réduction minimale obligatoire des organismes-cibles |                |                |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|        |                                                                                                                                                                 | <i>Cryptosporidium</i>                               | <i>Giardia</i> | Virus          |
| I      | Eau de surface ou eau souterraine <u>susceptible</u> d'être sous l'influence directe d'une eau de surface                                                       | 2 log (99%)                                          | 3 log (99,9%)  | 4 log (99,99%) |
| II     | Eau souterraine <u>non susceptible</u> d'être sous l'influence directe d'une eau de surface <u>mais avec</u> un historique <sup>1</sup> de contamination fécale | 0 (0%)                                               | 0 (0%)         | 4 log (99,99%) |
| III    | Eau souterraine non susceptible d'être sous l'influence directe d'une eau de surface <u>mais sans</u> historique <sup>1</sup> de contamination fécale           | 0 (0%)                                               | 0 (0%)         | 0 (0%)         |

1 : Dans le cas d'une nouvelle installation sans données historiques, le concepteur devra juger du potentiel de contamination fécale

Les critères de réduction des parasites et des virus pour les eaux de la classe I doivent nécessairement être atteints en partie avec un traitement de filtration. L'exception à cette règle demeure les eaux brutes rencontrant les critères d'exclusion définis par l'article 5 du RQEP. Pour ce type d'eau, une double désinfection (U.V.-chlore ou U.V.-ClO<sub>2</sub> ou U.V.-NH<sub>2</sub>Cl) est alors jugée suffisante pour diminuer le risque microbiologique à un niveau acceptable.

Pour les nouvelles installations, le potentiel de contamination fécale des eaux de classe II et III est fonction (1) de la vulnérabilité de l'aire de recharge selon la méthode DRASTIC, ou (2) de la détection de coliformes fécaux, d'entérocoques ou de virus coliphages à l'eau brute. En plus de ces deux méthodes, pour une source d'eau brute existante, la possibilité d'une contamination fécale des eaux de classe II et III peut être fonction (3) d'un historique de contamination fécale sur le réseau lorsque aucune forme de désinfectant n'est utilisée.

#### 10.2.2 Objectifs additionnels de traitement pour les eaux de classe I

Il est recommandé que le concepteur ajuste les niveaux de traitement de *Giardia* et de virus en fonction de la qualité des eaux brutes qu'il doit traiter. En effet, les objectifs définis précédemment pour une eau de classe I représentent des valeurs minimales à atteindre dans les cas où l'eau brute est de bonne qualité microbiologique.

Au Québec, le concepteur doit se référer à la mesure des coliformes fécaux comme indicateur général de la présence d'organismes pathogènes dans les eaux à traiter. Basés sur les travaux de Payment *et al.* (1997), lesquels ont analysé plus de 400 échantillons provenant des eaux brutes de 45 installations de traitement québécoises, des objectifs de réductions de kystes de *Giardia* et de virus sont proposés au tableau 10-2 selon le niveau de contamination en coliformes fécaux dans les eaux à traiter. Le lecteur remarquera que les objectifs de réduction de *Cryptosporidium* (contrairement à *Giardia* et aux virus) ne sont pas ajustés en fonction de la qualité des eaux brutes, les données de Payment *et al.* (1997) ne permettant pas d'établir une relation. Il est cependant probable que les eaux substantiellement contaminées par la pollution fécale soient également plus contaminées par des oocystes de *Cryptosporidium*. Par conséquent, le concepteur visant 5 log et plus de réduction de *Giardia* devrait prendre en compte cette problématique lors de ces analyses de scénario. Par exemple, il pourrait être plus à propos, dans certains cas, de prévoir un traitement supplémentaire de désinfection U.V. ou d'améliorer la performance du traitement physico-chimique plutôt que d'agrandir les réserves afin d'augmenter la performance de la chloration. En effet, cette dernière solution ne visera que la réduction de *Giardia* alors que les deux premières seront efficaces simultanément pour *Giardia* et *Cryptosporidium*.

**Tableau 10-2 : Objectifs de réduction de *Giardia*, de *Cryptosporidium* et des virus pour le Québec selon la concentration arithmétique moyenne annuelle de coliformes thermotolérants (fécaux) dans les eaux brutes**

| Concentrations en coliformes fécaux (UFC/100 mL) | Objectif de réduction de <i>Giardia</i>        | Objectif de réduction de <i>Cryptosporidium</i> | Objectif de réduction des virus |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| < 20                                             | 3 log                                          | 2 log                                           | 4 log                           |
| 20 – 200                                         | 4 log                                          | 2 log                                           | 5 log                           |
| 200 – 2 000                                      | 5 log                                          | 2 log                                           | 6 log                           |
| 2 000 – 20 000                                   | 6 log                                          | 2 log                                           | 7 log                           |
| > 20 000                                         | Considérer un changement de source d'eau brute |                                                 |                                 |

Il est à noter que pour une eau brute très détériorée (coliformes fécaux > 10 000/100 mL), le concepteur devrait sérieusement envisager l'utilisation d'une autre source d'eau.

L'USEPA (1991; 2000) a proposé des objectifs additionnels de traitement selon les concentrations de parasites mesurées dans les eaux brutes. Ces objectifs sont reproduits au tableau 10-3. Toutefois, ces objectifs additionnels ne sont pas encore appliqués aux États-Unis et ne sont présentés qu'à titre indicatif. Les objectifs additionnels de traitement qui s'appliquent au Québec sont ceux présentés au tableau 10-2.

**Tableau 10-3 : Objectifs américains\* de traitement recommandés selon la qualité microbiologique des eaux brutes (USEPA, 1991; USEPA, 2000)**

| <b>Kystes de <i>Giardia</i><sup>1</sup></b> |                                 | <b>Oocystes de <i>Cryptosporidium</i><sup>1</sup></b> |                                 |
|---------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Concentration à l'eau brute (kystes/100L)   | Objectif américain de réduction | Concentration à l'eau brute (oocystes/100L)           | Objectif américain de réduction |
| < 1                                         | 3 log                           | < 7,5                                                 | 2 log                           |
| 1 – 10                                      | 4 log                           | 7,5 - 100                                             | 3 log                           |
| 10 – 100                                    | 5 log                           | 100 – 300                                             | 4 log                           |
| 100 – 1000                                  | 6 log                           | > 300                                                 | 4,5 log                         |

1 : Moyenne arithmétique annuelle

Le choix d'objectifs additionnels selon le tableau 10-3 implique que le concepteur dispose d'une base de données suffisantes décrivant la présence de *Giardia* et *Cryptosporidium* dans les eaux à traiter. Or, cette base de données devrait idéalement inclure de 26 à 52 analyses réparties sur une période d'une année. Compte tenu de la complexité et des coûts prohibitifs de ce type d'analyse, l'accès à une telle source d'informations est souvent limité, voir impossible.

### 10.3 Calcul de la performance des filières de traitement (log de réduction)

Une fois les objectifs de traitement retenus (voir section 10.2), le concepteur doit s'assurer que les unités de traitement projetées permettront d'atteindre ces objectifs<sup>1</sup> (1) en tout temps dans le cas des virus (incluant une pointe de consommation et un incendie se produisant simultanément) et (2) en conditions critiques de traitement dans le cas des parasites (pointe de consommation seulement). L'exploitant sera pour sa part tenu de démontrer, sur une base de 30 jours consécutifs, le respect des objectifs de traitement fixés en fonction de la qualité de l'eau brute. Par exemple, les crues printanières associées à l'érosion et le lessivage des sols, aux débordements de réseaux et à une température froide, peuvent représenter une période critique pour le respect des objectifs de traitement. Or, les log d'enlèvements visés doivent être respectés en tout temps par l'exploitant, même durant les saisons critiques.

#### 10.3.1 Identification des étapes de traitement efficaces

Le tableau 10-4 présente les procédés de traitement les plus couramment utilisés pour obtenir les log de réduction des micro-organismes cibles. Le concepteur a la possibilité, voire l'obligation, de combiner plusieurs étapes de traitement afin d'atteindre ces objectifs. Par exemple, la microfiltration est jugée peu efficace pour l'enlèvement des virus. Cependant, une microfiltration suivie d'une chloration pourra atteindre tous les objectifs de traitement pour *Giardia*, *Cryptosporidium* et les virus.

#### Tableau 10-4 : Procédés de traitements offrant des réductions potentielles des micro-

<sup>1</sup> Voir section 11.2.1.2 pour de plus amples informations sur le choix des débits nécessaires à la vérification.

**organismes en conditions critiques (eaux froides) pour des conditions normales d'opération**

| Types de traitements                                  | Micro-organismes cibles |                |                        |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
|                                                       | Virus                   | <i>Giardia</i> | <i>Cryptosporidium</i> |
| <b>Traitement d'enlèvement physique</b>               |                         |                |                        |
| Traitement conventionnel <sup>1</sup>                 | Oui                     | Oui            | Oui                    |
| Filtration directe <sup>2</sup>                       | Oui                     | Oui            | Oui                    |
| Filtration sur sable lent                             | Oui                     | Oui            | Oui                    |
| Filtration sur terre diatomée                         | Oui                     | Oui            | Oui                    |
| Microfiltration <sup>3,4</sup>                        | Non                     | Oui            | Oui                    |
| Ultra- et Nanofiltration, Osmose inverse <sup>4</sup> | Oui                     | Oui            | Oui                    |
| <b>Traitement d'inactivation</b>                      |                         |                |                        |
| Chloration                                            | Oui                     | Oui            | Non                    |
| Ozonation                                             | Oui                     | Oui            | Non                    |
| Bioxyde de chlore                                     | Oui                     | Oui            | Non                    |
| Monochloramine <sup>5</sup>                           | Non                     | Non            | Non                    |
| Rayons ultraviolets <sup>4</sup>                      | Oui                     | Oui            | Oui                    |

1 : Incluant la coagulation, floculation, décantation et filtration.

2 : Incluant une coagulation avec ou sans floculation préalable.

3 : Excluant une coagulation en amont de la membrane.

4 : Si le système est reconnu par le Comité sur les technologies de traitement de l'eau potable

5 : À utiliser dans une perspective de désinfection secondaire

### 10.3.2 Évaluation de l'efficacité des traitements

L'évaluation de l'efficacité se fait différemment selon qu'on évalue un traitement basé sur l'enlèvement physique des pathogènes ou plutôt sur leur inactivation par un procédé de désinfection. Si plusieurs traitements sont prévus, le concepteur devra calculer les log d'enlèvement de chacun des traitements et puis en faire la somme de telle sorte que :

$$\text{Log de réduction} = \sum \text{enlèvements physiques} + \sum \text{inactivations chimiques} \quad \text{Éq. 10-1}$$

Les prochaines sections expliquent comment calculer les enlèvements physiques et les inactivations chimiques (désinfection).

#### 10.3.2.1 Traitements basés sur l'enlèvement physique des pathogènes

Des crédits de performance sont accordés aux procédés de filtration rencontrant un certain niveau de performance. Ces crédits varient selon : (1) le micro-organisme cible visé (*Giardia*, *Cryptosporidium* ou virus); (2) le type de procédé de filtration (exploité ou planifié); (3) son niveau de performance (actuel ou prédit). Ces informations sont présentées aux tableaux 10-5 pour *Giardia*, 10-6 pour *Cryptosporidium* et 10-7 pour les virus.

Le niveau de performance des procédés de filtration est évalué en calculant le 95<sup>e</sup> centile mensuel des turbidités mesurées à l'eau filtrée basé sur une fréquence minimale d'échantillonnage d'une analyse pour chaque période de quatre heures. En supposant une période mensuelle d'une durée de 30 jours avec un échantillonnage à toutes les quatre heures (total = 180 analyses), le 95<sup>e</sup> centile de la turbidité mensuelle serait la 10<sup>e</sup> valeur de turbidité la plus élevée enregistrée au cours du mois.

Les crédits d'enlèvement accordés à la filtration directe et conventionnelle (tableaux 10-5 à 10-7) varient en fonction de la turbidité à l'eau filtrée. Le choix de ces crédits repose sur les principes suivants :

- Un crédit équivalent à celui accordé à la filtration directe et conventionnelle par l'USEPA est alloué lorsque la turbidité est inférieure à 0,30 UTN (95<sup>e</sup> centile) à l'eau filtrée de chacun des filtres, basée sur une fréquence d'échantillonnage minimale de 4 heures pour une période de 30 jours;
- Une bonification de 0,5 log (par rapport au crédit de l'USEPA) est accordée pour les systèmes de filtration optimisés qui atteignent des turbidités inférieures à 0,15 UTN (95<sup>ième</sup> centile) à l'eau filtrée combinée basée sur une fréquence d'échantillonnage minimale de 4 heures pour une période de 30 jours. La turbidité à l'eau filtrée combinée est obtenue en faisant la moyenne des turbidités (95<sup>e</sup> centile mensuel) obtenues pour chacun des filtres;
- Une bonification de 1,0 log (par rapport au crédit de l'USEPA) est accordée pour les systèmes de filtration optimisés qui atteignent des turbidités inférieures à 0,15 UTN (95<sup>e</sup> centile) à l'eau filtrée de chacun des filtres, basée sur une fréquence d'échantillonnage minimale de 15 minutes pour une période de 30 jours;
- Une pénalité de 0,5 log est soustraite du crédit de l'USEPA pour les systèmes produisant une eau filtrée de 0,31 UTN à 0,50 UTN (95<sup>e</sup> centile) à l'eau filtrée de chacun des filtres, basée sur une fréquence d'échantillonnage minimale de 4 heures pour une période de 30 jours.

Ces quatre classes de performance visent à : (1) refléter le niveau de risque accru lié à l'augmentation de la turbidité de l'eau filtrée (Schwartz *et al.*, 1997; Beaudeau *et al.*, 1999); (2) favoriser l'opération des traitements visant à maximiser l'enlèvement de la turbidité compte tenu de la faible efficacité des désinfectants (oxydants) en eaux froides.

Cependant, le concepteur d'une nouvelle installation sera tenu d'utiliser les crédits accordés pour une turbidité de 0,15 – 0,30 UTN (95<sup>e</sup> centile). Les crédits supplémentaires pour des turbidités inférieures à 0,15 UTN (95<sup>e</sup> centile) seront accordés pour les usines existantes sur la base d'une démonstration de la performance réelle de l'installation.

Comme on peut le constater sur ces tableaux, les traitements de filtration sont très efficaces pour éliminer les micro-organismes pathogènes. Pour les conditions d'eaux froides prévalant au Québec, le concepteur a tout avantage à miser sur un enlèvement optimal des organismes pathogènes grâce aux traitements de filtration plutôt que de compter sur les désinfectants chimiques (Cl<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, etc.), lesquels diminuent considérablement en efficacité dans les eaux froides.

Dans le cas des procédés membranaires, tels que la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse, les crédits potentiels d'enlèvement des parasites pourraient être très élevés. Ainsi, des enlèvements de virus, de bactéries et de parasites variant d'un minimum de 2,2 log à plus de 8 log ont été démontrés en essais pilotes (AWWARF, 1996; Owen *et al*, 1998). En général, des enlèvements de parasites de 4 à 6 log sont souvent mentionnés. Cependant, compte tenu que la performance d'un traitement membranaire varie selon, entre autres : (1) la capacité du système à détecter une défaillance au niveau de son intégrité physique; (2) l'étanchéité des éléments périphériques (joints toriques, scellants, etc.); (3) l'origine de la technologie utilisée (variation de fournisseur à fournisseur), les systèmes membranaires sont classés comme une technologie en validation et leur utilisation peut, selon les cas, nécessiter des essais pilotes à fournir à la demande du *Comité sur les technologies de traitement d'eau potable*. Ces essais viseront à démontrer non seulement la performance du système, mais également sa capacité à détecter une défaillance physique d'une section de la membrane. Le protocole d'essais nécessaire à la réalisation d'une telle démonstration sera disponible à courte échéance auprès du *Comité sur les technologies de traitement d'eau potable*.

Ainsi, avant de choisir un traitement membranaire, le concepteur doit vérifier le statut du système retenu auprès du Comité sur les technologies de traitement d'eau potable afin de s'assurer que ce système a été approuvé pour utilisation dans le traitement de l'eau potable au Québec.

**Tableau 10-5 : Crédits d'enlèvement des kystes de *Giardia* obtenus pour les traitements de filtration**

| Traitements                           | Turbidité à l'eau filtrée (95 <sup>ème</sup> centile) |                         |                            |                            |                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                                       | ≤ 0,15 UTN <sup>7</sup>                               | ≤ 0,15 UTN <sup>6</sup> | 0,15-0,30 UTN <sup>5</sup> | 0,31-0,50 UTN <sup>5</sup> | 0,51-1,0 UTN <sup>5</sup> |
| Filtration directe <sup>1</sup>       | 3,0                                                   | 2,5 log                 | 2,0 log                    | 1,5 log                    | 0                         |
| Traitement conventionnel <sup>2</sup> | 3,5                                                   | 3,0 log                 | 2,5 log                    | 2,0 log                    | 0                         |
| Filtration lente                      | 2,0                                                   | 2,0 log                 | 2,0 log                    | 2,0 log                    | 2,0 log                   |
| Filtration sur terre diatomée         | 2,0                                                   | 2,0 log                 | 2,0 log                    | 2,0 log                    | 2,0 log                   |
|                                       | ≤ 0,1 UTN                                             |                         |                            |                            |                           |
| Filtration membranaire <sup>3,4</sup> | Voir fiche du Comité                                  | Ne s'applique pas       |                            |                            |                           |

**Tableau 10-6 : Crédits d'enlèvement des kystes de *Cryptosporidium* obtenus par les traitements de filtration**

| Traitements                           | Turbidité à l'eau filtrée (95 <sup>ème</sup> centile) |                         |                            |                            |                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                                       | ≤ 0,15 UTN <sup>7</sup>                               | ≤ 0,15 UTN <sup>6</sup> | 0,15-0,30 UTN <sup>5</sup> | 0,31-0,50 UTN <sup>5</sup> | 0,51-1,0 UTN <sup>5</sup> |
| Filtration directe <sup>1</sup>       | 3,0                                                   | 2,5 log                 | 2,0 log                    | 1,5 log                    | 0                         |
| Traitement conventionnel <sup>2</sup> | 3,0                                                   | 2,5 log                 | 2,0 log                    | 1,5 log                    | 0                         |
| Filtration lente                      | 2,0                                                   | 2,0 log                 | 2,0 log                    | 2,0 log                    | 2,0 log                   |
| Filtration sur terre diatomée         | 2,0                                                   | 2,0 log                 | 2,0 log                    | 2,0 log                    | 2,0 log                   |
|                                       | ≤ 0,1 UTN                                             |                         |                            |                            |                           |
| Filtration membranaire <sup>3,4</sup> | Voir fiche du Comité                                  | Ne s'applique pas       |                            |                            |                           |

1 : Incluant une coagulation avec ou sans floculation préalable.

2 : Incluant la coagulation, floculation, décantation et filtration.

3 : Voir section 9-10 pour les critères permettant de différencier les types de membranes.

4 : Crédits accordés si le système respecte les exigences du Comité sur les technologies de traitement d'eau potable (voir section 9-10).

5 : Basés sur un minimum d'une mesure de turbidité aux quatre heures pour une période d'un mois sur l'eau filtrée par chacun des filtres.

6 : Basés sur un minimum d'une mesure de turbidité aux quatre heures pour une période d'un mois sur l'eau filtrée combinée.

7 : Basés sur un minimum d'une mesure de turbidité aux 15 minutes pour une période d'un mois sur l'eau filtrée par chacun des filtres

**Tableau 10-7 : Crédits d'enlèvement des virus obtenus par les traitements de filtration**

| Traitements                           | Turbidité à l'eau filtrée (95 <sup>e</sup> centile) |                         |                            |                            |                           |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                                       | ≤ 0,15 UTN <sup>7</sup>                             | ≤ 0,15 UTN <sup>6</sup> | 0,15-0,30 UTN <sup>5</sup> | 0,31-0,50 UTN <sup>5</sup> | 0,51-1,0 UTN <sup>5</sup> |
| Filtration directe <sup>1</sup>       | 1,0 log                                             | 1,0 log                 | 1,0 log                    | 1,0 log                    | 0                         |
| Traitement conventionnel <sup>2</sup> | 2,0 log                                             | 2,0 log                 | 2,0 log                    | 2,0 log                    | 0                         |
| Filtration lente                      | 2,0 log                                             | 2,0 log                 | 2,0 log                    | 2,0 log                    | 2,0 log                   |
| Filtration sur terre diatomée         | 1,0 log                                             | 1,0 log                 | 1,0 log                    | 1,0 log                    | 1,0 log                   |
|                                       | ≤ 0,1 UTN                                           |                         |                            |                            |                           |
| Filtration membranaire <sup>3,4</sup> | Voir fiche du Comité                                | Ne s'applique pas       |                            |                            |                           |

1 : Incluant une coagulation avec ou sans floculation préalable.

2 : Incluant la coagulation, floculation, décantation et filtration.

3 : Voir section 9-10 pour les critères permettant de différencier les types de membranes.

4 : Crédits accordés si le système respecte les exigences du Comité sur les technologies de traitement d'eau potable (voir section 9-10).

5 : Basés sur un minimum d'une mesure de turbidité aux quatre heures pour une période d'un mois sur l'eau filtrée par chacun des filtres.

6 : Basés sur un minimum d'une mesure de turbidité aux quatre heures pour une période d'un mois sur l'eau filtrée combinée.

7 : Basés sur un minimum d'une mesure de turbidité aux 15 minutes pour une période d'un mois sur l'eau filtrée par chacun des filtres

### 10.3.2.2 Traitements basés sur l'inactivation des pathogènes

L'évaluation de l'efficacité de la désinfection repose sur le concept du CT, lequel stipule que l'inactivation d'un micro-organisme donné est proportionnelle au produit du temps de contact effectif et de la concentration résiduelle de désinfectant mesurée à la sortie du réservoir (cf. Équation 10-2).

$$\text{Log } d'_{\text{inactivation}} = \frac{CT_{\text{disponible}}}{CT_{\text{requis}}} = \frac{C_{\text{résiduelle}} \times T_{10}}{CT_{\text{requis}}} \quad \text{Éq. 10-2}$$

Cette équation indique qu'il existe une relation linéaire entre le CT utilisé ( $CT_{\text{disponible}}$ ) et le log d'inactivation obtenu. Le  $CT_{\text{disponible}}$  est la valeur de CT obtenue pour une configuration de bassin donnée opérée dans une condition donnée ( $C_{\text{résiduelle}}$ ). Le temps de contact effectif utilisé est le  $T_{10}$ , lequel prend en compte le degré de court-circuit des bassins de contact. La valeur du  $T_{10}$  est plus conservatrice que le temps de séjour théorique ( $T = \text{Volume}/\text{Débit}$ ). Finalement, la concentration de désinfectant résiduelle à la sortie des bassins (plutôt que la concentration appliquée) est utilisée pour les fins du calcul.

Le lecteur est prié de se référer à la section 10.3.2.2 du volume 2 pour une description complète de la procédure à utiliser pour obtenir la valeur du  $T_{10}$  et à la section 11.2 pour une explication de la méthode de calcul du CT.

Le  $CT_{\text{requis}}$  est une valeur fournie au concepteur via des tableaux compilés par la USEPA (1991; 1999) et indique la valeur de CT requise pour inactiver un log d'un micro-organisme donné (virus ou *Giardia* ou *Cryptosporidium*) dans une eau de caractéristique donnée (pH, température, etc.). Les procédures de calcul du  $CT_{\text{disponible}}$  et du  $CT_{\text{requis}}$  sont présentées au chapitre 11.2.

Considérant l'équation 10-2, le concepteur aura donc cinq principaux choix possibles pour améliorer l'efficacité de la désinfection :

- Augmenter la concentration de désinfectant résiduel ( $C_{\text{résiduelle}}$ ) à la sortie des bassins de contact;
- Augmenter le temps de contact dans les bassins en augmentant le volume et, par conséquent, le temps de contact dans les bassins ( $T_{10}$ );
- Améliorer le temps de contact effectif ( $T_{10}$ ) dans les bassins afin de diminuer les courts-circuits hydrauliques;
- Changer de type de désinfectant puisque certains désinfectants, tels que l'ozone, ont une efficacité relative plus importante ( $CT_{\text{requis}}$ );
- Changer les conditions d'application du désinfectant (pH et température de l'eau) afin de travailler dans les meilleures conditions possibles d'efficacité du désinfectant utilisé ( $CT_{\text{requis}}$ ).

Évidemment, le concepteur devrait également viser la production d'une eau filtrée de la meilleure qualité possible afin d'obtenir les crédits d'enlèvement physiques les plus élevés accordés.

#### **10.4 Revue et choix du mode de désinfection**

La section 10.4 passe en revue les différents modes de désinfection les plus fréquemment employés pour le traitement de l'eau potable. En guise de synthèse, le tableau 10-8 suivant résume les avantages et les inconvénients respectifs de ces désinfectants. Les informations concernant les paramètres de conception à utiliser pour chacun de ces désinfectants sont, par la suite, décrits dans des sections spécifiques (10.4.1 à 10.4.5). Le lecteur pourra également retrouver à la section 10.4 du volume 2 des informations complémentaires sur ces différents désinfectants.

**Tableau 10-8 : Tableau comparatif des différents modes de désinfection**

| Paramètres                                                                                                                        | Chlore                                                                       | Ozone                                                                                                                                                           | ClO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                     | NH <sub>2</sub> Cl                                                                                                                                                                  | Rayons U.V.                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Source</b>                                                                                                                     | 1. Cl <sub>2</sub> gazeux<br>2. Eau de Javel<br>3. Généré sur site           | Généré sur site<br>(O <sub>2</sub> + énergie)                                                                                                                   | Généré sur site<br>(NaClO <sub>2</sub> +Cl <sub>2</sub> )                                                                                                                                            | Généré sur site<br>(Cl <sub>2</sub> +NH <sub>3</sub> )                                                                                                                              | Généré sur site<br>(Lampes UV au mercure)                                                                                                                                     |
| <b>Utilité</b>                                                                                                                    | DP, DS, GO, C, Ox                                                            | DP, GO, C, Ox, FB                                                                                                                                               | DP, DS, GO, C, Ox                                                                                                                                                                                    | DS                                                                                                                                                                                  | DP                                                                                                                                                                            |
| <b>Sous-produits de désinfection</b>                                                                                              | THM (Trihalométhanes) <sup>1</sup> ,<br>AHA (Acide haloacétiques)            | Bromates <sup>1</sup><br>CODB (Carbone organique<br>dissous biodégradable)                                                                                      | Chlorites+chlorates                                                                                                                                                                                  | Méconnus                                                                                                                                                                            | Nitrites pour certains<br>systèmes moyenne<br>pression<br>Recherches en cours                                                                                                 |
| <b>Avantages</b>                                                                                                                  | 1. Coût<br>2. Facilité d'utilisation<br>3. Polyvalence (DP+DS)               | 1. Contrôle des<br>goûts/odeurs et<br>couleur<br>2. Peut-être combiné à<br>une filtration<br>biologique<br>3. Réduction des THM<br>sous certaines<br>conditions | 1. Ne réagit pas avec<br>l'ammoniaque<br>2. Ne forme pas de<br>THM/AHA<br>3. Excellent pour oxyder<br>Fe/Mn                                                                                          | 1. Formation minimale de<br>THM/AHA<br>2. Meilleure persistance<br>que le Cl <sub>2</sub> en réseau<br>3. Plus efficace que le<br>Cl <sub>2</sub> pour contrôler la<br>recroissance | 1. Facile à ajouter à<br>une installation<br>existante<br>2. Efficace en eaux<br>froides<br>3. Coût compétitif<br>4. Aucun sous-produit<br>de désinfection<br>connu à ce jour |
| <b>Désavantages</b>                                                                                                               | 4. Risque relié au Cl <sub>2</sub><br>gazeux<br>5. Goûts et odeurs<br>6. THM | 4. Bromates<br>5. Pas de résiduel<br>persistant<br>6. Procédé relativement<br>complexe et coûteux<br>7. Risque relié à l'ozone                                  | 4. Chlorites/chlorates<br>5. Goûts et odeurs pour<br>certains types d'eau<br>6. ClO <sub>2</sub> résiduel<br>recommandé = 0,80<br>ppm<br>7. Sécurité reliée à<br>l'utilisation du NaClO <sub>2</sub> | 4. Possibilité de<br>nitrification en réseau<br>5. Faible efficacité<br>comme désinfectant<br>primaire                                                                              | 5. Pas de résiduel<br>persistant<br>6. Technologie en<br>validation<br>7. Encrassement<br>possible des lampes<br>selon les types<br>d'eau/coagulants                          |
| <b>Efficacité en désinfection<sup>2</sup></b><br><b>Virus (4 log)</b><br><b>Giardia (3 log)</b><br><b>Cryptosporidium (2 log)</b> | Très bonne<br>Acceptable<br>Négligeable                                      | Excellente<br>Très bonne<br>Négligeable                                                                                                                         | Bonne<br>Bonne<br>Négligeable                                                                                                                                                                        | Faible<br>Faible<br>Négligeable                                                                                                                                                     | Acceptable<br>Très bonne<br>Excellente                                                                                                                                        |

DP : Désinfection primaire (inactivation des pathogènes).

DS : Désinfection secondaire (désinfection en réseau de distribution).

Ox : Oxydation du Fer et manganèse.

1 : Sous-produits réglementés.

2 : En eaux froides (1°C), négligeable, faible, acceptable, bonne, très bonne, excellente.

GO : Goûts et odeurs.

C : Couleur.

FB : À combiner avec des filtres biologiques.

### 10.4.1 Chlore

#### 10.4.1.1 Généralités

Le chlore présente de nombreux avantages qui contribuent à répandre son usage dans l'industrie de la production d'eau potable. Il possède notamment les atouts suivants :

- Il inactive de manière efficace une vaste gamme d'agents pathogènes courants;
- Il laisse dans l'eau un résidu facilement mesurable et dont le suivi est aisé;
- Il est économique;
- Il a plus d'une fois fait ses preuves et contribué au succès du traitement (malgré les dangers associés à l'usage et à la manutention du chlore, particulièrement le chlore gazeux, il conserve une très bonne cote de sécurité).

L'utilisation du chlore pose cependant certains problèmes :

- Le chlore réagit avec de nombreux composés organiques et inorganiques naturellement présents dans l'eau pour former des sous-produits de désinfection indésirables;
- Les risques associés à l'usage du chlore, surtout en ce qui concerne le chlore gazeux; nécessitent des précautions particulières et la planification de mesures d'urgence;
- Des doses élevées de chlore peuvent faire en sorte que l'eau ait un goût et une odeur désagréable.

Le chlore destiné à la désinfection se retrouve normalement sous l'une des trois formes suivantes : le chlore gazeux, l'hypochlorite de sodium ou l'hypochlorite de calcium. Les réactions chimiques induites pour chacun de ces composés sont présentées à la section 10.4.1 du volume 2. De plus, le chlore gazeux, l'hypochlorite de sodium ou l'hypochlorite de calcium peuvent être plus ou moins efficaces selon les conditions de pH, de température, et de concentration en solides de l'eau. Pour de plus amples informations, se référer également à la section 10.4.1 du volume 2.

#### 10.4.1.2 Principales applications

Les installations de production d'eau potable utilisent surtout le chlore comme désinfectant. Il a toutefois été constaté qu'en vertu de ses capacités oxydantes, il peut servir à d'autres fins, dont voici quelques exemples (White, 1992) :

- Éliminer les goûts et odeurs désagréables;
- Prévenir la croissance d'algues;
- Garder les filtres propres;
- Enlever le fer et le manganèse;
- Détruire le sulfure d'hydrogène;
- Enlever certaines couleurs organiques (blanchiment);
- Maintenir la qualité de l'eau dans le réseau de distribution en prévenant la formation de films biologiques;

- Rétablir et préserver la capacité des canalisations;
- Rétablir la capacité du puits et désinfecter la conduite maîtresse;
- Améliorer la floculation réalisée à l'aide de silice activée;
- Aider à la filtration et la décantation (White, 1992, Connell, 1996, Culp/Wesner/Culp, 1986).

#### 10.4.1.3 Points d'injection

Le tableau 10-9 résume la localisation des points d'injection selon les applications.

**Tableau 10-9 : Points d'injection et usages typiques**

| Point d'injection                       | Utilité                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Admission d'eau brute                   | Élimination de la moule zébrée et prévention du développement de films biologiques, oxydation de l'ammoniac.                                                             |
| Mélangeur rapide (avant la décantation) | Désinfection, oxydation du fer et du manganèse, élimination du goût et de l'odeur, oxydation du sulfure d'hydrogène.                                                     |
| Entrée des filtres                      | Désinfection, prévention du développement de bactéries dans les filtres, oxydation du fer et du manganèse, élimination du goût, de l'odeur, des algues et de la couleur. |
| Réserve de distribution                 | Désinfection.                                                                                                                                                            |
| Réseau de distribution                  | Maintien d'un désinfectant résiduel.                                                                                                                                     |

Sources : Connell (1996); White (1992); AWWA (1990).

Le point d'injection du chlore, de l'hypochlorite de sodium et de l'hypochlorite de calcium doit être sur le côté de la conduite et le plus rapproché de l'éjecteur. De plus, un diffuseur est requis pour s'assurer d'avoir un mélange optimum. En général, on considérera que le mélange dans une conduite est homogène après une longueur équivalente à 10 diamètres de conduite (pour  $D < 750 \text{ mm}$ ) en autant que le nombre de Reynolds soit supérieur à 2000. Dans de rares cas, il y aura lieu d'avoir un dispositif à la sortie du diffuseur afin d'assurer un mélange homogène si le concepteur ne peut démontrer que l'homogénéité est atteinte. De plus, le nombre de pulsations/minute de la pompe doseuse est un aspect important à considérer. Il est recommandé de maintenir au moins 15 pulsations par minute au débit minimum, ce qui favorisera l'atteinte de l'homogénéité du mélange. Pour plus de détails sur le dosage des produits, se référer à la section 10.4.1.5.

Enfin, l'injection du chlore, de l'hypochlorite de sodium et de l'hypochlorite de calcium doit se faire en tenant compte des différents paramètres environnementaux qui peuvent venir influencer l'efficacité de désinfection de chacun. Ces paramètres et leur mode d'influence sont présentés à la section 10.4.1 du volume 2.

#### 10.4.1.4 Sous-produits de désinfection et prévention de leur apparition

##### **Sous-produits de désinfection**

Lorsque des matières organiques naturelles (MON) réagissent avec du chlore libre ou du brome libre, il y a formation de composés organohalogénés. Le chlore libre se retrouve normalement dans l'eau à la suite de son ajout direct comme désinfectant primaire ou secondaire. Quant au brome libre, il est le résultat de l'oxydation par le chlore d'ions bromure présents dans l'eau brute. Plusieurs facteurs influencent la formation de ces sous-produits halogénés : la nature et la quantité des MON, le type de chlore et la dose employée, le temps, la concentration en ions bromure, le pH, la concentration d'azote organique et la température.

L'apparition de sous-produits de désinfection dépend fortement du COT au point de désinfection. Elle est également fonction de la quantité de chlore consommée (Singer *et al.*, 1995). Stevens *et al.* (1989) ont découvert que davantage de trihalométhanes (THM) se formaient à un pH élevé (9,4) qu'à un pH faible (5,0), alors qu'il n'y avait pas de tendance claire à cet effet dans le cas des acides haloacétiques. Pourmoghaddas *et al.* (1993) ont montré qu'il y avait formation de trihalométhanes et d'acides haloacétiques bromés (ou un mélange bromés/chlorés) lorsqu'on utilisait du chlore en présence de brome.

Il est important de se préoccuper de la formation de THM, car ils font l'objet d'une réglementation (80 µg/L, moyenne annuelle – souvent problématique au Québec). À noter aussi que des chlorates et des bromates se forment au moment de la dégradation de l'hypochlorite entreposé. Pour des eaux de Javel entreposées trop longtemps, il est même possible que la norme sur les bromates (10 µg/L) puisse être dépassée.

##### **Prévention de la formation de sous-produits de désinfection**

Il existe plusieurs moyens de prévenir la formation de sous-produits de désinfection dont :

- L'enlèvement des précurseurs;
- La modification de la stratégie de chloration c'est-à-dire reporter les points de chloration en aval de la chaîne de traitement pour profiter des bénéfices du prétraitement en terme de réduction des précurseurs de THM;
- Le changement de désinfectant;
- L'enlèvement des sous-produits. Parce qu'il est difficile de réaliser cette dernière option, les stratégies de prévention s'orientent généralement vers les deux premières.

Dans le cas des bromates, il est recommandé de ne pas stoker des solutions d'hypochlorites pour de trop longues périodes.

Une revue des différentes stratégies étudiées pour diminuer la formation de sous-produits de désinfection est présentée à la section 10.4.1 du volume 2.

#### 10.4.1.5 Éléments de conception

Cette section vise à rassembler l'ensemble des paramètres de conception qui doivent être considérés lorsqu'on souhaite installer un système de désinfection au chlore gazeux, à l'hypochlorite de sodium ou à l'hypochlorite de calcium. Pour de plus amples informations sur le mode de fabrication de chacun de ces désinfectants, il faut se référer à la section 10.4.1 du volume 2. On retrouve également au chapitre 15 des volumes 1 et 2 les éléments de conception visant spécifiquement la sécurité.

#### **Conception du système au chlore gazeux**

##### *Dosage du chlore gazeux*

Pour le dosage du chlore, il est nécessaire de disposer des équipements suivants :

- Un évaporateur pour retransformer le chlore liquéfié en chlore gazeux avant le dosage. La chaleur nécessaire à l'évaporation peut également provenir de la chaleur ambiante de l'endroit où se trouve le récipient de chlore. L'évaporateur n'est pas requis si le cylindre est à l'intérieur et la capacité d'extraction est suffisante;
- Un injecteur ou un inducteur de vide pour le dosage sous vide de chlore. L'injecteur utilise l'eau circulant dans un tube de Venturi pour créer un vide et attirer le chlore gazeux dans une canalisation secondaire où ce dernier se mélange à l'eau porteuse, ce qui donne une solution de chlore concentrée;
- Un diffuseur ou un agitateur mécanique pour introduire la solution dans le circuit de traitement. En fait, l'inducteur de vide est un mélangeur dont la force motrice engendre un vide qui aspire directement le chlore gazeux dans le circuit de traitement, à l'endroit de l'agitateur mécanique.

##### *Matériaux*

- Les tuyauteries servant au transport de chlore liquide ou gazeux sous pression doivent être fabriquées en acier 80 sans soudures ou en tout autre matériau certifié pour cet usage (ne jamais utiliser de PVC);
- Le caoutchouc, le PVC, le polyéthylène ou d'autres matériaux certifiés doivent être utilisés pour les tuyauteries et la plomberie;
- Le nylon n'est recommandé pour aucune partie du système de tuyauterie de la solution de chlore.

##### *Bâtiment*

- Le bâtiment pour abriter le système de chloration est fonction de la grosseur des cylindres utilisés, du débit d'eau à traiter et des quantités de chlore requises. Il est certain que le concepteur doit s'assurer qu'il y aura l'espacement requis pour permettre à l'opérateur de faire la maintenance et l'opération de tout équipement. Règle générale, il est recommandé d'avoir une chambre pour l'entreposage des cylindres et une chambre pour l'équipement de chloration. Cependant, pour des petites installations, une seule chambre peut être utilisée pour l'entreposage des cylindres de 68 kg et les équipements de chloration. Une autre pièce adjacente sert alors de chambre de mécanique qui contiendra : génératrice, pompes de

surpression, armoires, évier, table ou comptoir, masque à gaz, trappe d'accès au réservoir et d'autres équipements, s'il y a lieu. Dans le cas des cylindres de 907 kg, on doit avoir une chambre de chloration et une chambre de mécanique;

- Lors de la construction de ces chambres hermétiques, il est recommandé d'utiliser des matériaux ignifuges et d'avoir des planchers en béton. De plus, le drain de la chambre (trou d'épuisement) doit être dirigé vers un puisard extérieur possédant un lit de filtration à sable. S'il est impossible d'utiliser ce système, des siphons doivent être prévus sur les conduites de drainage (canaux d'épuisement) et être munis d'un amorçoir pour s'assurer de l'opération de celui-ci. Une attention particulière devrait être apportée à la localisation en fonction des vents prédominants et des résidences avoisinantes. L'installation électrique de ces chambres doit être à l'épreuve du chlore;
- Une fenêtre d'inspection doit être prévue entre les chambres et/ou entre la chambre et l'usine. Celle-ci doit être étanche au chlore afin d'éviter les dommages dans le cas d'une fuite majeure;
- Les chambres de chloration et d'entreposage des cylindres de chlore doivent posséder chacune une porte qui doit communiquer directement vers l'extérieur. Dans le cas où la conduite d'amenée du chlore est sous une pression négative, la chambre des équipements de chloration peut communiquer avec l'intérieur. Cependant, dans ce cas, il doit absolument y avoir une chambre d'entreposage qui communique par l'extérieur seulement. Des portes avec barre horizontale (barre panique) doivent être installées pour permettre une sortie rapide. Si la distance pour atteindre la sortie est supérieure à 5 mètres, il devrait y avoir un minimum de 2 sorties vers l'extérieur. Une fenêtre d'inspection doit être installée au centre de ces portes;
- Dans le cas où il y a un accès au sous-sol ou si l'on veut en prévoir un, il est obligatoire que celui-ci soit installé dans la chambre de mécanique. Les chambres de chloration et d'entreposage des cylindres de chlore ne doivent jamais avoir d'accès au sous-sol, en cas de fuite. L'accès à cette pièce doit se faire par un escalier réglementaire;
- Dans le cas de trappes d'accès au bassin de contact du chlore ou de la réserve d'eau claire, il faut prévoir des rebords conformes aux exigences du ministère du Travail. Si des échelons sont prévus pour descendre dans ce bassin, ils doivent dépasser le dessus du plancher d'au moins un mètre.

### *Ventilation*

Pour la chambre d'entreposage de cylindres et la chambre de chloration, on doit prévoir une ventilation adéquate. Dépendant de l'importance de l'installation, deux systèmes différents peuvent être installés :

- une ventilation d'urgence de 60 changements d'air par heure, complétée par une ventilation d'urgence d'au moins 30 changements d'air par heure;
- une ventilation continue d'au moins trois changements d'air par heure, complétée par une ventilation d'urgence d'au moins 30 changements d'air par heure.

Les prises d'air doivent être installées de façon à produire le maximum de circulation à travers la pièce tout en étant assez éloignées des chlorateurs. De plus, un système de chauffage approprié peut être nécessaire dans les conduites d'arrivée d'air froid. Les gaines de ventilation doivent se situer à une distance maximale de 45 centimètres du plancher.

Les ventilateurs doivent être à l'épreuve du chlore, à plus de 1,5 m du plancher et à l'extérieur des conduits. Il y a lieu de s'assurer que les émanations de chlore gazeux venant de la sortie de ventilation ne puissent atteindre une prise d'air de l'usine (ex : prise d'air de la chambre électrique, du charbon actif, des hydrocarbures, etc.).

#### *Détecteur de fuite de chlore*

- Une bouteille d'hydroxyde d'ammonium concentré (56%) devrait être disponible pour la détection des fuites de chlore. Quand des contenants d'une tonne sont utilisés, un nécessaire de réparation des fuites certifié devrait être fourni. Un équipement de détection en continu des fuites est recommandé. Le détecteur doit normalement être couplé à une alarme et/ou une lumière qui peut être installée directement à la station de chloration, à la station de police, à la caserne des pompiers ou à tout autre endroit approprié. Le détecteur doit être installé à 30 centimètres du plancher, sauf dans le cas où il est muni d'une conduite de succion descendue à 30 centimètres du plancher;
- Là où c'est nécessaire, il faut fournir un équipement de neutralisation du chlore gazeux avant rejet dans l'atmosphère. Un tel équipement doit être conçu en même temps que les zones de stockage et d'alimentation du chlore gazeux pour être automatiquement utilisé en cas de relargage de chlore. L'équipement doit être suffisant pour traiter le volume entier du plus grand réservoir de stockage sur le site.

#### *Affichage*

Chaque chambre doit être clairement identifiée comme suit :

- Danger, entreposage du chlorure;
- Danger, équipements de chloration.

#### *Alarme*

Dans une installation, il est recommandable d'avoir un analyseur de chlore résiduel avec alarme pour détecter un dosage insuffisant ou exagéré.

#### *Manuel d'opération et d'entretien*

Un manuel d'opération et d'entretien doit être disponible sur les lieux. Le concepteur d'un tel projet doit s'assurer qu'il y aura des pièces de rechange disponibles, les outils adéquats et un registre sur les lieux pour l'opérateur.

#### *Masque à gaz*

Le masque à gaz (appareil respiratoire) autonome à pression positive doit être placé à un endroit qui soit facilement accessible lors d'une fuite de chlore (chambre mécanique) et le plus près possible des chambres d'entreposage et de chloration, mais à l'extérieur de celles-ci. Il serait préférable d'avoir un deuxième appareil respiratoire, car dans des situations d'urgence, il y a souvent deux personnes qui pénètrent dans ces chambres lors de fuites. Il est interdit d'utiliser le masque à gaz de type filtre.

#### *Commutateur*

Des commutateurs séparés pour l'éclairage et la ventilation doivent être installés à l'extérieur des chambres de chloration et d'entreposage de cylindres de chlore et à la fenêtre d'inspection. Des commutateurs extérieurs devraient être protégés du vandalisme. Un signal lumineux indiquant l'opération du ventilateur devrait être fourni à chaque entrée lorsque le ventilateur peut être contrôlé depuis plus d'un point.

#### *Évier, comptoir, armoire*

Comme l'opérateur doit circuler régulièrement pour faire les essais de chlore résiduel, il faut donc faciliter son travail. Les robinets installés à l'évier doivent permettre l'échantillonnage de l'eau chlorée (eau traitée) et l'eau non chlorée (eau brute). La prise d'eau chlorée doit être localisée selon les possibilités de turbulence et de mélange. S'il y a un réservoir de contact ou d'emmagasinement, ceux-ci peuvent être à la sortie. Sur une conduite, le degré d'agitation devrait faire varier la distance entre celle-ci et le point de dosage. Cependant, pour des considérations pratiques, celle-ci pourrait être localisée de façon sécuritaire à 40 mètres après le dosage du chlore. Si le concepteur désire réduire cette distance, il devra démontrer qu'il aura un mélange optimum avant sa prise d'échantillonnage. Celle-ci devrait être raccordée à l'évier, avec une identification "eau potable".

### **Conception du système à l'hypochlorite de sodium**

#### *Stockage de l'hypochlorite de sodium*

- L'hypochlorite concentré ayant une teneur en chlore de 5 à 15 % est livré dans des réservoirs de 3,78 litres, dans des bonbonnes de 18,9 litres ou dans des fûts en acier de 208 litres. L'utilisation des fûts de 208 litres exige automatiquement une pompe de transfert pour transvaser l'hypochlorite concentré;
- La capacité du réservoir de solution doit être déterminée à partir du facteur de dilution du chlore et contenir suffisamment de solution pour un maximum de sept jours d'utilisation;
- Il est plus pratique pour l'opérateur d'installer un réservoir gradué et muni d'une vanne de drainage qui rend le nettoyage et/ou la vidange plus facile;
- Les solutions d'hypochlorite de sodium se dégradent avec le temps. Une solution à 12%, par exemple, passera à 10% en 30 jours, dans les meilleures conditions d'entreposage (White, 1992). La dégradation du produit induit la formation de chlorates, laquelle peut être minimisée en limitant la durée de stockage, l'exposition à une température accrue, l'exposition à la lumière et le contact avec des métaux, y compris l'acier inoxydable (Connell, 1996).

#### *Dosage de l'hypochlorite de sodium*

La solution concentrée d'hypochlorite de sodium est diluée dans un réservoir de solution avant d'être injectée dans l'eau. Une sortie d'eau doit donc être installée près des réservoirs de solution pour la préparation de celle-ci. La capacité du réservoir de solution doit être déterminée à partir du facteur de dilution du chlore et contenir suffisamment de solution pour deux ou trois jours maximum d'utilisation.

Habituellement, le dosage de la solution d'hypochlorite de sodium se fait directement dans le circuit de traitement par une pompe doseuse (ou pompe compteur). Le point d'application doit être aussi rapproché que possible de la pompe doseuse. De plus, un diffuseur est requis pour permettre un mélange optimum de la solution dans la conduite. Il serait très utile d'avoir un dispositif en aval du diffuseur afin d'assurer un mélange optimum comme un mélange statique installé directement dans la conduite ou un mélangeur statique. Comme dans le cas de la solution de chlore, la solution d'hypochlorite est mélangée à l'eau à traiter, soit à l'aide d'un agitateur mécanique ou d'un inducteur de vide pour permettre un mélange optimum. On ne dilue pas la solution d'hypochlorite de sodium avant de l'introduire dans le circuit de traitement, et ce, afin de prévenir les problèmes d'entartrage.

Dans le cas de préparation d'une solution d'hypochlorite en présence d'eau dont la dureté excède 100 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , il y a lieu de prévoir un adoucisseur sur la conduite d'eau pour la préparation de la solution ou bien de prévoir l'addition de polyphosphates dans la solution avant l'introduction de l'hypochlorite de sodium. Dans ce dernier cas, il est pratique d'avoir deux réservoirs. Le réservoir de dilution doit être muni d'un agitateur afin d'uniformiser la concentration en chlore. Un dispositif doit être installé pour indiquer un bas niveau dans le réservoir de solution. Celui-ci doit être couplé à une alarme qui peut être installée directement au poste de chloration, à la station de police ou à tout autre endroit approprié.

#### *Pompes doseuses*

Trois types de pompes sont employés comme hypochlorateur soit des pompes à diaphragmes, péristaltique et à pistons. Il est important de prévoir une soupape anti-siphon afin de maintenir une contre-pression sur la pompe doseuse. Il est bon de prévoir une soupape à la sortie de ces pompes pour retour dans le réservoir si l'injection est obstruée. De plus, lorsque le niveau piézométrique au point d'injection est supérieur à celui de la solution de chlore, il est recommandé d'installer un clapet directement sur la ligne d'injection, en aval des soupapes de relâche de pression, afin d'éviter tout retour d'eau vers les réservoirs de solution de chlore. Lorsque l'on dispose d'un appareil en attente, il est préférable de faire la rotation des appareils à chaque semaine de manière à s'assurer du bon fonctionnement de ceux-ci. Dans ce cas, il ne faut pas laisser tremper les diaphragmes dans la solution en prévoyant les installations pour rincer la pompe à l'eau claire. Dans le cas de pompes doseuses électriques, un dispositif d'urgence doit être prévu en cas de panne électrique, si l'eau continue d'être distribuée. Celui-ci doit être muni d'un dispositif de démarrage automatique.

#### *Localisation des appareils*

Les appareils de dosage du chlore doivent être localisés au niveau du rez-de-chaussée pour éviter la manutention dans des escaliers. Si tel n'est pas le cas, il faut prévoir un escalier conforme aux exigences du ministère du Travail.

#### *Siphonnage*

La conduite d'injection doit être munie, à la sortie des pompes, d'un dispositif pour éviter le siphonnage ou le retour d'eau selon le type d'installation proposé.

### *Opération*

Dans les systèmes requis pour la bonne opération du système de chloration, il est recommandable de prévoir un nécessaire pour mesurer la quantité de solution utilisée et une colonne de calibration. L'installation de filtre (strainer) est souvent la cause d'un désamorçage de pompe en raison d'un colmatage fréquent causé par la cristallisation ou autre. Il est préférable de prévoir la prise de solution chlorée à quelques centimètres au-dessus du fond du réservoir (afin d'éviter d'aspirer les dépôts) et d'éviter ainsi l'installation d'un tamis.

### *Bâtiment*

La chambre de chloration, bien qu'elle soit à usage restreint (ce n'est pas un entrepôt) doit être prévue de manière à ce que les équipements soient accessibles facilement et qu'il y ait l'espace nécessaire pour la maintenance et les opérations. Cette pièce doit posséder des facilités de travail telles que comptoir avec évier, armoires, lunettes, gants, tabliers, bottes, rince-œil et trousse de premiers soins. Celle-ci doit en plus avoir un drain de plancher, un espace d'entreposage pour l'hypochlorite de sodium à l'abri de la lumière et une ventilation adéquate. Un système de chauffage doit être prévu pour garder la pièce à une température supérieure à 15°C. De plus, des mesures doivent être prises pour recueillir le volume liquide pouvant résulter de fuites dans le réservoir de stockage de l'hypochlorite de sodium.

### *Accessibilité des lieux*

L'accessibilité des lieux doit être facile, car une visite de l'opérateur est exigée au moins deux fois par jour, à tous les jours et ce, en toute saison. De plus, un manuel d'opération et d'entretien doit être disponible sur place.

## **Conception du système à l'hypochlorite de calcium**

### *Stockage de l'hypochlorite de calcium*

- L'hypochlorite de calcium, s'il est livré dans des barils scellés de 15,9 ou 45,4 kg doit être gardé dans une pièce séparée, utilisée spécialement pour ce produit. L'hypochlorite de calcium concentré de qualité commerciale contient au moins 70% de chlore disponible (USEPA, 1991). Dans des conditions normales d'entreposage, il perd en un an de 3 à 5% de ce chlore (AWWA et ASCE, 1997);
- L'hypochlorite de calcium doit être conservé au sec dans son contenant d'origine avec le couvercle fermé pour éviter que le produit ne se détériore trop rapidement. Il ne doit pas non plus être laissé près des matières combustibles ou près d'une source de chaleur. On ne doit pas fumer à cet endroit. L'hypochlorite de calcium est un oxydant et doit donc être stocké séparément des matériaux organiques qui pourraient être oxydés rapidement. De l'hypochlorite de calcium stocké de manière inappropriée a déjà causé des combustions spontanées (White, 1992);
- Pour toutes ces considérations, la salle d'entreposage doit être fraîche et sombre, à l'abri des rayons du soleil. La disposition des contenants doit permettre de les sortir rapidement à l'extérieur advenant un incendie. Un masque à poussière doit être disponible sur les lieux.

### *Préparation et alimentation de l'hypochlorite de calcium*

- Ce système est à peu de choses près identique à celui de l'hypochlorite de sodium. En plus des équipements déjà mentionnés pour l'hypochlorite de sodium, un deuxième réservoir de solution sera nécessaire. En effet, l'hypochlorite de calcium se vend sous forme de poudre, de granules ou de comprimés (USEPA, 1991). Dans un premier temps, on doit faire dissoudre ce produit dans un faible courant d'eau à l'aide d'un agitateur pour accélérer l'opération. Lorsque la solution est prête, ce réservoir servira à alimenter graduellement le système. Pour assurer une alimentation continue, il est donc nécessaire de préparer un autre réservoir de solution pendant que le premier se vide;
- Dans le cas de préparation d'une solution d'hypochlorite sous forme granulaire en présence d'eau dure dont la dureté excède 100 mg/L, il y a lieu de prévoir un adoucisseur sur la conduite d'eau pour la préparation de la solution. Dans ce dernier cas, il est pratique d'avoir deux réservoirs. Dû au fait que lors de la préparation d'une solution, il n'y a pas d'agitation, il arrive qu'il y ait des dépôts au fond et que la solution ne soit pas homogène.

Les précautions importantes à prendre lors de la manipulation de l'hypochlorite de calcium sont :

- Les contenants de métal doivent être entreposés dans la position verticale et ne doivent pas être basculés, roulés ou glissés; s'il y a fuite, l'hypochlorite de calcium peut exploser et brûler;
- Les contenants vides doivent être soigneusement rincés à l'eau.

Lors de manipulation d'hypochlorite de calcium, l'équipement nécessaire est le suivant:

- Une protection faciale munie d'un masque anti-poussière;
- Des gants.

Pour la mesure de l'hypochlorite de calcium, il est préférable d'utiliser un contenant de plastique.

### **Bassin de contact**

Pour réaliser la désinfection, le chlore (ou les hypochlorites) sont injectés dans l'eau à traiter à l'entrée d'un bassin de contact ou d'une conduite d'amenée. Dans le cas d'une post-chloration, la rétention hydraulique dans ce bassin doit être fixée en fonction des objectifs de CT à atteindre (voir section 11.2). Le bassin de contact doit être équipé de dispositifs qui favorisent un écoulement à piston et minimisent les courts-circuits hydrauliques à travers le bassin.

Quand le désinfectant est dosé directement dans la réserve, une partie du réservoir en aval du point d'injection doit avoir des dispositifs semblables à un bassin de contact pour favoriser la dispersion du désinfectant et minimiser les courts-circuits hydrauliques. Alternativement, le concepteur peut prévoir une chute d'eau afin d'assurer le mélange.

### **Désinfection sans interruption**

Indépendamment du désinfectant utilisé, la désinfection des eaux de consommation doit respecter les principes suivants : la chloration doit être proportionnelle au débit et doit toujours se faire. Pour considérer le débit constant, la variation de débit doit être inférieure à plus ou moins 10% du débit considéré. Pour cette raison, il faut donc accorder beaucoup d'importance à la redondance (voir chapitre 15) et prévoir un point d'application sur les conduites de dérivation.

Prévoir également un dispositif de détection du débit nul qui permet d'émettre une alarme le cas échéant (art.22 du règlement) et idéalement de démarrer la pompe en attente (préférentiellement alimentée par son propre réservoir). De plus, il est préférable de prévoir un système de canalisation permettant d'utiliser simultanément tous les chlorateurs en permanence. Par exemple, il est avantageux d'utiliser deux chlorateurs à 40 % de leur capacité, plutôt que d'opérer un seul chlorateur à 80 % de sa capacité.

Une génératrice est exigée pour assurer une désinfection en cas de panne d'électricité, à moins qu'il n'y ait aucune possibilité d'alimenter le réseau avec de l'eau non désinfectée dans de telles circonstances.

Ces principes établis, il faut choisir le type de système à utiliser. Pour faciliter ce choix, le concepteur devra considérer :

- La consommation minimale;
- La consommation maximale;
- La demande chimique en chlore;
- Le résiduel requis (ppm);
- Le dose appliquée requise (ppm);
- La quantité de chlore requise par jour;
- La qualité d'eau requise pour préparer une solution;
- Les coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien;
- Le service après vente;
- La sécurité du système en fonction de la compétence de l'opérateur;
- La localisation du poste en fonction des inconvénients pouvant être causés à l'environnement en cas de fuites.

Si le rapport des débits maximum et minimum est supérieur à 7 et/ou si la quantité de chlore requise est supérieure à 4 kg par jour, il y a lieu d'envisager un système au chlore gazeux. Le concepteur doit donc faire une évaluation de chaque cas et non prendre pour acquis qu'un système déjà en opération peut être utilisé dans tous les projets futurs à concevoir. De plus, le système de chloration doit être tel que la capacité de dosage soit au moins 50% plus grande que le plus haut dosage requis pour obtenir un chlore résiduel libre de 2 mg/L à l'eau finie. Cette exigence, la plupart du temps, conduit à un surdimensionnement des pompes de chlore et à une perte de précision relativement au dosage, mais surtout, à une perte d'uniformité dans l'injection (peu de pulsation par minute). Dans ce cas, l'utilisation d'une solution de chlore diluée permet d'atteindre facilement cet objectif en réajustant la concentration en chlore de la solution-mère. Pour les systèmes à l'hypochlorite de sodium ou de calcium, le facteur de dilution de la solution doit donc être considéré pour être en mesure de répondre au dosage précité tout en évitant la mise

en place de pompes doseuses surdimensionnées. Par exemple, un système de dosage à l'hypochlorite de sodium conçu pour une solution à 4 % pourra tripler le dosage en augmentant la concentration de la solution à 12 %.

### **Dispositif d'échantillonnage pour tous les systèmes**

Une prise permettant de prélever des échantillons d'eau brute avant le point d'injection du chlore doit être prévue et raccordée à un évier, avec une identification "Eau non potable".

Une autre prise est nécessaire pour l'eau chlorée. Celle-ci doit être localisée selon les possibilités de turbulence et de mélange. S'il y a un réservoir de contact ou de mélange, celle-ci peut être à la sortie. Cependant, il est préférable d'avoir un point d'échantillonnage après l'injection afin d'être en mesure de vérifier l'effet d'une modification au dosage. Dans le cas où le dosage se fait directement dans la conduite, la distance entre la prise et le point d'injection est fonction du degré d'agitation ou de turbulence.

Par ailleurs, il est pratique courante de localiser la prise d'échantillonnage de façon sécuritaire à 40 mètres en aval du point de dosage. Si le concepteur désire réduire cette distance, il doit démontrer qu'il y aura un mélange complet avant sa prise d'échantillonnage. Pour un écoulement turbulent, un mélange complet devrait être atteint pour une distance équivalente à 50 diamètres de conduite. La prise d'échantillonnage devrait être raccordée à l'évier avec une identification : "Eau traitée".

Une trousse d'analyse permettant la mesure du chlore résiduel libre et total doit être disponible.

## *10.4.2 L'ozone*

### 10.4.2.1 Généralités

L'ozone est un désinfectant moins affecté que le chlore par le pH ou la présence d'ammoniaque. L'action virulicide de l'ozone est supérieure à celle du chlore et son pouvoir d'oxydation lui permet d'agir sur les goûts, les odeurs, la couleur et certains micropolluants. Ses principaux désavantages sont la difficulté de l'appliquer dans l'eau et d'assurer un bon contact à cause de sa faible solubilité, son coût plus élevé que le chlore, la nécessité de le produire sur place ainsi que l'absence d'un résiduel d'ozone après quelques minutes.

### 10.4.2.2 Principales applications

On utilise l'ozone dans la production d'eau potable dans les cas suivants:

- La désinfection primaire;
- L'oxydation de polluants inorganiques, y compris le fer, le manganèse et les sulfures. L'oxydation requiert une quantité d'ozone de 0,43 mg/mg de fer et de 0,88 mg/mg de manganèse (Langlais *et al.*, 1991);
- L'oxydation de micropolluants organiques, y compris les composés responsables du goût et de l'odeur, les polluants phénoliques et certains pesticides;

- L'oxydation de macropolluants organiques, y compris l'enlèvement de la couleur, l'amélioration de la biodégradabilité de composés organiques, le contrôle des précurseurs des sous-produits de désinfection et la réduction de la demande en chlore (10 à 15%, typiquement);
- Amélioration de l'efficacité de la floculation et de la filtration.

Tous ces usages possibles de l'ozone sont présentés de façon plus approfondie à la section 10.4.2 du volume 2.

#### 10.4.2.3 Points d'injection

Le tableau 10-10 présente une liste de critères de sélection des points d'injection de l'ozone en fonction de ces paramètres.

**Tableau 10-10 : Critères de sélection des points d'injection d'ozone pour de petites installations**

| Qualité de l'eau brute                                          | Points d'injection d'ozone                                           | Considérations particulières                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Catégorie I<br>Turbidité < 10 UTN<br>Demande en ozone < 1mg/L   | Dans l'eau brute ou après la décantation                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible demande en ozone</li> <li>• Peu de sous-produits de désinfection</li> <li>• Peu de matières organiques biodégradables</li> </ul> |
| Catégorie II<br>Turbidité > 10 UTN<br>Demande en ozone < 1mg/L  | Après la décantation                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible demande en ozone</li> <li>• Beaucoup de particules inorganiques</li> <li>• Peu de matières organiques biodégradables</li> </ul>  |
| Catégorie III<br>Turbidité < 10 UTN<br>Demande en ozone > 1mg/L | Dans l'eau brute et/ou après la décantation                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demande élevée en ozone</li> <li>• Sous-produits de désinfection</li> <li>• Formation de composés organiques biodégradables</li> </ul>  |
| Catégorie IV<br>Turbidité > 10 UTN<br>Demande en ozone > 1mg/L  | Après la décantation et après une première filtration, si nécessaire | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demande élevée en ozone</li> <li>• Sous-produits de désinfection</li> <li>• Formation de composés organiques biodégradables</li> </ul>  |

Source : DeMers et Renner, 1992.

L'eau de catégorie II se distingue par une faible demande en ozone et une turbidité élevée. Cela indique la présence de matières inorganiques telles que des particules de silt ou d'argile. Pour que la désinfection à l'ozone de l'eau de catégorie II soit la plus efficace possible, il faut ajouter l'ozone après une pré-décantation ou une décantation ordinaire.

Une eau brute de faible turbidité et présentant une forte demande en ozone (catégorie III) contient des éléments en solution, et non en suspension, qui contribuent à cette demande. Une eau souterraine renfermant des ions bromures, du fer, du manganèse, de la couleur et des matières organiques constitue un exemple de ce type d'eau. Dans ce cas on peut additionner l'ozone à l'eau brute ou après la décantation. Si l'eau contient des composés organiques rendus plus biodégradables par l'ozonation, il peut s'avérer nécessaire de prévoir une étape de traitement biologique (voir section 9.9). L'ozonation en présence de composés organiques oxydables ou d'ions bromures engendrera la formation de sous-produits de désinfection.

L'eau de catégorie IV est la plus difficile à traiter à l'ozone à cause de sa turbidité élevée et de sa grande demande en ozone. Un exemple de ce type d'eau serait une eau de surface contenant de fortes concentrations de matières organiques et de particules inorganiques. La manière la plus efficace d'utiliser l'ozone avec cette eau consiste à en ajouter après la décantation et peut-être même après la filtration. Si l'eau présente une demande en ozone extrêmement forte, il est possible qu'il faille ajouter de l'ozone en deux points pour atteindre les objectifs de désinfection. En effet, la présence de grandes quantités de matières organiques peut demander une étape de traitement biologique supplémentaire et risque de provoquer la formation de sous-produits de désinfection.

#### 10.4.2.4 Sous-produits de désinfection à l'ozone

##### **Sous-produits formés**

L'ozone ne forme pas de sous-produits halogénés (THM et HAA) quand il participe aux réactions d'oxydoréduction avec la matière organique, mais il forme une variété de sous-produits organiques et inorganiques. Le tableau 10-11 présente les principaux sous-produits associés à l'ozonation. Néanmoins, si l'ion bromure est présent dans l'eau brute, des sous-produits de désinfection halogénés peuvent être formés. Ces sous-produits bromés posent un problème sanitaire plus important que les sous-produits non bromés.

##### **Prévention des sous-produits d'ozonation**

Les principaux facteurs influençant la spéciation et la concentration de sous-produits bromés sont le pH et les ratios de l'ozone à l'ion bromure et du COT à l'ion bromure (Singer, 1992).

Une étude récente a démontré que les techniques suivantes permettent de limiter la formation d'ions bromates et de sous-produits organiques bromés (Song *et al.*, 1997) :

- Un pH bas ralentit la formation d'ions bromates et encourage celle de sous-produits organiques bromés;
- L'addition d'ammoniaque combinée à un faible temps de contact avec l'ozone permet de décourager à la fois la formation d'ions bromates et de sous-produits organiques bromés;
- L'ajout de peroxyde d'hydrogène engendre une diminution des sous-produits organiques bromés et peut soit ralentir, soit accélérer la formation des ions bromates, selon la composition de l'eau traitée;
- Un faible ratio ozone/COD n'entraîne qu'une faible production d'ions bromates et de sous-produits organiques bromés.

**Tableau 10-11 : Principaux sous-produits connus de l'ozonation.**

| <b>Aldéhyde</b>                                                        | <b>Aldo- et Ketoacides</b>                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formaldéhyde<br>Acetaldehyde<br>Glyoxale<br>Méthyle Glyoxale           | Acide pyruvique                                                                              |
| <b>Acides</b>                                                          | <b>Sous-produits bromés</b>                                                                  |
| Acide oxalyque<br>Acide succinique<br>Acide formique<br>Acide acétique | Ion Bromate<br>Bromoforme<br>Acides acétiques bromés<br>Bromopictine<br>Acétonitriles bromés |
|                                                                        | <b>Autres</b>                                                                                |
|                                                                        | Péroxyde d'hydrogène                                                                         |

De plus, les sous-produits de l'ozonation (acides organiques et aldéhydes) mentionnés ci-dessus semblent facilement biodégradables et font partie du carbone organique assimilable (COA) ou du carbone organique dissous biodégradable (CODB). L'ozonation, par le fait de l'oxydation, cause une augmentation de la matière organique biodégradable (MOB). En conséquence, si on fait subir un traitement biologique (p. ex. à l'aide de charbon actif) à l'eau désinfectée à l'ozone, on enlève une partie de ces sous-produits biodégradables. Il a été démontré que l'utilisation de filtres biologiques, que l'on garde actifs en s'abstenant de les désinfecter, permet d'enlever avec succès les aldéhydes et d'autres composés qui constituent une partie du CODB dans l'eau (Bablon *et al.*, 1988, Rittman; 1990, Reckhow *et al.*, 1992).

#### 10.4.2.5 Paramètres de conception

##### **Composantes d'un système d'ozonation**

Les systèmes de traitement de l'eau par ozonation se composent de quatre éléments principaux :

- Une unité d'alimentation en gaz;
- un générateur d'ozone;
- un bassin de mélange;
- une unité de traitement des effluents gazeux.

Le lecteur peut se référer à la section 10.4.1.5 laquelle décrit les informations générales nécessaires pour la conception des systèmes de chloration. Plusieurs concepts décrits à cette section sont également applicables pour l'ozonation. L'unité d'alimentation fournit de l'oxygène (ou de l'air) pur et sec au générateur, qui produit un gaz riche en ozone. Ce gaz passe ensuite dans le bassin de mélange où il demeure en contact avec l'eau à traiter le temps nécessaire qu'il faut pour la désinfecter (ou produire d'autres réactions). À la dernière étape, il faut traiter l'effluent gazeux car l'ozone qui s'y retrouve est toxique à ces concentrations. Certaines installations de production d'eau potable effectuent une recirculation des gaz, en faisant revenir

l'effluent gazeux riche en ozone vers le premier compartiment du bassin de mélange afin de réduire la demande en ozone dans les compartiments suivants. D'autres procédés utilisent une chambre de refroidissement en fin de traitement pour enlever l'ozone resté en solution.

### **Système d'alimentation en gaz**

On classifie les unités d'alimentation en gaz selon qu'elles utilisent de l'air, de l'oxygène pur ou un mélange des deux. Il est possible d'acheter et d'entreposer de l'oxygène liquide (OXL) ou d'en fabriquer sur place à l'aide d'un procédé cryogénique ou d'un procédé d'adsorption modulée en dépression (AMD) ou en pression (AMP).

Les systèmes d'ozonation alimentés à partir d'oxygène peuvent atteindre des performances plusieurs fois supérieures aux systèmes équivalents approvisionnés à l'air comprimé. De plus, l'emploi de ce gaz très pur évite les problèmes d'entretien rencontrés lors de l'usage d'air de procédé. De plus amples informations sur la production d'oxygène pur sont fournies à la section 10.4.2 du volume 2.

*Unités d'alimentation en oxygène :* Les unités d'alimentation en oxygène liquide sont relativement simples et elles consistent en :

- Un/des réservoir(s);
- des évaporateurs servant à transformer le liquide en gaz;
- des filtres pour enlever les impuretés;
- des régulateurs de pression limitant la pression du gaz qui entre dans les générateurs d'ozone.

Le réservoir d'oxygène liquide ainsi que les équipements d'évaporation doivent se situer dans un enclos à l'extérieur du bâtiment. Après l'évaporation, le gaz doit être acheminé directement à la salle de génération d'ozone. Cette pièce doit être munie d'un détecteur de fuites d'oxygène permettant de couper immédiatement l'apport de ce gaz suite à une alarme de haute concentration.

*Unités d'alimentation en air :* Les unités d'alimentation en air des générateurs d'ozone sont assez complexes, car l'air doit y être conditionné de manière à ne pas endommager le générateur. Il faut que l'air soit propre et sec, qu'il ne contienne aucun contaminant et que son point de rosée ne dépasse pas -60°C . Les appareils de conditionnement de l'air comprennent généralement :

- Des compresseurs d'air;
- des filtres;
- des dessiccateurs;
- des régulateurs de pression.

On peut classer les unités de conditionnement d'air selon la pression sous laquelle elles fonctionnent, soit: ambiante, basse (inférieure à 200 kPa), moyenne et élevée (supérieure à 420 kPa). Ce qui distingue les systèmes à basse pression de ceux à pression élevée, c'est qu'on peut utiliser avec ces derniers des dessiccateurs sans chaleur, car ils fonctionnent à des pressions avoisinant 700 kPa, plutôt que 420 kPa. On retrouve dans les unités de conditionnement

différents types de compresseurs : volumétriques à deux rotors, centrifuges, rotatifs à vis, à anneau liquide, à aubes et alternatifs.

Le tableau 10-12 compare les avantages et les désavantages des différents types de systèmes d'alimentation en gaz.

**Tableau 10-12 : Comparaison des unités d'alimentation en air et en oxygène pur**

| <b>Gaz d'origine</b>               | <b>Avantages</b>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Désavantages</b>                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Air                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matériel répandu</li> <li>• Technologie éprouvée</li> <li>• Convient aux petites et grandes unités</li> </ul>                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consomme davantage d'énergie par volume d'ozone produit</li> <li>• Nécessite beaucoup d'équipements pour le traitement des gaz</li> <li>• Concentration maximale d'ozone de 2 à 4 %</li> </ul>                                |
| Oxygène (général)                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus grande teneur en ozone (8 à 14%)</li> <li>• Pour un même générateur, permet d'obtenir le double de la concentration en ozone</li> <li>• Convient aux petites et grandes unités</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Attention à porter à la sécurité</li> <li>• Demande des matériaux qui résistent à l'oxygène</li> </ul>                                                                                                                        |
| OXL                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demande moins de matériel</li> <li>• Simple à utiliser et à entretenir</li> <li>• Convient aux unités petites et intermédiaires</li> <li>• Possibilité d'entreposer l'excédent d'oxygène en prévision de périodes de forte demande</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le coût de l'OXL varie</li> <li>• Il faut entreposer l'oxygène sur les lieux (Code de prévention des incendies : précautions à prendre)</li> <li>• On perd l'OXL entreposé lorsqu'il n'est pas utilisé</li> </ul>             |
| Production d'oxygène par cryogénie | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Matériel semblable à celui des unités de conditionnement d'air</li> <li>• Convient aux grandes unités</li> <li>• Possibilité d'entreposer l'excédent d'oxygène en prévision de périodes de forte demande</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus complexe que l'OXL.</li> <li>• Nécessite beaucoup d'équipements pour le traitement des gaz</li> <li>• Demande un investissement considérable</li> <li>• Système difficile à faire fonctionner et à entretenir</li> </ul> |

D'autres informations sur les systèmes d'alimentation en gaz sont fournies à la section 10.4.2 du volume 2.

### **Générateurs d'ozone**

On classifie les générateurs selon la fréquence du courant appliqué aux électrodes. L'industrie de l'eau compte surtout des générateurs à basse (50 ou 60 Hz) et à moyenne (de 60 à 1000 Hz) fréquence, mais il en existe aussi à haute fréquence. Le tableau 10-13 compare ces trois catégories. Les générateurs à fréquence moyenne sont efficaces et capables de produire

économiquement de l’ozone à de fortes concentrations. Ils engendrent cependant davantage de chaleur que les générateurs à basse fréquence et demandent un système d’alimentation électrique plus complexe afin d’amplifier la fréquence du courant fourni par les services publics. On note une tendance, dans les installations récentes, à utiliser des générateurs à moyenne ou à haute fréquence.

**Tableau 10-13 : Comparaison des principales caractéristiques des générateurs d’ozone à basse, moyenne et haute fréquence**

| <b>Caractéristiques</b>                                                                  | <b>Basse fréquence<br/>(50 - 60 Hz)</b> | <b>Moyenne fréquence<br/>(jusqu’à 1000 Hz)</b> | <b>Haute fréquence<br/>(&gt; 1000 Hz)</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Degré de perfectionnement (électronique)                                                 | Faible                                  | Élevé                                          | élevé                                     |
| Tension maximale (kV)                                                                    | 19,5                                    | 11,5                                           | 10                                        |
| Marge de réglage effective                                                               | 5 : 1                                   | 10 : 1                                         | 10 :1                                     |
| Eau de refroidissement nécessaire (L/kg d’ozone produit)                                 | 4,2 à 8,4                               | 4,2 à 12,6                                     | 2,1 à 8,4                                 |
| Plage de fonctionnement                                                                  | < 225 kg/jour                           | jusqu’à 900 kg/jour                            | jusqu’à 900 kg/jour                       |
| Concentrations requises<br>% poids – air<br>% poids – oxygène                            | 0,5 à 1,5 %<br>2,0 à 5,0 %              | 1,0 à 2,5 % <sup>+</sup><br>2 à 12 %           | 1,0 à 2,5 % <sup>+</sup><br>2 à 12 %      |
| Production d’ozone optimale (exprimée en proportion de la capacité totale du générateur) | 60 à 75 %                               | 90 à 95 %                                      | 90 à 95 %                                 |
| Différentiel optimal pour la température de l’eau de refroidissement                     | 4 à 6 °C                                | 3 à 4 °C                                       | 3 à 4 °F                                  |
| Consommation d’énergie de l’unité d’alimentation en air (kWh/kg O <sub>3</sub> )         | 11 à 15,4                               | 11 à 15,4                                      | 11 à 15,4                                 |

Source : Adapté de Rice (1996) avec modifications.

D'autres informations sur les générateurs d'ozone sont fournies à la section 10.4.2 du volume 2.

### **Bassins de mélange**

Une fois l’ozone dissous dans l’eau à traiter, il réagit avec les composants organiques et inorganiques présents, y compris les agents pathogènes. L’ozone gazeux que l’étape de mélange n’a pas réussi à dissoudre s’échappe du bassin. Une désinfection à l’ozone efficace requiert généralement un rendement de transfert supérieur à 80% (DeMers et Renner, 1992).

Parmi les appareillages de dissolution de l’ozone, on retrouve couramment les suivants :

- Les bassins de mélange à diffusion;
- les injecteurs;

- les agitateurs à axe vertical.

Les avantages et inconvénients de chacun des appareillages sont présentés aux tableaux 10-14, 10-15 et 10-16 respectivement. De plus, ces différents bassins sont décrits de façon plus approfondie à la section 10.4.2 du volume 2. Enfin, la section 11.2 concerne la conception des bassins selon le concept des CT.

**Tableau 10-14 : Avantages et désavantages des bassins de mélange par diffusion**

| <b>Avantages</b>                   | <b>Désavantages</b>                                                                                        |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aucune pièce mobile                | Bassins de mélange profonds                                                                                |
| Transfert efficace de l’ozone      | Possibilité d’écoulements préférentiels de l’ozone injecté (surtout avec les systèmes utilisant l’oxygène) |
| Faible perte de charge hydraulique | Entretien des joints d’étanchéité et de la tuyauterie                                                      |
| Fonctionnement simple              |                                                                                                            |

**Tableau 10-15 : Avantages et désavantages du mélange par injection**

| <b>Avantages</b>                                                                 | <b>Désavantages</b>                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Les injecteurs et les agitateurs statiques ne comportent pas de pièces mobiles   | Les agitateurs statiques causent davantage de perte de charge (consommation énergétique) parce qu’ils nécessitent parfois l’utilisation de pompes |
| Le transfert d’ozone est très efficace                                           | La marge de réglage effective est limitée par le système d’injection                                                                              |
| La profondeur du bassin de contact est moindre que pour le mélange par diffusion | Le mode de fonctionnement est plus complexe et plus coûteux                                                                                       |

**Tableau 10-16 : Avantages et désavantages de l’agitateur à axe vertical**

| <b>Avantages</b>                                                                                                          | <b>Désavantages</b>                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| La turbulence élevée, qui crée des petites bulles, accroît le transfert d’ozone                                           | Demande de l’énergie                                                                        |
| La profondeur du bassin est moindre que dans le cas du mélange par diffusion                                              | Il faut maintenir un débit de gaz constant, ce qui réduit l’efficacité du transfert d’ozone |
| Les turbines d’aspiration peuvent soutirer les effluents gazeux des autres chambres de mélange en vue d’une réutilisation | La turbine et le moteur requièrent de l’entretien (spécialement les unités immergées)       |
| Élimine les préoccupations relatives à                                                                                    |                                                                                             |

### Dosage de l'ozone

L'ozone est un agent oxydant si puissant qu'il réagit avec de nombreux composants organiques et inorganiques présents dans l'eau. On utilise l'ozone pour enlever le goût et l'odeur, car il détruit les composés organiques. On s'en sert également pour aider à l'enlèvement du fer et du manganèse car il les oxyde en des composés moins solubles. Il faut donc satisfaire cette première demande en ozone avant de pouvoir procéder à une désinfection primaire qui présente des besoins supplémentaires en ozone. La présence de ces composés et leur concentration dans l'eau peuvent dicter à quel moment ajouter l'ozone, selon les objectifs du traitement.

### Traitement de l'effluent gazeux

La teneur en ozone de l'effluent gazeux des bassins de mélange se situe bien au-delà de la concentration létale. Par exemple, pour un taux de transfert de 90% et un gaz d'alimentation contenant 3% d'ozone, l'effluent du bassin de mélange contiendra encore 3000 ppm d'ozone. On récupère donc cet effluent pour retransformer l'ozone en oxygène avant de le laisser s'échapper dans l'atmosphère. L'ozone se décompose facilement à de hautes températures ( $> 350^{\circ}\text{C}$  ou par un procédé catalytique fonctionnant à moins de  $100^{\circ}\text{C}$ ) ; de plus, cela évite l'accumulation d'humidité. L'unité de traitement de l'effluent gazeux est conçue pour ramener la concentration en ozone à 0,1 ppm (en volume), ce qui correspond à la limite actuelle fixée par l'*Occupational Safety and Health Association* (OSHA) et le règlement 90 de la *Communauté urbaine de Montréal* pour l'exposition d'un travailleur sur une période de 8 heures. Une soufflante, placée du côté extérieur de l'unité de traitement, permet d'aspirer l'air du bassin de mélange, créant ainsi à l'intérieur une légère dépression qui empêche l'ozone de s'échapper.

Au Québec, la valeur d'exposition moyenne pondérée est de 0,1 mg/L ( $0,2 \text{ mg/m}^3$ ). Cette valeur est une valeur plafond, ce qui veut dire que la concentration indiquée ne doit jamais être dépassée d'aucune manière. Cette valeur doit être respectée même si d'autres organismes (cf. ANSI/ASTM ou ACGIH) tolèrent des niveaux d'exposition plus élevés pour les courtes périodes d'exposition.

### Instrumentation

- Il faut prévoir des instruments de mesure et de détection avec les systèmes d'ozonation afin de protéger le personnel et le matériel. Plusieurs recommandations sur le sujet sont présentées dans le chapitre 15;
- Il faut également installer un détecteur de point de rosée sur le circuit d'alimentation en gaz, juste en amont du générateur d'ozone, afin de protéger ce dernier de l'humidité présente dans le gaz d'alimentation (lorsqu'il s'agit d'air);
- On doit prévoir des capteurs et alarmes de température ( $\Delta T_{\text{max}} = 3^{\circ}\text{C}$ ) et de pression sur le circuit d'eau de refroidissement afin d'éviter toute surchauffe ou surpression du générateur;

- Les systèmes devraient inclure des appareils de surveillance de l’ozone résiduel en divers points du bassin de mélange, ce qui permet de maintenir les concentrations résiduelles désirées et d’éviter le gaspillage d’énergie associé au surdosage.

Même si les commandes manuelles conviennent aux petites unités de traitement, la plupart des unités sont conçues de manière à fonctionner en mode automatique de façon à doser l’ozone en fonction du débit et des besoins.

### **Désinfection en continu**

Une génératrice équipée d’un système de démarrage automatique doit être installée pour assurer l’opération du service en cas de panne électrique. S’il s’agit d’une génératrice refroidie à l’eau, l’eau utilisée doit être retournée à l’égout. Si le réservoir de carburant est placé à l’intérieur, celui-ci doit être muni d’un dispositif sûr en cas de fuite.

### **Espace requis**

L’entreposage de l’OXL est sujet à la réglementation des codes du bâtiment et de prévention des incendies. Ces codes définissent l’espace requis et dictent parfois même la nature des matériaux de construction des structures adjacentes si les exigences de mise en retrait des appareils ne peuvent être suivies. En général, la place occupée par un générateur d’ozone à base d’air est inférieure à celle que prendrait un générateur à base d’oxygène ou un procédé au bioxyde de chlore : cela à cause de l’espace supplémentaire que nécessite l’entreposage.

### **Choix des matériaux**

Il faut utiliser des matériaux résistants à long terme à l’ozone, et ceci du générateur jusqu’à l’unité de traitement des effluents gazeux. Si le gaz d’alimentation est de l’oxygène, tout l’équipement et jusqu’aux générateurs doit être fait de matériaux résistants à l’oxygène. Il faut de plus nettoyer de façon toute spéciale la tuyauterie destinée au transport de l’oxygène pur, ce qui fait augmenter le coût de construction des installations. Les matériaux des unités de conditionnement d’air peuvent être les mêmes que ceux utilisés dans les appareils à air comprimé. Langlais *et al.* (1991) recommandent l’utilisation de tuyauterie résistante à l’ozone en aval des dessiccateurs, car il peut s’y produire du refoulement ou une diffusion de l’ozone. Il faut aussi installer des clapets de non-retour résistants à l’ozone (et également résistants à l’oxygène si le gaz d’alimentation est de l’oxygène pur) dans la tuyauterie en amont du générateur.

Parmi les matériaux résistants à l’ozone, on retrouve les aciers inoxydables austénitiques (séries 300), le verre, les céramiques et autres comme le Téflon, l’Hypalon et le béton. On peut se servir des aciers inoxydables de série 304 pour l’ozone gazeux “ sec ” (et l’oxygène) et de série 316 pour le service “ humide ”. Le service humide inclut la tuyauterie des bassins de mélange, des effluents gazeux et de l’unité de traitement des effluents. Pour les garnitures et joints d’étanchéité, on doit utiliser du Téflon ou de l’Hypalon. Le béton doit être fait avec du ciment de type II ou de type IV. Il est de pratique courante aux États-Unis de prévoir 75 mm de recouvrement d’armature afin de prévenir la corrosion par l’ozone gazeux ou aqueux, bien que Fonlupt (1979) rapporte qu’une épaisseur de 40 mm offre une protection suffisante. Les panneaux d’accès des bassins de mélange doivent être fabriqués en acier inoxydable de série 316 et posséder des joints d’étanchéité résistants à l’ozone.

#### 10.4.3 Monochloramines

Ce procédé n'est pas utilisé présentement au Québec mais est souvent utilisé aux États-Unis depuis l'apparition d'une réglementation plus sévère sur les SPD de la chloration. L'ensemble de l'information sur les monochloramines est présenté dans la section 10.4.3 du volume 2.

#### 10.4.4 Bioxyde de chlore

Ce procédé est déjà utilisé au Québec pour des applications particulières. Compte tenu de la problématique de sécurité qui entoure son utilisation, il est peu probable que son application se généralise. L'ensemble de l'information sur le bioxyde de chlore est présentée dans la section 10.4.4 du volume 2.

#### 10.4.5 Rayonnement ultraviolet

La désinfection à l'aide du rayonnement ultraviolet connaît actuellement un développement rapide à l'échelle mondiale. Plusieurs technologies sont actuellement au stade de la validation par le *Comité sur les technologies de traitement d'eau potable*.

##### 10.4.5.1 Généralités

Contrairement à la plupart des désinfectants, le rayonnement ultraviolet n'inactive pas les micro-organismes par une action chimique. C'est plutôt l'absorption de la lumière ultraviolette (U.V.) qui entraîne une réaction photochimique modifiant les composantes moléculaires essentielles à la fonction cellulaire. À mesure que les rayons U.V. traversent les parois cellulaires des micro-organismes, l'énergie interagit avec les acides nucléiques et d'autres composantes cellulaires vitales, endommageant ou tuant ainsi les cellules exposées. On a suffisamment de connaissances en ce domaine pour pouvoir conclure que l'ultraviolet peut désinfecter l'eau jusqu'au niveau désiré, quel qu'il soit, si des doses suffisantes d'énergie U.V. atteignent les organismes visés.

Le degré de destruction ou d'inactivation des micro-organismes par l'ultraviolet dépend directement de la dose d'U.V. employée. On la calcule ainsi :

$$\text{Dose} = I \bullet T \quad \text{Éq 10-3}$$

Où :

$D$  = la dose d'U.V., en  $\text{mJ}/\text{cm}^2$  ( $1 \text{ J} = 1 \text{ W}\cdot\text{s}$ )

$I$  = l'intensité, en  $\text{mW}/\text{cm}^2$

$T$  = la durée d'exposition, en s

L'évaluation de la dose ( $IT$ ) s'apparente donc au concept des  $CT$  utilisés pour les oxydants, la concentration " $C$ " étant remplacée par l'intensité " $I$ " de rayonnement. La recherche indique que lorsque les micro-organismes subissent une exposition aux rayons U.V., chaque augmentation successive de la durée d'exposition entraîne l'inactivation d'une portion constante

de la population vivante. Cette relation entre la dose et la réaction quant aux effets germicides montre que l'application d'un rayonnement ultraviolet de haute intensité pendant une courte période de temps produit le même effet destructeur qu'un rayonnement U.V. de moindre intensité pendant une période proportionnellement plus longue.

Pour vérifier le bon fonctionnement du procédé de désinfection par U.V., on l'évalue par rapport au critère suivant : une intensité de rayonnement ultraviolet de 253,7 nm (la principale longueur d'onde émise par les lampes U.V. à basse pression fonctionnant à la vapeur de mercure) (Snider *et al.*, 1991). Les capteurs d'intensité U.V. sont la plupart du temps des capteurs à photodiode munis de filtres qui leur permettent de ne détecter que l'intensité de rayonnement se situant dans le spectre germicide (DeMers et Renner, 1992).

Étant donné que les sondes U.V. ne mesurent l'intensité du rayonnement qu'en un seul point du réacteur, il n'y a pas de façon pratique pour qu'un opérateur mesure sur place l'intensité moyenne du rayonnement U.V. dans le réacteur. Il n'est donc pas possible de calculer simplement un IT pour un réacteur U.V., basé sur une ou deux mesures d'intensités qui serait multipliée par un temps de contact théorique.

Malgré tout, on utilise les relevés de sondes U.V. pour le suivi de routine du procédé. Pour ce faire, le réacteur U.V. doit avoir été validé par biodosimétrie afin de certifier que les doses U.V. (IT) sont cohérentes avec le(s) intensité(s) enregistrée(s) par la (les) sondes U.V. d'un réacteur donné. Cette approche permet donc de contourner le problème de mesure de la dose effective (IT) fournie par un réacteur U.V..

Certaines substances dissoutes ou en suspension protègent parfois les micro-organismes des radiations U.V.. L'ozone dissous, le fer, les sulfites, les nitrites et les phénols, par exemple, absorbent tous la lumière U.V. (DeMers et Renner, 1992). À cet égard, le coefficient d'absorbance U.V. à 254 nm constitue un indice de la demande en U.V. et est caractéristique de chaque eau. Le lecteur peut se référer à la section 10.4.5 du volume 2 pour obtenir la procédure de mesure de l'absorbance U.V.. À cause de cela, les paramètres de conception du procédé varient en fonction de l'eau à traiter et on devrait les déterminer de manière spécifique pour chacun des cas (voir aussi la section 10.4.5 du volume 2).

#### 10.4.5.2 Principales applications

La principale utilité du rayonnement U.V. réside dans l'inactivation des agents pathogènes de l'eau au niveau exigé par la réglementation. Le rayonnement U.V. est un désinfectant à action physique qui ne laisse aucun résiduel. Il ne doit donc servir qu'à une désinfection primaire, suivie de l'ajout d'un désinfectant chimique secondaire dont les concentrations résiduelles protégeront le réseau de distribution contre une possibilité de recroissance bactérienne et les intrusions d'eaux contaminées.

#### 10.4.5.3 Points d'application

Le concepteur devrait privilégier l'application du système U.V. au point de la chaîne de traitement où la transmittance U.V. de l'eau est la plus élevée et où l'encrassement des lampes est minimisé. Selon la norme 55 de la *National Science Foundation*, on ne doit pas désinfecter l'eau à l'aide d'un procédé aux ultraviolets pour la rendre potable lorsque sa transmittance U.V. est inférieure à 75% (NSF, 1991). Si tel est le cas, il faut soit faire précéder le traitement aux U.V. d'autres procédés ayant comme résultat d'augmenter la transmittance U.V. de l'eau ou utiliser un autre mode de désinfection. Pour une filière de traitement conventionnel, le positionnement du système U.V. à l'eau filtrée (avant l'étape de reminéralisation) permet généralement de faire face à ces contraintes.

Les doses de conception varieront selon le positionnement du système U.V. dans l'installation, les doses les plus faibles correspondent à celles appliquées aux eaux filtrées.

#### 10.4.5.4 Formation de sous-produits de désinfection

Contrairement à d'autres désinfectants, les ultraviolets n'inactivent pas les micro-organismes par une réaction chimique. Ils causent toutefois une réaction photochimique qui modifie l'ARN et l'ADN de l'organisme visé. La littérature portant sur ce sujet suggère que le traitement de l'eau par les U.V. peut entraîner la formation de radicaux oxydants (Ellis et Wells, 1941; Murov, 1973). En raison de cette réaction, il était nécessaire de déterminer si le rayonnement U.V. engendre le même type de sous-produits que ceux issus de l'ozonation ou de procédés d'oxydation avancée.

Cependant des études réalisées par la suite (Malley *et al.* (1995) ont démontré qu'il n'existait pas de risque significatif autant pour les eaux de surface que souterraine. Il en est de même lorsque les U.V. sont suivis d'une chloration ou d'une chloramination. Les résultats sont présentés dans la section 10.4.5 du volume 2.

#### 10.4.5.5 Paramètres de conception

Compte tenu de l'avancement des travaux sous la responsabilité du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable*, le lecteur est invité à consulter le *Comité* pour obtenir les informations les plus récentes.

#### Doses U.V. de conception

Le tableau 10-17 suivant a été fourni par le *Comité*. Il prescrit les doses requises pour se voir accorder un crédit de 3 log d'inactivation de *Giardia* et *Cryptosporidium* et de 4 log d'inactivation de *virus*. Il est à noter que cette dose inclut un facteur de sécurité. Notons qu'il existe beaucoup moins d'informations portant sur l'inactivation de *Giardia* par les rayons U.V. que sur celle de *Cryptosporidium*. Cependant, les résultats obtenus à ce jour semblent indiquer que la résistance de *Giardia* est similaire, voire inférieure, à celle de *Cryptosporidium*.

**Tableau 10-17 : Doses de conception pour les systèmes de désinfection U.V.**

| Source          | Types d'eau                                       | Doses (mJ/cm <sup>2</sup> )              |       |
|-----------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|-------|
|                 |                                                   | <i>Cryptosporidium</i><br><i>Giardia</i> | Virus |
| Eau de surface  | Eaux filtrées <sup>(1)</sup>                      | 40                                       | 150   |
|                 | Eaux non filtrées <sup>(2)</sup>                  | 60                                       | 225   |
| Eau souterraine | Eaux non filtrées <sup>(2,3)</sup>                | 60                                       | 225   |
|                 | Eaux filtrées <sup>(3)</sup>                      | 40                                       | 150   |
|                 | Historique de contamination fécale <sup>(4)</sup> | N. R.                                    | 150   |

1. Eaux de surface ayant subies au préalable un traitement de filtration assistée par une coagulation, de filtration lente, de filtration sur terre diatomée ou de filtration membranaire;
2. Eaux non filtrées, conformément au 3<sup>ième</sup> alinéa de l'article 5 du règlement sur la qualité de l'eau potable;
3. Eaux souterraines sous influence des eaux de surface;
4. Eaux souterraines non susceptibles d'être sous influence d'une eau de surface mais avec un historique de contamination fécale.

N.R. Non requis

Afin de définir la sécurité acceptable, le *Comité* a établi que le système U.V. doit pouvoir livrer la dose U.V. spécifiée :

- Au débit de traitement maximal prévu à la fin de la période de conception;
- Pour le 5<sup>e</sup> centile inférieur de transmittance U.V.. Cette valeur est calculée par une caractérisation des eaux à désinfecter dans les pires conditions avec un total minimum de 100 analyses réparties sur une période minimale de 90 jours (maximum de 2 prélèvements/jour). Dans le cas d'une nouvelle usine avec désinfection U.V., la caractérisation de la transmittance de l'effluent des usines de filtration existantes s'alimentant dans la même source d'eau doit être effectuée conformément aux exigences décrites précédemment;

- Pour la puissance d'une lampe à la fin de sa vie utile;
- Considérant la température de l'eau la plus défavorable (min/max) à la capacité nominale de la lampe.

### Redondance

La redondance requise sera spécifique à chacune des applications et dépendra de la qualité de l'eau à traiter et également de la redondance disponible au niveau des autres unités de désinfection.

Le *Comité* reconnaît que la désinfection U.V. à la sortie de chaque filtre est acceptable pour certaines usines existantes. Dans ces cas, il pourrait être acceptable de ne pas avoir d'unité en attente mais plutôt les pièces de rechange équivalentes à une unité complète. Cependant, le *Comité* recommande toutefois l'application du système U.V. sur l'eau filtrée combinée de façon à avoir un système U.V. indépendant des filtres.

Le *Comité* recommande une redondance qui sera fonction du nombre d'unités installées et de la taille de l'installation. Pour la plupart des installations, le *Comité* recommande une redondance basée sur les principes d'application illustré au tableau 10-18.

**Tableau 10-18 : Exemples de redondance possible pour les systèmes de désinfection U.V. appliqués sur l'eau filtrée combinée**

| NOMBRE D'UNITÉS<br>INSTALLÉES | UNITÉ EN ATTENTE | Étude<br><br>technico-<br><br>économique |
|-------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| 2 unités 100 %                | 1 unité 100 %    |                                          |
| 3 unités parallèles 50 %      | 1 unité 50 %     |                                          |
| 4 unités parallèles 33 %      | 1 unité 33 %     |                                          |
| 5 unités parallèles 25 %      | 1 unité 25 %     |                                          |
| 6 unités parallèles 20 %      | 1 unité 20 %     |                                          |

### Suivi et alarmes

Selon le *Comité*, les réacteurs U.V. utilisés devront prévoir un système de suivi incluant :

- Une mesure en continu de l'intensité U.V. incorporant au minimum un capteur U.V. par réacteur et au moins un capteur pour 5 kW de puissance installée, sans toutefois excéder un capteur pour deux lampes;
- Une évaluation en continu de la dose opérationnelle ou de l'intensité U.V. (à inscrire au registre), selon l'approche de contrôle utilisée par le fabricant;
- Le statut de chacun des réacteurs U.V. (en arrêt/en fonction);
- Le statut de chacune des lampes (en arrêt/en fonction);
- L'âge des lampes;
- Le nombre cumulatif de cycles arrêts/départs de chacun des réacteurs;
- L'énergie cumulative consommée par le système de désinfection U.V.;
- La puissance effective du réacteur (pour les systèmes avec une puissance variable);
- Une protection contre la surchauffe dans le réacteur;

- Le statut de l'interrupteur de mise à la terre;
- La fermeture automatique de la vanne à la sortie du réacteur advenant une alarme déclenchée par le système;
- Un raccordement à la génératrice d'urgence afin d'alimenter le système durant les pannes de courant.

Les réacteurs U.V. utilisés devront prévoir les cas d'alarmes suivantes :

- Deux lampes adjacentes en arrêt;
- Arrêts multiples de lampes – plus de 5% des lampes d'un réacteur en arrêt;
- Faible intensité U.V. : lorsque l'intensité U.V. descend sous la valeur de contrôle du procédé;
- Surchauffe du réacteur;
- Interrupteur de mise à la terre.

### **Encrassement des lampes**

Il n'est pas obligatoire de procéder à des essais afin de déterminer le taux d'encrassement des lampes. Il est cependant recommandé de procéder à de tels essais si la qualité de l'eau est favorable (fer, dureté, etc.) à l'encrassement des lampes. . Il est probable qu'il y ait incrustation en présence des substances excédant les limites suivantes : 0,1 mg/L pour le fer; 140 mg/L pour la dureté et 0,2 mg/L pour le sulfure d'hydrogène.

### **Compatibilité électromagnétique - CEM**

Dans le cas des systèmes de désinfection de l'eau par rayonnement U.V., le *Comité* a identifié la problématique de compatibilité électromagnétique - immunité des équipements aux perturbations de tension et génération d'harmoniques de courant :

- Les émissions harmoniques devraient répondre à la norme IEEE-519-1992 : *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*);
- L'immunité des équipements face aux principales perturbations de la tension d'alimentation devrait être évaluée de manière similaire à la procédure ITIC (ultérieurement CBEMA). Les tests d'immunité peuvent être réalisés suivant les normes CEI série 61000-4 : *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4 : Techniques d'essai et de mesure* et normes CEI série 61000-2 : *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2 : Environnement*.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 11

|                                                                                                                                |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>11. CONCEPTION DES RESERVOIRS D'EAU POTABLE .....</b>                                                                       |  |
| <b>11.1 Contexte .....</b>                                                                                                     |  |
| <b>11.2 Conception des bassins de contact selon l'approche des CT .....</b>                                                    |  |
| <i>11.2.1 Calcul du <math>CT_{disponible}</math> .....</i>                                                                     |  |
| 11.2.1.1 Calcul du $CT_{disponible}$ pour une installation existante dans la perspective de l'application du <i>RQEP</i> ..... |  |
| 11.2.1.2 Calcul du $CT_{disponible}$ en vue de la conception d'une nouvelle installation de traitement .....                   |  |
| <i>11.2.2 Calcul du <math>CT_{requis}</math> .....</i>                                                                         |  |
| <i>11.2.3 Méthode de calcul à l'aide d'équations .....</i>                                                                     |  |
| <i>11.2.4 Considérations particulières sur le calcul du CT pour les bassins d'ozonation. ....</i>                              |  |
| <i>11.2.5 Considérations particulières sur l'évaluation d'un système de désinfection U.V. ....</i>                             |  |
| <i>11.2.6 Synthèse des informations requises pour le calcul du CT .....</i>                                                    |  |
| <b>11.3 Conception des réservoirs selon les besoins quantitatifs .....</b>                                                     |  |
| <i>11.3.1 Généralités .....</i>                                                                                                |  |
| <i>11.3.2 Capacité .....</i>                                                                                                   |  |
| 11.3.2.1 Réserve d'opération .....                                                                                             |  |
| 11.3.2.2 Réserve d'incendie .....                                                                                              |  |
| <b>11.4 Type de réservoirs d'eau potable .....</b>                                                                             |  |
| <i>11.4.1 Généralités .....</i>                                                                                                |  |
| <i>11.4.2 Type de réservoirs .....</i>                                                                                         |  |
| 11.4.2.1 Réservoir souterrain .....                                                                                            |  |
| 11.4.2.2 Réservoir cylindrique .....                                                                                           |  |
| 11.4.2.3 Réservoir élevé .....                                                                                                 |  |
| 11.4.2.4 Réservoir sous pression .....                                                                                         |  |
| <b>11.5 Autres éléments de conception des réservoirs d'eau potable .....</b>                                                   |  |
| <i>11.5.1 Protection des réservoirs .....</i>                                                                                  |  |
| 11.5.1.1 Protection sanitaire .....                                                                                            |  |
| 11.5.1.2 Trop-plein .....                                                                                                      |  |
| 11.5.1.3 Accès .....                                                                                                           |  |
| 11.5.1.4 Ventilation .....                                                                                                     |  |
| 11.5.1.5 Toit et parois latérales .....                                                                                        |  |
| 11.5.1.6 Drainage du toit .....                                                                                                |  |
| 11.5.1.7 Passerelles intérieures .....                                                                                         |  |
| 11.5.1.8 Arrêt des sédiments .....                                                                                             |  |
| 11.5.1.9 Compartiments adjacents .....                                                                                         |  |
| 11.5.1.10 Structure .....                                                                                                      |  |

|                                                                   |  |
|-------------------------------------------------------------------|--|
| <i>11.5.2 Fonctionnement des réservoirs</i> .....                 |  |
| 11.5.2.1 Gel .....                                                |  |
| 11.5.2.2 Interruption de service .....                            |  |
| 11.5.2.3 Variation de niveaux .....                               |  |
| 11.5.2.4 Stagnation de l'eau .....                                |  |
| <i>11.5.3 Sécurité des employés</i> .....                         |  |
| <i>11.5.4 Accessoires pour les réservoirs sous pression</i> ..... |  |
| <i>11.5.5 Peinture et recouvrement cathodique</i> .....           |  |
| <i>11.5.6 Test d'étanchéité</i> .....                             |  |
| <i>11.5.7 Désinfection</i> .....                                  |  |

## 11. CONCEPTION DES RESERVOIRS D'EAU POTABLE

### 11.1 Contexte

Les réserves d'eau potable doivent permettre de rencontrer simultanément deux objectifs distincts :

- **Un objectif concernant la qualité de l'eau**
  - Assurer un temps de contact (T) et le maintien d'un résiduel d'oxydant suffisant (C) pour permettre d'atteindre les objectifs de désinfection fixés par le concepteur. C'est le concept du CT.

La section 11.2 présente la procédure de calcul du CT pour les bassins de désinfection, laquelle est nécessaire à la vérification de l'atteinte des objectifs de traitement. Le lecteur est prié de se référer à la section 10.2 qui décrit la méthode permettant de choisir ces objectifs de traitement. Il est à noter que la désinfection dans les réserves n'est pas la seule étape permettant de désinfecter les eaux. Le lecteur est prié de se référer à la section 10.3 pour plus d'informations sur ce sujet.

- **Un objectif concernant la quantité d'eau**
  - Assurer un volume d'eau suffisant de façon à assurer les besoins de réserve pour les incendies, les réserves d'urgence, d'opération et de production (équilibre).

La section 11.3 décrit la démarche permettant d'évaluer ces volumes.

Si les besoins de réserves pour atteindre les objectifs de désinfection sont supérieurs aux besoins quantitatifs, il est suggéré d'évaluer différents scénarios afin de ramener les besoins de réserves pour la désinfection sous ceux requis d'un point de vue quantitatif. Sinon on peut envisager des scénarios alternatifs (modifier et/ou optimiser les installations actuelles et/ou prévoir des traitements additionnels).

Par ailleurs, il est bon de rappeler que le volume pour les besoins quantitatifs ne doit pas nécessairement être centralisé à l'installation de traitement alors que le volume pour les objectifs de désinfection doit obligatoirement être localisé avant le premier consommateur afin d'être inclus dans le calcul du CT. Les réservoirs d'approvisionnement localisés sur le réseau de distribution ne doivent donc pas être inclus dans le calcul du CT. À cet égard, mentionnons que la conception hydraulique des réservoirs sur le réseau fait l'objet de critères diamétralement opposés à ceux localisés à l'installation de traitement et utilisés pour assurer le CT. Les réservoirs sur le réseau devraient être conçus de façon à éviter les zones mortes, ce qui est réalisé en s'assurant qu'il y aura un bon mélange de l'eau contenue dans le réservoir. Les bassins de contact à l'installation de traitement sont aussi conçus de manière à éviter les écoulements préférentiels. Pour de plus amples informations sur la conception des réservoirs, le lecteur est prié de se référer aux manuels suivants : *Water Distribution Systems Handbook* (mai, 2000) et *Maintaining Water Quality in Finished Water Storage Facilities* (1999).

## 11.2 Conception des bassins de contact selon l'approche des CT

Tel que discuté à la section 10.3.2.2, l'évaluation de l'efficacité de la désinfection repose sur le concept du CT, lequel stipule que l'inactivation d'un micro-organisme donné est proportionnelle au produit du temps de contact effectif et de la concentration résiduelle de désinfectant mesurée à la sortie du réservoir (Eq. 11-1).

$$\text{Log } d' \text{inactivation} = \frac{CT_{\text{disponible}}}{CT_{\text{requis}}} \quad \text{Éq. 11-1}$$

Les prochaines sections décrivent comment les valeurs de  $CT_{\text{requis}}$  et  $CT_{\text{disponible}}$  sont obtenues.

### 11.2.1 Calcul du $CT_{\text{disponible}}$

Le  $CT_{\text{disponible}}$  est la valeur de CT obtenue pour une configuration donnée de bassin de contact opéré dans une condition donnée. Le CT disponible est obtenu selon l'équation 11-2.

$$CT_{\text{disponible}} = C_{\text{résiduelle}} \times T_{10} = C_{\text{résiduelle}} \times \frac{V_u}{Q_{\text{MAX}}} \times \frac{T_{10}}{T} \quad \text{Éq. 11-2}$$

Où :

$C_{\text{résiduelle}}$  est la concentration de désinfectant mesurée à la sortie du réservoir,

$Q_{\text{MAX}}$  est le débit de pointe à la sortie du réservoir,

$V_u$  est le volume utile dans le réservoir (et non la capacité du réservoir),

$T_{10}/T$  est le facteur d'efficacité hydraulique (entre 0 et 1), tel que décrit à l'annexe III.1.

Le calcul du  $CT_{\text{disponible}}$  peut être fait pour deux besoins distincts : la vérification de l'efficacité de la désinfection dans le cadre de l'opération d'une installation existante ou la conception d'une nouvelle installation. Ces deux situations sont très différentes et sont traitées successivement aux prochaines sections.

#### 11.2.1.1 Calcul du $CT_{\text{disponible}}$ pour une installation existante dans la perspective de l'application du Règlement

L'article 22 du Règlement impose la mesure et l'inscription au registre des paramètres permettant le calcul du CT. Ces informations sont les suivantes.

#### Température

Une mesure journalière de la température doit être effectuée. Cette information sera nécessaire pour calculer le  $CT_{\text{requis}}$  selon l'équation 11-1 (voir section 11.2.2).

#### pH

Tout comme la température, une mesure journalière du pH à l'eau traitée doit être effectuée dans le but d'obtenir le  $CT_{\text{requis}}$  selon l'équation 11-1 (voir section 11.2.2). Si l'ajout d'un produit chimique modifie le pH de chloration durant la désinfection (par l'ajout de chaux par exemple), le registre devra également inclure la valeur du pH (une mesure par jour) avant le réajustement de pH.

### **Turbidité de l'eau filtrée ou non filtrée visée à l'article 5 du RQEP**

La mesure de la turbidité doit être effectuée en continu après chaque filtre ou, en absence de filtration, à la sortie de l'installation de traitement de désinfection. Au minimum, le registre devra inclure la turbidité de l'eau filtrée mesurée ponctuellement à la fin de chaque période de 4h pour chacun des filtres en opération. Pour les installations désirant se prévaloir des crédits supplémentaires de réduction des parasites accordés aux traitements optimisés (voir section 10.3.2.1), les turbidités moyennes à l'eau filtrée de chacun des filtres devront être enregistrées, basées sur une fréquence d'acquisition de 15 minutes ou 4 heures, selon le crédit supplémentaire visé (+1,0 ou +0,5 log, respectivement).

### **Chlore résiduel libre**

La mesure doit être effectuée en continu à la sortie de l'installation de traitement de désinfection, soit le bassin de contact du désinfectant. Le résiduel de chlore libre doit être enregistré à une fréquence minimale de 15 minutes (valeur ponctuelle ou valeur moyenne pour la période de 15 minutes). La plus faible valeur parmi les seize valeurs ainsi enregistrées au système SCADA (pendant la période de 4 heures) doit être inscrite au registre et utilisée pour le calcul des CT disponible et requis.

### **Débit de pointe et niveau d'eau**

Au minimum, l'exploitant est tenu d'enregistrer le volume mis en distribution pour chaque période de 4 heures ainsi que le niveau d'eau dans le réservoir à la fin de chaque période de 4 heures (si la réserve est à niveau variable).

Pour les installations dotées d'une réserve variable, il est nécessaire de prévoir un système de suivi en continu du débit de sortie et du niveau de l'eau dans le réservoir. Il est recommandé que ces paramètres soient mesurés ponctuellement à chaque heure fixe. Puis, pour chaque plage de 4 heures, le débit maximum observé parmi les 4 valeurs sera considéré comme le débit de pointe. Ce dernier sera consigné au registre ainsi que le niveau ponctuel enregistré au même moment.

Pour les installations dotées d'une réserve fixe (ou dédiée), seul le débit à l'entrée du réservoir est nécessaire. Tout comme les réserves à niveau variable, il est également recommandé de mesurer ponctuellement le débit à chaque heure fixe et d'inscrire au registre la plus forte valeur de débit enregistrée par période de 4 heures.

Le tableau 11-1 donne un exemple des informations mentionnées précédemment pour une installation équipée de 3 filtres, procédant à un réajustement de pH dans une réserve à niveau variable et faisant l'acquisition en continu du débit et du niveau d'eau dans le réservoir.

**Tableau 11-1 : Exemple des informations minimales à inscrire au registre afin de permettre le calcul du CT *a posteriori***

| Température <sup>3</sup><br>(°C) | pH <sup>1,3</sup><br>EF | pH <sup>2,3</sup><br>ET | Turbidité <sup>3,4</sup><br>(UTN) |      |      | Cl <sub>2</sub> libre<br>résiduel <sup>3,5</sup><br>(mg/L) | Heure <sup>6</sup> | Débit<br>(m <sup>3</sup> /h) | Niveau<br>(cm)         |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------|------|------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------|
|                                  |                         |                         | F1                                | F2   | F3   |                                                            |                    |                              |                        |
| 20                               | 6,65                    | 7,50                    | 0,11                              | 0,15 | 0,12 | 0,80                                                       | 00:00-01:00        | 375                          | 320                    |
|                                  |                         |                         |                                   |      |      |                                                            | 01:00-02:00        | 400                          | 345                    |
|                                  |                         |                         |                                   |      |      |                                                            | 02:00-03:00        | 425                          | 365                    |
|                                  |                         |                         |                                   |      |      |                                                            | <b>03:00-04:00</b> | <b>450<sup>3</sup></b>       | <b>380<sup>3</sup></b> |
|                                  |                         |                         | ...                               | ...  | ...  | ...                                                        | ...                | ...                          | ...                    |
|                                  |                         |                         | 0,12                              | 0,15 | 0,15 | 0,74                                                       | 20:00-21:00        | 575                          | 260                    |
|                                  |                         |                         |                                   |      |      |                                                            | <b>21:00-22:00</b> | <b>625<sup>3</sup></b>       | <b>220<sup>3</sup></b> |
|                                  |                         |                         |                                   |      |      |                                                            | 22:00-23:00        | 475                          | 275                    |
|                                  |                         |                         |                                   |      |      |                                                            | 23:00-24:00        | 375                          | 345                    |

1 : pH à l'eau filtrée

2 : pH à l'eau traitée

3 : Valeurs à inscrire au registre

4 : Turbidité moyenne pour la période de 4 heures

5 : Valeur minimale parmi 16 lectures à une fréquence de 15 minutes

6 : Mesures ponctuelles à la fin de chaque heure

Les informations mentionnées au tableau 11-1 permettent de calculer le CT<sub>disponible</sub> de l'installation selon l'équation 11.2. Le débit de pointe (Q<sub>max</sub>) sera la valeur horaire ponctuelle la plus élevée enregistrée pour la période de 4 heures. Le volume utile sera obtenu en utilisant le niveau moyen durant la pointe par rapport à la capacité de l'ouvrage. Par exemple, pour un ouvrage avec un niveau maximal de 5,00 m à pleine capacité (4 500 m<sup>3</sup>), le volume utile au tableau 11-1 sera de 3 285 m<sup>3</sup> (à 365 cm) ou 1 980 m<sup>3</sup> (à 220 cm), selon la période considérée (00 :00-04 :00 ou 20 :00-24 :00).

Les informations à inscrire au registre visent à permettre de calculer *a posteriori* le CT pour une installation donnée. L'efficacité hydraulique (T<sub>10</sub>/T) devrait également être incluse au registre puisque cette valeur est la dernière information manquante afin de calculer le CT<sub>disponible</sub>. Pour les usines utilisant une efficacité hydraulique variable en fonction du débit (démontrée par essais de traçage), l'efficacité hydraulique retenue pour chaque période de 4 heures devra également être consignée au registre tout en précisant (en note de bas de page) l'équation mathématique décrivant la relation entre l'efficacité hydraulique et le débit.

### 11.2.1.2 Calcul du $CT_{\text{disponible}}$ en vue de la conception d'une nouvelle installation de traitement

#### Principes généraux

Le calcul du  $CT_{\text{disponible}}$  à l'étape de la conception requiert une analyse attentive du concepteur afin d'identifier les conditions critiques de traitement à la fin de la période de conception. Ces conditions critiques sont la combinaison de critères d'opération (chlore libre résiduel minimum anticipé) et de la conception hydraulique de l'installation étudiée. Il est recommandé de vérifier plusieurs conditions d'opération, c'est à dire plusieurs pointes horaires obtenues à différents moments de l'année, les pointes horaires hivernales étant généralement plus faibles que les pointes estivales. Au minimum, il est nécessaire d'envisager deux scénarios (hiver/été). Une vérification mensuelle est cependant souhaitable. Les conditions printanières (forte consommation associée à une température de l'eau relativement basse) peuvent parfois s'avérer limitatives.

Le concepteur doit s'assurer que les unités de traitement projetées permettront d'atteindre ces objectifs (1) en tout temps dans le cas des virus (incluant une pointe de consommation et un incendie se produisant simultanément) et (2) en conditions critiques de traitement pour Giardia (pointe de consommation seulement).

Pour les nouvelles installations, il peut-être difficile d'anticiper toutes les conditions nécessaires au calcul du  $CT_{\text{disponible}}$  (entre autres, concernant la concentration de chlore résiduelle qui est un paramètre d'opération et le niveau de l'eau dans le réservoir). Pour les installations existantes, les informations pertinentes sont habituellement disponibles.

#### Principales approches de conception

Selon les types d'applications, trois grandes approches de conception peuvent être envisagées par le concepteur pour atteindre le  $CT_{\text{disponible}}$ . Ces approches sont :

##### *La réserve à niveau variable*

La réserve à niveau variable est le cas de figure le plus courant au Québec. Le niveau de la réserve fluctue selon la consommation en eau. Le niveau minimum peut être au niveau du radier si un puits de pompage est présent ou être fixé par la tête d'eau minimale à maintenir pour le fonctionnement des pompes.

##### *La réserve dédiée*

Cette approche de conception implique de dédier une portion de la réserve pour les objectifs de désinfection (CT). Elle vise donc à complètement séparer les objectifs qualitatifs (CT) des objectifs quantitatifs (urgence, équilibre, etc.). Cela est rendu possible grâce à l'ajout d'un déversoir sur une section en amont de la réserve. L'efficacité hydraulique ( $T_{10}/T$ ) de cette section est alors maximisée par l'ajout de chicanes. La portion restante du réservoir (où les pompes 'haute pression' sont localisées) assure les besoins quantitatifs.

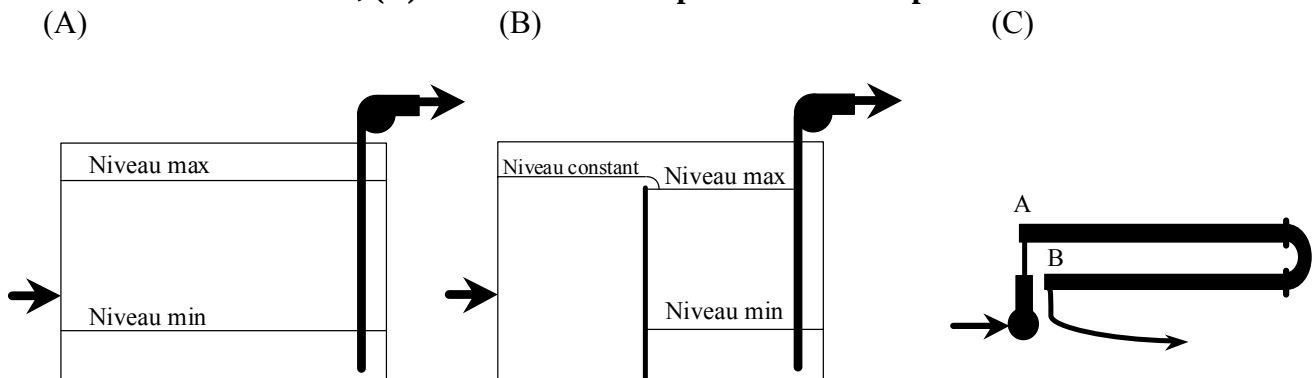
##### *L'écoulement en serpentins (dans une conduite sous pression)*

Cette technique vise à fournir le temps de contact pour la désinfection au moyen d'une conduite. Les avantages significatifs sont les suivants : une efficacité hydraulique maximale ( $T_{10}/T = 1.0$ )

et la possibilité de maintenir le système en plus forte pression plutôt qu'à la pression atmosphérique. Cette solution technique est surtout applicable pour les petites installations ayant des objectifs modestes de désinfection (4 log virus ou 0,5 log de *Giardia*). Le concepteur est également tenu de prévoir un ratio L/D (longueur de la conduite divisée par son diamètre) supérieur à 100 afin qu'on puisse considérer l'écoulement piston.

La figure 11-1 illustre ces trois solutions techniques. Pour chacune de ces approches, le concepteur devra identifier les conditions critiques suivantes : le débit de pointe attendu ( $Q_{max}$ ), le volume utile, l'efficacité hydraulique et la concentration résiduelle.

**Figure 11-1 : Illustrations des trois approches de conception possibles pour assurer le CT.**  
**(A) Réserve variable – vue en élévation, (B) Réserve dédiée – Vue en élévation, (C) Écoulement en serpentins – Vue en plan**



### Choix du $Q_{MAX}$

Pour l'inactivation des parasites, le débit à considérer pour la conception d'un réservoir à niveau variable est le débit de pointe horaire de consommation (excluant le débit incendie) en période critique à la sortie des réserves, à la fin de la période de conception. La période critique est la période de l'année la plus défavorable à la désinfection pour l'installation étudiée (le débit de pointe horaire est sensiblement plus faible en hiver qu'en été mais l'inactivation est beaucoup plus efficace en été qu'en hiver). Si la réserve d'opération et la réserve à incendie sont localisées sur le réseau de distribution plutôt qu'à l'usine ou si le concepteur prévoit une réserve dédiée, la conception est plutôt basée sur le débit journalier maximal en période critique. Si le concepteur prévoit un écoulement en serpentins, le débit de conception est typiquement le débit journalier maximal en période critique, sauf si la conduite est installée à la sortie du réservoir ou en l'absence de réservoir, auquel cas le débit de pointe horaire est celui qui est plutôt utilisé.

Dans le cas des virus, le débit maximum<sup>1</sup> (incluant le débit incendie) qui peut sortir du réservoir doit être utilisé dans le calcul du CT. Pour une réserve à niveau variable, ce débit correspond au

<sup>1</sup> Pour les réservoirs à distribution gravitaire, le débit maximum est défini comme étant :

- Le débit soutiré du réservoir lors d'un essai d'écoulement (dans des conditions normales d'opération) au centre du réseau avec 3 bornes fontaines ouvertes complètement tout en respectant une pression résiduelle de 140 kPa aux bornes fontaines sollicitées OU
- La somme du débit journalier maximale et du débit incendie, ce dernier étant défini égal à 2000 L/min pour une période d'une heure.

débit maximal des pompes (excluant les pompes en attente) ou au débit maximal possible en distribution gravitaire. Dans le cas d'une réserve dédiée ou d'un écoulement en serpentins, la capacité de production d'eau potable de l'installation devra être utilisée dans le calcul du CT, sauf pour certaines configurations d'écoulement en serpentins (localisée en sortie de réservoir ou en absence de réservoir) où le débit maximal possible est équivalent à la capacité de pompage (ou de distribution gravitaire).

Il est suggéré d'évaluer les scénarios de la réserve variable et de la réserve dédiée afin d'identifier la solution la plus économique et la plus simple pour son client. Les réserves dédiées sont généralement avantageuses pour les petits systèmes puisque cette approche simplifie grandement le contrôle de la désinfection. Par ailleurs, pour les petits systèmes, la réserve dédiée permet de répondre en tout temps au respect du CT, même advenant des conditions extrêmes de débit incendie se produisant simultanément avec une pointe de consommation.

### **Choix du volume d'eau utile**

Le concepteur doit également déterminer le volume d'eau utile dans les bassins puisque les réservoirs ne sont, hormis pour les réserves dédiées, jamais opérés à pleine capacité. Dans le cas de la conception de nouveaux réservoirs à niveau variable (en sortie d'usine), il est recommandé de considérer le niveau d'eau utile dans le réservoir comme étant celui correspondant au niveau de mise en service du système de production d'eau traitée (consigne de départ) duquel on retranche le niveau correspondant au volume de la réserve d'opération ( $R_1$ ). Les calculs du volume total et de la réserve d'opération sont détaillés à la section 11.3. Généralement, le niveau utile constitue donc une fraction comprise entre 0,50 et 0,80 de la capacité totale du réservoir. Dans le cas d'une installation existante, les informations concernant le niveau utile d'eau dans le réservoir sont disponibles et on utilise le niveau moyen pour chacune des périodes de quatre heures où le calcul du CT est effectué.

Dans le cas d'un écoulement en serpentins ou d'une réserve dédiée, le volume utile est de 100% de la réserve.

### **Choix de la concentration résiduelle de désinfectant**

La concentration résiduelle de désinfectant à maintenir à la sortie du bassin de contact doit être établie par le concepteur, en considérant les besoins pour la protection microbiologique du réseau de distribution. À ce sujet, le *Règlement* impose le maintien d'une concentration résiduelle ( $C_{\text{résiduelle}}$ ) minimale de 0,3 mg  $\text{Cl}_2/\text{L}$  (ou son équivalent pour les monochloramines et le bioxyde de chlore) à la sortie des réservoirs.

Le choix de la concentration résiduelle nécessite généralement une bonne connaissance de la demande en désinfectant de l'eau à traiter. La réalisation d'un essai de rémanence du chlore en laboratoire permet de prédire la concentration de désinfectant résiduel pour différents temps de séjour. Notons que les conditions critiques pour la désinfection sont habituellement en eaux froides, lesquelles représentent des conditions favorables à la stabilité du désinfectant résiduel.

Enfin, mentionnons que le temps de contact à considérer pour la désinfection est le laps de temps entre le point d'injection du désinfectant et le premier consommateur. Dans certains cas, la conduite maîtresse à la sortie de l'installation de traitement pourra donc être considérée pour le

calcul du  $CT_{\text{disponible}}$ , sous réserve (1) qu'aucun abonné ne soit ultérieurement autorisé à s'y raccorder et (2) que le point de mesure en continu du désinfectant résiduel soit prévu à l'extrémité aval de la conduite maîtresse utilisée pour le calcul du  $CT_{\text{disponible}}$ .

Le tableau 11-3 résume les avantages et inconvénients respectifs des différentes approches de conception discutées dans cette section.

**Tableau 11-3 Avantages et désavantages des différentes approches de conception**

| Types de conception                                                                                                                  | Avantages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Désavantages                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (A) Réserve variable                                                                                                                 | Assure un accès à la totalité du volume d'eau stockée.<br>Si la réserve d'opération et la réserve d'incendie sont situées sur le réseau, le débit de sortie est équivalent au $Q_{\text{max}}$ , sinon le débit de sortie est équivalent au $Q_{\text{pompe}}$ ( $Q_{\text{max}} + \text{incendie}$ ).<br>Permet d'optimiser la désinfection en tenant compte de plusieurs paramètres variables. | Plus complexe pour identifier les conditions critiques.<br>Besoin d'une mesure de niveau et d'un débitmètre à la sortie.<br>Généralement, le débit de pointe en sortie peut être élevé : $Q_{\text{max}} + \text{incendie}$ .<br>Nécessite le suivi et le contrôle en continu de plusieurs paramètres variables. |
| (B) Réserve dédiée<br><i>À favoriser en l'absence de données suffisantes et pour les petites installations : &lt; 5000 habitants</i> | Le débit de conception est le débit de production, lequel est généralement inférieur au débit de pointe en sortie de réservoir.<br>Assure le maintien du CT en tout temps.<br>Le volume utile est de 100%.<br>Plus simple à opérer.                                                                                                                                                              | Peut, dans certains cas, signifier des plus grosses réserves.<br>Travaux de génie civil supplémentaire pour construire deux zones distinctes.<br>Ne doit pas être inclus dans le calcul des réserves d'opération et d'incendie.                                                                                  |
| (C) Écoulement en serpentins (i.e. en conduite)                                                                                      | Profite de l'efficacité hydraulique maximale des conduites.<br>Permet de maintenir le système en pression.<br>Le volume utile est de 100%.<br>Utilise le Q de conception sauf si installé à la sortie d'un réservoir.                                                                                                                                                                            | Applicable lorsque les objectifs de désinfection sont faibles (4 log virus ou 0.5 log <i>Giardia</i> ).<br>Nécessite la mesure du chlore en continu à la sortie du serpent.                                                                                                                                      |

### Choix de l'efficacité hydraulique

Le calcul du  $CT_{\text{disponible}}$ , nécessaire à l'évaluation de l'efficacité de la désinfection, nécessite de connaître le temps de séjour effectif des bassins, lequel tient compte du degré de court-circuit dans les bassins. Par convention, le temps de contact à utiliser est le  $T_{10}$ , c.-à-d. le temps de contact nécessaire pour récupérer à la sortie d'un bassin 10% d'un traceur injecté à l'entrée. Le  $T_{10}$  est une valeur plus conservatrice que le temps de séjour théorique moyen ( $V/Q$ ). Son utilisation assure que 90% de l'eau à traiter a été en contact avec le désinfectant pour une période supérieure ou égale au  $T_{10}$ .

Le concepteur de bassins de désinfection cherche à obtenir le  $T_{10}$  le plus élevé possible dans son ouvrage de manière à maximiser le produit  $CT_{10}$ . La façon d'y arriver est de viser, autant que

possible, à reproduire un écoulement piston. Ce type d'écoulement minimise les courts-circuits hydrauliques (écoulements préférentiels), lesquels diminuent la valeur du  $T_{10}$ . Un écoulement en conduite est un bon exemple d'écoulement piston. À l'opposé, un bassin parfaitement mélangé, tel qu'un mélangeur rapide, est un exemple du type d'écoulement à éviter. Afin de normaliser l'analyse hydraulique et, ainsi, pouvoir comparer différents scénarios ou réservoirs entre eux, le ratio  $T_{10}/T$  (temps de séjour effectif divisé par le temps de séjour théorique moyen) est utilisé. Ce paramètre a une valeur comprise entre 0 et 1, la valeur de 1 étant accordée pour le cas idéal d'un écoulement en conduite (cas d'une conception par écoulement en serpentins). Par ailleurs, le concepteur doit prendre en considération le délai d'établissement d'un régime piston dans les écoulements en conduites lorsqu'il y a un changement de diamètre. Cet impact peut être atténué en plaçant par exemple une plaque avec orifices pour répartir le débit ou en insérant un cône d'une certaine longueur entre les deux conduites.

Les différentes procédures permettant de choisir ce paramètre sont décrites en détails à la section 10.3.2.

#### 11.2.2 Calcul du $CT_{requis}$

Le  $CT_{requis}$  est une valeur fournie au concepteur via des tableaux compilés par l'USEPA (1991; 1999) et qui indique la valeur de CT requise pour inactiver un log d'un micro-organisme donné (virus ou *Giardia* ou *Cryptosporidium*) dans une eau de caractéristiques données (pH, température, etc.).

Afin d'obtenir le  $CT_{requis}$ , il est nécessaire de connaître :

1. Le micro-organisme cible (*Giardia*, *Cryptosporidium* ou virus);
2. Le désinfectant utilisé ( $Cl_2$ ,  $ClO_2$ ,  $O_3$  ou  $NH_2Cl$ );
3. La température de l'eau;
4. Le pH de l'eau;
5. La concentration résiduelle de chlore libre (pour la combinaison  $Cl_2$ /*Giardia* seulement).

Une fois ces informations connues, il s'agit de consulter le tableau approprié décrivant l'efficacité d'inactivation (en terme de  $CT_{requis}$  pour 1 log d'inactivation) des divers micro-organismes selon les conditions de désinfection. Le tableau 11-4 résume les différentes informations disponibles à ce sujet. Dans l'éventualité où les conditions de chloration sont comprises entre deux valeurs du tableau, il faut interpoler afin d'obtenir la valeur recherchée.

**Tableau 11-4 : Liste des CT<sub>requis</sub> selon le type d'oxydant et le micro-organisme cible**

| Désinfectants     | <i>Giardia</i>                                                                                                                               | <i>Cryptosporidium</i>                                                     | Virus         |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Chlore            | Tableau 11-5a – 0,5°C<br>Tableau 11-5b – 5°C<br>Tableau 11-5c – 10°C<br>Tableau 11-5d – 15°C<br>Tableau 11-5e – 20°C<br>Tableau 11-5f – 25°C | Le chlore n'est pas efficace pour inactiver <i>Cryptosporidium</i>         | Tableau 11-8  |
| Ozone             | Tableau 11-6                                                                                                                                 | Tableau 11-6                                                               | Tableau 11-9  |
| Monochloramines   | Tableau 11-6                                                                                                                                 | La monochloramine n'est pas efficace pour inactiver <i>Cryptosporidium</i> | Tableau 11-10 |
| Bioxyde de chlore | Tableau 11-6                                                                                                                                 | Tableau 11-7                                                               | Tableau 11-10 |

**Tableau 11-5a : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par le chlore libre à 0,5° C**

| Résiduel<br>(mg/L) | pH de l'eau |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 6,0         | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| ≤ 0,4              | 46          | 54  | 65  | 79  | 92  | 110 | 130 |
| 0,6                | 47          | 56  | 67  | 80  | 95  | 114 | 136 |
| 0,8                | 48          | 57  | 68  | 82  | 98  | 118 | 141 |
| 1,0                | 49          | 59  | 70  | 84  | 101 | 122 | 146 |
| 1,2                | 51          | 60  | 72  | 86  | 104 | 125 | 150 |
| 1,4                | 52          | 61  | 74  | 89  | 107 | 129 | 155 |
| 1,6                | 52          | 63  | 75  | 91  | 110 | 132 | 159 |
| 1,8                | 54          | 64  | 77  | 93  | 113 | 136 | 163 |
| 2,0                | 55          | 66  | 79  | 95  | 115 | 139 | 167 |
| 2,2                | 56          | 67  | 81  | 99  | 118 | 142 | 170 |
| 2,4                | 57          | 68  | 82  | 99  | 120 | 145 | 174 |
| 2,6                | 58          | 70  | 84  | 101 | 123 | 148 | 178 |
| 2,8                | 59          | 71  | 86  | 103 | 125 | 151 | 181 |
| 3,0                | 60          | 72  | 87  | 105 | 127 | 153 | 184 |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-5b : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par le chlore libre à 5°C**

| Résiduel<br>(mg/L) | pH de l'eau |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 6,0         | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| ≤ 0,4              | 32          | 39  | 46  | 55  | 66  | 79  | 93  |
| 0,6                | 33          | 40  | 48  | 57  | 68  | 81  | 97  |
| 0,8                | 34          | 41  | 49  | 58  | 70  | 84  | 100 |
| 1,0                | 35          | 42  | 50  | 60  | 72  | 87  | 104 |
| 1,2                | 36          | 42  | 51  | 61  | 74  | 89  | 107 |
| 1,4                | 36          | 43  | 52  | 62  | 76  | 91  | 110 |
| 1,6                | 37          | 44  | 53  | 64  | 77  | 94  | 112 |
| 1,8                | 38          | 45  | 54  | 65  | 79  | 96  | 115 |
| 2,0                | 39          | 46  | 55  | 67  | 81  | 98  | 118 |
| 2,2                | 39          | 47  | 56  | 68  | 83  | 100 | 120 |
| 2,4                | 40          | 48  | 57  | 70  | 84  | 102 | 123 |
| 2,6                | 41          | 49  | 58  | 71  | 86  | 104 | 125 |
| 2,8                | 41          | 49  | 59  | 72  | 88  | 106 | 127 |
| 3,0                | 42          | 50  | 61  | 74  | 89  | 108 | 130 |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-5c : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par le chlore libre à 10°C**

| Cl <sub>2</sub> libre résiduel (mg/L) | pH de l'eau |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | 6,0         | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| ≤ 0,4                                 | 24          | 29  | 35  | 42  | 50  | 59  | 70  |
| 0,6                                   | 25          | 30  | 36  | 43  | 51  | 61  | 73  |
| 0,8                                   | 26          | 31  | 37  | 44  | 53  | 63  | 75  |
| 1,0                                   | 26          | 31  | 37  | 45  | 54  | 65  | 78  |
| 1,2                                   | 27          | 32  | 38  | 46  | 55  | 67  | 80  |
| 1,4                                   | 27          | 33  | 39  | 47  | 57  | 69  | 82  |
| 1,6                                   | 28          | 33  | 40  | 48  | 58  | 70  | 84  |
| 1,8                                   | 29          | 34  | 41  | 49  | 60  | 72  | 86  |
| 2,0                                   | 29          | 35  | 41  | 50  | 61  | 74  | 88  |
| 2,2                                   | 30          | 35  | 42  | 51  | 62  | 75  | 90  |
| 2,4                                   | 30          | 36  | 43  | 52  | 63  | 77  | 92  |
| 2,6                                   | 31          | 37  | 44  | 53  | 65  | 78  | 94  |
| 2,8                                   | 31          | 37  | 45  | 54  | 66  | 80  | 96  |
| 3,0                                   | 32          | 38  | 46  | 55  | 67  | 81  | 97  |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-5d : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par le chlore libre à 15°C**

| Cl <sub>2</sub> libre résiduel (mg/L) | pH de l'eau |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | 6,0         | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| ≤ 0,4                                 | 16          | 20  | 23  | 28  | 33  | 39  | 47  |
| 0,6                                   | 17          | 20  | 24  | 29  | 34  | 41  | 49  |
| 0,8                                   | 17          | 20  | 24  | 29  | 35  | 42  | 50  |
| 1,0                                   | 18          | 21  | 25  | 30  | 36  | 43  | 52  |
| 1,2                                   | 18          | 21  | 25  | 31  | 37  | 45  | 53  |
| 1,4                                   | 18          | 22  | 26  | 31  | 38  | 46  | 55  |
| 1,6                                   | 19          | 22  | 26  | 32  | 39  | 47  | 56  |
| 1,8                                   | 19          | 23  | 27  | 33  | 40  | 48  | 58  |
| 2,0                                   | 19          | 23  | 28  | 33  | 41  | 49  | 59  |
| 2,2                                   | 20          | 23  | 28  | 34  | 41  | 50  | 60  |
| 2,4                                   | 20          | 24  | 29  | 35  | 42  | 51  | 61  |
| 2,6                                   | 20          | 24  | 29  | 36  | 43  | 52  | 63  |
| 2,8                                   | 21          | 25  | 30  | 36  | 44  | 53  | 64  |
| 3,0                                   | 21          | 25  | 30  | 37  | 45  | 54  | 65  |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-5e : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par le chlore libre à 20°C**

| Cl <sub>2</sub> libre résiduel (mg/L) | pH de l'eau |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | 6,0         | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| ≤ 0,4                                 | 12          | 15  | 17  | 21  | 25  | 30  | 35  |
| 0,6                                   | 13          | 15  | 18  | 21  | 26  | 31  | 36  |
| 0,8                                   | 13          | 15  | 18  | 22  | 26  | 32  | 38  |
| 1,0                                   | 13          | 16  | 19  | 22  | 27  | 33  | 39  |
| 1,2                                   | 13          | 16  | 19  | 23  | 28  | 33  | 40  |
| 1,4                                   | 14          | 16  | 19  | 23  | 28  | 34  | 41  |
| 1,6                                   | 14          | 17  | 20  | 24  | 29  | 35  | 42  |
| 1,8                                   | 14          | 17  | 20  | 25  | 30  | 36  | 43  |
| 2,0                                   | 15          | 17  | 21  | 25  | 30  | 37  | 44  |
| 2,2                                   | 15          | 18  | 21  | 26  | 31  | 38  | 45  |
| 2,4                                   | 15          | 18  | 22  | 26  | 32  | 38  | 46  |
| 2,6                                   | 15          | 18  | 22  | 27  | 32  | 39  | 47  |
| 2,8                                   | 16          | 19  | 22  | 27  | 33  | 40  | 48  |
| 3,0                                   | 16          | 19  | 23  | 28  | 34  | 41  | 49  |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-5f : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par le chlore libre à 25°C**

| Cl <sub>2</sub> libre résiduel (mg/L) | pH  |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 |
| ≤ 0,4                                 | 8   | 10  | 12  | 14  | 17  | 20  | 23  |
| 0,6                                   | 8   | 10  | 12  | 14  | 17  | 20  | 24  |
| 0,8                                   | 9   | 10  | 12  | 15  | 18  | 21  | 25  |
| 1,0                                   | 9   | 10  | 12  | 15  | 18  | 22  | 26  |
| 1,2                                   | 9   | 11  | 13  | 15  | 18  | 22  | 27  |
| 1,4                                   | 9   | 11  | 13  | 16  | 19  | 23  | 27  |
| 1,6                                   | 9   | 11  | 13  | 16  | 19  | 23  | 28  |
| 1,8                                   | 10  | 11  | 14  | 16  | 20  | 24  | 29  |
| 2,0                                   | 10  | 12  | 14  | 17  | 20  | 25  | 29  |
| 2,2                                   | 10  | 12  | 14  | 17  | 21  | 25  | 30  |
| 2,4                                   | 10  | 12  | 14  | 17  | 21  | 26  | 31  |
| 2,6                                   | 10  | 12  | 15  | 18  | 22  | 26  | 31  |
| 2,8                                   | 10  | 12  | 15  | 18  | 22  | 27  | 32  |
| 3,0                                   | 11  | 13  | 15  | 18  | 22  | 27  | 32  |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-6 : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des kystes de *Giardia lamblia* par l’ozone, la monochloramine ou le bioxyde de chlore pour des pH variant de 6,0 à 9,0**

| Type de désinfectant | Température de l’eau |      |      |      |      |      |
|----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                      | < 1°C                | 5°C  | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
| Ozone                | 0,97                 | 0,63 | 0,48 | 0,32 | 0,24 | 0,16 |
| Bioxyde de chlore    | 21                   | 8,7  | 7,7  | 6,3  | 5,0  | 3,7  |
| Monochloramine       | 1270                 | 735  | 615  | 500  | 370  | 250  |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-7 : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des oocystes de *Cryptosporidium* par l’ozone et le bioxyde de chlore pour des pH variant de 6,0 à 9,0**

| Type de désinfectant           | Température de l’eau |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | < 1°C                | 2°C  | 3°C  | 5°C  | 7°C  | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C |
| Ozone <sup>1</sup>             | 25,6                 | 23,3 | 21,2 | 17,5 | 14,5 | 10,9 | 6,7  | 4,2  | 2,6  |
| Bioxyde de chlore <sup>2</sup> | 504                  | 462  | 424  | 357  | 301  | 232  | 151  | 98   | 64   |

Source : USEPA, 2001.

**Tableau 11-8 : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des virus par le chlore pour des pH variant de 6,0 à 10,0**

| Température (°C) | pH   |       |
|------------------|------|-------|
|                  | 6-9  | 10    |
| 0,5              | 3,00 | 22,5  |
| 5                | 2,00 | 15,0  |
| 10               | 1,50 | 11,25 |
| 15               | 1,00 | 7,5   |
| 20               | 0,75 | 5,5   |
| 25               | 0,50 | 3,75  |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-9 : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des virus par l’ozone**

| Température (°C) |     |      |      |       |       |
|------------------|-----|------|------|-------|-------|
| ≤ 1              | 5   | 10   | 15   | 20    | 25    |
| 0,45             | 0,3 | 0,25 | 0,15 | 0,125 | 0,075 |

Source : USEPA, 1999.

**Tableau 11-10 : Valeurs de CT (en mg·min/L) pour une inactivation à 90% (1 log) des virus par la monochloramine ou le bioxyde de chlore pour des pH variant de 6,0 à 9,0**

| Désinfectants     | Références          |
|-------------------|---------------------|
| Monochloramines   | Voir équation 11-7  |
| Bioxyde de chlore | Voir équation 11-10 |

### 11.2.3 Méthode de calcul à l’aide d’équations

Il est également possible d’évaluer le log d’inactivation en utilisant les équations qui décrivent implicitement les variations de  $CT_{\text{requis}}$  selon les caractéristiques de l’eau à traiter. Ces équations sont décrites aux tableaux 11-11a, 11-11b et 11-11c.

Dans le cas particulier de l’inactivation des virus par la monochloramine ou le bioxyde de chlore, il est nécessaire d’utiliser ces équations puisque l’inactivation obtenue n’est pas directement proportionnelle au  $CT_{\text{disponible}}$ , tel que décrit à l’équation 11.1. Ceci constitue cependant des cas particuliers.

Il est à noter que les CT obtenus avec les équations diffèrent légèrement, selon les cas, des valeurs dans les tableaux. Les vraies valeurs sont celles des tableaux alors que les équations sont des approximations obtenues par régression non linéaire.

**Tableau 11-11a : Équations permettant de calculer l'inactivation (en log) des kystes de Virus pour différents désinfectants**

| Désinfectants     | Inactivation des Virus (log)                                                                               |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monochloramines   | $I = \frac{[CT_{disponible} \times e^{(0,071 \times \text{température})}] + 410,7}{849,5}$ <b>Éq. 11-3</b> |
| Chlore libre      | $I = \frac{[CT_{disponible} \times e^{(0,071 \times \text{température})}] - 0,42}{2,94}$ <b>Éq. 11-4</b>   |
| Ozone             | $I = \frac{[CT_{disponible} \times e^{(0,068 \times \text{température})}] - 0,01}{0,47}$ <b>Éq. 11-5</b>   |
| Bioxyde de chlore | $I = \frac{[CT_{disponible} \times e^{(0,072 \times \text{température})}] + 35,15}{21,5}$ <b>Éq. 11-6</b>  |

**Tableau 11-11b : Équations permettant de calculer l'inactivation (en log) de *Giardia* pour différents désinfectants**

| Désinfectants     | Inactivation de <i>Giardia</i> (log)                                                                                         |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monochloramines   | $I = \frac{CT_{disponible}}{(858,5 - (24,3 \times \text{Temp.}))}$ <b>Éq. 11-7</b>                                           |
| Chlore libre      | $I = \frac{CT_{disponible}}{(0,2828 \times pH^{2,69} \times Cl_2^{0,15} \times 0,933^{(\text{Temp.} - 5)})}$ <b>Éq. 11-8</b> |
| Ozone             | $I = \frac{[CT_{disponible} \times e^{(0,072 \times \text{température})}] - 0,01}{0,98}$ <b>Éq. 11-9</b>                     |
| Bioxyde de chlore | $I = \frac{[CT_{disponible} \times \text{temp.}^{0,49}] + 0,18}{23,85}$ <b>Éq. 11-10</b>                                     |

\* La concentration de chlore résiduelle (et non appliquée) doit être utilisée dans l'équation 11.8.

**Tableau 11-11c : Équations permettant de calculer l'inactivation (en log) des *Cryptosporidium* pour différents désinfectants**

| Désinfectants     | Inactivation des <i>Cryptosporidium</i> (log)                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| Ozone             | $I = 0,035 CT_{disponible} * 1,10^{temp}$ <b>Eq. 11-11</b>   |
| Bioxyde de chlore | $I = 0,00182 CT_{disponible} * 1,09^{temp}$ <b>Éq. 11-12</b> |

#### 11.2.4 Considérations particulières sur le calcul du CT pour les bassins d'ozonation

Le procédé d'ozonation comporte deux particularités importantes quant au calcul du CT. D'une part, l'ozone est généralement transféré dans des bassins de contact successifs et, d'autre part, l'ozone résiduel est instable et se décompose rapidement durant le traitement. Afin de tenir compte de ces deux caractéristiques, il est recommandé de calculer le CT pour chacune des cuves en série et puis d'en faire la somme de telle sorte que :

$$CT_{disponible} = \left[ \frac{C_1}{2} \times \frac{V_1}{Q_{MAX}} \times \frac{T_{10}}{T} \right] + \left[ \sum_{i=2}^n C_i \times \frac{V_i}{Q_{MAX}} \times \frac{T_{10}}{T} \right] \quad \text{Éq. 11-13}$$

Où :

$C_1$  : Résiduel d'ozone à la sortie de la première cuve;

$C_i$  : Résiduel d'ozone à la sortie de la cuve  $i$  pour  $i > 1$ ;

$Q_{MAX}$  : Débit de pointe à la fin de la période de conception – généralement  $Q_{JMAX}$ ;

$V_1$  : Volume de la première cuve;

$V_i$  : Volume de la  $i^{ème}$  cuve pour  $i > 1$ ;

$T_{10}/T$  : Facteur d'efficacité hydraulique (voir section annexe III.1).

Dans le premier bassin, la concentration en ozone résiduel augmente au fur et à mesure que la demande en ozone de l'eau est satisfaite. Il est obligatoire de réduire de moitié la concentration résiduelle à la sortie du premier bassin soit réduite de moitié afin d'éviter de surévaluer le CT dans la première cuve. Par la suite, le concepteur calcule la somme des CT des cuves en série. En général, un seul et unique facteur d'efficacité hydraulique est utilisé pour caractériser l'ensemble du procédé d'ozonation, lequel facteur est obtenu par essais de traçage (en pilote ou à l'échelle réelle). Dans le cas d'une nouvelle installation où aucune information n'est disponible, des facteurs d'efficacité hydraulique de 0,50 et 0,40 peuvent être utilisés pour les sections d'écoulement avec et sans ajout d'ozone, respectivement.

#### 11.2.5 Considérations particulières sur l'évaluation d'un système de désinfection U.V.

Dans le cas du rayonnement U.V., l'inactivation des micro-organismes est proportionnelle à la dose à laquelle ils sont exposés selon la relation :

$$D = I \bullet T \quad \text{Eq. 11-14}$$

Où  $D$  : Dose U.V. , mJ/cm<sup>2</sup>  
 $I$  : Intensité, mW/cm<sup>2</sup>  
 $T$  : temps d'exposition, s.

Ainsi, la notion de CT utilisée pour les désinfectants chimiques se traduit par un concept de IT pour la désinfection U.V.. Le choix de la dose à appliquer dépendra du micro-organisme cible (*Giardia*, *Cryptosporidium* ou virus) ainsi que du type d'application (eau de surface filtrée ou non filtrée, eau souterraine, etc.).

Pour de plus amples informations concernant le choix de la dose U.V. de conception, les log d'inactivation qu'il est possible d'atteindre et les critères à respecter pour se voir créditer les log d'inactivation, le lecteur peut se référer à la section 10.4.5.

#### 11.2.6 Synthèse des informations requises pour le calcul du CT

À la page suivante, le tableau 11-12 résume les informations requises pour calculer le CT d'un bassin de désinfection.

**Tableau 11-12 : Synthèse des informations de base nécessaires au calcul du CT pour la conception des nouvelles installations de traitement**

| Paramètres                                         | Chlore                                                                                                                                                                                                              | Ozone                                                                                                           | ClO <sub>2</sub>                                                                                                                                                     | Rayons U.V.                                                                                                    |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectifs de désinfection</b>                   | 1. Micro-organisme visé ( <i>Giardia</i> , <i>Crypto.</i> , virus)<br>2. log d'inactivation visé                                                                                                                    | 1. Micro-organisme visé ( <i>Giardia</i> , <i>Crypto.</i> , virus)<br>2. log d'inactivation visé                | 1. Micro-organisme visé ( <i>Giardia</i> , <i>Crypto.</i> , virus)<br>2. log d'inactivation visé                                                                     | 1. Micro-organisme visé ( <i>Giardia</i> , <i>Crypto.</i> , virus)<br>2. log d'inactivation visé               |
| <b>Paramètres hydrauliques</b>                     | 1. Débits de pointes horaires à la sortie <sup>1,5,6</sup><br>2. Efficacité hydraulique (T <sub>10</sub> /T)<br>3. Volume effectif pour la désinfection <sup>3</sup>                                                | 1. Débits journaliers maximaux <sup>1</sup><br>2. Efficacité hydraulique (T <sub>10</sub> /T)                   | 1. Débits de pointes horaires à la sortie <sup>1,5,6</sup><br>2. Efficacité hydraulique (T <sub>10</sub> /T)<br>3. Niveau effectif pour la désinfection <sup>3</sup> | Voir remarque 4                                                                                                |
| <b>Caractéristiques de l'eau et/ou d'opération</b> | 1. Température <sup>1</sup><br>2. Concentration résiduelle prévue à la sortie des réserves <sup>1</sup><br>3. pH de l'eau durant la chloration <sup>2</sup>                                                         | 1. Ozone résiduel à la sortie de chacune des cellules<br>2. Température <sup>1</sup>                            | 1. Température <sup>1</sup><br>2. Concentration résiduelle prévue à la sortie des réserves <sup>1</sup>                                                              | 1. Absorbance U.V.<br>2. Présence de Fer ou de dureté ou de H <sub>2</sub> S<br>3. Turbidité<br>4. Température |
| <b>Autres informations à considérer*</b>           | 1. Demande en chlore de l'eau à traiter<br>2. Nécessité de maintenir 0,30 mg Cl <sub>2</sub> /L à la sortie des réserves<br>3. Formation des THM<br>4. Concentration nécessaire en désinfection secondaire (réseau) | 1. Demande en ozone de l'eau à traiter<br>2. Formation de bromates<br>3. Formation de CODB<br>4. Présence de Mn | 1. Demande en ClO <sub>2</sub> de l'eau à traiter<br>2. Formation de chlorites/chlorates<br>3. Concentration nécessaire en désinfection secondaire                   | 1. Encrassement des lampes<br>2. Voir remarque 4                                                               |

1 : Tenir compte des variations temporelles sur une base saisonnière, mensuelle ou journalière.

2 : Prévoir que le pH peut varier dans la réserve suite à la reminéralisation.

3 : Volume correspondant à la réserve totale moins la réserve d'opération.

4 : Voir section 10.4.5 pour les critères de conception (débit, dose, etc.).

5 : Dans le cas d'une pré- ou d'une inter-désinfection, il est possible d'utiliser le débit journalier maximal.

6 : Choisir le débit de pointe caractéristique de l'installation (Qhoraire ou Qjournalier selon les installations),

\* Liste non exhaustive.

## **11.3 Conception des réservoirs selon les besoins quantitatifs**

### *11.3.1 Généralités*

Les réservoirs d'eau potable permettent d'écarter la demande d'eau ce qui contribue à réduire la capacité des ouvrages de captage, des usines de traitement, des stations de pompage et des conduites d'adduction.

Les réservoirs d'eau potable peuvent aussi être utilisés pour équilibrer les pressions dans le réseau de distribution. Ils assurent aussi une sécurité contre les bris des ouvrages de captage, de traitement et d'amenée et ils peuvent aussi servir à assurer une réserve pour fins de protection contre les incendies.

La station de traitement comprend habituellement une réserve. On trouve également des réservoirs en réseau.

Un réservoir servant à contrôler la pression dans le réseau devrait être suffisamment élevé pour que sa fonction puisse s'accomplir gravitairement tout en étant, dans la mesure du possible, capable de se remplir durant la nuit sans pompage auxiliaire. Il doit se situer à l'intérieur ou à proximité du secteur où l'amélioration des pressions est requise.

Tout réservoir devrait se localiser le plus près possible des secteurs à desservir de façon à éviter l'installation de conduites de grand diamètre et réduire les pertes de charge.

### *11.3.2 Capacité*

Le volume des réservoirs est habituellement établi comme étant la somme de la réserve d'opération et de la réserve incendie dans les cas où le réseau assure une telle protection. Ces réserves peuvent être réparties entre les différents réservoirs du système de traitement et de distribution.

Pour les projets où il est prévu une réserve dédiée pour les besoins de la désinfection (voir section 11.2). Le volume de cette réserve ne peut être inclus dans les calculs des réserves d'opération et d'incendie.

#### *11.3.2.1 Réserve d'opération*

La réserve d'opération permet de faire face aux variations horaires de débit dans le réseau de distribution et à des événements particuliers tels que bris de conduites principales, bris de pompe ou pannes à l'usine de traitement de l'eau.

Lorsque l'approvisionnement du réservoir se fait sur une base continue (24 heures par jour), la réserve d'opération doit correspondre à une valeur située entre 12 et 24 heures de la consommation journalière moyenne (typiquement entre 14 et 20 heures de la consommation journalière moyenne).

Dans le cas des réservoirs existants, des valeurs inférieures à 12 heures mais toujours supérieures à 6 heures peuvent être jugées acceptables si supportées par des données historiques visant à qualifier le degré de fiabilité du système existant.

#### 11.3.2.2 Réserve d'incendie

Le débit d'incendie requis pour un édifice dépend de la superficie du bâtiment, de son type de construction, de sa vocation, de son voisinage et des moyens d'auto-protection dont il dispose. Ce dernier point est important car il implique qu'en favorisant l'installation d'équipements d'auto-protection dans les édifices d'importance (commerces, bureaux, usines, etc.), une municipalité pourrait diminuer substantiellement les débits d'incendie requis et par conséquent réduire les coûts des infrastructures d'aqueduc à installer.

En général, l'alimentation en eau des réseaux d'aqueduc offrant une protection contre l'incendie devrait être établie selon les règles techniques figurant dans le *Guide relatif à la réalisation des réseaux d'eau aux fins de protection contre l'incendie*, 1999, du Service d'inspection des assureurs incendie du Groupement technique des assureurs.

Le *Guide de conception* propose ici des critères de conception permettant d'offrir une alimentation en eau des réseaux d'aqueduc pour fins de protection incendie susceptibles d'assurer une protection minimale. Les municipalités qui désirent se doter d'une protection plus sécuritaire peuvent utiliser des contraintes plus sévères. Les critères proposés par le *Guide de conception* sont les suivants :

- Le réseau d'aqueduc avec protection incendie doit pouvoir fournir, en plus du débit journalier maximal, un débit d'incendie d'un minimum de 2000 L/min pour une durée d'au moins une (1) heure.
- La réserve d'incendie doit être évaluée à partir du débit d'incendie et de la durée déterminée au paragraphe précédent.
- Dans le cas où quelques bâtiments exigeraient des débits impliquant un accroissement de toute la capacité du réseau d'aqueduc, on devrait étudier d'autres solutions comme les moyens d'auto-protection, les sources d'approvisionnement alternatives telles que citernes et cours d'eau, de ne considérer que le caractère moyen du secteur à desservir, etc.
- Face à l'accroissement des coûts marginaux de l'approvisionnement en eau pour fins de protection contre les incendies, il incombe à la municipalité de juger de sa nécessité en comparaison des économies et des avantages sociaux qu'apporte un tel niveau de protection ainsi que l'impact sur la qualité de l'eau distribuée.

### 11.4 Type de réservoirs d'eau potable

#### 11.4.1 Généralités

Dans la conception d'un réservoir d'eau potable, on doit viser à assurer la stabilité et la durabilité de l'ouvrage ainsi que la qualité de l'eau traitée emmagasinée.

#### 11.4.2 Type de réservoirs

Les réservoirs d'eau potable peuvent être de type souterrain en béton armé ou hors-terre en acier. Pour les constructions hors-terre, on retrouvera les réservoirs de type élevé ou cylindrique. Les réservoirs d'eau potable hors-terre en béton précontraint ne sont pas acceptés.

##### 11.4.2.1 Réservoir souterrain

Ce type de réservoir est généralement employé lorsque le réservoir est construit à même la station de traitement de l'eau ou lorsque le site est suffisamment élevé afin d'assurer une pression adéquate par gravité pour le réseau desservi. Lorsque construit à même la station de traitement de l'eau, le réservoir sera généralement utilisé en combinaison avec une station de pompage de type « haut niveau » qui assure un débit et une pression convenables au réseau de distribution.

##### 11.4.2.2 Réservoir cylindrique

Lorsqu'il n'y a aucun site ayant une élévation suffisante pouvant assurer des pressions adéquates dans le réseau de distribution à partir d'un réservoir souterrain, on utilise parfois un réservoir cylindrique, lequel comprend une réserve de soutien assurant l'élévation nécessaire à la réserve utile.

La conception, les matériaux, la fabrication et l'installation des réservoirs cylindriques en acier doivent être conformes aux exigences des normes AWWA D100, D101, D102 et D103.

##### 11.4.2.3 Réservoir élevé

Lorsqu'il n'y a aucun site ayant une élévation suffisante pouvant assurer des pressions adéquates dans le réseau de distribution à partir d'un réservoir souterrain, on utilise parfois un réservoir élevé.

Ce type de réservoir est supporté par des piliers et s'utilise dans les mêmes conditions qu'un réservoir cylindrique, sauf que la hauteur requise pour assurer une pression adéquate est généralement élevée.

La conception, les matériaux, la fabrication et l'installation des réservoirs élevés en acier doivent être conformes aux exigences des normes AWWA D100, D101, D102 et D103.

##### 11.4.2.4 Réservoir sous pression

Les réservoirs hydropneumatiques ne sont acceptables que pour les petits réseaux desservant 50 logements ou moins et n'assurant aucune protection contre les incendies.

Le volume d'un réservoir hydropneumatique doit correspondre au fonctionnement d'environ 10 minutes de la pompe de plus grande capacité. Par exemple, une pompe de 400 L/min doit avoir un réservoir d'au moins 4000 litres.

## **11.5 Autres éléments de conception des réservoirs d'eau potable**

### **11.5.1 Protection des réservoirs**

#### **11.5.1.1 Protection sanitaire**

Le fond du réservoir devrait autant que possible se situer au-dessus du niveau de la nappe phréatique et de tout niveau possible d'inondation. Un système de drainage peut être avantageux pour empêcher la nappe d'eau d'atteindre le fond du réservoir;

Quand le fond du réservoir se situe sous la surface du sol, aucune conduite d'égout, service privé, conduite de gaz naturel, mare d'eau stagnante ou autres sources semblables de contamination, ne doit se situer à moins de 15 mètres des parois du réservoir. Toutefois, une conduite d'aqueduc ayant subi des tests à une pression de 345 kPa sans perte d'eau peut être utilisée comme conduite d'égout à écoulement libre à une distance moindre que 15 mètres mais supérieure à 6 mètres.

Tout réservoir d'eau potable doit avoir un toit et un couvercle empêchant l'intrusion de poussière, d'insectes et autres animaux, de façon à maintenir la qualité de l'eau. Dans le cas d'un réservoir recouvert de terre, le toit doit être parfaitement étanche.

Une clôture, des verrous sur les regards d'accès et autres précautions utiles doivent être prises pour empêcher l'entrée d'intrus, le vandalisme ou le sabotage.

Le système de drainage d'un réservoir doit être conçu de façon à assurer le maximum de sécurité contre les retours d'eau et l'invasion par la vermine. Des accessoires comme les vannes à clapets ou des dispositifs anti-retour n'assurent pas nécessairement cette sécurité maximale. De plus, le système de drainage d'un réservoir ne doit pas être raccordé à un réseau d'égout.

Le terrassement autour du réservoir doit être conçu de façon à éloigner les eaux de ruissellement.

#### **11.5.1.2 Trop-plein**

Tout réservoir doit avoir un trop-plein se déversant à une élévation de 30 à 60 cm au-dessus du sol, au-dessus d'une entrée de drain ou d'une plaque de dispersion. Aucun trop-plein ne doit être raccordé à une conduite d'égout domestique, unitaire ou pluviale.

L'ouverture de trop-plein doit être dirigée vers le bas et être munie d'une grille non-corrosive de 9.5 mailles au centimètre, installée à l'intérieur de la conduite de façon à empêcher sa détérioration par un acte de vandalisme.

Le tuyau de trop-plein doit avoir un diamètre suffisant pour permettre l'évacuation du surplus d'eau correspondant au taux maximal d'entrée d'eau dans le réservoir.

#### 11.5.1.3 Accès

Tout réservoir doit avoir des ouvertures d'accès pour permettre le nettoyage et la réparation. Les regards d'accès au-dessus du plan d'eau doivent :

- avoir une bordure surélevée d'au moins 10 cm, et préférablement de 15 cm. Pour les réservoirs de surface ou souterrain, les regards d'accès doivent se situer à au moins 0.6 mètre au-dessus du niveau final du sol;
- être fermés avec un couvercle étanche recouvrant la bordure du regard et se prolongeant d'au moins 5 cm le long de cette bordure. Le drain des trappes d'accès ne doit pas se drainer dans le réservoir;
- être munis d'un gond sur l'un de ses côtés;
- être pourvus d'un dispositif de verrouillage.

#### 11.5.1.4 Ventilation

Tout réservoir doit être ventilé adéquatement. Il est à noter que le trop-plein ne peut pas être utilisé comme conduite de ventilation. Des ouvertures entre le toit et les murs du réservoir ne sont pas acceptables comme moyens de ventilation. Les conduites de ventilation doivent :

- empêcher l'intrusion d'eau de surface ou de pluie;
- éviter l'entrée d'oiseaux ou autres animaux;
- empêcher l'entrée d'insectes et de poussière en autant que cette exigence est compatible avec une ventilation efficace. Pour des réservoirs élevés ou cylindriques, un grillage non-corrosif d'au moins 1.6 maille au centimètre peut être employé à cette fin.

#### 11.5.1.5 Toit et parois latérales

Le toit et les parois latérales doivent être étanches, sans aucune ouverture à l'exception de celles prévues pour les conduites de ventilation, les regards d'accès, les trop-pleins, les drains de vidanges, les tuyaux d'entrée et de sortie d'eau.

Tous les tuyaux traversant le toit ou la paroi d'un réservoir métallique doivent être soudés ou convenablement scellés à la paroi. Pour les réservoirs en béton, ces conduites doivent être reliées à des ancrages mis en place lors du coulage du béton.

Les ouvertures dans le plafond d'un réservoir, requises pour l'installation des appareils de contrôle et les colonnes des pompes, doivent être protégées de façon à empêcher l'intrusion d'eau de surface ou souterraine à l'intérieur du réservoir.

Les vannes et les appareils de contrôle doivent se situer à l'extérieur du réservoir de manière à ce que les tiges des vannes ou autres tiges similaires ne traversent le toit, le couvercle ou la paroi du réservoir. Si cela n'est pas possible, il faut bien protéger les ouvertures dans le toit du réservoir des intempéries et des intrusions d'eau.

#### 11.5.1.6 Drainage du toit

Le toit de tout réservoir doit être drainé efficacement. Les gouttières de descente ne doivent pas pénétrer à l'intérieur du réservoir. Les parapets ou autres constructions similaires qui pourraient retenir l'eau ou la neige sur le toit sont à proscrire.

#### 11.5.1.7 Passerelles intérieures

Toute passerelle surplombant un plan d'eau à l'intérieur d'un réservoir doit avoir un plancher sans trou avec des bordures relevées pour empêcher la chute de débris dans l'eau.

#### 11.5.1.8 Arrêt des sédiments

Toute conduite de sortie d'eau d'un réservoir doit être installée de façon à empêcher l'entraînement des sédiments dans le réseau de distribution. Un dispositif d'arrêt des boues doit être prévu là où c'est nécessaire.

#### 11.5.1.9 Compartiments adjacents

L'eau potable ne doit pas être emmagasinée dans un compartiment adjacent à un autre contenant de l'eau non potable.

Lorsque de l'eau potable est emmagasinée dans un compartiment adjacent à un contenant de l'eau non potable, il doit y avoir un vide entre les murs des deux (2) compartiments. Le vide entre les deux (2) murs doit être drainé.

#### 11.5.1.10 Structure

Les murs de tout réservoir doivent résister aux pressions internes et externes sous toutes les conditions de niveau à l'intérieur du réservoir et à l'extérieur s'il est enfoui.

Dans le cas de réservoir enfoui, celui-ci doit être conçu pour éviter sa flottaison et pour résister aux pressions induites par le remblayage du réservoir lorsque ce dernier est vide.

### 11.5.2 *Fonctionnement des réservoirs*

#### 11.5.2.1 Gel

Tous les réservoirs et leur équipement tels que conduites, trop-pleins, événements, etc., doivent être conçus de façon à éviter que le gel nuise à leur fonctionnement normal.

#### 11.5.2.2 Interruption de service

Tout réservoir doit être conçu de façon à permettre l'opération du réseau pendant sa réparation ou son nettoyage.

Il est préférable d'aménager le réservoir en deux (2) ou plusieurs compartiments de manière à ce que un (1) ou plusieurs compartiments puissent être maintenus en opération pendant les opérations de nettoyage de un (1) ou plusieurs autres compartiments.

#### 11.5.2.3 Variation de niveaux

La variation maximale entre le haut et le bas niveau d'eau à l'intérieur d'un réservoir dont la fonction est d'assurer le maintien d'une pression adéquate dans le réseau, ne devrait pas excéder 9 mètres.

Des appareils de contrôle adéquats doivent être installés pour maintenir les niveaux d'eau dans le réservoir et pour contrôler le remplissage. Des indicateurs de niveau d'eau doivent être installés dans un endroit facilement accessible pour assurer une surveillance constante.

Un système d'alarme de trop-plein et de bas niveau doit être installé en un endroit facilement accessible pour être en mesure d'assurer une surveillance constante.

#### 11.5.2.4 Stagnation de l'eau

Une bonne circulation de l'eau dans le réservoir est nécessaire afin d'éviter la stagnation.

### 11.5.3 Sécurité des employés

Des échelles, des rampes et des entrées sécuritaires doivent être prévues aux endroits appropriés.

Des rampes doivent être prévues sur les réservoirs élevés ou cylindriques entre la rampe de montée et le regard d'accès.

### 11.5.4 Accessoires pour les réservoirs sous pression

Un réservoir hydropneumatique doit être pourvu d'une conduite de détournement afin de permettre l'opération du réseau lors de sa réparation ou de son nettoyage.

Chaque réservoir doit avoir un regard d'accès, un drain et des équipements de contrôle comprenant un manomètre, un hublot, une vanne de vidange d'air automatique ou manuelle, un appareil pour injecter de l'air à l'intérieur du réservoir et un contrôle d'arrêt-départ des pompes.

### 11.5.5 Peinture et recouvrement cathodique

Une protection appropriée doit être donnée aux surfaces métalliques au moyen d'une peinture ou d'un recouvrement cathodique, ou les deux, ou d'un autre revêtement protecteur. Avant l'application d'un enduit protecteur, la surface doit être soigneusement nettoyée.

Tous les matériaux de recouvrement des surfaces d'un réservoir d'eau venant en contact avec de l'eau potable doivent être conformes à la norme BNQ 3660-950 ou certifiés et listés par la NSF (National Sanitation Foundation).

#### *11.5.6 Test d'étanchéité*

Tous les réservoirs d'eau potable doivent faire l'objet d'un test d'étanchéité lorsque le réservoir est rempli jusqu'à son niveau de débordement.

Pour les réservoirs en béton armé, la limite de fuite permise est de 1,5 cm après trois (3) jours, en considérant que le béton a été saturé avant le début de l'essai.

Pour les réservoirs en acier, aucune fuite ne sera permise après 24 heures.

#### *11.5.7 Désinfection*

Avant sa mise en opération, tout réservoir d'eau potable doit être nettoyé et désinfecté conformément à la norme C652 de l'AWWA intitulée « Disinfection of Water-Storage Facilities ».

Deux séries consécutives ou plus d'échantillons prélevés à des intervalles de 24 heures doivent indiquer l'absence de contamination bactériologique avant la mise en opération du réservoir.

Les méthodes d'élimination des eaux chlorées utilisées dans le nettoyage et la désinfection des réservoirs doivent être approuvées par les Directions régionales du ministère de l'Environnement.

## **VOLUME 1**

### **CHAPITRE 12**

|            |                                            |
|------------|--------------------------------------------|
| <b>12.</b> | <b>TRAITEMENT DES GOÛTS ET ODEURS.....</b> |
| 12.1       | Origine des goûts et odeurs .....          |
| 12.2       | Conditions d'applications.....             |
| 12.3       | Critères de conception .....               |

## 12. TRAITEMENT DES GOÛTS ET ODEURS

Ce chapitre présente une synthèse des informations regroupées dans le volume 2.

### 12.1 Origine des goûts et odeurs

Les goûts et odeurs ont diverses origines. Parmi les principales notons:

- Les substances inorganiques :  $H_2S$  (œufs pourris), fer (rouille), manganèse, etc.;
- Les bactéries telles que les *Actinomycètes* et les *Cyanobacter* qui génèrent des métabolites (MIB et Geosmine) dégageant des goûts et odeurs de moisissure et de terre. Il s'agit des problèmes de goûts et d'odeurs les plus fréquemment répertoriés. La fin de l'été est une période propice à leur apparition;
- Les algues bleues, vertes, flagellées pigmentées, les diatomées, etc. dont les métabolites peuvent générer des goûts et odeurs d'herbe, de pourriture, de fosse septique, de poisson, de concombre, d'épices, etc. Les algues bleues, qui apparaissent également vers la fin de l'été, génèrent, même en très petite quantité, des problèmes importants de goûts et d'odeurs au Québec;
- L'azote ammoniacal et l'azote organique peuvent être à l'origine de sérieux problèmes de goûts et d'odeurs après une chloration.

L'intensité des odeurs peut se mesurer par la méthode du « seuil olfactif » décrite au *Standard Methods* ou par la méthode du profil de flaveur décrite dans le document de l'AWWARF/LE 1987.

### 12.2 Conditions d'application

Lorsqu'un problème de goûts et d'odeurs se présente, l'exploitant peut envisager l'un ou l'autre des procédés suivants :

- L'adsorption sur charbon actif;
- L'oxydation chimique (principalement l'ozone);
- Le traitement biologique (la filtration lente et la filtration sur charbon actif biologique).

L'aération est généralement peu efficace pour les composés rencontrés dans la nature (sauf  $H_2S$ ), mais son utilisation peut s'avérer intéressante pour les composés anthropiques qui sont volatils (constante de Henry supérieure à  $10^{-3} \text{ m}^3 \text{ atm/mole}$ ).

**Le procédé de coagulation-décantation-filtration ne réduit pas les goûts et odeurs, mais il peut aider à prévenir leur apparition en enlevant les algues avant leur lyse par les désinfectants qui risquent de conduire à la libération de substances odorantes.**

### 12.3 Critères de conception

*De façon générale, des essais pilotes sont requis pour déterminer les critères de conception des procédés de traitement utilisés. Néanmoins, on peut se baser sur les éléments suivants pour faire un choix préliminaire de procédé :*

- Le charbon actif en grain (CAG) est reconnu comme étant le procédé le plus efficace contre les goûts et odeurs. Le temps de contact en fût vide (*Empty Bed Contact Time ou EBCT*) de conception pour l'élimination quasi complète des goûts et odeurs varie de 5 à 15 minutes et peut atteindre 30 minutes dans certains cas. Parfois, l'antracite d'un filtre bi-couche est remplacé par du charbon actif. Dans ce cas, le temps de contact en fût vide est inférieur et l'efficacité du traitement moindre; le charbon actif en poudre est reconnu pour être légèrement moins efficace que le CAG, mais il a comme avantage de pouvoir être interrompu en absence de problèmes de goûts et d'odeurs et de nécessiter des installations moins coûteuses. Le dosage de conception doit pouvoir être ajusté entre 3 mg/L et 30 mg/L en absence d'essais prolongés. Au-delà de 30 mg/L sur une base continue, le CAG devrait être envisagé pour des raisons économiques;
- L'ozone est de loin le meilleur oxydant pour le contrôle des goûts et odeurs. Un temps de contact adéquat doit être assuré afin que les réactions chimiques soient complétées. L'ozone est généralement employé pour le traitement des eaux présentant un degré d'odeurs élevé. Il est relativement efficace pour le traitement des composés MIB et Geosmine. Pour ces métabolites, on cite une efficacité de l'ordre de 50 à 95% pour un dosage d'ozone variant de 2 à 4 mg/L. Son emploi est habituellement suivi d'une biofiltration afin de réduire le carbone organique assimilable présent dans l'eau brute et celui résultant de l'ozonation. La pré-ozonation est possible mais elle nécessite généralement un dosage plus élevé que l'inter-ozonation (eau décantée);
- La filtration lente ainsi que celle sur charbon actif biologique ont un avenir prometteur pour le traitement des goûts et des odeurs. Le traitement efficace des phénols fut observé à plusieurs endroits alors que le MIB et le Geosmine étaient enlevés à 50%. Employée conjointement à une préozonation, l'efficacité de la biofiltration permettrait d'atteindre des taux d'élimination très élevés du MIB et du Geosmine (> 90%);
- Dans le cas de problèmes de goûts et d'odeurs générés par la présence d'azote ammoniacal (formation de dichloramines ou de trichloramines), une chloration au point critique (ratio  $\text{Cl}_2/\text{NH}_3$  d'environ 8 pour 1) permet de remédier à la situation;
- L'usage du sulfate de cuivre est interdit pour le traitement des goûts et des odeurs.

## **VOLUME 1**

### **CHAPITRE 13**

|            |                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------|
| <b>13.</b> | <b>STABILISATION ET CONTRÔLE DE LA CORROSION .....</b> |
| 13.1       | Ajustement du pH et de l'alcalinité .....              |
| 13.2       | Reminéralisation .....                                 |
| 13.3       | Ajout d'inhibiteurs chimiques .....                    |

### **13. STABILISATION ET CONTRÔLE DE LA CORROSION**

Ce chapitre présente un résumé des principales méthodes de stabilisation de l'eau et de contrôle de la corrosion. Le volume 2 présente une information plus complète sur ce sujet.

La corrosion interne des conduites d'aqueduc est un phénomène complexe qui cause très souvent une détérioration de la qualité de l'eau distribuée, une diminution des performances hydrauliques ainsi qu'une augmentation des coûts de distribution de l'eau. Une liste des principaux coûts attribuables à la corrosion est présentée dans la section 13.2 du volume 2; ils vont de l'augmentation du coût de pompage relié à la présence de dépôts à l'augmentation de la demande en chlore en passant par les plaintes des consommateurs liées à la couleur de l'eau ou à son mauvais goût.

La corrosivité de l'eau dépend de plusieurs facteurs, dont :

- Les caractéristiques de l'eau; un tableau tiré du manuel « Internal Corrosion of Water Distribution Systems » dresse une liste des principaux facteurs qui influencent la corrosion ainsi que ses effets sur la qualité de l'eau;
- Les conditions hydrauliques : la vitesse de l'eau, le temps de séjour, la température;
- La nature des matériaux avec lesquels l'eau entre en contact; un tableau tiré du manuel « A Handbook of Community Water Supplies » présente, pour chaque matériau (cuivre, acier doux, fonte, etc.), sa résistance à la corrosion ainsi que les principaux contaminants qui résultent des réactions de corrosion (fer, cuivre, plomb, turbidité, couleur, etc.);
- La croissance bactérienne qui contribue à la corrosion en fournissant un milieu propice aux réactions corrosives.

La recherche de solutions pour régler un problème de corrosion nécessite une bonne compréhension du problème. Les principales méthodes qui permettront au concepteur de poser un bon diagnostic sont présentées dans le volume 2 et certaines sont décrites de façon détaillée.

Le contrôle de la corrosion et de l'entartrage nécessite premièrement un bon choix de matériaux et le respect de plusieurs recommandations de conception qui sont énumérées dans le volume 2. Pour un réseau existant, il est essentiel d'avoir un bon programme d'entretien du réseau (tel qu'un programme de rinçage unidirectionnel). Lorsque les problèmes liés à la corrosion persistent, il peut s'avérer nécessaire de modifier les caractéristiques chimiques de l'eau afin de la rendre moins agressive (ou entartrante). Plusieurs méthodes existent et peuvent être classées en trois catégories. Pour plus d'information sur chaque méthode, le concepteur est prié de se référer au volume 2.

#### **13.1 Ajustement du pH et de l'alcalinité.**

L'ajustement du pH et de l'alcalinité est la méthode de contrôle de la corrosion la plus courante puisqu'elle agit à la fois sur les phénomènes électrochimiques de la corrosion et sur la solubilité de carbonate de calcium qui peut servir de couche de protection. Cette méthode est aussi souvent la plus économique. L'ajustement du pH et de l'alcalinité peut être fait selon plusieurs méthodes présentées dans le tableau 13-1 suivant :

# 1. Tableau 13-1 : Synthèse des méthodes d'ajustement de pH et d'alcalinité

| Produit pour l'ajustement du pH                        | pH | Alcalinité totale | Dureté totale | g de produit pur par gramme de CO <sub>2</sub> agressif | Augmentation de l'alcalinité (mg CaCO <sub>3</sub> / L) par 1 mg / L | Augmentation de Na <sup>+</sup> par 1 mg / L |
|--------------------------------------------------------|----|-------------------|---------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Élimination du CO <sub>2</sub> par aération            | +  | 0                 | 0             |                                                         |                                                                      |                                              |
| Soude caustique (NaOH) (solution à 50 %)               | +  | +                 | 0             | 0,91                                                    | 1,25                                                                 | 0,58                                         |
| Chaux (Ca(OH) <sub>2</sub> ) (solution à 93 %)         | +  | +                 | +             | 0,84                                                    | 1,26                                                                 |                                              |
| Carbonate de sodium (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) | +  | +                 | 0             | 2,4                                                     | 0,94                                                                 | 0,43                                         |
| Filtration sur produits alcalino-terreux               | +  | +                 | +             | 1,6 à 2,2                                               |                                                                      |                                              |
| Bicarbonate de sodium (NaHCO <sub>3</sub> )            | +  | +                 | 0             |                                                         | 0,60                                                                 |                                              |

## 2.13.2 Reminéralisation

La reminéralisation d'une eau s'applique aux eaux trop douces de façon à augmenter l'alcalinité et/ou la dureté. La reminéralisation s'effectue généralement en début de filière de traitement pour améliorer les traitements subséquents (p. ex., la coagulation). Plusieurs méthodes peuvent être appliquées :

- Méthode de gaz carbonique et chaux;
- Méthode de gaz carbonique et carbonate de calcium;
- Méthode de bicarbonate de sodium et sel de calcium;
- Méthode de bicarbonate de sodium et chaux;
- Méthode de carbonate de sodium et gaz carbonique;
- Méthode d'acide sulfurique et carbonate de calcium.

## 13.3 Ajout d'inhibiteurs chimiques

Dans certains cas, une bonne gestion du réseau et la modification des caractéristiques de l'eau ne suffisent pas à éliminer les problèmes de corrosion. Il faut alors recourir à l'ajout d'inhibiteurs de corrosion en plus, la plupart du temps, d'un ajustement préalable du pH.

Plusieurs produits sont disponibles sur le marché :

- Produits à base de phosphates (orthophosphates, polyphosphates, phosphates de zinc, mélange de phosphates);
- Produits à base de silicates;
- Mélange de produits à base de phosphates et de silicates.

*La forme de phosphate qui peut inhiber les réactions de corrosion est l'orthophosphate. Les polyphosphates ne sont pas des inhibiteurs de corrosion, sauf la faible partie qui s'hydrolyse en orthophosphates. Les polyphosphates sont plutôt utilisés pour séquestrer les métaux et ainsi prévenir l'eau rouge. Les pyrophosphates, pour leur part, ont des propriétés dispersantes; ils peuvent donc, dans certaines conditions, favoriser une diminution des dépôts de corrosion. Les phosphates de zinc peuvent, quant à eux, favoriser la formation d'une couche protectrice. Le concepteur devra toutefois être prudent car le zinc peut causer des problèmes environnementaux.*

*Les silicates sont surtout de bons agents séquestrants qui peuvent diminuer les problèmes d'eau rouge.*

## VOLUME 1

### CHAPITRE 14

|                                                                                                      |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>14. TRAITEMENT DES BOUES ET DES EAUX DE PROCÉDÉ</b> .....                                         |  |
| <b>14.1 Caractérisation</b> .....                                                                    |  |
| <b>14.2 Rejet au réseau d'égout municipal</b> .....                                                  |  |
| 14.2.1 <i>Impact des rejets sur le réseau d'égout municipal</i> .....                                |  |
| 14.2.2 <i>Détermination des infrastructures nécessaires</i> .....                                    |  |
| <b>14.3 Rejet au milieu récepteur</b> .....                                                          |  |
| 14.3.1 <i>Identification des points de rejet</i> .....                                               |  |
| 14.3.2 <i>Vérification des critères opérationnels pour chacun des points de rejet</i> .....          |  |
| 14.3.3 <i>Infrastructures nécessaires</i> .....                                                      |  |
| <b>14.4 Traitement des eaux de procédés</b> .....                                                    |  |
| 14.4.1 <i>Traitement des eaux de lavage des filtres gravitaires</i> .....                            |  |
| 14.4.1.1 <i>Décantation</i> .....                                                                    |  |
| 14.4.1.2 <i>Lagunage</i> .....                                                                       |  |
| 14.4.1.3 <i>Déchloration</i> .....                                                                   |  |
| 14.4.2 <i>Traitement des eaux de lavage des filtres de déferrisation et de démanganisation</i> ..... |  |
| 14.4.3 <i>Autres eaux de procédé</i> .....                                                           |  |
| 14.4.3.1 <i>Échangeur d'ions</i> .....                                                               |  |
| 14.4.3.2 <i>Procédés membranaires</i> .....                                                          |  |
| <b>14.5 Traitement des boues</b> .....                                                               |  |
| 14.5.1 <i>Caractéristiques des boues</i> .....                                                       |  |
| 14.5.2 <i>Procédés applicables</i> .....                                                             |  |
| 14.5.2.1 <i>Lagunage</i> .....                                                                       |  |
| 14.5.2.2 <i>Épaississement</i> .....                                                                 |  |
| 14.5.2.3 <i>Déshydratation mécanique</i> .....                                                       |  |
| 14.5.2.4 <i>Lits de séchage conventionnels</i> .....                                                 |  |
| 14.5.2.5 <i>Lits de séchage par gel-dégel</i> .....                                                  |  |
| 14.5.2.6 <i>Destination finale</i> .....                                                             |  |

## 14. TRAITEMENT DES BOUES ET DES EAUX DE PROCÉDÉ

Le concepteur doit prévoir le traitement et/ou la disposition des eaux sanitaires, des eaux de procédé (eaux de lavage, concentrats et autres) ainsi que des boues. Dans certains cas, cette préoccupation peut influencer les choix de procédés.

Les eaux sanitaires doivent être dirigées directement vers le réseau d'égout ou un système de traitement des eaux usées approuvé. Les eaux de procédé et les boues doivent être séparées des eaux sanitaires pour éviter de traiter l'ensemble comme des eaux usées sanitaires. La figure 14-1 présente, sous forme d'arbre décisionnel, les différentes possibilités de traitements et de rejets.

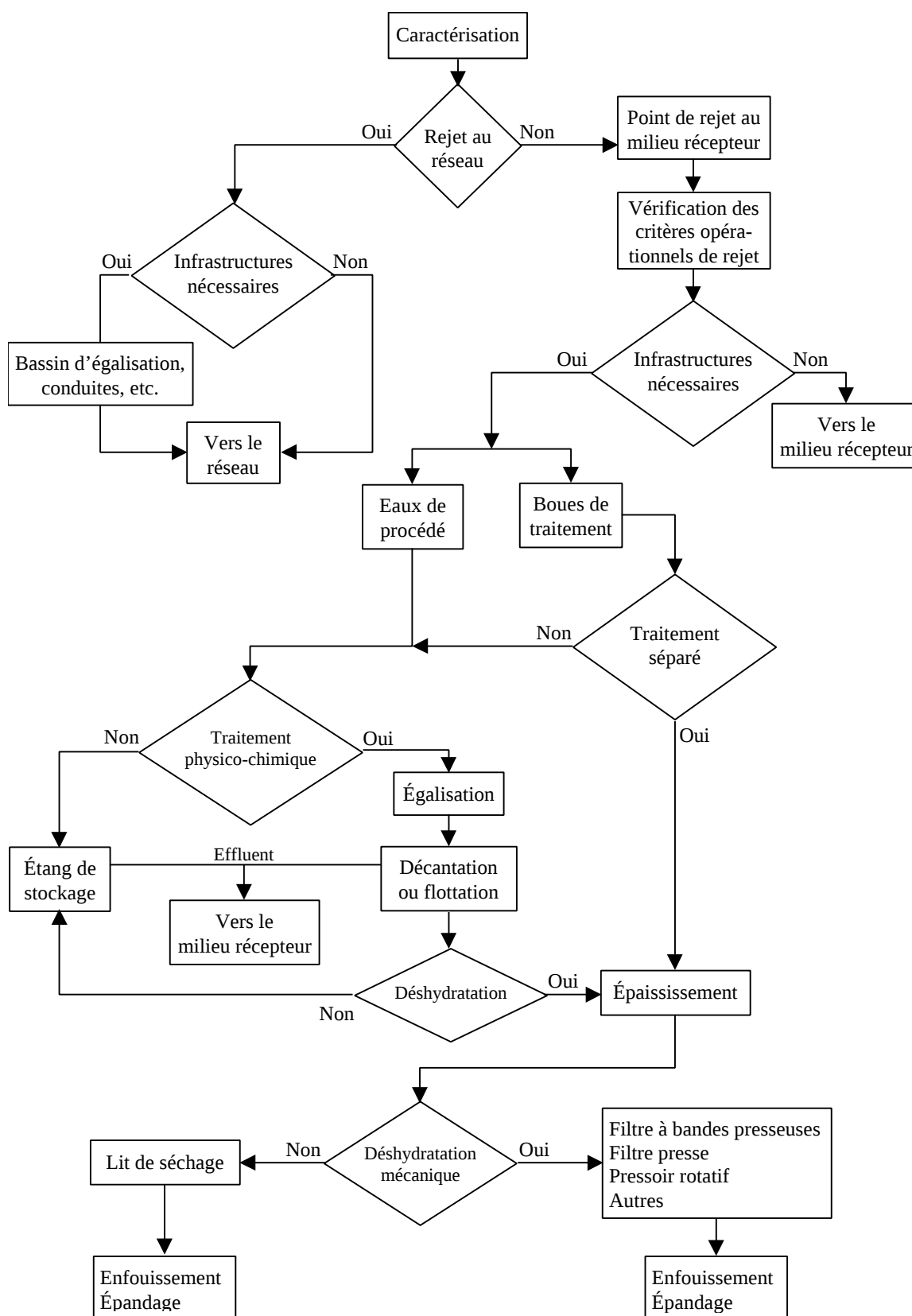
### 14.1 Caractérisation

Les eaux de procédé et les boues doivent faire l'objet d'une caractérisation selon le programme d'échantillonnage présenté dans le tableau 14-1 ci-après :

**Tableau 14-1 : Programme d'échantillonnage et paramètres à analyser pour la caractérisation des eaux de procédé et des boues**

|                                               | Boues des<br>décanteurs<br>statiques                                                                                                     | Boues des<br>décanteurs<br>dynamiques                                                                                              | Eaux de lavage de<br>filtres (2 lavages)                                                                                                                         |                | Autres (concentré,<br>eaux de lavage,<br>etc.)                                                                          |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Échantillonnage</b>                        | 1) Échantillonnage instantané des boues et hauteur des boues en différents points<br>2) Évaluer le volume de boues évacué périodiquement | 1) Échantillonnage composé d'un mélange de boues issu de chaque décanteur<br>2) Évaluer le volume de boues purgées quotidiennement | 1) Échantillonnage instantané à toutes les minutes<br>2) Échantillonnage composé de tous les prélèvements instantanés<br>3) Évaluer le volume journalier produit |                | 1) Échantillonnage représentatif de chaque rejet typique<br>2) Évaluer les volumes purgés quotidiennement (chaque type) |
| <b>Analyse</b>                                | <b>Boues</b>                                                                                                                             | <b>Boues</b>                                                                                                                       | <b>Instant.</b>                                                                                                                                                  | <b>Composé</b> | <b>Autres rejets</b>                                                                                                    |
| DBO <sub>5</sub>                              | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| DCO                                           | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| MES                                           | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  | X                                                                                                                                                                | X              | X                                                                                                                       |
| MES décantées (2 heures)                      | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| MVES                                          | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| NTK                                           | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| NH <sub>3</sub> -NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| Phosphore                                     | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| Al extractible                                | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  | X                                                                                                                                                                | X              |                                                                                                                         |
| Al soluble                                    | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              |                                                                                                                         |
| Cl résiduel libre                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                    | X                                                                                                                                                                | X              | X                                                                                                                       |
| Cl résiduel total                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                    | X                                                                                                                                                                | X              | X                                                                                                                       |
| pH                                            | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  | X                                                                                                                                                                | X              | X                                                                                                                       |
| Alcalinité                                    | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| Dureté                                        | X                                                                                                                                        | X                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                  | X              | X                                                                                                                       |
| Autres éléments significatifs                 | (Ar, Fe, Mn, F, essais de toxicité sur truites et daphnies, etc.)                                                                        |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                |                                                                                                                         |

Figure 14-1 : Arbre décisionnel pour le traitement des eaux de procédé et des boues



## **14.2 Rejet dans le réseau d'égout municipal**

### *14.2.1 Impact des rejets sur le réseau d'égout municipal*

Le rejet des eaux usées dans le réseau d'égout municipal domestique ou unitaire est la solution à privilégier lorsque possible. Toutefois, avant de retenir ce scénario, il faut évaluer l'impact de ces rejets sur les ouvrages d'assainissement comme le réseau d'égout, les ouvrages de régulation de débit, les postes de pompage et l'installation de traitement des eaux usées. De façon générale, les eaux recueillies doivent être amenées via le réseau d'égout à la station d'épuration sans possibilité de participer à un trop-plein ou à une surverse.

### *14.2.2 Détermination des infrastructures nécessaires*

En fonction des débits à véhiculer dans les différents ouvrages d'assainissement, il faut déterminer les infrastructures nécessaires (bassins d'égalisation par exemple) pour que ces eaux puissent transiter sans causer de nuisance aux utilisateurs actuels. De façon générale, les boues doivent être acheminées directement au réseau.

## **14.3 Rejet dans le milieu récepteur**

Lorsqu'il n'y a pas de réseau d'égout à proximité ou en alternative au rejet à l'égout, il faut prévoir les infrastructures qui seront nécessaires pour traiter adéquatement ces eaux avant de les rejeter dans le milieu récepteur.

### *14.3.1 Identification des points de rejet*

Le concepteur doit établir les différents points de rejet possibles en prenant en considération l'impact sur le milieu récepteur et sur les activités en aval (prises d'eau, usages récréo-touristiques, etc.).

### *14.3.2 Vérification des critères opérationnels pour chacun des points de rejet*

Les rejets dans le milieu récepteur devront respecter les limites technologiques ou les critères opérationnels suivants :

- Matières en suspension (MES) < 20 mg/L;
- Aluminium total < 3 mg/L;
- Fer total < 5 mg/L;

La limite technologique de 20 mg/L en MES permet aussi de réduire les métaux associés pour lesquels il n'y a pas de critères opérationnels. Pour les paramètres autres que les métaux (paramètres organiques et inorganiques), la quantité rejetée dans le milieu récepteur doit être la plus faible possible en fonction des technologies disponibles. Par contre, il doit être démontré que le rejet ne sera pas toxique pour la faune aquatique, surtout en fonction des produits ajoutés dans la station de production d'eau potable. Le chlore résiduel fait partie des paramètres à surveiller (le critère opérationnel de rejet au milieu naturel à atteindre pour la concentration de chlore résiduel total est de 0,05 mg/L).

### 14.3.3 Infrastructures nécessaires

En fonction de la caractérisation des eaux de procédé et des boues ainsi que des critères de rejet qui auront été établis, le concepteur pourra déterminer les différentes infrastructures nécessaires pour chacun des points de rejet et ce, de manière à établir le scénario le plus économique.

Dans la plupart des installations, les eaux de procédé et les boues doivent recevoir un traitement. Après traitement, les effluents liquides sont rejetés dans les cours d'eau récepteurs alors que les boues et déchets solides résultant de ce traitement doivent être éliminés adéquatement (section 14.5.2.6). Dans certains cas particuliers, le rejet direct (sans traitement) dans un cours d'eau des eaux de procédé et des boues de l'installation de traitement d'eau potable est possible dans certaines conditions (selon la caractérisation et le point de rejet).

### 14.4 Traitement des eaux de procédé

Les eaux de procédé les plus fréquemment rencontrées sont les eaux de lavage des filtres utilisés en traitement d'eau de surface ou d'eau souterraine. On retrouve aussi dans cette catégorie les concentrés des traitements par membrane ainsi que les eaux de régénération des échangeurs d'ions. Le tableau 14-2 présente des caractéristiques typiques de ces eaux de procédé. Celles-ci peuvent varier selon les applications. Les traitements devront correspondre à ces caractéristiques.

**Tableau 14-2 : Caractéristiques des eaux de procédé**

|                                     | Eaux de lavage des filtres |                                                                              |                        | Eaux de procédé  |                                                                                                                                                              |             |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Eau brute                           | Surface                    | Souterrain<br>e                                                              | Souterrain<br>e        | Souterrain<br>e  | Surface                                                                                                                                                      | Souterraine |
| Procédé                             | Conventionnel              | Précipitation à la chaux                                                     | Enlèvement du Fe et Mn | Échangeur d'ions | NF                                                                                                                                                           | OI et NF    |
| Turbidité (UTN)                     | 50 à 97                    | Turbides, colorées et chargées en chaux, fer, calcium, carbonates, magnésium | ND                     | ND               | Les caractéristiques de ces rejets et leur traitement sont très variables et dépendent beaucoup de la technologie utilisée (voir section 14.4.2 et volume 2) |             |
| Al total (mg/L)                     | 29 à 76                    |                                                                              | ND                     | ND               |                                                                                                                                                              |             |
| Fe total (mg/L)                     | 3 à 19                     |                                                                              | 50 à 1000              | ND               |                                                                                                                                                              |             |
| Mn total (mg/L)                     | 12 à 22                    |                                                                              | 0,5 à 30               | ND               |                                                                                                                                                              |             |
| Cl résiduel (mg/L)                  | 0,1 à 1,1                  |                                                                              | ND                     | ND               |                                                                                                                                                              |             |
| MES (mg/L)                          | ND                         |                                                                              | 300 à 2000             | ND               |                                                                                                                                                              |             |
| Na <sup>+</sup> (mg/L)              | ND                         |                                                                              | ND                     | 2000 à 5000      |                                                                                                                                                              |             |
| Cl <sup>-</sup> (mg/L)              | ND                         |                                                                              | ND                     | 9000-22 000      |                                                                                                                                                              |             |
| Dureté (mg/L de CaCO <sub>3</sub> ) | ND                         |                                                                              | ND                     | 11 000 à 23 000  |                                                                                                                                                              |             |
| Nitrates (mg/L)                     | ND                         |                                                                              | ND                     | 6000             |                                                                                                                                                              |             |

ND Non-déterminé

#### 14.4.1 Traitement des eaux de lavage des filtres gravitaires

##### 14.4.1.1 Décantation (voir aussi section 9.8)

En général, une période de décantation de 6 à 24 heures est suffisante pour produire un effluent faible en turbidité et en aluminium. Les décanteurs mécaniques sont munis d'un système de raclage de fond et de soutirage de boues. Dans les décanteurs statiques, il faut prévoir un volume additionnel pour le stockage de boues entre les vidanges. Pour optimiser le fonctionnement de ces décanteurs, il faut prévoir un bassin de stockage et d'égalisation des eaux de lavage pour régulariser les débits d'eau qui alimentent le décanteur. Le taux de décantation peut varier entre 0,48 et 1,92 m/h. Le dosage d'un polymère anionique et l'utilisation de lamelles permettent d'augmenter le taux de décantation.

La décantation produit un effluent faible en turbidité ( 0,8 à 2,5 UTN), en aluminium (1,0 à 2,3 mg/L), en fer (<5 mg/L) et en chlore résiduel libre (<0,1 mg/L). Les boues extraites du décanteur ont une teneur en solides de 0,5 à 1,5%.

##### 14.4.1.2 Lagunage

Les eaux de lavage des filtres peuvent être traitées par lagunage selon les règles suivantes :

- La profondeur minimale est de 1,5 m;
- Les étangs doivent comporter un minimum de deux cellules qui peuvent être isolées séparément pour faciliter les vidanges et l'entretien;
- Les étangs doivent être munis d'ouvrages d'entrée permettant une bonne répartition des eaux de lavage et d'ouvrages de sortie afin de minimiser l'entraînement des solides et des algues dans le milieu récepteur;
- Les étangs doivent être situés de préférence au moins à 150 m des habitations;
- Il faut aménager des fossés de dérivation des eaux de surface autour des étangs.

Seul l'effluent des étangs peut être rejeté dans un cours d'eau, et ce s'il respecte les critères de rejet établis. Lors de la conception des étangs, le concepteur doit prévoir un système pour extraire les boues et les déshydrater. La vidange des étangs doit être faite quand les concentrations de fer ou des matières en suspension dépassent les critères de rejet. La conception des étangs doit prévoir une capacité de stockage de solides de 2 à 3 ans tout en tenant compte de l'épaisseur de la couche de glace en hiver. L'effluent du lagunage est habituellement faible en turbidité (4 à 5 UTN), en chlore libre (<0,1 mg/L), en aluminium total (<1,0 mg/L) et en manganèse (0,7 mg/L).

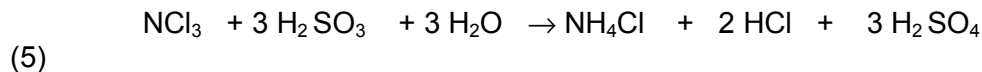
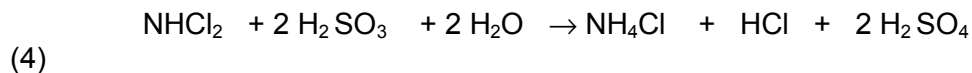
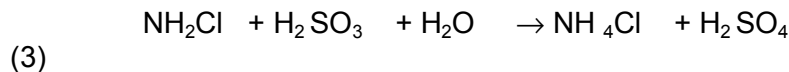
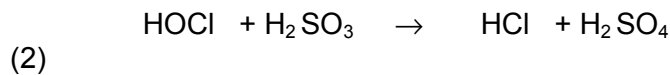
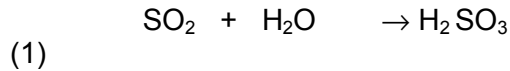
##### 14.4.1.3 Déchloration

La déchloration a pour but d'éliminer des eaux de lavage des filtres le chlore résiduel présent sous formes libre et combinée avant de les rejeter dans un cours d'eau. La décantation et le lagunage réduisent déjà la teneur en chlore. Différents composés chimiques peuvent aussi être utilisés à cette fin mais le bioxyde de soufre, le bisulfite de sodium et le métabisulfite de sodium sont les plus efficaces.

La déchloration par le rayonnement solaire est aussi efficace pour éliminer les chlores libres actifs. Dans les décanteurs et filtres non couverts, l'élimination des chlores libres actifs peut atteindre 0,75 à 1,25 mg/L par heure le jour entre 10 et 14 heures, de juin à août. Par contre, la dégradation des chloramines est plus lente car ces composés sont plus stables. L'aération peut enlever jusqu'à 15% de monochloramine et 20% de dichloramine, tandis que la trichloramine peut être éliminée complètement par une légère aération.

### Déchloration par le bioxyde de soufre

Le bioxyde de soufre réagit avec l'eau pour former l'acide sulfureux qui détruit par la suite les chlores résiduels libres et combinés selon les réactions suivantes :



Les réactions 1 à 5 sont très rapides, elles s'accomplissent en quelques secondes. Selon les relations stœchiométriques, il faudra 0,9 mg/L de soufre pour éliminer 1 mg/L de chlore résiduel. En pratique, ce rapport est plus élevé (1,05 mg/L de soufre pour 1 mg/L de chlore). Les exigences concernant l'entreposage et les équipements de dosage de bioxyde de soufre sont similaires aux exigences des installations de chlore gazeux.

### Déchloration par bisulfite de sodium ( $\text{NaHSO}_3$ )

Le bisulfite de sodium peut être acheté en solution de teneur jusqu'à 44%. La solution peut être stockée dans des réservoirs en P.V.C, en fibre de verre ou en acier inoxydable. La réaction entre le bisulfite de sodium et le chlore résiduel est la suivante :



### Déchloration par métabisulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )

La réaction entre le métabisulfite de sodium et le chlore résiduel est la suivante :



Les exigences concernant l'entreposage et les équipements de dosage de bisulfite de sodium et de métabisulfite de sodium sont similaires aux exigences relatives aux installations d'hypochlorite de sodium.

#### *14.4.2 Traitement des eaux de lavage des filtres de déferrisation et de démanganisation ( voir aussi section 9.8)*

##### **Décantation**

Ces eaux de procédé sont difficiles à décanter; par conséquent il faudra adopter un taux de décantation relativement faible si les coagulants chimiques ne sont pas utilisés. Il peut varier entre 0,0096 et 0,096 m/h . Le dosage de sel de fer ou d'aluminium permet d'augmenter le taux de décantation à 0,98-1,97 m/h.

Le temps de décantation sera réduit considérablement grâce au dosage d'un polymère ou des sels de fer ou d'aluminium; 85-90% des particules de fer sont décantées après 30 minutes de décantation.

##### **Lagunage et déchloration**

Les solutions décrites dans la section sur les filtres gravitaires s'appliquent ici.

#### *14.4.3 Autres eaux de procédé*

##### *14.4.3.1 Échangeur d'ions*

Les conditions climatiques au Québec ne permettent pas un traitement viable des eaux de régénération, lavage et rinçage par des procédés naturels comme les bassins d'évaporation. Un traitement d'infiltration de ces rejets dans le sol risque de contaminer la nappe phréatique à cause de la grande mobilité des ions de sodium, de chlorure et de nitrate.

##### *14.4.3.2 Procédés membranaires*

##### **Eaux de procédé produites par la nanofiltration des eaux de surface**

Les systèmes membranaires pour le traitement des eaux de surface par la nanofiltration produisent des concentrats ainsi que des eaux de lavage et de rinçage. Certaines de ces eaux doivent être traitées avant d'être retournées au cours d'eau.

Selon de récentes données obtenues au Québec, les concentrats sont légèrement plus concentrés que les eaux brutes en ce qui a trait à des paramètres comme la couleur, le carbone organique total et les matières en suspension. Ces rejets contiennent peu de solides en suspension (<20 mg/L) et de fer (<5 mg/L) pour les eaux brutes légèrement turbides (<10 UTN). Un rejet direct dans un cours d'eau serait possible. Les eaux de lavage des pré-traitements sont légèrement turbides et colorées. Elles peuvent respecter les critères concernant les solides en suspension (<20 mg/L), l'aluminium (<3 mg/L) et le fer (<5 mg/L). Une décharge directe de ce rejet dans un cours d'eau serait possible.

Par contre, les eaux de nettoyage périodique des membranes sont généralement turbides, colorées et peuvent s'avérer toxiques pour la faune aquatique, notamment pour des indicateurs comme les truites et les daphnies. Ces eaux doivent être éliminées adéquatement. Compte tenu du faible volume de ces eaux (quelques dizaines de m3 par mois), différents traitements peuvent être envisagés :

- Neutralisation, stockage et transport par camion à une station d'épuration;
- Neutralisation et stockage dans des étangs;

- Neutralisation et dispersion dans le sol.

Lors des essais de traitabilité ou pilotes, il faudra non seulement analyser les caractéristiques des concentrats et des eaux de lavage, mais il faudra aussi effectuer des tests de toxicité de ces rejets sur les indicateurs environnementaux comme les daphnies et les truites pour vérifier la possibilité d'effectuer des rejets directs dans le milieu récepteur.

### **Eaux de procédé produites par la nanofiltration et l'osmose inverse des eaux souterraines**

Sauf pour quelques ions particuliers comme les nitrates, les concentrations des ions et des composés dans le concentrat peuvent être évaluées sommairement par l'équation suivante :

Concentration d'un ion :  $100 \times (\text{Concentration dans l'eau brute} / \text{Pourcentage de rejet})$ .

Le pourcentage de rejet se situe habituellement entre 90% et 99%.

La section 14.4 du volume 2 donne des exemples de caractérisation des perméats et des concentrats pour des membranes d'osmose inverse et de nanofiltration. Par contre, le manque d'expérience au Québec concernant ces technologies empêche d'indiquer des méthodes de traitement appropriées des rejets d'eaux de procédé en eau souterraine. L'élaboration des fiches techniques du *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* permettra de combler cette lacune.

## **14.5 Traitement des boues**

### *14.5.1 Caractéristiques des boues*

Les boues d'alun en provenance des décanteurs ont une teneur en solides entre 0,5 à 1,5%. Ce sont des boues gélatineuses difficiles à déshydrater. Elles sont chargées en aluminium total (800 à 2567 mg/L), en fer (222 mg/L), et en manganèse (46,5 à 180 mg/L). Les boues de chaux, produites par précipitation des ions de calcium et de magnésium, ont une teneur en solides plus élevée (3 à 5%). De plus, ces boues ont une meilleure décantabilité.

La quantité de boues d'alun peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$S = 0,001 \cdot Q \cdot (0,44Al + SS + A)$$

La quantité de boues de fer peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$S = 0,001 \cdot Q \cdot (2,9 Fe + SS + A)$$

La quantité de boues produite par précipitation peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$S = 0,001 \cdot Q \cdot (2,0 Ca + 2,6 Mg + 0,44 Al + 2,9 Fe + SS + A)$$

où

S : quantité de boues, kg/d  
Q : débit d'eau à traiter, m<sup>3</sup>/d

|      |                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------|
| Ca : | concentration de calcium, mg/L                               |
| Mg : | concentration de magnésium, mg/L                             |
| SS : | concentration des solides en suspension, mg/L                |
| Fe : | concentration de fer ( $\text{Fe}^{+3}$ ), mg/L              |
| Al : | concentration d'alun, mg/L                                   |
| A :  | concentration des polymères ou autres produits ajoutés, mg/L |

#### 14.5.2 Procédés applicables

##### 14.5.2.1 Lagunage (voir aussi section 14.4.1.2)

Les boues des eaux de lavage et les boues des décanteurs peuvent être acheminées vers des étangs d'une capacité de stockage de 3 à 5 ans. L'effluent des étangs est retourné en tête du système de traitement des eaux de procédé.

##### 14.5.2.2 Épaississement

Les boues des eaux de lavage et des décanteurs peuvent être épaissies pour faciliter la déshydratation mécanique ou le séchage.

La configuration d'un épaississeur mécanique est similaire à celle d'un décanteur mécanique. Il est équipé aussi d'un système de raclage de fond et d'un puits d'extraction de boues central. Par contre, le racleur de fond d'un épaississeur est conçu pour permettre une certaine compression des boues. Les boues sont alimentées en continu, de même que l'évacuation du surnageant. L'extraction de boues se fait sur une base périodique; par conséquent, le concepteur doit prévoir une capacité de stockage de boues dans l'épaississeur.

L'épaississeur statique est un bassin rectangulaire muni de pièges à boues à pentes inclinées. La seule pièce mécanique est un déversoir amovible qui permet de recueillir le surnageant à différents niveaux de l'épaississeur. Ces épaississeurs fonctionnent en mode discontinu. Après le remplissage, on laisse décanter les boues; ensuite le surnageant est extrait graduellement par le déversoir amovible jusqu'à l'interface liquide-boues. Il faut au moins deux épaississeurs par installation pour un épaississement en continu. Dans la conception de l'épaississeur, on doit inclure une capacité de stockage de boues.

Les critères de conception d'un épaississeur peuvent être déterminés à partir des essais de décantation sur les boues de la station. Dans le cas d'une nouvelle station, les essais de décantation peuvent être faits sur les boues d'une station existant ayant une eau brute similaire.

Le concepteur peut aussi utiliser des critères de conception empiriques :

- La charge massique appliquée pour les boues de précipitation par la chaux peut varier entre 97,8 et 195,6  $\text{kg/m}^2/\text{d}$  . La siccité des boues peut atteindre 30%;
- La charge massique appliquée pour les boues d'alun est plutôt faible, elle peut varier entre 14,7 et 24,4  $\text{kg/m}^2/\text{d}$  . La siccité des boues varie entre 1 et 3%.

##### 14.5.2.3 Déshydratation mécanique

Un certain nombre d'équipements sont disponibles pour permettre la déshydratation mécanique des boues : filtre à bandes presseuses, filtre-presse, centrifugeuse à vis, presseur rotatif.

Les critères de conception de ces équipements sont variables en fonction de la qualité des boues à déshydrater. Il est donc recommandé de réaliser des essais pilotes avant d'établir les critères définitifs de conception. Les rendements de déshydratation de ces équipements sont donnés à titre d'information au tableau 14-3.

**Tableau 14-3 : Siccité obtenue par différents procédés de déshydratation en fonction des caractéristiques des boues**

| Procédé                    | Boues de chaux | Boues d'alun |
|----------------------------|----------------|--------------|
| Filtre à bandes presseuses | 50-60%         | 20-25%       |
| Filtre-presse              | 55-70%         | 35-45%       |
| Centrifugeuse à vis        | 55-65%         | 20-30%       |
| Filtre presse à diaphragme | ND             | 30-40%       |

#### 14.5.2.4 Lits de séchage conventionnels

Le lit de séchage conventionnel fonctionne selon le principe suivant : les boues sont épandues sur la surface du lit en couches et le séchage se fait par évaporation et transpiration. Les eaux contenues dans les boues doivent être éliminées au maximum par drainage et décantation. La conception d'un lit de séchage doit tenir compte des facteurs suivants : nature des boues à déshydrater, siccité des boues à épandre, épaisseur des couches de boues à épandre, quantité d'eau à enlever par décantation et drainage, taux d'évaporation, méthodes d'enlèvement de boues et destination finale.

La configuration conventionnelle est un bassin rectangulaire de faible profondeur et divisé en plusieurs cellules pour faciliter l'épandage et l'entretien. Le fond du lit est doté d'un système de tuyauterie qui est installé dans le gravier pour le drainage de l'eau et le tout est recouvert par une couche de sable. La composition du lit est la suivante :

- 7,5 cm à 15 cm de graviers grossiers;
- 7,5 cm de graviers moyens;
- 7,5 cm de graviers fins;
- 7,5 cm de sable grossier;
- 15 cm de sable fin.

Les lits de sable doivent être conçus pour permettre un enlèvement des boues sèches par des équipements mécaniques comme les chargeuses frontales. La surface requise peut être estimée par la formule suivante :

$$A = V / (N \cdot D)$$

où

A : surface des lits, m<sup>2</sup>

N : nombre d'épandage par année

D : épaisseur de boues épandues, m  
V : volume annuel de boues à traiter, m<sup>3</sup>.

Le nombre d'épandages par année dépend du climat, du temps de séchage et du temps requis pour enlever les boues séchées et pour préparer les lits. Les boues peuvent être enlevées quand elles ne collent plus au sable et quand elles se prêtent à un enlèvement par chargeuse frontale. L'épaisseur des couches de boues épandues peut varier entre 0,20 m et 0,76 m pour les boues d'alun ou de fer et de 0,30 m à 1,20 m pour les boues de chaux. La siccité des boues d'alun est de 15 à 30% après le séchage, tandis que celle des boues de chaux peut atteindre de 50 à 70%.

#### 14.5.2.5 Lits de séchage par gel-dégel

En régions froides, on peut profiter du phénomène naturel de gel et dégel pour déshydrater les boues. Sous l'effet du gel, l'eau contenue dans les boues se cristallise. Au dégel, elle se libère des boues et s'évacue du lit par les drains collecteurs.

L'épaisseur des couches de boues épandues peut varier en fonction de la situation géographique de la station. Plus la région est nordique, plus on peut augmenter la quantité de boues sur les lits. Les boues peuvent être épandues en plusieurs couches minces cependant il faut s'assurer que la couche de boues déjà épandue est complètement gelée avant d'épandre une autre couche. Cette méthode permet d'épandre plus de boues que si on se limite à un seul épandage par année. Par contre l'opération doit être effectuée durant tout l'hiver.

L'épaisseur de boues pour un seul épandage ne doit pas dépasser 0,60 m pour assurer un gel complet sur toute la couche de boues. Dans une station où les lits de séchage par gel-dégel sont utilisés exclusivement, il faut prévoir une capacité de stockage de boues d'au moins un an. Les boues ainsi déshydratées peuvent atteindre une siccité de 25 à 35%. Un séchage supplémentaire de quelques semaines après le dégel peut améliorer de beaucoup la siccité. Les critères de conception pour les lits de séchage sont les suivants :

- Les lits doivent avoir une profondeur suffisante pour permettre un remplissage de 0,30 à 0,60 m de boues;
- Ils doivent pouvoir contenir le volume total des boues produites sur une période d'un an;
- Les lits doivent être divisés en plusieurs cellules pour faciliter le nettoyage et l'entretien;
- Ils doivent être munis d'un système de distribution pour permettre un épandage uniforme des boues ainsi que d'un système de drains collecteurs sous la couche de sable filtrant;
- Le sol, en dessous du lit, doit être suffisamment imperméable pour limiter l'infiltration.

#### 14.5.2.6 Destination finale

En fonction de la qualité des boues ainsi traitées dont il faut disposer, deux scénarios pourront être envisagés : la valorisation ou l'enfouissement. Si la valorisation est envisagée, il faudra faire une caractérisation des boues produites afin de vérifier si elles rencontrent les critères pour la valorisation des matières résiduelles fertilisantes du MENV.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 15

|                                                                                                    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>15. CRITÈRES GÉNÉRAUX POUR LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT .....</b>                            |  |
| <b>15.1 Débits de conception .....</b>                                                             |  |
| <b>15.2 Redondance .....</b>                                                                       |  |
| <b>15.3 Autres éléments généraux de conception .....</b>                                           |  |
| <b>15.4 La sécurité des postes de travail .....</b>                                                |  |
| <i>15.4.1 La prévention dans la conception d'une installation de production d'eau potable.....</i> |  |
| <i>15.4.2 Généralités concernant la manutention et l'utilisation de produits chimiques .....</i>   |  |
| 15.4.2.1 Systèmes de dosage.....                                                                   |  |
| 15.4.2.2 Réactifs chimiques .....                                                                  |  |
| 15.4.2.3 Équipements de dosage.....                                                                |  |
| 15.4.2.4 Réservoirs de solution.....                                                               |  |
| 15.4.2.5 Pesage .....                                                                              |  |
| 15.4.2.6 Conduites d'alimentation .....                                                            |  |
| 15.4.2.7 Eau de service .....                                                                      |  |
| 15.4.2.8 Bâtiment .....                                                                            |  |
| <i>15.4.3 La manutention et l'entreposage de produits chimiques .....</i>                          |  |
| 15.4.3.1 Les produits chimiques liquides.....                                                      |  |
| 15.4.3.2 Les produits chimiques secs.....                                                          |  |
| 15.4.3.3 Les produits chimiques gazeux.....                                                        |  |
| <i>15.4.4 Le dosage et la distribution des produits chimiques .....</i>                            |  |
| 15.4.4.1 Les produits chimiques liquides.....                                                      |  |
| 15.4.4.2 Les produits chimiques secs.....                                                          |  |
| 15.4.4.3 Les produits chimiques gazeux .....                                                       |  |
| <i>15.4.5 Les dispositifs à rayonnement ultraviolet .....</i>                                      |  |
| <i>15.4.6 Le laboratoire .....</i>                                                                 |  |

## 15. CRITÈRES GÉNÉRAUX POUR LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT

Ce chapitre regroupe certains des éléments communs à la conception des installations ainsi qu'une synthèse des éléments de conception reliés à la sécurité.

### 15.1 Débits de conception

De la prise d'eau jusqu'à la sortie du traitement (typiquement à l'entrée du réservoir d'eau traitée), les ouvrages sont habituellement conçus sur la base de la valeur maximum du débit journalier prévu au terme de la période de conception. Selon les détails fournis au chapitre 5, ce débit inclut les besoins propres des installations (lavage des filtres par exemple). Les situations particulières où le stockage d'eau traitée ne permet pas de faire face aux variations horaires de la demande méritent d'être analysées en détail.

### 15.2 Redondance

Le principe de redondance proposé dans ce chapitre a pour but de guider les ingénieurs dans la conception des systèmes de traitement. Pour les installations de grande capacité qui comprennent déjà plusieurs unités de traitement, le principe de redondance peut facilement être appliqué sans augmentation importante de coûts. Par contre, pour les petites installations, certaines dérogations sont possibles pour réduire les coûts de construction. Il revient au concepteur de justifier ces dérogations en vérifiant si elles ont une implication majeure sur la qualité de l'eau distribuée.

- Toute installation de traitement doit être pourvue d'au moins deux unités de filtration ou plus pour une opération continue et sans interruption de service lors des travaux de d'entretien ou de réparation des filtres. Les filtres doivent pouvoir traiter le débit journalier maximum de conception lorsqu'une unité de filtration est mise hors service et chaque unité de filtration doit pouvoir opérer indépendamment;
- La même règle que pour les filtres s'applique pour tout système de désinfection requis pour atteindre le niveau d'élimination des parasites et des virus requis par le *RQEP* (atteinte des CT requis). Il en va de même pour les équipements de dosage de produits chimiques visant à atteindre les normes de qualité du *RQEP*.
- Le *Comité sur les technologies de traitement* a examiné de façon particulière la redondance en matière de désinfection UV. Les éléments de redondance de la désinfection par rayonnement UV sont présentés à la section 10.4.5.5 et repris ici dans le tableau 15-1;

**Tableau 15-1 : Exemples de redondance pour les systèmes de désinfection U.V. appliqués sur l'eau filtrée combinée**

| NOMBRE D'UNITÉS INSTALLÉES<br>(% Q conception) | UNITÉ EN ATTENTE<br>(% Q conception) |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 2 unités 100 %                                 | 1 unité 100 %                        |
| 3 unités parallèles 50 %                       | 1 unité 50 %                         |
| 4 unités parallèles 33 %                       | 1 unité 33 %                         |
| 5 unités parallèles 25 %                       | 1 unité 25 %                         |
| 6 unités parallèles 20 %                       | 1 unité 20 %                         |

- La redondance des autres unités de traitement, outre la filtration et la désinfection requise pour l'élimination des parasites et des virus, est laissée à la discrétion du concepteur qui doit considérer l'impact de l'arrêt d'une de ces unités sur le reste de la chaîne de traitement. Par ailleurs, lorsque le débit de conception est supérieur à 1500 m<sup>3</sup>/d, il est préférable de prévoir au moins deux décanteurs pouvant répondre au minimum, au débit journalier moyen de conception lorsqu'une unité est mise hors service;
- Le principe de redondance ne s'appliquera pas obligatoirement aux systèmes de traitement visant des contaminants esthétiques (fer, manganèse et dureté) si ces traitements n'ont pas d'impact sur la désinfection;
- Le concepteur doit concevoir son système de traitement afin de minimiser les inconvénients pour les consommateurs, même sur une courte période;
- Ces principes n'excluent pas l'obligation pour l'exploitant de fournir en tout temps une eau qui respecte le *Règlement sur la qualité de l'eau potable*.

### 15.3 Autres éléments généraux de conception

Quelques éléments particuliers de conception sont présentés ci-après. D'autres, de type « règles de l'art » se retrouvent dans le volume 2.

- Toutes les composantes en contact avec l'eau devront satisfaire les exigences énoncées dans les normes de l'AWWA B100-89 ou de NSF61. Le BNQ travaille actuellement à la préparation d'une norme qui sera plus complète que la norme NSF61;
- Protection des réservoirs d'eau claire : s'assurer que les bassins d'eau claire ne seront pas contigus à des bassins d'eau non-potable. Si c'est le cas, séparer les bassins par un mur ou une cloison double. Pour les installations existantes ayant un mur ou une cloison simple, la situation actuelle peut être maintenue en autant qu'une inspection régulière est réalisée et ne révèle pas un problème d'étanchéité. Dans le cas d'unités préfabriquées en acier placées sur une base de béton au-dessus du réservoir d'eau claire, l'exigence mentionnée précédemment ne s'applique pas, car de telles installations sont munies d'un double fond;
- Génératrice d'urgence : une génératrice d'urgence peut être exigée lorsque l'eau doit être traitée et/ou pompée dans le réseau de distribution durant les pannes de courant. Elle sera nécessaire notamment dans les cas où la panne entraînerait une cessation complète du service (p. ex., lorsqu'il n'y a pas de source auxiliaire d'urgence à la source principale);
- Filtres gravitaires :
  - Les filtres doivent être logés dans une bâtisse chauffée;
  - Les drains de toit ne sont pas acceptés sur les filtres;
  - Les fenêtres donnant directement sur les filtres sont à déconseiller afin d'éviter le développement des algues;
  - Un éclairage adéquat de la surface des filtres est nécessaire pour la surveillance des matériaux en expansion. Un dispositif, règle graduée ou autre, doit être installé à l'intérieur des filtres de manière à pouvoir suivre la hauteur du lit de matériaux filtrants en place au fil des lavages;
  - Les murs intérieurs des filtres doivent être lisses et verticaux;
  - Des rebords d'une hauteur minimale de 90 mm et des garde-corps sont exigés autour des filtres;

- Les passerelles d'accès aux filtres doivent avoir une largeur minimale de 600 mm et être localisées pour permettre une inspection et un entretien faciles;
- Le milieu filtrant sera lavé et tamisé et exempt de matières étrangères.
- Filtres au sable vert, sur média conditionné et autres médias;  
Les accessoires requis sur chaque filtre sont :
  - Un système de contrôle du débit pour assurer l'équipartition entre les filtres;
  - Un système d'isolation à l'entrée et à la sortie de chacun des filtres;
  - Une jauge de perte de charge;
  - Une prise d'échantillonnage d'eau brute et d'eau filtrée;
- Identification des conduites : le code de couleurs suivant est recommandé pour la tuyauterie des installations de traitement d'eau potable.

**Tableau 15-2 : Codes de couleurs de la tuyauterie**

| NATURE DU CONTENU                            | COULEUR                                                              |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Conduites d'eau</b>                       |                                                                      |
| Eau brute                                    | Vert olive                                                           |
| Eau après clarification                      | Aqua                                                                 |
| Eau traitée                                  | Bleu-aqua                                                            |
| <b>Conduites de produits chimiques</b>       |                                                                      |
| Alun ou coagulant primaire                   | Orange                                                               |
| Ammoniaque                                   | Blanc                                                                |
| Suspension de charbon                        | Noir                                                                 |
| Caustique                                    | Jaune avec bandes vertes                                             |
| Chlore (gaz ou solution)                     | Jaune                                                                |
| Lait de chaux                                | Vert clair                                                           |
| Ozone                                        | Jaune avec bandes oranges                                            |
| Composés phosphatés                          | Vert clair avec bandes rouges                                        |
| Polymères ou aide-coagulants                 | Orange avec bandes vertes                                            |
| Permanganate de potassium                    | Violet                                                               |
| Carbonate de sodium                          | Vert clair avec bandes oranges                                       |
| Acide sulfurique                             | Jaune avec bandes rouges                                             |
| Bioxyde de soufre                            | Vert clair avec bandes jaunes                                        |
| <b>Rejets liquides</b>                       |                                                                      |
| Eau de lavage                                | Brun clair                                                           |
| Boues                                        | Brun foncé                                                           |
| Égout                                        | Gris foncé                                                           |
| <b>Autres conduites</b>                      |                                                                      |
| Air comprimé                                 | Vert foncé                                                           |
| Gaz                                          | Rouge                                                                |
| Autres conduites                             | Gris clair                                                           |
| <b>Divers</b>                                |                                                                      |
| Poignées de vannes, équipement contre le feu | Rouge                                                                |
| Pompes et moteurs                            | Même couleur que les tuyaux ou d'une teinte plus pâle ou plus foncée |
| Moteurs d'urgence                            | Orange brûlé                                                         |
| Vacuum                                       | Gris foncé                                                           |

Par ailleurs, l'identification descriptive des conduites comporte de nombreux avantages sur le code de couleurs. Il diminue les coûts de maintenance et d'inventaire de peinture, en plus de permettre une plus grande précision que celle du code de couleurs.

L'identification descriptive doit comprendre : le nom de la substance, le sens de l'écoulement et les sources de dangers, telles que gaz toxique ou explosif, acides, eau chaude, vapeur, etc.

#### **15.4 La sécurité des postes de travail**

Cette section regroupe les éléments génériques de conception à considérer afin d'assurer un environnement de travail sécuritaire surtout en ce qui concerne les produits chimiques. La section 15.4 du volume 2 décrit les éléments spécifiques (chlore par exemple).

##### *15.4.1 La prévention dans la conception d'une installation de production d'eau potable*

Afin de déterminer les mécanismes de prévention qui devront être retenus à chacune des étapes de traitement, il faut déterminer, dans un premier temps, les dangers qu'elles représenteront pour le travailleur dans l'exercice de ses fonctions. Souvent, les risques apparaissent lorsque le travailleur doit intervenir à des fins d'entretien sur les infrastructures et les équipements relatifs à un procédé. Ils prennent de l'ampleur à partir du moment où il pénètre à l'intérieur des bassins, goulottes et conduites, qui sont dans la plupart des cas des espaces clos. Ces postes de travail peuvent constituer un piège et sont donc hautement risqués pour quiconque y accède.

Les tableaux qui suivent mettent en relief les dangers que peuvent représenter les postes de travail pour le travailleur. Dans un deuxième temps, le concepteur s'assurera que les mécanismes de prévention à la source retenus seront aptes à faire face aux dangers qui découlent des différentes tâches. À cet effet, une deuxième série de tableaux résumant les options qui s'offrent à lui. Encore une fois, il s'agit de considérations d'ordre général. Un poste de travail en particulier peut comporter des risques n'apparaissant pas dans les tableaux.

Abréviations utilisées dans les tableaux :

- NA : non-applicable;
- AV : à vérifier;
- X : inhérent au poste de travail;
- SPR : selon le procédé retenu.

**Tableau 15-3 : Risques encourus par le personnel dans les différents postes de travail**

| <b>ÉNUMÉRATION DES RISQUES PAR POSTE DE TRAVAIL (TABLEAU 1 DE 3)</b>                                                                                       | <b>Dégrillage</b> | <b>Poste de relèvement</b> | <b>Bassins de mélange / de floculation</b> | <b>Décanteur</b> | <b>Filtre gravitaire</b> | <b>Bassin d'ozonation</b> | <b>Réservoir distribution d'eau potable</b> | <b>Autres procédés</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|------------------------|
| Chute dans les puits mouillés ou dans un bassin                                                                                                            | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Noyade par immersion dans les eaux                                                                                                                         | X                 | X                          | X                                          | X                | NA                       | X                         | X                                           | AV                     |
| Glissade sur une surface mouillée ou rendue glissante par l'apport d'eau, de sédiments ou de boue                                                          | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Blessure à un ou des membres lors d'une remise en marche inopinée des pompes ou des appareils mécaniques lors de leur entretien                            | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | NA                        | X                                           | AV                     |
| Dégagement instantané de pression lors du travail sur une conduite pressurisée ou sur ses accessoires (vanne, clapet, régulateur de pression, pompe, etc.) | X                 | X                          | X                                          | X                | NA                       | X                         | X                                           | AV                     |
| Submergence accidentelle du bassin lors des travaux de vidange et de nettoyage                                                                             | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Chute d'équipements ou d'accessoires d'un palier à l'autre, particulièrement au moment de leur levage                                                      | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |

| <b>ÉNUMÉRATION DES RISQUES PAR POSTE DE TRAVAIL (TABLEAU 2 DE 3)</b>                                                        | <b>Dégrillage</b> | <b>Poste de relèvement</b> | <b>Bassins de mélange / de floculation</b> | <b>Décanteur</b> | <b>Filtre gravitaire</b> | <b>Bassin d'ozonation</b> | <b>Réservoir distribution d'eau potable</b> | <b>Autres procédés</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|------------------------|
| Entraînement et coincement aux orifices d'aspiration des pompes                                                             | NA                | X                          | NA                                         | NA               | NA                       | NA                        | X                                           | AV                     |
| Infection contractée au contact d'eaux, sédiments et équipements contaminés                                                 | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | NA                        | NA                                          | AV                     |
| Contact avec des produits de lubrification servant à l'entretien des équipements                                            | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | NA                        | X                                           | AV                     |
| Isolement dans un espace clos que constitue un bassin ou un puits mouillé ou sec                                            | X                 | X                          | X                                          | X                | NA                       | X                         | X                                           | AV                     |
| Contamination de l'air ambiant par des produits chimiques utilisés pour nettoyer ou désinfecter                             | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Émanation d'un réactif volatil se dosant à cette étape de traitement ou encore en amont                                     | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Contamination de l'air ambiant par des produits chimiques volatils utilisés pour l'entretien des équipements en espace clos | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Électrisation lors d'emploi d'outillage électrique ou de travaux sur les composantes électriques du procédé                 | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |

| <b>ÉNUMÉRATION DES RISQUES PAR POSTE DE TRAVAIL (TABLEAU 3 DE 3)</b>                                           | <b>Dégrillage</b> | <b>Poste de relèvement</b> | <b>Bassins de mélange / de floculation</b> | <b>Décanteur</b> | <b>Filtre gravitaire</b> | <b>Bassin d'ozonation</b> | <b>Réservoir distribution d'eau potable</b> | <b>Autres procédés</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|------------------------|
| Vandalisme dû à l'isolement du poste de relèvement et/ou de traitement                                         | X                 | X                          | X                                          | X                | X                        | X                         | X                                           | AV                     |
| Éclairage insuffisant lors d'intervention dans l'espace clos que constituent les puits mouillés ou les bassins | X                 | X                          | X                                          | X                | NA                       | X                         | X                                           | AV                     |
| Refroidissement en présence d'eau froide et de l'humidité ambiante                                             | X                 | X                          | X                                          | X                | NA                       | X                         | X                                           | AV                     |
| Incendie de composantes électriques (filage, transformateur, démarreur, moteur, etc.)                          | X                 | X                          | X                                          | NA               | NA                       | NA                        | X                                           | AV                     |
| Exposition aux bruits provenant de la mécanique de procédé                                                     | NA                | X                          | NA                                         | NA               | NA                       | NA                        | X                                           | AV                     |

**Tableau 15-4 : Prévention à la source à implanter dès l'étape de conception**

| <b>PRÉVENTION À LA SOURCE<br/>PAR<br/>POSTE DE TRAVAIL<br/>(TABLEAU 1 DE 2)</b>                                                                                                                           | <b>Dégrillage</b> | <b>Poste de<br/>relèvement</b> | <b>Bassins de<br/>mélange / de<br/>Floculation</b> | <b>Décanteur</b> | <b>Filtre<br/>gravitaire</b> | <b>Bassin<br/>d'ozonation</b> | <b>Réservoir<br/>distribution<br/>d'eau potable</b> | <b>Autres<br/>procédés</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| Le pourtour d'un bassin ouvert doit être muni en tout temps de garde-corps réglementaires                                                                                                                 | X                 | NA                             | X                                                  | X                | X                            | NA                            | NA                                                  | SPR                        |
| Il y a lieu de munir les regards et trappes d'accès de garde-corps démontables afin de prévenir les chutes lorsqu'ils sont ouverts                                                                        | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| Lorsque la profondeur de descente dépasse trois mètres il faut prévoir l'installation de paliers et de crinolines de sécurité ou l'emploi d'un dispositif anti-chute                                      | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| Pour évacuer l'eau et les saletés pouvant s'accumuler sur le plancher, installer des goulottes et des drains alimentant un puisard d'évacuation                                                           | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | NA                            | X                                                   | SPR                        |
| Doter tous les mécanismes de transmission externes de gardes de protection amovibles                                                                                                                      | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| Munir les équipements (mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, électriques et autres) de dispositifs de verrouillage afin d'intervenir sur ceux-ci de façon sécuritaire lors d'entretien ou de réparation | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |

| <b>PRÉVENTION À LA SOURCE<br/>PAR<br/>POSTE DE TRAVAIL<br/>(TABLEAU 2 DE 2)</b>                                                                                            | <b>Dégrillage</b> | <b>Poste de<br/>relèvement</b> | <b>Bassins de<br/>mélange / de<br/>Floculation</b> | <b>Décanteur</b> | <b>Filtre<br/>gravitaire</b> | <b>Bassin<br/>d'ozonation</b> | <b>Réservoir<br/>distribution<br/>d'eau potable</b> | <b>Autres<br/>procédés</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| Indiquer clairement la charge maximale autorisée sur les dispositifs de levage employés pour soulever les équipements                                                      | X                 | X                              | X                                                  | X                | NA                           | NA                            | X                                                   | SPR                        |
| Identifier comme espaces clos les puits, goulottes et bassins                                                                                                              | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| L'installation de tapis non conducteurs permet, dans les endroits à risques, de limiter les dangers d'électrification                                                      | X                 | X                              | NA                                                 | NA               | NA                           | NA                            | NA                                                  | SPR                        |
| Prévoir les infrastructures limitant l'accès aux stations de relèvement et postes de traitement qui se trouvent à l'écart des installations principales ou en milieu isolé | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| Installer des disjoncteurs différentiels pour personnes (GFI) sur les prises monophasées de 120/240 volts situées à proximité des puits mouillés, goulottes et bassins     | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| Munir le poste de travail d'extincteurs de type ABC en nombre suffisant                                                                                                    | X                 | X                              | X                                                  | X                | X                            | X                             | X                                                   | SPR                        |
| Fournir une bouée de sauvetage munie d'un câble lorsque la surface du bassin est ouverte, ne serait-ce qu'en partie                                                        | X                 | NA                             | NA                                                 | X                | X                            | NA                            | NA                                                  | SPR                        |
| Isoler du reste de la station, chauffer et ventiler séparément                                                                                                             | X                 | NA                             | NA                                                 | NA               | si biofiltre                 | NA                            | NA                                                  | SPR                        |

#### 15.4.2 Généralités concernant la manutention et l'utilisation de produits chimiques

Tous les produits chimiques ajoutés à l'eau potable doivent être approuvés par les autorités compétentes.

##### 15.4.2.1 Systèmes de dosage

Les plans et devis du système de dosage doivent inclure les items suivants :

- Une description du système avec différents éléments dont les capacités maximales et minimales;
- La localisation des doseurs, de la conduite d'alimentation et des points d'application;
- La possibilité d'entreposage et la facilité de manutention;
- Les spécifications sur les réactifs chimiques utilisés;
- Le fonctionnement et le contrôle du système;
- La procédure et les instruments pour effectuer les essais de contrôle.

##### 15.4.2.2 Réactifs chimiques

###### **Qualité**

- Les contenants de produits chimiques doivent être étiquetés clairement. Les spécifications suivantes sont requises : nom scientifique, composition, pureté, concentration ainsi que le nom et l'adresse du fournisseur;
- Les réactifs doivent répondre aux spécifications et aux normes fixées par les autorités compétentes;
- Dans certains cas, une provision supplémentaire sera requise pour fin d'essai.

###### **Utilisation**

Les produits chimiques doivent être appliqués en considérant :

- Une certaine flexibilité d'opération en prévoyant différents points d'application appropriés;
- Une protection contre le refoulement ou le siphonnement entre plusieurs points d'alimentation d'un système d'alimentation multiple;
- La sécurité pour le personnel.

###### **Manutention**

- Les dispositifs de mesure de débit sont exigés pour déterminer la quantité de réactifs utilisés dans la préparation de la solution d'alimentation;
- Les réservoirs d'entreposage et la tuyauterie devraient être conçus en fonction des caractéristiques du produit chimique entreposé;
- Les produits chimiques incompatibles ne doivent pas être appliqués, entreposés ou manipulés ensemble;
- Une pompe de transfert est obligatoire pour le transvasement des réactifs liquides à partir des barils vers les réservoirs de solution;

- Les solutions d'acide doivent être entreposées dans des réservoirs hermétiques résistants à la corrosion. Il est interdit de les transporter dans des réservoirs ouverts. Cependant on peut les pomper sous forme concentrée vers les points d'application ou vers un réservoir auxiliaire (*day tank*) hermétique;
- Des chariots, palans, ascenseurs ou moyens appropriés doivent être prévus pour assurer une manutention facile et sécuritaire des contenants de réactif chimique;
- Les sacs ou contenants vides doivent être entreposés dans des endroits réservés à cette fin.

### **Entreposage**

- L'entrepôt doit être conçu afin de répondre aux critères suivants :
  - Un entreposage minimal de 30 jours;
  - Une facilité d'entreposage et de manutention;
  - Quand les réactifs sont livrés par véhicules, la capacité minimale d'entreposage doit être d'une fois et demie la capacité de livraison des véhicules d'approvisionnement;
- Lors de la livraison, les produits chimiques doivent être entreposés dans des contenants hermétiques;
- Les réservoirs auxiliaires (*day tank*) doivent avoir une capacité permettant une journée d'opération;
- Les réservoirs d'acide doivent être munis d'un évent à l'atmosphère complètement séparé de celui du réservoir auxiliaire.

#### 15.4.2.3 Équipements de dosage

### **Installation**

- Les mesures suivantes doivent être prises pour éviter le siphonnement des solutions liquides dans la conduite d'alimentation d'eau :
  - Assurer que la conduite d'eau est toujours sous pression aux points d'application;
  - Prévoir un soulagement par vacuum;
  - Prévoir un soulagement par air;
- La conduite d'eau alimentant les doseurs doit être munie de vannes anti-retour;
- La conduite d'eau alimentant les réservoirs de solution chimique doit être installée plus haut que le niveau maximal du liquide;
- La surface intérieure du réservoir en contact avec les solutions chimiques doit être à l'épreuve de la corrosion ou des attaques des réactifs chimiques;
- Les doseurs à sec peuvent effectuer des dosages gravimétriques ou volumétriques des réactifs pulvérulents. Les doseurs doivent produire une solution de réactifs appropriée dans le bac de dissolution. Il est préférable que la solution soit alimentée par gravité vers les points d'application. Le système de dosage de réactifs pulvérulents doit être hermétique;
- Aucun raccordement direct entre l'égout et les drains ou le trop-plein du réservoir ou du bac de dissolution n'est permis.

### **Localisation des doseurs**

Les doseurs doivent être installés près des points d'application afin de réduire la longueur de la conduite d'alimentation de solution de produits chimiques et dans des endroits d'accès facile pour faciliter la maintenance et la surveillance du fonctionnement du système. Des mesures de

précaution doivent être prévues afin que les solutions répandues par accident ne puissent infiltrer ou contaminer les unités de traitement ou les réservoirs.

#### 15.4.2.4 Réservoirs de solution

- Chaque réservoir doit être muni d'un drain : aucun raccordement direct entre l'égout et le drain n'est permis. Il doit y avoir une séparation à l'air libre d'une distance minimale de 7,5 cm entre le drain et le niveau maximal d'eau dans le canal d'évacuation ou dans le puisard;
- Une colonne de lecture ou un dispositif pour mesurer le niveau sont exigés pour chaque réservoir. De plus, il sera pratique d'avoir une colonne supplémentaire pour effectuer le calibration des pompes doseuses si celles-ci sont alimentées directement par le réservoir;
- L'entrée de l'eau de dilution au réservoir doit être localisée à une distance minimale de 15 cm plus haut que le niveau maximal du liquide dans le réservoir ou le trop-plein. Dans les cas contraires, les dispositifs anti-retours seront obligatoires;
- Les solutions chimiques doivent être entreposées dans des réservoirs ou contenants hermétiques;
- La conduite de trop-plein doit être dirigée vers le bas et munie d'une grille de protection contre les insectes et les oiseaux. Elle doit se décharger à l'air libre et dans un endroit visible pour fin de vérification;
- Les grands réservoirs doivent être munis d'ouvertures d'accès dotées de trappes étanches.

#### 15.4.2.5 Pesage

- Les balances encastrées au plancher sont exigées pour le pesage de bonbonnes ou cylindres de chlore. Dans des installations importantes, un enregistrement continu du poids des cylindres sur la balance est préférable;
- Les balances sont aussi exigées pour les doseurs à sec volumétriques ou le dosage des solutions de fluorure.

#### 15.4.2.6 Conduites d'alimentation

- Les conduites d'alimentation des réactifs chimiques doivent être :
  - Aussi courtes que possible;
  - Durables et résistantes au choc et à la corrosion;
  - Protégées contre le gel;
  - Accessibles sur toute la longueur;
  - Faciles à nettoyer;
- Les conduites transportant les gaz doivent être inclinées vers le haut à partir du cylindre vers les doseurs;
- Les conduites d'alimentation doivent être conçues en fonction de la caractéristique de la solution à transporter. Pour les solutions corrosives, elles doivent assurer une application efficace avec un minimum de risques de corrosion pour les équipements communs.

#### 15.4.2.7 Eau de service

- L'eau utilisée pour la dissolution des produits solides, pour la dilution des solutions ou pour l'alimentation des pompes doseuses doit être potable et désinfectée adéquatement. Elle doit être en quantité suffisante, d'une pression adéquate et suffisamment adoucie lorsque requis. Quand l'eau est utilisée pour la préparation d'une solution spécifique par dilution, les mesures de débit sont exigées (dosage des solutions de fluorures);
- Les conduites d'eau alimentant les pompes doseuses devront être munies de vannes anti-retour.

#### 15.4.2.8 Bâtiment

- Les salles de doseurs doivent être facilement accessibles pour faciliter les services d'entretien, de surveillance et de réparation;
- Les planchers de ces salles doivent être lisses, imperméables, antidérapants et légèrement inclinés (minimum de 2,5%) pour assurer un drainage adéquat;
- Autour des bacs de solutions, des réservoirs et des conduites, on devra prévoir un système de drainage adéquat pour évacuer rapidement les déversements accidentels ou vidanger le produit chimique;
- Les chambres de dosage et d'entreposage de chlore gazeux devront se conformer aux directives mentionnées à la section 16.6.4.

### 15.4.3 La manutention et l'entreposage de produits chimiques

#### 15.4.3.1 Les produits chimiques liquides

##### **Réception et entreposage des réactifs liquides en vrac**

Les produits chimiques en vrac sont normalement livrés par des camions citernes de type semi-remorque dont le volume peut dépasser les 20 000 litres. Le point de chargement est constitué d'un tuyau dont le matériel a été sélectionné en fonction de sa résistance au réactif et muni à son extrémité d'un raccord avec bouchon d'un diamètre déterminé. Le livreur y branchera un conduit flexible lui permettant de vider le contenu de la citerne dans un réservoir normalement situé à l'intérieur d'un bâtiment. Celui-ci permet, par sa capacité, d'avoir une certaine flexibilité d'opération et d'espacer les livraisons dans le temps. Les moyens les plus couramment utilisés pour décharger la citerne sont de recourir à un compresseur (pressurisation) ou à une pompe qui débite le produit. Les opérations de déchargement comportent de nombreux risques qui peuvent causer préjudice aux personnes affectées à cette tâche, et ceci principalement dans les cas suivants:

- Un véhicule à l'arrêt peut se remettre en mouvement accidentellement;
- Le livreur peut se tromper de point de déchargement et déverser le réactif dans un réservoir contenant une autre substance, celle-ci pouvant même être incompatible;
- À la limite, un camion peut contenir un autre produit que celui commandé, suite à une erreur d'aiguillage;
- Une éclaboussure majeure de produit chimique;

- Un relâchement instantané de pression;
- Un boyau dont le raccord se déboîte et qui se met à fouetter;
- Une fuite sur la tuyauterie ou un débordement du réservoir;
- Une glissade sur une plaque de glace ou de réactif;
- Des vapeurs du produit contaminant l'air ambiant.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Identifier adéquatement le point de livraison;
- Afficher une étiquette du lieu de travail adaptée sur ou près du réservoir;
- Avoir une conduite de trop-plein évacuant un surplus possible de réactif;
- Recourir à un système de détection avec alarme de haut niveau;
- Avoir un conduit d'évent pour évacuer vers l'extérieur les émanations provenant du réservoir;
- Recourir aux matériaux recommandés pour entreposer et véhiculer le réactif;
- Munir le réservoir d'une ouverture suffisante, étanche et d'accès sécuritaire;
- Doter la salle du réservoir d'une plage de confinement du réactif;
- Prévoir les dispositifs de verrouillage sur le point de livraison et son accès;
- Installer près du réservoir et du lieu de déchargement une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

Dans le cas d'une installation utilisant une quantité importante de réactifs, un réservoir devra être construit pour faciliter la manipulation et le dosage. Le réservoir doit résister à la corrosion et aux contraintes mécaniques entraînées par le remplissage du réservoir. De plus, ce réservoir doit répondre aux normes suivantes :

- Avoir la capacité totale égale à au moins une fois et demie la capacité d'un camion-citerne;
- Reposer sur une base solide, protégée par un revêtement adéquat. Le réservoir doit être entouré d'un bassin d'urgence pour recueillir les déversements ou débordements accidentels. Le bassin d'urgence doit avoir une capacité équivalente à celle du réservoir d'entreposage;
- **Comporter les dispositifs suivants :**
  - Un dispositif de remplissage situé à sa partie supérieure;
  - Un système d'aération communiquant avec l'extérieur du bâtiment;
  - Un regard fermé hermétiquement;
  - Un indicateur de niveau sécuritaire;
  - Un orifice de vidange dans le fond du réservoir;
  - Un trop-plein;
- Il est convenu que les pompes doseuses soient placées sur des socles et dans une enceinte afin d'éviter des inconvénients circonstanciels;
- Un dispositif doit être prévu pour indiquer le bas et le haut niveau dans le réservoir. De plus, il doit être couplé à une alarme sonore ou visuelle;
- L'aire de déchargement des camions-citernes doit être libre et sans obstacle jusqu'à la bride d'alimentation et des réservoirs;
- La prise d'alimentation doit être placée dans une boîte cadenassée pour la protéger contre le vandalisme;

- Un système doit permettre d'avertir le personnel à l'intérieur de la station du début et de l'arrêt de l'opération.

### **La manutention des réactifs liquides en récipients**

Les réactifs chimiques liquides peuvent aussi être livrés dans des contenants de capacités diverses, selon les disponibilités du fournisseur et les besoins de l'utilisateur. Les plus populaires vont de la chaudière de 20 litres au cubitainer de plus de 1000 litres en passant par le baril dont la capacité avoisine les 200 litres. En ce qui a trait à la manutention des contenants, la prévention à la source débute par l'installation d'une plate-forme de réception ou d'un quai de déchargement. Par la suite, on aura recours aux aides mécaniques appropriés pour transporter à destination les contenants. Ainsi, le chariot à fourches manuel ou motorisé est fait sur mesure pour déplacer les cubitainers ainsi que tous récipients empilés sur une palette. Les barils peuvent se mouvoir facilement à l'aide de diables spécifiquement conçus à cet effet. En ce qui concerne l'entreposage, les lieux choisis doivent être facilement accessibles et suffisamment éclairés. Dans le cas d'un produit sensible à la précipitation, il faudra porter une attention toute spéciale à la température des lieux. Pour l'entreposage d'un réactif volatil, une ventilation suffisante des lieux de manutention est requise.

#### 15.4.3.2 Les produits chimiques secs

### **Réception et entreposage de réactifs secs en vrac**

Les produits chimiques solides en vrac sont normalement livrés par des camions munis d'un réservoir de type semi-remorque. Le point de chargement est généralement constitué d'un tuyau dont le matériel résiste au dit réactif et est muni à son extrémité d'un raccord avec bouchon d'un diamètre déterminé. Le livreur y branchera un conduit flexible lui permettant de vider le contenu du réservoir dans un silo situé ou non à l'intérieur d'un bâtiment. Celui-ci permet par sa capacité d'avoir une certaine flexibilité d'opération et d'espacer les livraisons dans le temps. Le moyen le plus couramment utilisé pour vider le réservoir est de recourir à un compresseur (pressurisation). Les opérations de déchargement comportent de nombreux risques qui peuvent causer préjudice aux personnes affectées à cette tâche, dont principalement dans les cas suivants:

- Un véhicule, bien qu'à l'arrêt, peut se remettre en mouvement accidentellement;
- Le livreur peut se tromper de point de déchargement et déverser le réactif dans un silo contenant une autre substance qui peut même être incompatible;
- Suite à une erreur d'aiguillage, le camion peut contenir un autre produit que celui commandé;
- Un épandage majeur de produit chimique;
- Un relâchement instantané de pression;
- Un boyau dont le raccord se déboîte et qui se met à fouetter;
- Une fuite sur la tuyauterie ou un débordement du silo;
- Une chute sur une plaque de glace ou occasionnée par un amoncellement de réactif;
- Des poussières du produit contaminant l'air ambiant.

### **LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION**

- Identifier adéquatement le point de livraison;
- Afficher l'étiquette du lieu de travail sur ou près du silo;
- Recourir à un système de détection avec alarme de haut niveau;

- Avoir un évent muni d'une vanne de sûreté au sommet du silo;
- Munir le sommet du silo d'un dispositif de dépoussiérage efficace;
- Recourir aux matériaux recommandés pour entreposer et véhiculer le réactif;
- Munir le silo d'une ouverture suffisante, étanche et d'accès sécuritaire;
- Assurer un accès sécuritaire aux personnes devant se rendre au sommet du silo;
- Prévoir les dispositifs de verrouillage du point de livraison et de son accès;
- Installer près du réservoir et du lieu de déchargement une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

Dans le cas d'une installation utilisant une quantité importante de réactifs solides pulvérulents (p. ex., chaux hydratée ou charbon actif en poudre), un silo doit être construit pour simplifier et faciliter la manipulation. Le silo doit pouvoir résister à la corrosion et aux pressions mécaniques exercées par les remplissages et les vidanges du silo. De plus, il doit répondre aux normes suivantes :

- Avoir une capacité totale au moins égale à une fois et demie la capacité d'un camion-citerne;
- Être robuste;
- Reposer sur une base solide;
- Être équipé de filtres de dépoussiérage et d'un système de convoyeurs hermétiques;
- Être équipé d'un dispositif pour indiquer le bas niveau et le haut niveau dans le silo. Ce dispositif doit être couplé à une alarme sonore ou visuelle;
- L'aire de déchargement des camions-citernes faisant la livraison doit être libre et sans obstacle jusqu'à la bride d'alimentation;
- La prise d'alimentation doit être placée dans une boîte cadenassée pour la protéger contre le vandalisme;
- Un système (sonnerie ou autre) doit permettre d'avertir le personnel à l'intérieur de la station du début et de l'arrêt de l'opération.

### **La manutention de réactifs secs en contenant**

Les réactifs solides peuvent aussi être livrés dans des contenants de capacités diverses, selon les disponibilités du fournisseur et les besoins de l'utilisateur. Normalement, celui-ci a recours à plusieurs types d'emballages qui vont de la chaudière de quelques kilogrammes aux boîtes sur palettes pouvant contenir plus d'une tonne de produit en passant par les sacs, barillets et barils de tout acabit. À l'instar des produits chimiques liquides, il y a lieu d'installer un quai ou encore une plate-forme de déchargement pour faciliter la manutention de contenants livrés par camion. Le chariot à fourche demeure avec le diable l'aide mécanique le plus approprié pour déplacer les produits jusqu'à leur lieu d'entreposage. La prévention passe par des conditions d'éclairage adéquates des lieux et de l'espace libre (en hauteur et en largeur) pour la manutention. Les réactifs secs se révèlent souvent hygroscopiques et absorbent ainsi l'humidité de l'air ambiant, ce qui peut nuire à leur manipulation subséquente. En outre, plusieurs d'entre eux dégagent de la poussière. Afin de minimiser ces phénomènes, une aération adéquate des lieux est requise.

#### **15.4.3.3 Les produits chimiques gazeux**

Les produits chimiques gazeux livrés sur le site à l'état liquide sont surtout le chlore, l'oxygène ainsi que, dans une moindre mesure, l'anhydride sulfureux; il y a évaporation avant de procéder

à leur dosage. Parmi ces derniers, l'oxygène est livré en vrac alors que le chlore et l'anhydride sulfureux sont expédiés en cylindres de capacités précises. Les techniques de manutention employées et les mécanismes de prévention subséquents seront abordés au moment où nous traiterons plus spécifiquement de chacun de ces produits.

#### *15.4.4 Le dosage et la distribution des produits chimiques*

##### *15.4.4.1 Les produits chimiques liquides*

Les produits chimiques liquides sont habituellement dosés et véhiculés à l'aide de pompes de différents types, mais ont pour caractéristique commune d'être du type déplacement positif. Par ce principe, la solution est acheminée dans une chambre de dimension définie pour être ensuite propulsée mécaniquement ou hydrauliquement vers la conduite de distribution. Celles-ci sont souvent munies de diaphragmes, de pistons ou fonctionnent par cavitation progressive.

Lorsque la précision devant être atteinte est faible ou encore lorsque le volume exigé est important, la pompe centrifuge peut s'avérer une bonne alternative à l'approche précédente. Elle demeure un outil de choix quand il s'agit d'assurer le transbordement d'un réactif. Les installations comportant des pompes de dosage ou de relèvement de produits chimiques liquides, ou en solution, peuvent induire plusieurs dangers potentiels pour le travailleur. Il peut y avoir des risques de coincement des mécanismes de transmission externes comportant une courroie et des poulies.

Lors de la calibration ou du démontage de la tête ou de la tuyauterie desservant celle-ci, il peut se produire une éclaboussure de réactif parfois accompagné d'un dégagement instantané de pression. Une intervention sur le moteur électrique peut résulter en une électrocution si certaines conditions sont réunies. Enfin, un plancher rendu glissant par une fuite de réactif peut augmenter les dangers de faux mouvement et même de chute.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Identifier adéquatement les installations de dosage de réactifs;
- Respecter les directives du fabricant quant à l'installation de la pompe;
- Choisir les composantes de la pompe résistant le mieux au réactif en question;
- Procéder à un apport d'eau de procédé sur la conduite de succion de l'unité pour assurer un rinçage approprié;
- Munir la conduite de succion d'un cylindre de calibration isolé par un jeu de vannes;
- Installer une vanne de relâche sur la conduite de décharge de la pompe pour évacuer tout surplus de pression causé par un blocage soudain ou une fermeture inopinée de la conduite de dosage;
- Minimiser les coups de bélier générés par les pulsations de la pompe en installant une chambre d'amortissement pneumatique, une vanne régulatrice de pression et/ou en ayant recours à de l'eau de dilution injectée à la décharge de celle-ci;
- Munir de gardes de sécurité les mécanismes de transmission externes tels que les courroies, poulies et joints mécaniques;
- Assurer une mise à la terre réglementaire du moteur d'entraînement;

- Prévoir l'installation des dispositifs de verrouillage des vannes et interrupteurs pour la pompe ou sur ses accessoires;
- Installer près des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### 15.4.4.2 Les produits chimiques secs

Les réactifs chimiques secs sont habituellement dosés sous cette forme par des appareils volumétriques ou gravimétriques qui permettent en outre leur mise en solution. Un doseur volumétrique est normalement constitué de trois sections principales. Sa partie supérieure appelée trémie contient le produit chimique à distribuer. Elle est parfois surmontée d'un cône de chargement, permettant d'entreposer plus de réactif, ou encore d'un tuyau l'approvisionnant à partir d'un silo ou de sacs de grande capacité. Au centre du doseur se trouvent les éléments électromécaniques qui permettent un apport calibré du produit : moteur, transmission et mécanismes d'activation favorisant l'écoulement à partir de la trémie.

Dans la partie inférieure se situe le bac qui reçoit le réactif sec et le transforme en une solution qu'il sera possible d'acheminer au point de dosage. À ce point, on retrouve normalement un mélangeur ainsi que les dispositifs d'apport et de régulation d'eau de dilution. L'écoulement de la solution chimique vers son point d'addition au procédé est généralement assuré par un éjecteur ou par une pompe. Les installations comportant des doseurs à sec peuvent représenter plusieurs dangers potentiels pour le travailleur.

L'approvisionnement en réactif peut dégager des poussières nuisibles, sinon toxiques. Il peut y avoir des risques de coincement et ce principalement au niveau des mécanismes de transmission comportant une courroie et des poulies. En outre, le démontage de la tuyauterie desservant celui-ci peut produire une éclaboussure de la solution de réactif et même parfois un dégagement instantané de pression. Une intervention sur le moteur électrique peut causer une électrocution si certaines conditions sont réunies. Enfin, le plancher, rendu glissant par une fuite de réactif, peut accentuer les dangers de faux mouvement et même de chute. Lors d'une intervention sur la cuve de dissolution, il y a risque de contact avec le produit dilué ainsi qu'avec l'agitateur en mouvement qui en assure la dispersion.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Identifier adéquatement les installations de dosage de réactifs;
- Respecter les directives du fabricant quant à l'installation du doseur;
- Choisir les composantes du doseur résistant le mieux au réactif en question;
- Prévoir à proximité du doseur à sec l'installation d'un drain de plancher et y raccorder la vanne de vidange de la cuve de dissolution;
- Munir de gardes de sécurité les mécanismes de transmission externes tels que les courroies, poulies ou joints mécaniques;
- Équiper la trémie d'un dispositif de chargement approprié permettant d'éviter le dégagement de poussière de réactif dans l'air ambiant, sinon pourvoir celle-ci d'un système d'aspiration à la source permettant de la capter et de l'évacuer;

- Assurer une mise à la terre réglementaire des moteurs d'entraînement du doseur et du mélangeur;
- Prévoir l'installation des dispositifs de verrouillage des vannes et interrupteurs du doseur et de ses accessoires;
- Installer près des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### 15.4.4.3 Les produits chimiques gazeux

Pour ce qui est du dosage des produits chimiques gazeux, sauf en ce qui a trait à l'oxygène, on a communément recours à des appareils qui utilisent le vide créé par un éjecteur, alimenté par de l'eau de procédé, pour y diluer le réactif en question. Le gaz est soutiré de cylindres entreposés dans une salle d'entreposage. La première étape du processus consiste à diminuer et stabiliser la pression du gaz avant de l'introduire dans le doseur lui-même. Une fois à l'intérieur, par un jeu de pression et de vide en équilibre, le gaz chemine dans un tube de mesure appelé rotamètre. À sa sortie, il est aspiré par l'éjecteur qui par sa pression d'alimentation permettra à la solution concentrée en gaz de cheminer jusqu'au point d'application.

#### 15.4.5 Les dispositifs à rayonnement ultraviolet

Un dispositif à rayonnement ultraviolet se compose d'une ou de plusieurs lampes U.V. insérées individuellement dans une gaine de quartz afin d'être isolées de l'eau à traiter. En traitement d'eau potable, les lampes ainsi gainées sont habituellement montées dans une conduite. Les risques pour la santé et la sécurité du travailleur qui intervient sur ces équipements sont :

- Irritation oculaire suite à l'exposition des yeux au rayonnement U.V.;
- Chute sur une surface rendue glissante par l'apport d'eau ou de produits de nettoyage pour tubes ultraviolets;
- Coupure sur des fragments de tubes ultraviolets brisés suite à une mauvaise manipulation de ceux-ci;
- Infection suite au contact d'une eau non désinfectée;
- Contact avec des produits de nettoyage servant à l'entretien des équipements de désinfection;
- Contamination de l'atmosphère ambiante par des agents nettoyants volatils servant à l'entretien des équipements de désinfection;
- Électrisation et même électrocution lors de travaux sur les composantes électriques servant à alimenter les dispositifs U.V. surtout en présence d'eau.

### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- La conduite qui reçoit les tubes doit être munie d'un dispositif permettant de la dépressuriser et de la vidanger complètement;
- Un dégagement suffisant ainsi que la fourniture d'équipements de levage requis pour l'extraction et à la remise en place des dispositifs U.V. sont à prévoir dès l'étape de conception;

- La pièce abritant les dispositifs U.V. doit être dotée d'un système de ventilation adéquat pouvant évacuer les émanations provenant d'un produit chimique volatil servant au nettoyage des tubes;
- Les prises de courant monophasées, situées à proximité des dispositifs U.V. , doivent être munies d'un disjoncteur différentiel pour les personnes (GFI);
- Le plancher situé en périphérie des dispositifs de désinfection U.V. doit être muni de pentes et d'un réseau de drainage suffisant permettant d'éviter toute accumulation d'eau à sa surface;
- Tout équipement électrique dont la tension d'alimentation dépasse 600 volts doit être identifié en conséquence.

#### *15.4.6 Le laboratoire*

Les risques découlant du travail en laboratoire :

- Atteinte aux yeux et à la peau par les réactifs et les produits chimiques utilisés;
- Contamination microbiologique avec des substances contaminées;
- Brûlure au contact d'une surface ou d'accessoires chauds;
- Incendie lors de la manipulation de substances inflammables;
- Chute suite à un déversement quelconque ou en raison de l'encombrement des lieux;
- Coupure en manipulant du verre endommagé ou brisé;
- Choc électrique découlant de l'emploi d'un équipement électrique défectueux.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Entreposer les produits chimiques dans un endroit sécuritaire pour le personnel et la propriété;
- Assurer une ventilation adéquate du laboratoire et l'ajuster à une pression positive;
- Utiliser des équipements électriques munis d'une mise à la terre ou encore dotés d'un boîtier doublement isolé;
- Avoir à portée de la main des extincteurs réglementaires en nombre suffisant pour maîtriser rapidement un début d'incendie;
- Afficher de façon voyante les prescriptions d'usage à l'entrée du laboratoire;
- Doter le laboratoire d'une hotte d'évacuation confinée afin d'évacuer les émanations des réactifs volatils;
- Installer dans le laboratoire : une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

### **15.5 Services d'eau à la station**

#### *15.5.1 Eau potable*

L'approvisionnement en eau potable d'une installation de traitement doit être effectué à partir d'un point d'eau où tous les produits chimiques auront été complètement mélangés.

#### *15.5.2 Eau non potable*

- Toute sortie d'eau non potable doit être clairement identifiée comme telle, de même que tout tuyau souterrain ou exposé;
- Le nombre de sorties d'eau non potable devrait être réduit au minimum pour réduire les risques d'erreur.

#### *15.5.3 Robinets d'échantillonnage*

- Des robinets d'échantillonnage doivent être placés de façon à pouvoir prélever des échantillons d'eau de chaque source et du point approprié de chaque unité de traitement;
- Des robinets d'échantillonnage doivent être prévus à tout point du système susceptible d'être contaminé;
- Les robinets utilisés pour le prélèvement d'échantillons pour fins d'analyses microbiologiques doivent être de type lisse sans tamis ou autres pièces susceptibles de devenir une source de contamination.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 16

|             |                                                                                            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>16.</b>  | <b>INSTRUMENTATION ET CONTRÔLES .....</b>                                                  |
| <b>16.1</b> | <b>Instrumentation .....</b>                                                               |
| 16.1.1      | <i>Paramètres réglementés .....</i>                                                        |
| 16.1.1.1    | <i>Turbidité .....</i>                                                                     |
| 16.1.1.2    | <i>pH .....</i>                                                                            |
| 16.1.1.3    | <i>Chlore résiduel.....</i>                                                                |
| 16.1.1.4    | <i>Mesures requises pour d'autres types de désinfection.....</i>                           |
| 16.1.2      | <i>Indications et mesures requises pour suivre le fonctionnement des équipements .....</i> |
| 16.1.3      | <i>Centralisation des données et des contrôles.....</i>                                    |
| 16.1.4      | <i>Automatisation des opérations .....</i>                                                 |
| 16.1.5      | <i>Laboratoires et instruments.....</i>                                                    |
| <b>16.2</b> | <b>Registre.....</b>                                                                       |
| 16.2.1      | <i>Température.....</i>                                                                    |
| 16.2.2      | <i>Mesure du pH .....</i>                                                                  |
| 16.2.3      | <i>Turbidité de l'eau filtrée ou non filtrée visée à l'article 5 du RQEP .....</i>         |
| 16.2.4      | <i>Chlore résiduel libre.....</i>                                                          |
| 16.2.5      | <i>Débit de pointe et niveau d'eau .....</i>                                               |
| 16.2.6      | <i>Calcul et archivage.....</i>                                                            |
| 16.2.7      | <i>Autres informations sur le fonctionnement.....</i>                                      |
| <b>16.3</b> | <b>Stations contrôlées à distance .....</b>                                                |

## 1. INSTRUMENTATION ET CONTRÔLES

L'instrumentation et les contrôles doivent refléter la taille de l'usine de production d'eau potable, sa complexité, le nombre d'employés et leur compétence. Pour ce faire, le concepteur doit prévoir des équipements qui permettront aux opérateurs de bien suivre et contrôler l'usine, les équipements de traitement, la production d'eau potable et la gestion des résidus de traitement.

Les informations qui suivent donnent un aperçu minimal des équipements nécessaires au suivi du traitement.

### 16.1 Instrumentation

#### 16.1.1 Paramètres réglementés

Cette section présente l'information relative à la mesure et l'enregistrement des données pour certains des paramètres découlant directement de l'application du *Règlement*. La section 16.1.1 du volume 2 regroupe de l'information sur d'autres mesures.

##### 16.1.1.1 Turbidité

Les mesures de turbidité découlent aussi bien de la réglementation que des besoins de base pour le contrôle des procédés. On retrouve ci-après quelques recommandations susceptibles de favoriser la qualité de cette mesure (USEPA, 1999; Alberta, 1997).

#### Principes

La turbidité est un indicateur du degré d'opacité d'une eau. Les turbidimètres utilisent tous le principe de néphélométrie. Ce principe utilise la lumière diffusée, et non la lumière transmise comme dans le cas de l'opacimétrie (turbidimètre de Jackson). La turbidité est mesurée à l'aide d'un faisceau lumineux qui est diffusé et détecté à 90°. Cette valeur sera donc exprimée en unités de turbidité néphélométrique (UTN). Il existe deux normes principales de mesure de turbidité : la norme USEPA 180.1, qui nécessite un détecteur à 90° et une source lumineuse blanche de type ampoule tungstène, et la norme ISO 7027, qui requiert un détecteur à 90° doté d'une source lumineuse d'une longueur d'ondes de 860 nm. Le spectre de lumière doit être à 860 nm  $\pm$  30 avec une diode (LED) ou une combinaison de filaments et filtres.

Certains turbidimètres à très haute résolution utilisant un laser à 660 nm ou une source de lumière à diode électroluminescente (LED) possèdent une résolution minimale de 0,001 UTN.

#### Choix d'appareils

Un turbidimètre de type néphélométrique, dont la partie optique est en contact avec l'échantillon, devrait être utilisé dans les applications de basse turbidité telles que l'eau traitée (gamme 0 à 100 UTN). Un modèle de type *surface scatter* devrait toutefois être utilisé lorsque la turbidité de l'eau est plus importante (gamme 0 à 5000 UTN). Ce dernier modèle de turbidimètre est caractérisé par des composantes optiques (lumière et photodétecteur) qui

n'entrent pas en contact avec l'eau. Ceci évite l'entretien régulier lorsque la turbidité de l'eau brute dépasse 5 UTN.

Les turbidimètres à très haute résolution sont recommandés afin de permettre un suivi et une optimisation du traitement en deçà de 0,1 UTN.

### **Installation**

Lors de l'installation des turbidimètres en continu, il faut vérifier les points suivants :

- Une trappe à bulles devrait être installée à même le turbidimètre ou en amont de celui-ci pour éviter l'interférence des bulles d'air. Cette trappe consiste généralement en des chicanes qui favorisent l'évacuation de l'air avant d'entrer dans la chambre de mesure;
- Prévoir une vanne de contrôle et une mesure du débit d'alimentation du turbidimètre;
- L'ajout d'une vanne de réduction de pression peut faciliter l'ajustement;
- Réduire le plus possible la longueur de la conduite d'alimentation du turbidimètre;
- S'il s'agit d'eau brute, prévenir toute sédimentation dans la conduite d'alimentation et prévoir un rinçage manuel;
- Éviter l'utilisation de tuyaux transparents favorisant la croissance d'algues;
- L'eau rejetée du turbidimètre doit être retournée au procédé ou évacuée vers l'égout;
- L'élément de mesure (senseur) peut être installé à une certaine distance de son contrôleur. Ce dernier peut ainsi servir d'afficheur à un ou plusieurs senseurs;
- Dans le cas de mesures effectuées à la sortie d'un filtre, il faut s'assurer de tenir compte seulement des mesures relatives à l'eau envoyée vers le bassin d'eau traitée et non à une eau envoyée à l'égout. Pour ce faire, il faut soit interrompre l'alimentation du turbidimètre pendant toute la séquence de lavage d'un filtre ou éliminer les données obtenues durant cette période.

### **Étalonnage et entretien**

Les turbidimètres doivent être étalonnés selon la fréquence recommandée par le fabricant et selon une méthode acceptée par le *Standard Methods*. Les étalons primaires reconnus par le *Standard Methods* sont la formazine, les microsphères AMCO-AEPA-1 et la formazine stabilisée. L'étalonnage des turbidimètres par des étalons primaires devra être effectué idéalement une fois par saison (3 mois) mais au moins 2 fois par année. Pour limiter les délais et la manutention des appareils, l'étalonnage devrait pouvoir se faire sur place. Entre les étalonnages, la vérification des turbidimètres est possible par des étalons secondaires tels que les Gelex<sup>®</sup> et les modules de vérification à sec. Lors des vérifications, s'il y a une différence de lecture supérieure à 10% entre les valeurs lues au turbidimètre et la valeur des étalons primaires ou secondaires, le turbidimètre devra être immédiatement nettoyé et étalonné de nouveau.

L'entretien normal d'un turbidimètre inclut la vérification de l'étalonnage et le nettoyage de la fenêtre de la photocellule, du piège à bulles et du corps. La fréquence d'entretien est déterminée de manière empirique et dépend de l'installation, de l'eau à contrôler et de la saison.

#### 16.1.1.2 pH

- Le pH peut être mesuré selon deux méthodes. La première est la méthode colorimétrique mais elle n'est pas acceptée pour la mesure réglementaire du pH. La seconde, la méthode potentiométrique, est plus efficace car elle est adaptée à la mesure en continu. L'instrument basé sur cette méthode comprend une électrode de mesure, une électrode de référence et une unité d'amplification. Les points suivants sont à vérifier lors de l'installation des pH-mètres :
- L'élément de mesure étant fragile, il est préférable de le retirer pendant le rinçage du tube amenant l'eau à mesurer;
- Il est préférable de réduire le plus possible la distance séparant l'élément de mesure de l'unité d'amplification. Si nécessaire, prolonger le tube amenant l'eau à mesurer;
- L'étalonnage doit être fait avec deux solutions étalons. Faire l'étalonnage selon les recommandations du fabricant ou au moins une fois par mois;
- L'entretien de l'électrode est critique pour assurer la qualité de la mesure. Il peut être nécessaire de recourir à des produits chimiques.

Habituellement, le pH-mètre permet également de mesurer la température.

#### 16.1.1.3 Chlore résiduel

La teneur en chlore peut être mesurée selon deux méthodes : la méthode ampérométrique et la méthode colorimétrique. Il est important de noter que les analyseurs doivent comporter des éléments de compensation pour le pH et la température. La température pourra être compensée par sa mesure et un calcul proportionnel. Le pH pourra être compensé par l'ajout d'un tampon de pH (ou d'une sonde de pH) et un calcul proportionnel.

La méthode ampérométrique consiste en la mesure du courant produit par le chlore qui capte un électron d'une anode vers la cathode. Un voltage constant est maintenu entre les deux électrodes en comparant le signal de voltage d'une électrode de référence. Cette méthode comporte trois électrodes sans membrane et utilise un pH-mètre pour la compensation sur la courbe chlore/pH. Toute méthode utilisant une compensation mathématique peut être affectée lorsque le pH varie beaucoup. L'erreur provoquée par la compensation de pH peut être plus importante lorsque le pH se situe aux environs de 8,0 et qu'il varie de  $\pm 0,5$ .

La méthode colorimétrique utilise l'amine DPD oxydée par le chlore pour former le composé responsable de la couleur rosée : *wurster dye*. Cette couleur sera mesurée par absorption entre 510 et 530 nm. Cette mesure est directement proportionnelle à la concentration de chlore dans l'eau. La méthode colorimétrique n'est pas affectée par la présence d'autres oxydants, par les chloramines, le fer ou le manganèse et peut être employée pour tous les types d'eau. La compensation chimique du pH assure une mesure fiable de la concentration de chlore libre même lors de fortes variations de pH. Il faut par contre faire l'entretien des équipements périphériques (pompes, tubes, etc.) et s'assurer que les réactifs sont en quantité suffisante.

Il existe aussi des analyseurs de type membranaire où l'eau à analyser passe à travers une membrane perméable avant d'atteindre les électrodes. Ces analyseurs requièrent un nettoyage régulier et un remplacement fréquent des membranes qui s'obstruent. De plus, ces analyseurs sont très imprécis à faible concentration de chlore (moins de 0,5 mg/L) et rien n'indique le moment où les membranes sont colmatées.

Les points suivants sont à vérifier lors de l'installation des pH-mètres :

- Prévoir une vanne de contrôle et une mesure du débit d'alimentation en eau. Il peut être nécessaire d'ajouter une vanne de réduction de pression pour faciliter cet ajustement;
- La distance entre les électrodes et le contrôleur doit être réduite au minimum;
- Si l'eau est contaminée par la solution tampon, elle doit être évacuée vers l'égout;
- Le contrôleur doit comprendre des relais pour les alarmes : 1) de bas et haut niveaux de chlore; 2) d'absence de débit d'eau aux électrodes; 3) de bas niveau de solution tampon (si requis); 4) de sorties analogiques ou digitales commutables pour le transfert des données vers un enregistreur, un ordinateur ou un système de télémétrie.

L'étalonnage et l'entretien de ces analyseurs de chlore sont critiques pour assurer la qualité de la mesure. Notons que l'analyseur colorimétrique DPD en continu a l'avantage d'utiliser la même méthode standard que la plupart des analyses en laboratoire. L'entretien de ces analyseurs varie beaucoup selon la méthode utilisée mais l'étalonnage devra être réalisé au moins une fois par mois. Tous les analyseurs utilisant des tampons de pH ou de réactifs nécessitent un entretien plus rigoureux.

#### 16.1.1.4 Mesures requises pour d'autres types de désinfection

Lorsque l'ozone est utilisé comme désinfectant, il est nécessaire d'en mesurer la concentration afin de calculer les CT et les log d'abattement. De la même façon, il est requis de suivre l'intensité du rayonnement U.V. pour calculer les IT. Ces sujets sont abordés respectivement dans les sections 10.4.2 et 10.4.5.

#### *16.1.2 Indications et mesures requises pour suivre le fonctionnement des équipements*

Il s'agit dans ce cas d'obtenir des informations sur le statut, l'état ou le fonctionnement d'éléments hydrauliques, mécaniques et électriques. Ces informations servent, par exemple, à :

- Indiquer à distance le fonctionnement d'un élément (indicateur de fonctionnement d'une pompe doseuse par exemple);
- Totaliser le temps de fonctionnement d'une unité et en établir la fréquence d'entretien;
- Fournir une alarme avant que la situation n'entraîne des conséquences sur le procédé (alarme de bas niveau dans le puits de pompage d'eau brute par exemple);
- Suivre une variable permettant de valider des mesures reliées au procédé (niveau d'un réservoir de produit chimique pour valider le débit de dosage par exemple et, dans ce cas-ci, la connaissance du niveau permet également de gérer la réserve du produit).

### 16.1.3 Centralisation des données et des contrôles

Un tableau de contrôle central, regroupant au minimum les mesures, alarmes et contrôles essentiels à l'opérateur et incluant les variables transmises par télémétrie, doit être prévu dans les installations de traitement. Ce tableau doit être situé de manière à être facilement consulté par les opérateurs tout en leur permettant d'avoir une vue sur les unités de traitement. Le tableau de contrôle doit également posséder suffisamment de signaux visuels et auditifs pour détecter rapidement tout équipement défectueux ou toute condition dangereuse.

### 16.1.4 Automatisation des opérations

Lors de la conception de l'automatisation, les points suivants sont à considérer :

- Le système de contrôle doit être conçu en fonction des difficultés et situations particulières;
- Le choix des appareils doit tenir compte de leur durée de vie et de la disponibilité des pièces de rechange;
- Le système devrait permettre une opération intégrée des tâches de routine et une réponse rapide aux changements de condition;
- Le passage du mode automatique vers le mode manuel doit pouvoir se faire facilement;
- Dans les petites installations, le concepteur devra analyser la situation en tenant compte :
- Des fonctions qu'un système automatisé peut assurer et des alternatives manuelles;
- De la capacité de l'opérateur d'effectuer l'entretien du système;
- Localement ou régionalement, de la disponibilité, de la qualité et des coûts de services spécialisés d'entretien.

Au moment de la conception, la solution retenue et les coûts des services devront apparaître dans le budget d'exploitation proposé.

### 16.1.5 Laboratoires et instruments

De façon générale, l'équipement de laboratoire sera choisi en fonction de la source d'eau brute, de l'utilisation projetée de l'installation de traitement et de la complexité du procédé de traitement. Il faut également tenir compte de la compétence des opérateurs, des buts visés et des procédures d'utilisation.

De façon particulière, le laboratoire de l'installation doit comprendre au minimum :

- Pour toutes les installations de traitement d'eaux de surface : un turbidimètre de laboratoire respectant les normes définies par le *Standard Methods* les plus récentes;
- Pour toutes les installations dotées de procédés de floculation et de décantation incluant le dosage de chaux : un pH-mètre, le matériel nécessaire pour effectuer des *jar tests* ainsi que les équipements de titrage de la dureté et de l'alcalinité;
- Pour les installations procédant à un adoucissement par échange d'ions ou par dosage de chaux : un pH-mètre ainsi que les équipements de titrage de la dureté et de l'alcalinité;

- Pour les installations d'enlèvement du fer et/ou du manganèse : l'équipement de mesure des concentrations de fer (jusqu'à 0,1 mg/L) et/ou de manganèse (jusqu'à 0,01 mg/L);
- Pour les installations dosant le chlore : l'équipement de mesure du chlore libre et du chlore résiduel total selon le *Standard Methods*;
- Pour les installations dosant les polyphosphates ou orthophosphates : l'équipement de mesure des phosphates (entre 0,1 et 20 mg/L).

L'aménagement physique des lieux devrait inclure une superficie de comptoir suffisante, une ventilation et un éclairage adéquats, un lieu d'entreposage, un évier de laboratoire et autres utilités requises (voir chapitre 15).

## **16.2 Registre**

On doit retrouver au registre toute l'information nécessaire en vertu de l'article 22 du Règlement. Les informations présentées à la section 11.2.1.1 sont résumées ci-après.

### *16.2.1 Température*

Une mesure journalière de la température doit être effectuée. Cette information est nécessaire pour calculer le CT.

### *16.2.2 Mesure du pH*

Tout comme la température, une mesure journalière du pH de l'eau traitée doit être effectuée dans le but d'obtenir le CT. Si l'ajout d'un produit chimique modifie le pH de chloration durant la désinfection (par l'ajout de chaux par exemple), le registre devra également inclure la valeur du pH (une mesure par jour) avant le réajustement de pH.

### *16.2.3 Turbidité de l'eau filtrée ou non filtrée visée à l'article 5 du RQEP*

La mesure de la turbidité est effectuée en continu après chaque filtre ou, en absence de filtration, à la sortie de l'installation de traitement de désinfection. Au minimum, le registre devra inclure la turbidité de l'eau filtrée mesurée ponctuellement à la fin de chaque période de 4h pour chacun des filtres en opération. Pour les installations désirant se prévaloir des crédits supplémentaires de réduction des parasites accordés aux traitements optimisés (voir section 10.3.2.1), la turbidité moyenne de chacun des filtres devra être enregistrée, basée sur une fréquence d'acquisition de 15 minutes ou 4 heures, selon le crédit supplémentaire visé (+1,0 ou +0,5 log, respectivement).

### *16.2.4 Chlore résiduel libre*

La mesure doit être effectuée en continu à la sortie de l'installation de traitement de désinfection, soit le bassin de contact du désinfectant. Le résiduel de chlore libre doit être enregistré à une fréquence minimale de 15 minutes (valeur ponctuelle ou valeur moyenne pour la période de 15 minutes). La plus faible valeur parmi les seize valeurs ainsi enregistrées pendant la période de 4 heures doit être inscrite au registre et utilisée pour le calcul des CT.

#### *16.2.5 Débit de pointe et niveau d'eau*

Au minimum, l'exploitant est tenu d'enregistrer le volume mis en distribution pour chaque période de 4 heures ainsi que le niveau d'eau dans le réservoir à la fin de chaque période de 4 heures (si la réserve est à niveau variable).

Pour les installations dotées d'une réserve variable, il est nécessaire de prévoir un système de suivi en continu du débit de sortie et du niveau de l'eau dans le réservoir. Il est recommandé que ces paramètres soient mesurés ponctuellement à toutes les heures. Puis, pour chaque plage de 4 heures, le débit maximum observé parmi les 4 valeurs sera considéré comme le débit de pointe. Ce dernier sera consigné au registre ainsi que le niveau ponctuel enregistré au même moment.

Pour les installations dotées d'une réserve fixe (ou dédiée), seul le débit à l'entrée du réservoir (ou le débit de production) est nécessaire. Tout comme les réserves à niveau variable, il est également recommandé de mesurer ponctuellement le débit à toutes les heures et d'inscrire au registre la plus forte valeur de débit enregistrée par période de 4 heures.

Notons qu'il est recommandé d'être en mesure d'obtenir l'efficacité hydraulique ( $T_{10}/T$ ) correspondant à la période de 4 heures surtout si cette efficacité varie sensiblement.

#### *16.2.6 Calcul et archivage*

L'opérateur pourra ainsi calculer pour chaque période les CT et les logs d'abattement et ainsi répondre à une situation où une valeur élevée de turbidité en réseau apparaîtrait (voir chapitre 3). Ce calcul permet également d'identifier les situations les plus critiques au cours d'une année. Des logiciels simples sont maintenant disponibles pour faire le traitement des données. Ces informations doivent être inscrites au fur et à mesure dans le registre. Si ce processus est automatisé, les données doivent être validées chaque jour par un opérateur compétent. Le registre doit conserver les données des 5 dernières années à l'installation de traitement et doit pouvoir être fourni sur demande au MENV.

L'analyse de la distribution de l'ensemble des données selon les méthodes développées pour le Programme d'excellence en eau potable (RÉSEAU environnement, 2000) est un bon moyen de suivre les performances de traitement.

Notons également que même en l'absence de désinfection, il est nécessaire de compiler quotidiennement les données de débit par tranche de 4 heures afin d'identifier le débit de nuit (voir chapitre 5).

#### *16.2.7 Autres informations sur le fonctionnement*

Afin de suivre de plus près le fonctionnement de l'usine et d'aller au-delà de la réglementation, l'opérateur peut aussi conserver l'historique des informations suivantes :

- Les principales données de fonctionnement des unités de traitement (vitesse, débit, pression, niveau, heures d'opération, etc.);

- Le suivi en continu des crédits d'enlèvements et des performances des unités de traitement;
- Les informations relatives aux équipements hors-service ou connaissant des problèmes de fonctionnement.

### **16.3 Stations contrôlées à distance**

L'avancée des technologies en instrumentation et contrôle a rendu possible le suivi et l'opération à distance des usines de production d'eau potable. Parallèlement, les préoccupations quant à la contamination microbiologique des sources d'eau forcent l'optimisation des procédés de traitement et provoquent le resserrement des normes de qualité de l'eau distribuée.

Dans ce cadre, l'automatisation vient faciliter le travail des opérateurs en éliminant les tâches monotones et répétitives. Ce faisant, plusieurs petites sources d'erreurs sont éliminées et les opérateurs sont davantage appelés à surveiller les procédés et à réagir en cas de mauvais fonctionnement.

Mais il reste encore plusieurs éléments à considérer avant de permettre la surveillance et l'opération complète des usines de production d'eau potable par télémétrie. Tous les éléments de traitement doivent être étudiés à fond afin de déterminer quel suivi en continu doit être réalisé, quelles sont les alarmes à mettre en place et quels sont les besoins en personnel. De plus, les conséquences des bris d'équipement, des pannes de communications ou de courant et des conditions critiques de traitement doivent être prises en considération pour assurer la sécurité de l'usine et assurer la qualité de l'eau distribuée.

Malgré l'avancée technologique en instrumentation et contrôle, et malgré l'économie qui peut être engendrée par l'automatisation du contrôle par télémétrie, une visite sur place faite par un opérateur compétent doit être effectuée au moins une fois par jour. Bien qu'il y ait plusieurs avantages à suivre à distance le fonctionnement d'une usine de production d'eau potable, la visite quotidienne d'un opérateur compétent demeure le moyen le plus sûr de garantir la qualité de l'eau potable distribuée.

Le manuel des « Ten States » (Great Lakes Upper Mississippi River Board State Public Health & Environmental Managers, 1997) fixe un cadre intéressant de questionnement dans la conception d'installations automatisées ou contrôlées à distance.

## VOLUME 1

### CHAPITRE 17

|                                         |  |
|-----------------------------------------|--|
| <b>17. DIVERS</b> .....                 |  |
| <b>17.1 Mise en service</b> .....       |  |
| 17.1.1 Généralités .....                |  |
| 17.1.2 Objectifs .....                  |  |
| 17.1.3 Activités .....                  |  |
| 17.1.4 Mise en œuvre .....              |  |
| <b>17.2 Manuel d'exploitation</b> ..... |  |
| 17.2.1 Généralités .....                |  |
| 17.2.2 Objectif et contenu .....        |  |
| 17.2.3 Réalisation .....                |  |
| <b>17.3 Mesures de sécurité</b> .....   |  |

## **17. DIVERS**

Ce chapitre regroupe de l'information sur des activités connexes au travail du concepteur : la mise en service des ouvrages, la rédaction des manuels d'exploitation et les mesures de sécurité pour les systèmes de production d'eau potable.

### **17.1 Mise en service**

#### *17.1.1 Généralités*

La réception provisoire des travaux marque une étape importante de la réalisation d'un projet. Généralement, l'entrepreneur est déclaré avoir satisfait aux exigences prévues aux documents d'appel d'offres en matière de travaux. Dans l'année qui suit, il peut survenir des problèmes qui relèvent, d'après les dits documents d'appel d'offres, de l'entrepreneur et des fournisseurs. Le maître d'œuvre doit alors s'assurer de l'application de ces garanties. Il confie habituellement ce travail au concepteur des ouvrages.

Suivant une terminologie déjà utilisée au Québec, la mise en service d'une installation de traitement comprend un ensemble d'activités qui se déroulent au cours de la première année de fonctionnement afin de s'assurer du fonctionnement adéquat et des performances des ouvrages.

#### *17.1.2 Objectifs*

La mise en service vise plusieurs objectifs :

- Assurer le transfert des connaissances du concepteur vers l'exploitant. Ces connaissances comprennent aussi bien la conception que l'opération des ouvrages;
- Corriger ou faire corriger les problèmes de fonctionnement non couverts par l'application des garanties des entrepreneurs et fournisseurs. Ceci couvre l'ensemble des aspects techniques tels que l'électricité, la mécanique, l'instrumentation et le contrôle, le bâtiment, l'hydraulique, etc.;
- Établir les performances des procédés en fonction des objectifs visés par le projet.

Concernant ces deux derniers objectifs, il est important de noter que l'application des garanties est basée sur les documents contractuels d'appel d'offres, alors que la mise en service se réfère plutôt aux objectifs à atteindre tels que définis lors de la conception, ce qui peut différer significativement. Il y a lieu de considérer cette nuance lorsque les documents d'appel d'offres comprennent des clauses définissant les performances devant être vérifiées après la réception provisoire.

### *17.1.3 Activités*

La liste d'activités qui suit est tirée du devis pour la mise en service rédigé par la SQAÉ (1995). Ce devis définit un mandat confié à une équipe constituée par le concepteur des ouvrages. La liste ne présente toutefois que certains exemples de ce que peut contenir la mise en service.

- Préparation du programme d'entretien préventif;
- Préparation du registre d'exploitation;
- Activités de transfert de connaissances à l'exploitant. Il s'agit d'éléments spécifiques aux ouvrages à opérer et non de connaissances générales que l'opérateur compétent a déjà;
- Vérifications et ajustements des équipements;
- Préparation de listes d'ajouts et de correctifs;
- Participation à l'évaluation de la performance et comparaison des conditions réelles par rapport à celles prévues lors de la conception. Cette évaluation fait appel aux mesures prévues au règlement en vigueur, mais aussi à toutes les mesures nécessaires à l'évaluation de chaque élément du procédé. Le manuel d'exploitation doit décrire ces mesures;
- Rédaction d'un rapport qui permettra de conserver les résultats et leur interprétation.

Notons que la conception et la surveillance de réalisation des ajouts et correctifs retenus font habituellement partie du mandat de surveillance du concepteur. Le mandat comprend également la rédaction d'un manuel d'exploitation qui sera décrit ci-après.

#### *1. 17.1.4 Mise en œuvre*

Il est recommandé de répartir certaines activités sur 12 mois afin de couvrir l'ensemble des conditions saisonnières. Dans le cas du devis de mise en service des ouvrages d'assainissement déjà mentionné, l'équipe de réalisation comprend :

- Un ingénieur qui a participé à la conception;
- Un technicien en eau et assainissement expérimenté en exploitation;
- Un responsable en instrumentation et contrôle.

## **17.2 Manuel d'exploitation**

### *17.2.1 Généralités*

Dès la réception provisoire des travaux, l'opérateur dispose des deux types de documents suivants :

- Plans et devis « tel que construit » et dessins d'atelier : ces documents regroupent toute l'information disponible relativement à la conception et à la construction;
- *Manuels de service : les entrepreneurs et les fournisseurs ont la responsabilité de livrer les manuels de service des équipements relatifs aux ouvrages réalisés. Ces documents sont habituellement spécifiques à un équipement : une pompe, une vanne, etc. Ils donnent, par exemple, des gammes de fonctionnement, des conseils d'entretien, etc.*

*Ces deux types de documents ne suffisent pas cependant à l'opérateur qui veut savoir comment opérer et entretenir l'ensemble des composantes de l'installation de traitement afin d'atteindre les performances attendues. Les activités de mise en service et le manuel d'exploitation doivent combler ces lacunes.*

### 17.2.2 Objectif et contenu

Le manuel d'exploitation vise à répondre aux besoins de l'opérateur en matière d'information sur la conception, l'opération et l'entretien des ouvrages. En tenant compte des informations contenues dans les documents d'appel d'offres (concepteur) et les manuels de service (fournisseurs), le manuel doit contenir, par exemple, les éléments suivants:

- Un sommaire des données de conception (quantité, qualité, eau brute, eau traitée, etc.);
- Une description générale des ouvrages;
- Une description détaillée des procédés incluant pour chacun d'eux : schéma, caractéristiques, contrôles, mode de fonctionnement, tableau de diagnostic, dépannage, etc.;
- Une liste des composantes (pompes, vannes, etc.) incluant les coordonnées des fournisseurs et les références aux manuels de service;
- Une liste des plans disponibles;
- Une liste des pièces de rechange nécessaires;
- Une liste des paramètres à mesurer pour connaître le fonctionnement du procédé ainsi que les instructions à suivre pour le contrôler (calculs et ajustements);
- Un rappel des mesures à effectuer dans le cadre des règlements en vigueur;
- Des instructions couvrant les situations d'urgence et les questions de santé et sécurité;
- Les besoins en entretien préventif selon les recommandations contenues dans les manuels de service. Ces besoins peuvent être regroupés et présentés dans un tableau suivant la fréquence et la nature des activités;
- Un lexique.

Cette liste est adaptée d'un guide rédigé par la SQAÉ (1995).

Le manuel sert de support au transfert de connaissances du concepteur à l'opérateur lors de la mise en service. Il constitue également le document de référence lors de l'arrivée d'un nouvel opérateur compétent.

#### *17.2.3 Réalisation*

Une partie du manuel est préparée par le personnel des différentes spécialités qui réalisent la conception de l'installation de traitement. Il est cependant recommandé que certains chapitres, ainsi que l'assemblage final, soit réalisé par un technicien possédant une bonne expérience en exploitation.

### **17.3 Mesures de sécurité**

Des situations comme celle de l'épisode du verglas dans le sud-ouest du Québec et les suites du 11 septembre 2001 aux États-Unis, ont souligné la nécessité que les exploitants de systèmes d'alimentation, traitement et distribution d'eau potable soient préparés pour faire face à de telles situations.

Le MENV et le MAMM travaillent actuellement à la préparation d'un Guide sur les mesures de sécurité pour les systèmes de production d'eau potable. Ce guide fournira les outils nécessaires à l'élaboration des mesures suivantes:

- Mesures préventives;
- Interventions en cas de problèmes;
- Mesures correctives à appliquer après la période critique.

Chaque municipalité pourra ainsi mettre en place des mesures de sécurité adéquate tout en disposant des outils nécessaires pour assurer des interventions judicieuses en cas de problèmes.

## TABLE DES MATIÈRES, VOLUME 2

|                                                            |  |
|------------------------------------------------------------|--|
| <b>3. PRÉSENTATION DU RÈGLEMENT .....</b>                  |  |
| <b>3.1 Règlement sur la qualité de l'eau potable .....</b> |  |
| <b>3.2 Autres considérations réglementaires.....</b>       |  |
| <b>3.3 Démarche logique en cas de hors norme .....</b>     |  |
| <b>3.4 Adresses utiles.....</b>                            |  |

### /3. PRÉSENTATION DU RÈGLEMENT

#### 3.1 Règlement sur la qualité de l'eau potable

##### 3.1.1 Règlement sur la qualité de l'eau potable

Le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* peut être consulté à l'adresse Internet suivante : [www.menv.qouv.qc.ca/eau/potable/index.htm](http://www.menv.qouv.qc.ca/eau/potable/index.htm)

Le *Règlement modifiant le RQEP* peut être consulté à l'adresse Internet suivante : [www.menv.qouv.qc.ca/eau/potable/reglement-mod.htm](http://www.menv.qouv.qc.ca/eau/potable/reglement-mod.htm)

##### 3.1.2 Les indicateurs utilisés en microbiologie

Cette section a été ajoutée puisque, contrairement aux substances chimiques, le contrôle microbiologique est davantage basé sur la recherche d'indicateurs plutôt que sur la détection de chacun des micro-organismes pathogènes visés. De plus, le *RQEP* réfère à de nouveaux indicateurs, soit les bactéries *Escherichia coli*, les colonies atypiques, les bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies (BHAA), les entérocoques et les virus coliphages.

##### 3.1.2.1 Les indicateurs utilisés en microbiologie de l'eau potable

Le tableau 3-1 présente les principaux indicateurs utilisés en microbiologie de production d'eau potable. Ces indicateurs sont comparés les uns aux autres sur la base de quatre usages différents : le risque sanitaire, la contamination fécale, l'efficacité de traitement et la qualité du réseau.

Les indicateurs bactériens utilisés dans le contrôle réglementaire du système de distribution sont les bactéries coliformes totales et les bactéries coliformes fécales ou *E. coli*, de même que les colonies atypiques et les BHAA. Les bactéries entérocoques sont analysées uniquement dans l'eau brute des eaux souterraines non désinfectées comme indicateur de contamination fécale. Les indicateurs viraux sont les coliphages somatiques et les coliphages mâle-spécifique. Dans le contexte du *RQEP*, ce sont ces derniers qui sont recommandés et analysés, et ceci aussi seulement dans l'eau brute des eaux souterraines non désinfectées.

Les indicateurs parasitaires ne sont pas réglementés. Même si le dénombrement des bactéries sporulantes aérobies (BSA) n'est pas réglementé, il est recommandé pour l'évaluation de l'efficacité du traitement d'enlèvement des parasites. Il existe aussi deux indicateurs chimiques réglementés et très utiles dans le contrôle de la qualité microbiologique de l'eau potable, soit le chlore résiduel libre et la turbidité.

À l'exception de rares cas à l'intérieur du groupe des coliformes totaux, ces indicateurs ne provoquent pas de maladies mais certains d'entre eux indiquent que l'eau est contaminée par de la matière fécale et qu'elle risque donc de contenir des micro-organismes pathogènes. Ces derniers ne font pas partie des analyses routinières en raison des méthodes longues, complexes et parfois inexistantes. De plus, les coûts de ces analyses sont généralement très élevés. Enfin, le grand nombre de micro-organismes pathogènes possiblement d'origine hydrique (plus de 130 virus pathogènes dénombrés) rend cette tâche trop lourde dans l'état actuel de la science.

**Tableau 3-1 : Description et usage des principaux indicateurs utilisés**

| Indicateurs                                    | Risque <sup>(1)</sup><br>sanitaire | Contam.<br>fécale | Efficacité <sup>(2)</sup><br>du<br>traitement | Qualité<br>du<br>réseau | Commentaires                                                                                                               |
|------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Escherichia coli</i>                        | +++                                | ++++              | +                                             | +                       | Contamination fécale certaine et récente;<br>risque sanitaire (présence soupçonnée de pathogènes)                          |
| Coliformes fécaux                              | ++                                 | +++               | +                                             | +                       | Contamination fécale probable                                                                                              |
| Coliformes totaux                              | –                                  | –                 | ++                                            | ++                      | Indicateur standard de la qualité de l’eau distribuée et du<br>traitement (récurrence à surveiller)                        |
| BHAA                                           | –                                  | –                 | +++                                           | ++++                    | Qualité bactérienne générale de l’eau distribuée incluant<br>le traitement et la dégradation dans le réseau                |
| Colonies atypiques                             | –                                  | –                 | ++                                            | +++                     | Qualité bactérienne générale de l’eau distribuée incluant<br>le traitement et la dégradation dans le réseau                |
| Entérocoques                                   | ++                                 | +++               | +                                             | +                       | Contamination fécale probable (doit être utilisé avec <i>E. coli</i> .)                                                    |
| Coliphages                                     | +                                  | +++               | +                                             | –                       | Contamination fécale très probable; présence possible de<br>virus pathogènes si contamination fécale d’origine<br>humaine. |
| Bactéries sporulantes aérobies (BSA)           | –                                  | –                 | +++<br>(parasites)                            | –                       | Bon indicateur de l’efficacité du traitement à enlever<br>(filtration) et inactiver (chloration) les parasites             |
| Turbidité                                      | ++                                 | –                 | ++++                                          | +++                     | Associée au risque sanitaire global pour une eau brute<br>contaminée (surtout les eaux de surface)                         |
| Désinfectant résiduel<br>(extrémité du réseau) | +                                  | –                 | ++                                            | ++++                    | Avec BHAA, qualité générale de l’eau distribuée                                                                            |

(1) : Les indicateurs du risque sanitaire sont associés à une contamination fécale ou une déficience du traitement

(2) : Ces indicateurs doivent être analysés à la sortie du traitement pour en faire une interprétation valable

++++ : Excellent indicateur; +++ : Très bon indicateur; ++ : Bon indicateur; + : Indicateur acceptable; – : Indicateur non valable

Les micro-organismes pathogènes d'origine hydrique sont majoritairement d'origine entérique et provoquent surtout des gastro-entérites de sévérités variables, parfois mortelles. Les personnes ayant un système immunitaire affaibli sont les plus susceptibles d'être affectées. Ces micro-organismes pathogènes peuvent induire d'autres maladies comme des pneumonies, des hépatites, des méningites ou certaines paralysies.

D'après le tableau 3-1, nous pouvons distinguer deux types d'indicateurs microbiologiques utilisés dans le contexte du contrôle réglementaire :

Les indicateurs sanitaires qui sont essentiellement des indicateurs de contamination fécale dont la présence représente un niveau de risque pour la santé. Ces indicateurs sont les bactéries *E. coli*, coliformes fécaux et entérocoques et les virus coliphages mâle-spécifique. Ils sont présents dans la flore intestinale normale des humains et des animaux, en concentration beaucoup plus abondante que les micro-organismes pathogènes entériques.

Les indicateurs de qualité d'eau qui sont utilisés pour évaluer et contrôler la qualité bactérienne de l'eau dans le réseau. Ce sont les coliformes totaux, les colonies atypiques et les BHAA.

Ces indicateurs sont présentés ci-dessous de façon plus détaillée. La consultation des algorithmes décisionnels de cette section apportera aussi des renseignements additionnels pertinents.

#### 3.1.2.2 Les coliformes totaux

L'analyse des bactéries coliformes totales est utilisée pour le contrôle de l'eau potable depuis plus de 100 ans. Son faible coût d'analyse, sa reproductibilité et son omniprésence dans les eaux de surface en font un indicateur universel pour juger de la qualité d'une eau. Ce groupe hétérogène appartient à la famille des entérobactéries et comprend plusieurs genres bactériens se retrouvant dans la flore intestinale normale. Cependant, la plupart des espèces se retrouvent aussi naturellement dans le sol, la végétation et aussi dans l'eau. De ce fait, cette analyse n'est pas considérée comme un indicateur de contamination fécale ou de risque sanitaire. La présence de coliformes totaux dans un système de distribution d'eau potable peut avoir plusieurs significations : la recroissance bactérienne, une perte d'étanchéité du réseau, une déficience ou une absence de traitement.

Les coliformes totaux sont un constituant normal du biofilm qui se forme inévitablement à l'intérieur des conduites. Une eau potable contenant des coliformes totaux peut indiquer une incapacité à maintenir un résiduel de chlore suffisant dans le système de distribution. En effet, plusieurs bactéries de ce groupe ont la capacité de croître dans le réseau lorsque certaines conditions y sont favorables (chlore libre insuffisant, eau stagnante, température élevée et présence de nutriments). En période estivale, cette situation est aussi favorisée par la croissance et le décollement de couches de biofilm entraînées par un débit d'eau plus élevé.

Les coliformes totaux peuvent signaler la présence d'une pollution de surface à cause d'une perte de l'intégrité du réseau (réparations, contaminations croisées, siphons dus à la présence de fissures etc.). Cette situation peut être associée à une baisse subite de la pression et de la concentration de chlore libre ainsi qu'à une augmentation du dénombrement des BHAA. Elle nécessite alors une investigation plus poussée.

Pour conclure à une déficience du traitement associée à une détection de coliformes totaux dans le réseau, il est recommandé d'effectuer des analyses à la sortie du traitement. De même, dans le cas d'une eau souterraine non désinfectée, des analyses complémentaires peuvent être faites dans l'eau brute. (voir algorithme décisionnel)

Il faut toujours porter une attention particulière à la présence récurrente de coliformes totaux dans un réseau ou un secteur du réseau. Ces situations doivent être investiguées et documentées, pour en connaître la cause, et éventuellement corrigées pour prévenir un risque sanitaire éventuel. L'analyse des bactéries entérocoques, plus résistantes que *E. coli*, peut être effectuée pour détecter la présence de contamination fécale.

La survie dans l'eau et la résistance au chlore des bactéries coliformes totales sont plus faibles que celles des virus et des parasites. Ce ne sont donc pas de bons indicateurs de la présence ou de l'efficacité du traitement pour ces micro-organismes. Pour cette raison, les algorithmes décisionnels des sections qui suivent tiennent compte d'un ensemble de facteurs (p. ex. maintien du chlore résiduel ou efficacité de la filtration) qui viennent compléter la connaissance indispensable à la prise de décision.

L'analyse des coliformes totaux se fait habituellement par filtration sur membrane. On peut ensuite dénombrer les colonies typiques rouges à reflet vert métallique après incubation de cette membrane dans un milieu spécifique durant 24 heures à 35°C. Les colonies atypiques sont celles qui ne présentent pas les caractères typiques.

Un résultat rapporté TNI signifie que les colonies sont trop nombreuses ou trop confluentes pour permettre une identification. C'est un résultat hors norme dans le contexte du RQEP.

### 3.1.2.3 Les coliformes fécaux et *Escherichia coli*

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de bactéries faisant partie des coliformes totaux. La méthode d'analyse est optimisée pour sélectionner la croissance des bactéries d'origine fécale. L'incubation se fait à 44,5°C durant 24 heures dans un milieu spécifique favorisant la croissance de colonies typiques bleutées. Cette température de croissance élevée confère à ce groupe le terme plus judicieux de coliformes thermotolérants.

Si, en plus des bactéries coliformes totales, des bactéries coliformes fécales sont présentes, une contamination d'origine fécale est fortement soupçonnée et un avis d'ébullition doit être émis immédiatement pour protéger la population.

L'analyse des bactéries *E. coli*, qui représentent environ 90% des bactéries coliformes fécales, confirme sans aucun doute que cette contamination est d'origine fécale. En effet, *E. coli* est la seule espèce bactérienne faisant partie du groupe des coliformes totaux (et des coliformes fécaux) qui soit strictement d'origine fécale humaine ou animale. Elle est très abondante dans la flore intestinale à des dénombrements de 1 million de bactéries par gramme. En outre, les bactéries *E. coli* représentent environ 95% de toutes les bactéries coliformes de la flore intestinale. C'est une bactérie qui est particulièrement sensible à la désinfection et qui a la

particularité de se développer difficilement à l'intérieur d'un réseau. Sa présence indique qu'une contamination fécale s'est introduite dans le réseau.

Toutefois, d'après la méthode habituelle de dénombrement, la confirmation de la présence de *E. coli* peut prendre jusqu'à 48 heures supplémentaires. À cause de ce délai pernicieux, le *RQEP* exige l'émission d'un avis d'ébullition suite à la détection de coliformes fécaux. Il est à noter que la bactérie à l'origine de l'épidémie de Walkerton est un sérotype différent et pathogène (*E. coli* O157 :H7) de la bactérie indicatrice *E. coli* et qu'elle n'est d'ailleurs pas détectée par les méthodes d'analyse habituelles, tout comme les autres micro-organismes pathogènes.

#### 3.1.2.4 Les BHAA et les colonies atypiques

Le dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives (BHAA) vise à estimer la population bactérienne générale dans l'eau. C'est un paramètre obligatoire dans le *RQEP*. Habituellement, l'analyse ne se fait pas par filtration sur membrane, mais par incorporation à la gélose. Une technique de dénombrement par méthode enzymatique est actuellement en développement. Les colonies atypiques doivent être dénombrées seulement si l'analyse des coliformes totaux se fait par membrane filtrante, ce qui est la situation la plus courante. Dans une moindre mesure, le dénombrement des colonies atypiques sert aussi à évaluer la densité bactérienne de l'eau.

Les analyses des BHAA viennent appuyer et valider les décomptes conventionnels des bactéries coliformes totales par membrane filtrante. Si elles dépassent un seuil de 500 BHAA UFC/ml, elles entrent en compétition avec les bactéries coliformes totales et masquent leur présence lors de l'analyse en empêchant le développement des caractères typiques des colonies de coliformes. De même, si les colonies de bactéries atypiques, qui se développent sur le même milieu de culture que les coliformes totaux, dépassent 200 ufc/100 ml, elles peuvent masquer le dénombrement de ces derniers. Ces contrôles viennent non seulement valider le dénombrement des coliformes, mais aussi fournir une indication du développement général des bactéries dans l'eau du réseau de distribution avant même que des coliformes ne soient détectés. Cette indication devrait inciter plus rapidement l'opérateur à modifier les paramètres d'opération du traitement ou d'exploitation du réseau. Dans ces cas, ce n'est pas le dépassement de la norme mais les variations dans le temps des BHAA et des bactéries atypiques qui servent d'outils de gestion pour l'opérateur. À ce jour, aucun lien n'a pu être établi entre des dénombrements de BHAA élevés et l'apparition de maladies entériques dans la population.

Les BHAA et les colonies atypiques indiquent le niveau de dégradation de la qualité de l'eau ou un mauvais entretien du réseau de distribution. De plus, lorsqu'ils sont analysés dans l'eau traitée (surtout les BHAA), ils sont de bons indicateurs de l'efficacité du traitement à enlever les bactéries. La présence récurrente de résultats hors normes doit être investiguée, documentée (voir section 3.1.2.2) et suivie pour en connaître la cause et pour s'assurer qu'il n'y a pas de dégradation supplémentaire de la qualité de l'eau. L'exploitant doit éventuellement apporter des correctifs appropriés.

Lorsque les BHAA dépassent 500 UFC/ml et/ou les colonies atypiques dépassent 200 ufc/100 ml, le résultat est considéré comme hors norme et l'analyse des coliformes totaux et des *E. coli*,

lors du prélèvement suivant, devrait être effectuée par une méthode enzymatique non influencée par ces interférences.

#### 3.1.2.5 Coliformes totaux et *Escherichia coli* (méthode enzymatique)

Ce *Guide de conception* ne peut passer sous silence une ouverture sur de nouvelles méthodes destinées à la détection simultanée des coliformes totaux et de *Escherichia coli*. Ces méthodes sont basées sur l'utilisation de substrats enzymatiques spécifiques à des enzymes présents uniquement chez l'un ou l'autre de ces groupes de bactéries. La présence de l'un ou l'autre de ces groupes de bactéries sera visible par l'apparition d'une coloration ou d'une fluorescence particulière des colonies de bactéries, que ce soit pour les méthodes de dénombrement par membrane filtrante ou pour les méthodes de type présence/absence. La coloration ou fluorescence est due à l'utilisation du substrat enzymatique par le groupe bactérien visé. Pour certaines méthodes, un substrat enzymatique est employé pour la mise en évidence de *Escherichia coli*, mais des principes traditionnels comme la fermentation du lactose et l'utilisation d'inhibiteurs de la croissance de bactéries non coliformes servent à faire la sélection et la mise en évidence des coliformes totaux. On pourrait qualifier ces méthodes de « semi-enzymatiques ». Plusieurs de ces méthodes, qu'elles reposent entièrement ou partiellement sur des substrats enzymatiques, sont approuvées depuis quelques années par l'USEPA.

Ces méthodes offrent quelques avantages par rapport aux méthodes traditionnelles d'analyse des coliformes (filtration sur membrane et utilisation des milieux de culture mEndo et m-Fc). D'abord, les nouvelles méthodes permettent la détection simultanée des coliformes totaux et de *Escherichia coli* dans le cadre d'une seule et même analyse. Il y a donc un gain en productivité. Ensuite, les publications scientifiques portant sur ces méthodes indiquent que leur spécificité et leur sélectivité sont généralement meilleures que celles des méthodes traditionnelles. Par conséquent, le besoin de confirmer les résultats serait moins grand qu'avec les méthodes traditionnelles, ce qui diminue les temps requis pour l'obtention des résultats finaux. Enfin, certaines de ces méthodes seraient moins sensibles à l'interférence causée par la présence d'un nombre élevé de bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives (plus de 500 BHAA/ml) ou de colonies atypiques. À l'opposé, l'inconvénient principal de ces méthodes est leur coût sensiblement plus élevé que celui des méthodes traditionnelles.

Au moins une de ces nouvelles méthodes est du type « présence/absence ». Elle permet de mettre en évidence la présence des coliformes totaux et de *Escherichia coli* dans un échantillon d'eau, mais elle ne permet pas de déterminer le nombre de bactéries dans l'échantillon. L'actuel RQEP permet l'utilisation de telles méthodes. Ainsi, lorsque qu'une méthode de type présence/absence est employée par le laboratoire, ce dernier n'est pas tenu de transmettre des résultats quantitatifs pour les coliformes totaux et *Escherichia coli*. Seul l'enregistrement de la présence ou de l'absence des coliformes totaux et de *Escherichia coli* est requis.

Au Québec, quelques laboratoires sont présentement accrédités par le MENV pour l'analyse des coliformes totaux et de *Escherichia coli* par une méthode de type présence/absence. Les laboratoires qui le désirent peuvent utiliser l'une ou l'autre de ces différentes méthodes à substrat enzymatique disponibles. Pour ce faire, le laboratoire doit soumettre une demande et démontrer au Service de l'accréditation du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec que

sa nouvelle méthode fonctionne aussi bien que les méthodes traditionnelles. Il est probable que ces nouvelles méthodes d'analyse des coliformes totaux et de *Escherichia coli* deviennent de plus en plus courantes dans les laboratoires accrédités québécois au cours des prochaines années.

#### 3.1.2.6 Les bactéries entérocoques

Les bactéries du genre *enterococcus* appartiennent au groupe de bactéries qu'on appelait auparavant les streptocoques fécaux. À l'instar des bactéries *E. coli*, les bactéries entérocoques se retrouvent en quantité considérable mais moins abondante que ces dernières dans les matières fécales humaines et animales. Toutefois, certaines variétés ne sont pas d'origine fécale et sont présentes naturellement dans les végétaux et le sol. Ces bactéries sont plus résistantes à la chloration que les coliformes et survivent généralement plus longtemps dans l'environnement. En outre, contrairement aux coliformes, elles recroissent très difficilement dans le réseau. Leur haute résistance à la sécheresse permet d'utiliser aussi les entérocoques comme contrôle de routine lors de l'installation ou de la réparation de conduites d'un réseau de distribution.

L'analyse des bactéries entérocoques est souvent réalisée pour évaluer la contamination fécale des eaux de baignade. L'analyse se fait habituellement par membrane filtrante sur un milieu spécifique. Dans le contexte du *RQEP*, les bactéries entérocoques doivent être contrôlées dans l'eau brute des puits vulnérables (art. 13) et des réseaux ayant démontré une contamination fécale lors du contrôle bactériologique (art. 37). Elles sont donc utilisées comme indicateur de contamination fécale dans une eau souterraine non désinfectée.

#### 3.1.2.7 Les indicateurs viraux

Des virus entériques humains sont susceptibles de se retrouver dans presque toutes les eaux de surface et aussi dans les eaux souterraines vulnérables si une source de pollution fécale, surtout humaine, est présente dans le périmètre de protection virologique de 550 jours. Contrairement aux bactéries et aux parasites, les virus infectent habituellement une seule espèce. À quelques exceptions près (d'ailleurs peu documentées), les virus entériques pathogènes infectant les animaux ne peuvent pas infecter les humains.

Bien que la résistance des virus à la désinfection soit variable, elle est généralement plus grande que celle des bactéries. Les virus persistent également plus longtemps dans l'environnement que les bactéries. Ils sont beaucoup plus petits et s'infiltreront donc plus facilement à travers un substrat. En conséquence, les indicateurs bactériens ne sont pas très valables pour indiquer la présence de virus. En effet, on a déjà mis en évidence des virus entériques dans l'eau souterraine, ceci en l'absence de coliformes. Dans la moitié des cas d'épidémies d'origine hydrique, les causes sont inconnues, même si l'on soupçonne les virus d'être très souvent responsables. Le virus de Norwalk est celui qui est le plus souvent mis en évidence dans les épidémies au Québec.

Les indicateurs viraux dans le contrôle de l'eau potable mesurent les coliphages somatiques et les coliphages mâle-spécifique (ou F-spécifique). Les coliphages sont une variété de bactériophages, c'est-à-dire des virus qui infectent spécifiquement une espèce bactérienne soit, dans ce cas précis, les bactéries coliformes et surtout *E. coli*. Les coliphages se répliquent uniquement en

infectant la bactérie cible, forçant celle-ci à produire quelques centaines de virus conduisant ainsi à l'éclatement de la cellule et à la libération de ces virus infectieux dans le milieu. Les coliphages se trouvent très souvent dans les eaux usées domestiques et sont présents en plus grande quantité que les virus entériques dans les matières fécales.

Cependant, il est reconnu que les coliphages somatiques peuvent infecter d'autres espèces de coliformes que *E. coli*. Ils ne sont donc pas de très bons indicateurs de contamination fécale mais plutôt indicateurs de la vulnérabilité d'une eau souterraine à la contamination virale. Par contre, les coliphages mâle-spécifique infectent essentiellement la bactérie *E. coli*. Ces coliphages sont donc de très bons indicateurs de contamination fécale et ce sont ces derniers qui sont recommandés en application du *RQEP*.

L'USEPA (méthode 1602) a mis au point des méthodes d'analyse relativement simples et rapides pour l'analyse des deux types de coliphages. L'analyse est basée sur la propriété des coliphages à infecter et à détruire *E. coli*. Le résultat est exprimé en unités formant des plages de lyse (UFP). Il existe aussi une méthode qualitative de type présence/absence. Les analyses de coliphages sont actuellement offertes par quelques laboratoires accrédités et par le Centre d'expertise en analyses environnementales du Québec (CEAEQ).

À l'instar du projet américain de *Groundwater Rule*, les coliphages servent d'abord d'indicateurs de contamination fécale dans l'eau souterraine, mais ils servent aussi à signaler la présence possible de virus entériques humains, compte tenu de leurs caractéristiques similaires. C'est d'ailleurs en raison de leur potentiel de contamination des nappes souterraines non désinfectées que le *RQEP* impose un contrôle mensuel dans l'eau brute des coliphages mâle-spécifique en association avec les entérocoques et *E. coli* lorsque les aires (ou périmètres) de protection bactériologique et virologique sont jugées vulnérables à la contamination fécale (art.13). Une eau souterraine évaluée comme étant contaminée devra être désinfectée pour enlever 99,99% des virus.

#### 3.1.2.8 Les indicateurs parasitaires

Les parasites réglementés sont : *Cryptosporidium* et *Giardia*. Ils sont fréquemment présents dans les eaux de surface sous une forme enkystée résistant même à la congélation. Ils ont une plus grande résistance à la désinfection au chlore que les bactéries et les virus. En outre, ils sont beaucoup plus persistants dans l'environnement que les bactéries. Ils se multiplient dans l'intestin et leurs principaux réservoirs sont les animaux domestiques, les animaux sauvages (rats musqués et castors particulièrement pour *Giardia*) et l'homme. La nouvelle génération de traitement de désinfection aux U.V. est cependant particulièrement efficace contre ces parasites. L'ozonation a une efficacité moindre en période hivernale. Puisque les indicateurs bactériens ne sont pas utiles pour détecter la présence des parasites, le traitement doit permettre en tout temps l'élimination sécuritaire de ces derniers. *Cryptosporidium* est un parasite plutôt petit et compte parmi les plus résistants à la chloration. On estime qu'un traitement efficace pour éliminer de façon sécuritaire ce parasite sera suffisamment efficace contre les autres parasites. Par contre, les parasites sont plus gros que les bactéries et les virus de sorte que la contamination par les parasites d'une eau souterraine bien captée est improbable.

Les parasites peuvent occasionner des épidémies de gastro-entérites telles que celle de Milwaukee en 1993 où 400 000 personnes ont été infectées et celle de North-Battleford en Saskatchewan en avril 2001. Très souvent, les épidémies répertoriées pour *Cryptosporidium* surviennent dans des systèmes à traitement complet ayant démontré une déficience dans le système de filtration.

En raison de contraintes analytiques, il n'y a toutefois aucun contrôle direct de ces micro-organismes dans le *RQEP*. Ces analyses sont longues, coûteuses et exigent la filtration d'un grand volume d'eau (jusqu'à 1000 litres). Une étude américaine datée de 1999 a mis en évidence la fiabilité douteuse des résultats d'analyse. Des recherches sont présentement en cours et il est à prévoir qu'une méthode adéquate sera disponible prochainement.

L'analyse des bactéries sporulantes aérobies (BSA) est un indicateur intéressant pour évaluer la performance d'une filière de traitement à enlever les parasites. Les BSA ne représentent aucun risque sanitaire et sont présentes en abondance dans le sol et toutes les eaux de surface. Elles sont analysées par des méthodes simples et rapides. Après une filtration conventionnelle, le taux d'enlèvement des spores bactériennes est du même ordre de grandeur que celui des parasites. En outre, la résistance à la chloration des spores est en général supérieure à celle des kystes de *Giardia*.

Le suivi des particules de petites dimensions (quelques microns) est aussi un outil intéressant pour évaluer la performance de chaque étape du système de filtration quant à l'enlèvement des kystes et oocystes de *Giardia* et *Cryptosporidium*.

Les contraintes de traitement exprimées en termes de degré d'enlèvement des parasites *Giardia* et *Cryptosporidium* sont respectées par le biais d'équivalence selon les technologies de traitement en place. Le chapitre 10 expose le calcul de ces crédits d'enlèvement des parasites.

#### 3.1.2.9 Chlore libre et équivalence de désinfection résiduelle

La norme de chlore résiduel libre est fixée à 0,3 mg/L à la sortie du réservoir ou du traitement s'il n'y avait pas de réservoir. Cette norme empirique a pour seul objet de vérifier rapidement que la désinfection offre un pouvoir rémanent dans le réseau afin d'éviter une contamination ou une détérioration de la qualité de l'eau en cours de distribution. Il aurait été plus simple d'exiger l'omniprésence de chlore résiduel libre dans le réseau, mais cette exigence est inapplicable à maints endroits et non essentielle lorsque les paramètres de l'eau (matière organique et BHAA notamment) démontrent une bonne qualité malgré l'absence de chlore.

La vérification du chlore résiduel libre est exigée en continu à la sortie du traitement (avec système d'alarme) ou du réservoir et, en plus, au moins deux fois par mois (non exigé si un seul bâtiment) dans le réseau de façon à pouvoir interpréter la présence éventuelle de coliformes et convenir des actions pertinentes pour remédier à la situation.

Lorsqu'une méthode de désinfection autre que le chlore est utilisée, celle-ci devra offrir un potentiel de désinfection au moins équivalent à celui du chlore. À défaut de ne pouvoir déterminer des valeurs résiduelles équivalentes pour le bioxyde de chlore, l'exploitant devra

démontrer que l'inactivation des *Giardia* est au moins équivalente en hiver à celle requise pour le chlore. En été, il faut mettre en garde l'exploitant de la rémanence médiocre du bioxyde de chlore en eau chaude. Quant aux chloramines, leur effet rémanent est généralement excellent mais doit être précédé d'un autre oxydant pour la désactivation des parasites. L'ozone et le rayonnement ultraviolet n'offrent pas de pouvoir rémanent et doivent, quant à eux, être suivis de l'ajout d'un autre oxydant chimique pour offrir une désinfection résiduelle. Les chloramines et le chlore sont les compléments disponibles.

#### 3.1.2.10 La turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau et correspond généralement à la quantité de matières en suspension dans l'eau (limon, argile, particules organiques et inorganiques, plancton et autres micro-organismes). L'analyse est effectuée à l'aide d'un appareil qui mesure la quantité de lumière réfractée à 90° par l'échantillon. Cette mesure est simple, très rapide, peu coûteuse et les équipements conventionnels (HACH 1720 DL, par exemple) offrent une résolution permettant de mesurer des niveaux inférieurs à 0,1 UTN.

La turbidité nuit à l'efficacité des agents désinfectants. Des corrélations significatives avec les gastro-entérites répertoriées dans les hôpitaux ont été mises en évidence dans des eaux non filtrées (Vancouver) et filtrées (Philadelphie). À Vancouver, par exemple, où l'eau de surface est simplement chlorée, il y a eu une augmentation significative des hospitalisations pour gastro-entérites lorsque la turbidité dépassait 1,0 UTN. À Philadelphie où l'eau est filtrée et chlorée, une faible augmentation de la turbidité qui n'a jamais dépassée la norme de 0,5 UTN a résulté en une augmentation significative des hospitalisations pour gastro-entérites. Enfin, l'épidémie de Milwaukee est associée à l'augmentation de la turbidité au-dessus de 1 UTN à la sortie d'un des filtres.

Ces exemples illustrent l'importance de la turbidité comme indicateur du risque sanitaire lorsque l'eau brute est contaminée. La turbidité présente les caractéristiques suivantes en regard des micro-organismes : (1) Les micro-organismes ont tendance à s'absorber sur un support plutôt qu'à de rester en suspension libre dans l'eau. Les particules en suspension offrent ce support. En outre, les particules organiques fournissent une plus grande capacité d'adsorption en plus de fournir la nourriture nécessaire à la multiplication des bactéries; (2) Les particules (surtout organiques) offrent une protection contre l'action des agents désinfectants, en particulier le chlore; (3) La turbidité interfère lors de l'énumération bactérienne ou virale en concentrant au même endroit un nombre important de micro-organismes qui seront perçus comme une seule unité lors du dénombrement sur le milieu de culture.

La nature organique probable de la turbidité peut être évaluée par une mesure du carbone organique total (COT). Les matières organiques augmentent la demande en chlore, en plus de servir d'abri aux micro-organismes possiblement pathogènes.

## **3.2 Autres considérations réglementaires**

### *3.2.1 La notion de secteur*

Dans les cas où la contamination du réseau est imputable à un mauvais branchement, une réparation du réseau ou une infiltration d'eau interstitielle en situation de pression négative, il pourrait être justifié, pour l'exploitant, d'émettre un avis d'ébullition dans une seule section de son réseau. L'article 36 stipule que cet avis doit être émis aux utilisateurs concernés, c'est-à-dire tous ceux qui, compte tenu des caractéristiques hydrauliques de ce système, sont susceptibles d'être approvisionnés par de l'eau contaminée.

Dans les cas de réseaux desservant moins de 10 000 personnes, le nombre d'échantillons prélevés à chaque semaine est trop restreint : l'avis devrait généralement être émis pour l'ensemble du réseau. Dans le cas d'un avis non obligatoire qui serait émis suite à la présence d'autres bactéries, un nouvel échantillonnage permettrait de confirmer l'ampleur de la contamination et de mieux cerner les lieux touchés par cette contamination. Dans le cas de municipalités de plus grande taille (> 50 000 personnes), la connaissance du réseau et le plan d'échantillonnage devraient être assistés par une modélisation des caractéristiques hydrauliques de l'ensemble du réseau.

### *3.2.2 Les contrôles pour les véhicules citernes*

La distribution de l'eau au nord du 55<sup>e</sup> parallèle est effectuée exclusivement par camion citerne. Ailleurs, l'eau peut être distribuée de façon épisodique par ce même moyen, notamment lorsqu'une institution est alimentée par un puits de mauvaise de qualité ou lorsqu'un réseau n'est plus en mesure de fournir temporairement une eau de qualité. Le train, l'avion ou le bateau peuvent aussi servir à acheminer de l'eau potable.

Les citernes ou réservoirs doivent être destinés au transport de l'eau, sans risque d'en altérer la qualité (art. 29). Ces eaux doivent contenir en tout temps une teneur en chlore résiduel libre de 0,2 mg/L et elles doivent être approvisionnées à partir de prises respectant les exigences minimales de traitement indiquées aux articles 5 à 7. De plus, elles sont soumises au même contrôle de qualité que les autres réseaux de distribution, à l'exception du fait que tous les échantillons doivent être prélevés à la sortie de la citerne, que l'analyse des BHAA n'est pas requise et qu'un contrôle quotidien du chlore résiduel doit être effectué en inscrivant les données sur un registre gardé à la disposition du MENV durant cinq ans.

### *3.2.3 Le rôle du laboratoire accrédité*

Les responsabilités du laboratoire accrédité sont accrues de façon à garantir une meilleure transparence du mécanisme de transmission de l'information qualitative. Ainsi, le laboratoire doit informer le MENV et le MSSS dès qu'un échantillon d'eau dépasse les normes de qualité (art. 35). L'exploitant demeure responsable d'informer, dans les plus brefs délais, ces ministères des actions qu'il entend prendre pour remédier à la situation (art. 36). Le laboratoire doit, de surcroît, informer l'exploitant de tout résultat positif (présence de coliforme total) afin que ce

dernier puisse vérifier rapidement le respect de la règle du 10% de présence de coliformes totaux dans les échantillons prélevés au cours de 30 jours consécutifs précédents.

Le laboratoire accrédité est responsable de transférer sur support informatique les résultats au MENV dans un délai de 10 jours pour les micro-organismes, le chlore résiduel libre et la turbidité. Un délai de 60 jours s'applique pour les autres paramètres (art. 33).

#### *3.2.4 Les mesures en cas de dépassement de normes*

La détection de coliformes fécaux et/ou de bactéries *E. coli* entraîne l'émission automatique d'un avis d'ébullition dans les secteurs visés (art. 36). Le MENV (direction régionale), le MSSS (direction de santé publique) et le MAPA doivent obtenir copie de cet avis (art. 36). Dans le cas d'un exploitant qui dessert une eau non désinfectée, des vérifications de l'eau brute sont nécessaires.

Dès que l'exploitant est informé par le laboratoire du dépassement d'une norme, il doit aviser le MENV et le MSSS des mesures qu'il entend prendre pour remédier à la situation (art. 36). Ces mesures peuvent consister, dans le cas d'un dépassement des normes chimiques, à échantillonner à nouveau la qualité de l'eau pour confirmer le dépassement de la norme. Le cas échéant, le MENV analysera les correctifs suggérés par l'exploitant et le MSSS investiguera les risques pour la santé. Si les correctifs requis vont dans le sens du respect des traitements minimaux selon les articles 5 à 7, l'exploitant devra s'assurer du respect du plan d'action déposé en vertu de l'article 53 ou suite à la détection du problème. Si des correctifs supplémentaires sont requis, un nouveau plan d'action devra être déposé au MENV. Si le MSSS recommande, suite à son investigation, qu'un avis préventif de non-consommation ou d'ébullition soit requis, l'exploitant doit l'émettre à défaut de quoi une poursuite est intentée par le MENV. Le MSSS émet cet avis en vertu des pouvoirs qui lui sont conférés par la Loi sur la protection de la santé publique.

Si un avis n'est pas requis, mais que l'impact à moyen ou long terme implique une intervention, les délais d'intervention devront respecter les exigences de la protection de la santé. Si l'exploitant ne soumet pas un plan d'intervention à la satisfaction du MENV et/ou du MSSS, des procédures judiciaires sont intentées et/ou une ordonnance peut être émise.

Les sections suivantes proposent des cheminements pour l'analyse et la correction des problèmes de turbidité et de microorganismes. La vérification de l'efficacité du traitement selon la qualité de l'eau brute sera notamment requise.

Lorsque l'exploitant a complété ses interventions, le retour à la conformité nécessite, sauf pour les THM, un nouvel échantillonnage de l'eau durant deux jours consécutifs (art. 39 et 40). Les personnes avisées initialement sont à nouveau contactées de la même façon pour la levée, le cas échéant, de l'avis public (art. 41).

Les THM, dont la norme est mesurée sur une base annuelle, ont une procédure de retour à la conformité basée sur la démonstration au MENV que les interventions adoptées permettront de respecter la norme.

### 3.2.5 Les dispositions pénales

Toute personne physique qui ne répond pas aux exigences réglementaires s'expose à des poursuites et des amendes variant de 500 à 20 000\$. S'il s'agit d'une personne morale, ces amendes sont doublées. Si une personne physique est reconnue coupable et qu'elle récidive, les amendes sont également doublées.

### 3.2.6 Mode de prélèvement et de conservation des échantillons

L'article 30 du *RQEP* mentionne un document intitulé *Mode de prélèvement et de conservation des échantillons relatifs à l'application du Règlement sur la qualité de l'eau potable* et publié par le MENV. Ce document est disponible à l'adresse Internet suivante : [www.menv.gouv.qc.ca/ceaeq/potable/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/ceaeq/potable/index.htm)

## 3.3 Démarche logique en cas de hors norme

Les algorithmes décisionnels pour les cas de hors norme microbiologique, de turbidité et chimique sont en révision et seront disponibles d'ici la fin de l'année 2002.

## 3.4 Adresses utiles

### 3.4.1 MSSS

Voici les adresses des directions de santé publique (DSP) du ministère de la Santé et des Services sociaux :

Monsieur Claude Gauthier  
**DSP du Bas Saint-Laurent**  
288, rue Pierre-Saindon, 2e étage  
Rimouski (Québec) G5L 9A8

Téléphone : (418) 724-8464  
Télécopieur : (418) 723-3103  
Courriel : [claud\\_gauthier@ssss.gouv.qc.ca](mailto:claud_gauthier@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Léon Larouche (TNTNCSE)  
Coordonnateur en environnement  
**DSP Saguenay/ Lac Saint-Jean**  
930, boulevard Jacques-Cartier  
Chicoutimi (Québec) G7H 2A9

Téléphone : (418) 545-4980  
Télécopieur : (418) 549-9710  
Courriel : [leon.larouche@ssss.gouv.qc.ca](mailto:leon.larouche@ssss.gouv.qc.ca)

Madame Louise Pelletier  
Coordonnatrice en santé environnementale  
**DSP de l'Outaouais**  
104, rue Lois  
Hull (Québec) J8Y 3R7

Téléphone : (819) 777-3871  
Télécopieur : (819) 777-0271  
Courriel : [louise\\_pelletier@ssss.gouv.qc.ca](mailto:louise_pelletier@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Daniel Gagné (TNTNCSE)  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP Régie régionale Abitibi-Témiscamingue**  
Pavillon Laramé  
1, 9e Rue  
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 2A9

Téléphone : (819) 764-3264  
Télécopieur : (819) 797-1947  
Courriel : [daniel\\_gagne@ssss.gouv.qc.ca](mailto:daniel_gagne@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Henri Prud'Homme  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP de Québec**  
2400, d'Estimauville  
Beauport (Québec) G1E 7G9

Téléphone : (418) 666-7000, poste 271  
Télécopieur : (418) 666-2776  
Courriel : [helene.brisson@ssss.gouv.qc.ca](mailto:helene.brisson@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Guy Lévesque  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP Mauricie / Centre-du-Québec**  
550, rue Bonaventure, 3e étage  
Trois-Rivières (Québec) G9A 2B5

Téléphone : (819) 693-3918  
Télécopieur : (819) 373-1627  
Courriel : [guy\\_levesque@ssss.gouv.qc.ca](mailto:guy_levesque@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Reno Proulx  
**Régie régionale de la Santé et  
des Services sociaux de l'Estrie (DSP)**  
300, rue King Est  
Sherbrooke (Québec) J1G 1B1

Téléphone : (819) 829-3400, poste 2477 (2478)  
Télécopieur : (819) 564-5435  
Courriel : [rproulx.rr05@ssss.gouv.qc.ca](mailto:rproulx.rr05@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Louis Drouin (TNCSE)  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP Montréal-Centre**  
Santé au travail et environnementale  
1301, rue Sherbrooke Est  
Montréal (Québec) H2L 1M3

Téléphone : (514) 528-2400  
Télécopieur : (514) 528-2459  
Courriel : [ldrouin@santepub-mtl.qc.ca](mailto:ldrouin@santepub-mtl.qc.ca)

Jacques-François Cartier  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP de la Côte-Nord**  
691, rue Jalbert  
Baie-Comeau (Québec) G5C 2A1

Téléphone : (418) 589-9845  
Télécopieur : (418) 589-8574  
Courriel : [jacques-francois\\_cartier@ssss.gouv.qc.ca](mailto:jacques-francois_cartier@ssss.gouv.qc.ca)

Dr Jean-Claude Dessau  
Coordonnateur en santé environnementale  
(intérim)  
**Nord-du-Québec (DSP des Laurentides)**  
1000, rue Labelle, bureau 210  
Saint Jérôme (Québec) J7Z 2V4

Téléphone : (450) 436-8622 (2298)  
(Laurentides)  
Télécopieur : (450) 436-1761 (Laurentides)  
Courriel : [jean-claude\\_dessau@ssss.gouv.qc.ca](mailto:jean-claude_dessau@ssss.gouv.qc.ca)

Madame Marie Chagnon (TNCSE)  
Coordonnatrice en santé environnementale  
**DSP Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine**  
205-1, York Ouest  
Gaspé (Québec) G4X 2W5

Téléphone : (418) 368-2443  
Télécopieur : (418) 368-1317  
Courriel : [marie\\_chagnon@ssss.gouv.qc.ca](mailto:marie_chagnon@ssss.gouv.qc.ca)

Monsieur Jean-Pierre Vigneault  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP Chaudière-Appalaches**  
100, rue Monseigneur-Bourget, bureau 400  
Lévis (Québec) G6V 6Y9

Téléphone : (418) 77833-4864, poste 503  
Télécopieur : (418) 835-6006  
Courriel : [jean-pierre\\_vigneault@sss.gouv.qc.ca](mailto:jean-pierre_vigneault@sss.gouv.qc.ca)

Madame Lise Laplante (TNCSE)  
Coordonnatrice en santé environnementale  
**DSP de Laval**  
800, boul. Chomedey, Tour A, 3e étage  
Laval (Québec) H7V 3Y4

Téléphone : (450) 978-2000  
Télécopieur : (450) 978-2100  
Courriel : lise\_laplante@ssss.gouv.qc.ca

Madame Suzanne H. Fortin (TNCSE)  
Coordonnatrice en santé environnementale  
**DSP de Lanaudière**  
1000, boulevard Sainte-Anne, Aile 5-C  
St-Charles Borromée (Québec) J6E 6J2

Téléphone : (450) 759-1157  
Télécopieur : (450) 755-3961  
Courriel : suzanne\_fortin@ssss.gouv.qc.ca

Monsieur Michel Savard (TNCSE)  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP des Laurentides**  
1000, rue Labelle, bureau 210  
Saint Jérôme (Québec) J7Z 2V4

Téléphone : (450) 436-5669  
Télécopieur : (450) 436-1761  
Courriel : msavard@cepiq.com  
c.c. : johanne\_pichette @ssss.gouv.qc.ca

Monsieur Daniel G. Bolduc  
Coordonnateur  
Direction des Risques biologiques,  
environnementaux et occupationnels  
**Institut national de santé publique du Québec**  
2400, d'Estimauville  
Beauport (Québec) G1E 7G9

Téléphone : (418) 666-7000, poste 466  
Télécopieur : (418) 666-2776  
Courriel : daniel.bolduc@ssss.gouv.qc.ca

Monsieur Claude Tremblay (TNCSE)  
Coordonnateur en santé environnementale  
**DSP de la Montérégie**  
1255, rue Beauregard  
Longueuil (Québec) J4K 2M3

Téléphone : (450) 928-6777, poste 4031  
Télécopieur : (450) 928-3760  
Courriel : c.tremblay@rrsss16.gouv.qc.ca

Monsieur Serge Déry  
**DSP de Nunavik**  
Case postale 900  
Kuujjuak (Québec) J0M 1C0

Téléphone : (819) 964-2222  
Télécopieur : (819) 964-2888  
Courriel : serge\_dery@ssss.gouv.qc.ca

Madame Élisabeth Robinson  
**Conseil Cri de la santé/services sociaux de-la-Baie-James**  
277, rue Duke, suite 201  
Montréal (Québec) H3C 2M2

Téléphone : (514) 861-2352, poste 29  
Télécopieur : (514) 861-2681  
Courriel : mder@musica.mcgill.ca

Madame Michèle Bélanger  
**Direction générale de la santé publique MSSS**  
1075, chemin Sainte-Foy, 2<sup>e</sup> étage  
Québec (Québec) G1S 2M1

Téléphone : (418) 266-6723  
Télécopieur : (418) 266-6708  
Courriel : michele.belanger@msss.gouv.qc.ca

### 3.4.2 MENV

Voici les adresses des directions régionales du ministère de l'Environnement :

**01 Direction régionale du Bas-Saint-Laurent**

212, avenue Belzile  
Rimouski (Québec) G5L 3C3  
Téléphone : (418) 727-3511  
Télécopieur : (418) 727-3849  
Courriel : bas-saint-laurent@menv.gouv.qc.ca

**02 Direction régionale du Saguenay—Lac-Saint-Jean**

3950, boul. Harvey, 4<sup>e</sup> étage  
Jonquière (Québec) G7X 8L6  
Téléphone : (418) 695-7883  
Télécopieur : (418) 695-7897  
Courriel : saguenay-lac-saint-jean@menv.gouv.qc.ca

**03 Direction régionale de la Capitale-Nationale**

365, 55<sup>e</sup> Rue Ouest  
Charlesbourg (Québec) G1H 7M7  
Téléphone : (418) 644-8844  
Télécopieur : (418) 646-1214  
Courriel : capitale-nationale@menv.gouv.qc.ca

**04 Direction régionale de la Mauricie**

100, rue Laviolette, 1<sup>er</sup> étage  
Trois-Rivières (Québec) G9A 5S9  
Téléphone : (819) 371-6581  
Télécopieur : (819) 371-6987  
Courriel : mauricie@menv.gouv.qc.ca

**05 Direction régionale de l'Estrie**

770, rue Gorette  
Sherbrooke (Québec) J1E 3H4  
Téléphone : (819) 820-3882  
Télécopieur : (819) 820-3958  
Courriel : estrie@menv.gouv.qc.ca

**06 Direction régionale de Montréal**

5199, rue Sherbrooke Est, Bureau 3860  
Montréal (Québec) H1T 3X9  
Téléphone : (514) 873-3636  
Télécopieur : (514) 873-5662  
Courriel : montreal@menv.gouv.qc.ca

**07 Direction régionale de l'Outaouais**

98, rue Lois  
Hull (Québec) J8Y 3R7  
Téléphone : (819) 772-3434  
Télécopieur : (819) 772-3952  
Courriel : outaouais@menv.gouv.qc.ca

**08 Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue**

180, boulevard Rideau, 1<sup>er</sup> étage  
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 1N9  
Téléphone : (819) 763-3333  
Télécopieur : (819) 763-3202  
Courriel : abitibi-temiscamingue@menv.gouv.qc.ca

**09 Direction régionale de la Côte-Nord**

818, boulevard Laure, rez-de-chaussée  
Sept-Îles (Québec) G4R 1Y8  
Téléphone : (418) 964-8888  
Télécopieur : (418) 964-8023  
Courriel : cote-nord@menv.gouv.qc.ca

**10 Direction régionale du Nord-du-Québec**

180, boulevard Rideau, 1<sup>er</sup> étage  
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 1N9  
Téléphone : (819) 763-3333  
Télécopieur : (819) 763-3202  
Courriel : abitibi-temiscamingue@menv.gouv.qc.ca

**11 Direction régionale de la Gaspésie—  
Îles-de-la-Madeleine**

124, 1<sup>re</sup> Avenue Ouest, C.P. 550  
Ste-Anne-des-Monts (Québec) G0E 2G0  
Téléphone : (418) 763-3301  
Télécopieur : (418) 763-7810  
Courriel : gaspesie-iles-de-la-  
madeleine@menv.gouv.qc.ca

**12 Direction régionale de la Chaudière-  
Appalaches**

675, route Cameron, bureau 200  
Sainte-Marie (Québec) G6E 3V7  
Téléphone : (418) 386-8000  
Télécopieur : (418) 386-8080  
Courriel : chaudiere-  
appalaches@menv.gouv.qc.ca

**13 Direction régionale de Laval**

850, boul. Vanier  
Laval (Québec) H7C 2M7  
Téléphone : (450) 661-2008  
Télécopieur : (450) 661-2217  
Courriel : laval@menv.gouv.qc.ca

**14 Direction régionale de Lanaudière**

100, boulevard Industriel  
Repentigny (Québec) J6A 4X6  
Téléphone : (450) 654-4355  
Télécopieur : (450) 654-6131  
Courriel : lanaudière@menv.gouv.qc.ca

**15 Direction régionale des Laurentides**

140, rue Saint-Eustache, 3<sup>e</sup> étage  
Saint-Eustache (Québec) J7R 2K9  
Téléphone : (450) 623-7811  
Télécopieur : (450) 623-7042  
Courriel : laurentides@menv.gouv.qc.ca

**16 Direction régionale de la Montérégie**

201, Place Charles-Lemoyne, 2<sup>e</sup> étage  
Longueuil (Québec) J4K 2T5  
Téléphone : (450) 928-7607  
Télécopieur : (450) 928-7625  
Courriel : monteregie@menv.gouv.qc.ca

**17 Direction régionale du Centre-du-  
Québec**

1579, boulevard Louis-Fréchette  
Nicolet (Québec) J3T 2A5  
Téléphone : (819) 293-4122  
Télécopieur : (819) 293-8322  
Courriel : centre-du-  
quebec@menv.gouv.qc.ca

**Direction de la coordination  
opérationnelle, des urgences et des  
enquêtes (DCO)**

675, boul. René-Lévesque Est, 29<sup>e</sup> étage,  
boîte 95  
Québec (Québec) G1R 5V7  
Téléphone : (418) 521-3899  
Télécopieur : (418) 643-4747

## **TABLE DES MATIÈRES, VOLUME 2**

|           |                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------|
| <b>4.</b> | <b>SCÉNARIOS D'ALIMENTATION ET DE TRAITEMENT .....</b> |
|-----------|--------------------------------------------------------|

## 4. SCÉNARIOS D'ALIMENTATION ET DE TRAITEMENT

### 4.3.1 Comparaison de coûts de solutions

En eau potable comme en eaux usées et ce dans tous les domaines des infrastructures municipales, il est de rigueur de comparer les solutions en considérant les coûts d'immobilisation mais aussi les coûts d'exploitation. Cette section vise à apporter au concepteur et au propriétaire quelques éléments de calculs pour effectuer cette comparaison.

#### 4.3.1.1 Principe du calcul

La comparaison de solutions s'effectue préférentiellement sur la base de la valeur actuelle nette (VAN) exprimée en dollars d'aujourd'hui. Il est nécessaire : 1) d'identifier les flux monétaires engendrés par le projet durant sa vie économique, 2) de déterminer le taux d'actualisation (coût d'opportunité des fonds), pour finalement 3) actualiser le flux monétaire.

#### **Les entrées et sorties de fonds engendrées durant sa vie économique**

La projection porte sur :

- L'investissement initial (incluant le coût des travaux, les frais contingents, les coûts de financement temporaire, etc.);
- Les sorties de fonds relatives à l'exploitation (incluant les dépenses en capital pour le remplacement d'équipements majeurs);
- L'assistance financière des gouvernements supérieurs qui portent habituellement sur l'investissement initial mais peut comporter des limitations comme :
  - Les frais contingents admissibles;
  - Les coûts de construction qui peuvent être ramenés à la valeur de la solution la moins chère.

Lors de l'estimation des projections de flux monétaires, il est important d'ajouter un facteur pour tenir compte de l'inflation.

#### **Le taux d'actualisation**

Le taux d'actualisation correspond à un taux de rendement exigé établi selon le niveau de risque inhérent au projet. Comme les projets municipaux sont habituellement financés à 100% par dette, le taux à utiliser correspond à celui de l'emprunt.

#### **Actualisation du flux monétaire**

L'actualisation est basée sur la relation suivante :

$$\text{Valeur actuelle} = \sum_{t=1}^n \frac{FM_t}{(1+r)^t}$$

Où :

$FM_t$  = Flux Monétaire au temps  $t$

$r$  = Taux d'actualisation

$n$  = Horizon (années)

La perspective de calcul est habituellement fixée par le concepteur en tenant compte de la durée de vie utile de l'ouvrage. C'est ainsi que l'instrumentation et le contrôle se verra attribuer une durée de vie utile de l'ordre de 5 à 7 ans, l'équipement électromécanique de l'ordre de 7 à 10 ans et le génie civil de l'ordre de 30 ans. Le fournisseur d'équipement peut donner indirectement des indications comme la période de performance garantie de 5 ans sur les membranes.

#### 4.3.1.2 Coûts d'exploitation

Il n'existe pas de base de données québécoise récente concernant les coûts d'exploitation dans le domaine du traitement de l'eau. Par contre, les efforts du MAMM en matière d'uniformisation de la présentation des données financières municipales et de définition de critères de benchmarking, devraient éventuellement conduire à des données intéressantes. D'ici là, nous nous limiterons à détailler la répartition des coûts et à fournir un exemple.

##### **Répartition**

Typiquement, un budget de traitement comprend :

##### *La main d'œuvre*

Selon la taille et les procédés, il faut prévoir le personnel pour :

- L'opération;
- L'entretien et les réparations en mécanique et électricité, instrumentation et contrôle et ce, aussi bien pour le procédé que pour le bâtiment;
- Les analyses réalisées sur place.

Une vérification auprès d'une station semblable constitue la meilleure solution pour estimer ces coûts. On n'oubliera pas de tenir compte du temps supplémentaire et des bénéfices marginaux et, de façon générale, de l'ensemble des coûts que la Ville débourse en relation avec ses employés (un taux de 30% est considéré comme usuel pour les bénéfices marginaux).

##### *L'énergie*

Les 2 principaux postes budgétaires sont le pompage et le chauffage des bâtiments. Ils sont relativement faciles à estimer. Le pompage peut comprendre 1 ou 2 niveaux. Le pompage à la distribution sera considéré s'il diffère d'un cas à l'autre parmi les solutions comparées. La consommation de certains équipements de procédé (ozone, U.V. par exemple) doit également être considérée.

##### *Les produits chimiques et autres intrants utilisés dans le traitement*

Les coûts des produits chimiques utilisés désinfectants, aide-coagulants, polymères sont à considérer. Dans certains cas, les pertes de média représentent un coût significatif.

##### *Les analyses*

Les coûts visés comprennent les analyses réalisées à l'extérieur par un laboratoire spécialisé ainsi que les coûts du matériel et des réactifs utilisés sur place.

#### *Les boues et autres rejets*

Les volumes de boues, eaux de lavage et autres rejets liquides ou solides, sont à considérer. Rejetés à l'égout, ils représentent une charge pour les ouvrages d'assainissement. Traités sur place, on doit les considérer dans les coûts d'exploitation.

#### *L'entretien et le renouvellement*

L'entretien comprend les dépenses courantes qui entrent dans le budget d'exploitation. Les contrats d'entretien pour des tâches spécialisées (en instrumentation et contrôle) entrent dans cette catégorie. Il en est ainsi du renouvellement périodique de pièces peu onéreuses. Les coûts de renouvellement moins fréquent ou de systèmes plus importants peuvent être considérés dans la partie des immobilisations.

#### *Les autres frais spécifiques au traitement*

Ne pas oublier d'inclure des dépenses relatives aux déplacements ainsi que les activités ayant une relation avec la protection de la source d'eau.

#### *Les frais généraux*

Les coûts relatifs aux fonctions administratives municipales (finances, ressources humaines, etc.) font partie des coûts de l'eau mais, sauf pour un cas particulier, ne sont pas à considérer dans la présente analyse dans la mesure où ils sont similaires pour les différentes solutions étudiées.

#### **Exemple :**

La ville de Repentigny a accepté de fournir ses données. Alimentée par la rivière l'Assomption, la station d'une capacité de 87500 m<sup>3</sup>/j comprend un traitement complet. Elle alimente 80000 personnes en eau. Les coûts comprennent les frais de pompage dans le réseau de distribution.

**Tableau 4-1 : Exemple de budget d'exploitation pour la Station de purification de Repentigny (2001)**

|                                  | MONTANT | SOUS-TOTAL | %      |
|----------------------------------|---------|------------|--------|
| SALAIRES ET CONTRIBUTIONS        |         |            |        |
| Salaire régulier                 | 464870  | 651171     | 36.9%  |
| Contributions de l'employeur     | 110390  |            |        |
| Salaire empl. temporaire         | 34549   |            |        |
| Surtemps                         | 19575   |            |        |
| Primes                           | 13842   |            |        |
| Salaire formation                | 3766    |            |        |
| Frais de formation               | 2603    |            |        |
| Associations                     | 1576    |            |        |
|                                  |         |            |        |
| ÉNERGIE                          |         |            |        |
| Électricité                      | 477490  | 480790     | 27.3%  |
| Gaz et diesel                    | 3300    |            |        |
|                                  |         |            |        |
| RÉACTIFS                         |         |            |        |
| Produits chimiques               | 381103  | 381103     | 21.6%  |
|                                  |         |            |        |
| ENTRETIEN                        |         |            |        |
| Pièces et accessoires            | 79463   | 179317     | 10.2%  |
| Entretien machinerie             | 70060   |            |        |
| Entretien édifices               | 10883   |            |        |
| Location d'équipements           | 17023   |            |        |
| Entretien des véhicules          | 1888    |            |        |
|                                  |         |            |        |
| DIVERS                           |         |            |        |
| Services professionnels          | 43224   | 71653      | 4.1%   |
| Téléphone                        | 2552    |            |        |
| Vêtements                        | 2214    |            |        |
| Papeterie et divers              | 3063    |            |        |
| Rapport états financiers(admin.) | 20600   |            |        |
|                                  | TOTAL   | 1764034    | 100.0% |

Notons que, pour la même année, le coût de la dette s'établissait à 1 817 249.00 \$.

## VOLUME 2

### CHAPITRE 5

|            |                                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>5.</b>  | <b>BESOINS EN EAU ET DÉBITS DE CONCEPTION .....</b>                                 |
| <b>5.2</b> | <b>Nouveaux besoins .....</b>                                                       |
| 5.2.2      | <i>Valeurs de référence pour la consommation commerciale et institutionnelle ..</i> |
| <b>5.7</b> | <b>Bonnes pratiques de gestion .....</b>                                            |

## **5. BESOINS EN EAU ET DÉBITS DE CONCEPTION**

### **5.2 Nouveaux besoins**

#### *5.2.2 Valeurs de référence pour la consommation commerciale et institutionnelle*

Le concepteur verra à utiliser en priorité les données de consommation mesurée au compteur. Faute de mieux, il pourra alors estimer les consommations à partir du tableau 5-1 ci-après.

**Tableau 5-1 : Consommation unitaire de certains usagers**  
(Source : Brière, François, 2000)

| <b>Établissement - utilisations</b>                                           | <b>Consommation<br/>[L/(personne·d) ou L/(unité·d)]</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Aéroport (par passager)                                                       | 8 - 12                                                  |
| Centres commerciaux                                                           |                                                         |
| Par stationnement                                                             | 5                                                       |
| Par employé                                                                   | 40                                                      |
| Centres de vacances                                                           |                                                         |
| Campings rustiques (par vacancier)                                            | 100                                                     |
| Colonies de vacances; toilettes et bains<br>centraux (par vacancier)          | 160 - 200                                               |
| Centres de jour; sans repas (par vacancier)                                   | 65                                                      |
| Camps pour caravanes; toilettes et bains<br>privés (par unité; 2,5 personnes) | 500 - 600                                               |
| Camps de travail (par travailleur)                                            | 140 - 200                                               |
| Cinéma ou théâtre                                                             |                                                         |
| Deux représentations par jour (par siège)                                     | 10 - 15                                                 |
| Ciné-parc (par auto)                                                          | 20                                                      |
| Écoles (par élève)                                                            |                                                         |
| Avec cafétéria                                                                | 40 - 60                                                 |
| Avec cafétéria, douches et gymnase                                            | 60 - 80                                                 |
| Pensionnat                                                                    | 300                                                     |
| Édifices à bureaux (par employé)                                              | 60                                                      |
| Établissements de santé                                                       |                                                         |
| Hôpital général (par lit)                                                     | 600                                                     |
| Hôpital général (par employé)                                                 | 40                                                      |
| Hôtels et pensions                                                            |                                                         |
| Chambre d'hôtel (par client)                                                  | 200 - 400                                               |
| Chambre et pension (par pensionnaire)                                         | 200                                                     |
| Motel avec cuisine                                                            | 400 - 600                                               |
| Laverie (par machine à laver)                                                 | 1000 - 3000                                             |
| Magasins                                                                      |                                                         |
| Par client                                                                    | 8                                                       |
| Par employé                                                                   | 40                                                      |
| Restaurants                                                                   |                                                         |
| Restaurant moyen (par siège)                                                  | 150                                                     |
| Restaurant moyen; ouvert 24 h (par siège)                                     | 200                                                     |
| Bar (par place)                                                               | 38                                                      |
| Taverne (par place)                                                           | 80                                                      |
| Stations-service                                                              |                                                         |
| Par automobile servie                                                         | 40                                                      |
| Par paire de pompes                                                           | 2000                                                    |
| Petites et moyennes entreprises (PME)                                         |                                                         |
| Sans cafétéria ni douche (par employé)                                        | 70                                                      |
| Sans cafétéria; avec douches (par employé)                                    | 140                                                     |

## **5.7      Bonnes pratiques de gestion**

Les meilleures pratiques québécoises ont été répertoriées par RÉSEAU environnement. Les mesures minimales ont également été établies. Les 2 séries de mesures sont présentées dans le tableau 5-2 ci-après.

**Tableau 5-2a : Mesures d'économie d'eau au Québec : les minimums et les meilleures pratiques (Source : RÉSEAU environnement, 2000)**

|                                                                                                                                                               | Mesures minimales                                                                                                                                                                                                                                               | Meilleures pratiques                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COMPTAGE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>À la distribution</b><br/>Équipement</li> <li>Lecture et traitement</li> <li>Entretien</li> </ul> | <p>Compteur ou débitmètre mesurant directement l'eau distribuée (à la sortie des réserves).</p> <p>Valeurs journalières et débits de nuit disponibles 1 fois par semaine</p> <p>Étalonnage 1 fois / 5 ans</p>                                                   | <p>Compteur ou débitmètre mesurant directement l'eau distribuée (à la sortie des réserves).</p> <p>Valeurs journalières et débits de nuit disponibles tous les jours par le biais d'une base de données</p> <p>Étalonnage 1 fois / an</p>                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>À la consommation</b><br/>Équipement</li> <li>Lecture et traitement</li> <li>Entretien</li> </ul>                 | <p>Compteurs aux usagers ayant un branchement de <math>\geq 25</math> mm</p> <p>1 fois / an</p> <p>Petits compteurs : remplacement après 20 à 25 ans<br/>Gros compteurs : étalonnage 1 / 5 ans et remplacement suivant les recommandations du manufacturier</p> | <p>Compteurs chez tous les usagers incluant institutions et usages municipaux</p> <p>2 fois / an pour les résidences.<br/>Gros usagers : 1 fois / mois jusqu'à enregistrement ou transmission en continu</p> <p>Plan de gestion pour définir : <ul style="list-style-type: none"> <li>• la fréquence optimale d'étalonnage et de remplacement</li> <li>• le dimensionnement des gros compteurs remplacés</li> </ul> </p> |
| <p>BILAN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenu</b></li> </ul>                                                                               | <p>Comparaison des volumes (per capita) distribués en moyenne annuelle et en maximum journalier avec les valeurs de référence du guide ou de municipalités économes comparables</p>                                                                             | <p>Estimations séparées et détaillées pour les usages résidentiels, ICI, municipaux et fuites.<br/>Mesures supplémentaires à la consommation (jour, nuit).<br/>Bilan pour chaque secteur du réseau.<br/>Corrections des erreurs de comptage à la source et à la consommation.</p>                                                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fréquence</b></li> </ul>                                                                                          | Mise à jour annuelle et rapport incluant potentiel d'économie (eau et \$)                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>FUITES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Suivi du débit</b><br/>À la distribution<br/>En réseau</li> </ul>                                   | <p>Analyse des débits de nuit 1 fois / semaine</p>                                                                                                                                                                                                              | <p>Analyse des débits de nuit 1 fois / jour<br/>Mesure de débit permanente par grand secteur et transmission à un point central.<br/>Mesure de débit provisoire ou permanente pour des sous-secteurs de 50 km de conduites.</p>                                                                                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Détection</b></li> </ul>                                                                                          | <p>Campagne écoute-corrélation en fonction du suivi des débits de nuit et autres indices révélateurs de malfonctionnement (pression, etc.)</p>                                                                                                                  | <p>Une campagne écoute-corrélation / an sur l'ensemble du réseau.<br/>Autres campagnes sur partie de réseau en fonction des débits de nuit ou dans les secteurs ou sous-secteurs les plus problématiques.</p>                                                                                                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Délais de réparation sur fuite</b></li> </ul>                                                                     | <p>Le plus rapidement possible en tenant compte des conditions (débits, climat, etc.)</p>                                                                                                                                                                       | <p>Réparation toute l'année.<br/>Suivi des délais et objectif de 48 heures.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Information</b></li> </ul>                                                                                        | <p>Fiche descriptive pour chaque réparation effectuée.</p>                                                                                                                                                                                                      | <p>Fiche descriptive pour chaque réparation effectuée.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|  |                                                                                                          |                                                                                                                                                                       |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Inventaire papier ou électronique des fiches.</p> <p>Réparations reportées sur le plan du réseau.</p> | <p>Information intégrée au système informatique de base de données du réseau.</p> <p>Information intégrée en continu avec celle sur les débits à la distribution.</p> |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tableau 5-2b : Mesures d'économie d'eau au Québec : les minimums et les meilleures pratiques (Source : RÉSEAU environnement, 2000)**

| Mesures minimales                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Meilleures pratiques                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RÉHABILITATION-REPLACEMENT DES CONDUITES</b>                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Décision</b></li> </ul>                                                  | <p>À partir de l'historique de réparation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>lors de la réfection de la chaussée</li> <li>lorsque la fréquence de réparations est très élevée (plus de 700 réparations / 100 km*an par exemple)</li> </ul>                                     | <p>À partir du système informatique de base de données du réseau en tenant compte d'un ensemble de facteurs (coûts, risques, fuites, etc.).</p> <p>Suivant un programme à court et long termes comprenant un minimum de ressources.</p>                 |
| <p><b>PRESSION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>En continu</b></li> </ul>                         | Réduire le plus possible la taille des secteurs dont la pression dépasse 630kPa.                                                                                                                                                                                                         | <p><i>Baïsser la pression au minimum en respectant les conditions incendie.</i></p> <p>Installer des vannes de réduction de pression à consigne fixe ou variable.</p> <p>Diminuer la pression la nuit.</p> <p>Passer au pompage à vitesse variable.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Coup de bélier</b></li> </ul>                                            | Surveiller la manipulation des vannes, des bornes d'incendie, l'opération des réservoirs, établir des consignes (exemple temps de fermeture minimum d'une borne d'incendie).                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>COÛTS (EAU POTABLE ET EAUX USÉES)</b>                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Identifier l'ensemble des coûts</b></li> </ul>                           | <i>Reporter les coûts suivant le manuel de la présentation de l'information financière municipale du MAMM en vigueur depuis 2000.</i>                                                                                                                                                    | <i>Identifier des coûts cachés au niveau immobilisations et exploitation.</i>                                                                                                                                                                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Analyser l'ensemble des coûts</b></li> </ul>                             | Séparer les coûts fixes et les coûts variables à court terme.                                                                                                                                                                                                                            | Prévision des coûts à court et moyen termes : (coûts marginaux).                                                                                                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Analyser les coûts par groupe d'utilisateurs</b></li> </ul>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Établir les coûts associés aux besoins de chaque groupe d'utilisateurs : protection incendie, demande moyenne et de pointe.                                                                                                                             |
| <b>REPORTER LES COÛTS AUX USAGERS</b>                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                                                                    | <p>Équilibre entre le total des coûts et le total des revenus.</p> <p>Équité entre les utilisateurs avec et sans compteur.</p> <p>Éliminer les tarifs décroissants.</p>                                                                                                                  | <p><i>Reporter les coûts par groupe d'utilisateurs en fonction de leurs besoins en eau.</i></p> <p>Structure tarifaire incitative.</p>                                                                                                                  |
| <p><b>RÉGLEMENTATION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Réglementer les utilisateurs</b></li> </ul> | Arrosage, piscine, lavage auto.<br>Application en période critique.                                                                                                                                                                                                                      | <p><i>Ajuster les périodes d'arrosage pour étaler la pointe horaire.</i></p> <p>Application continue et rigoureuse.</p>                                                                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Réglementer les équipements</b></li> </ul>                               | Système d'arrosage, refroidissement des compresseurs.                                                                                                                                                                                                                                    | Toilette et plomberie économiques pour nouvelles installations et remplacement                                                                                                                                                                          |
| <b>INFORMATION, ÉDUCATION</b>                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Clientèle scolaire</b></li> </ul>                                        | Offrir aux classes du primaire de visiter la SPEP, la STEU.                                                                                                                                                                                                                              | <p><i>Proposer aux classes du primaire du matériel, des activités.</i></p> <p>Organiser des concours</p>                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Clientèle résidentielle</b></li> </ul>                                   | <p>Compte de taxes identifiant bien les services d'eau et d'assainissement.</p> <p>Dépliants d'information (avec compte de taxes ou autrement).</p> <p>Articles dans le bulletin de la ville, dans les hebdomadaires.</p> <p>Participation à une campagne type RÉSEAU environnement.</p> | <p><i>Programme de communications.</i></p> <p>Site Internet.</p>                                                                                                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Clientèle institutionnelle</b></li> </ul>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Visite d'audit et suivi.                                                                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Employés municipaux</b></li> </ul>                                       | Séances de formation pour les employés en contact avec les utilisateurs                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                         |

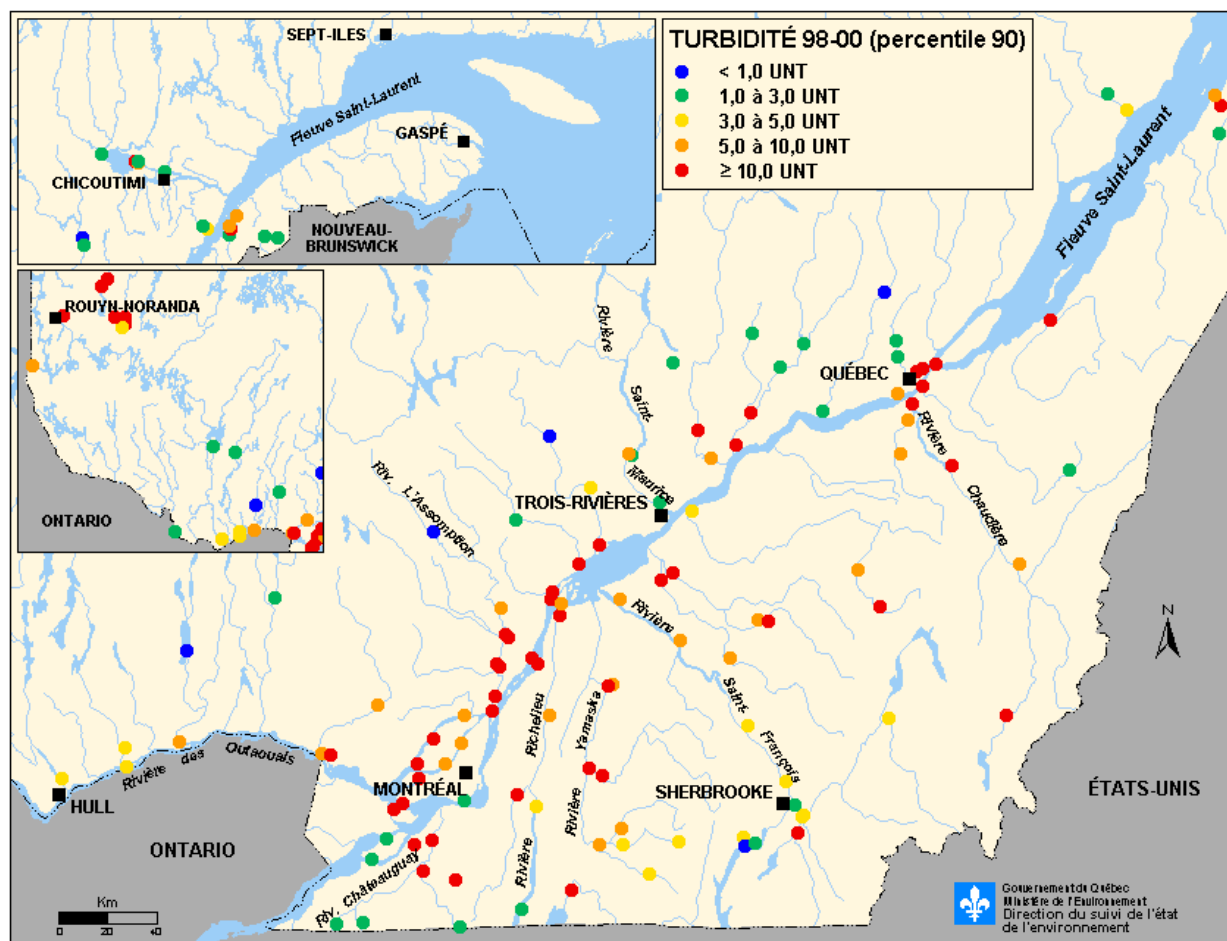
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Usages municipaux :</b><br/>la ville montre l'exemple</li> </ul> | <i>En matière de plomberie économe dans ses édifices, pour ses pelouses et jardins, pour le nettoyage et le lavage des rues.</i><br>Les purges de réseau attribuables aux problèmes de qualité de l'eau et de gel sont connues et réduites au minimum |                                                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Conseil municipal</b></li> </ul>                                 | Rapport annuel d'activités                                                                                                                                                                                                                            | Invitation aux activités.                                                                                                                   |
| INCITATION<br><b>Équipement et plomberie</b>                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                       | Distribution, installation, subvention pour kits de rattrapage pour plomberie<br>kits d'arrosage<br>remplacement de toilettes et d'urinoirs |

## **6. CARACTÉRISATION DES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU (EAUX SOUTERRAINES ET EAUX DE SURFACE)**

### **6.2 Système d'approvisionnement existant**

Le MENV a regroupé sous forme de cartes des données relatives à la turbidité ainsi que le COD et les coliformes fécaux dans les cours d'eau du Québec. Ces cartes sont présentées ci-après (figures 6-1, 6-2 et 6-3).

Figure 6.1 : Turbidité (90<sup>e</sup> centile) des rivières au Québec en 1998-2000



vol2-chap6.doc



vol2-chap6.doc



## VOLUME 2

### CHAPITRE 8

|            |                                                                                                                                      |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>8.</b>  | <b>APPROVISIONNEMENT EN EAUX SOUTERRAINES ET TRAITEMENT .....</b>                                                                    |
| <b>8.3</b> | <b>Captage d'eau souterraine .....</b>                                                                                               |
| 8.3.2      | <i>Critères de conception d'un ouvrage de captage.....</i>                                                                           |
| 8.3.3      | <i>Aire d'alimentation et aires de protection autour des ouvrages de captage .....</i>                                               |
| 8.3.3.1    | Principes généraux .....                                                                                                             |
| 8.3.3.2    | Exemples de méthodes de détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection en milieux isotropes et homogènes .....    |
| 8.3.3.3    | Facteurs influençant la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection en milieux anisotropes et hétérogènes..... |
| 8.3.3.4    | Arbre décisionnel pour le choix d'une famille de méthodes ...                                                                        |
| 8.3.4      | <i>Indice de vulnérabilité des eaux souterraines .....</i>                                                                           |
| 8.3.4.1    | Description de la méthode DRASTIC.....                                                                                               |
| 8.3.4.2    | Hypothèses de base .....                                                                                                             |
| 8.3.4.3    | Facteurs déterminants .....                                                                                                          |
| 8.3.4.4    | Cueillette de données .....                                                                                                          |
| 8.3.4.5    | Interprétation des indices de vulnérabilité DRASTIC .....                                                                            |
| 8.3.4.6    | Exemple d'application .....                                                                                                          |
| <b>8.4</b> | <b>Recharge artificielle de la nappe .....</b>                                                                                       |
| 8.4.2      | <i>Conditions d'applications .....</i>                                                                                               |
| 8.4.3      | <i>Autres éléments liés à la conception .....</i>                                                                                    |
| 8.4.3.1    | Phénomènes susceptibles de se produire lors de la recharge                                                                           |
| 8.4.3.2    | Performances.....                                                                                                                    |
| 8.4.3.3    | Temps de séjour dans le sol .....                                                                                                    |
| 8.4.3.4    | Ouvrages d'infiltration .....                                                                                                        |
| 8.4.3.5    | Nature du sol.....                                                                                                                   |
| 8.4.3.6    | Taux d'infiltration dans le sol.....                                                                                                 |
| 8.4.3.7    | Prétraitement .....                                                                                                                  |
| 8.4.3.8    | Procédure de conception .....                                                                                                        |
| 8.4.3.9    | Suivi et contrôle .....                                                                                                              |

## **8. APPROVISIONNEMENT EN EAUX SOUTERRAINES ET TRAITEMENT**

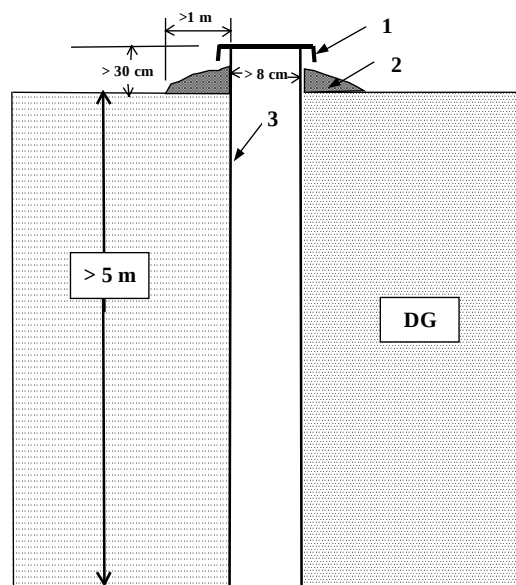
### **8.3 Captage d'eau souterraine**

#### *8.3.2 Critères de conception d'un ouvrage de captage*

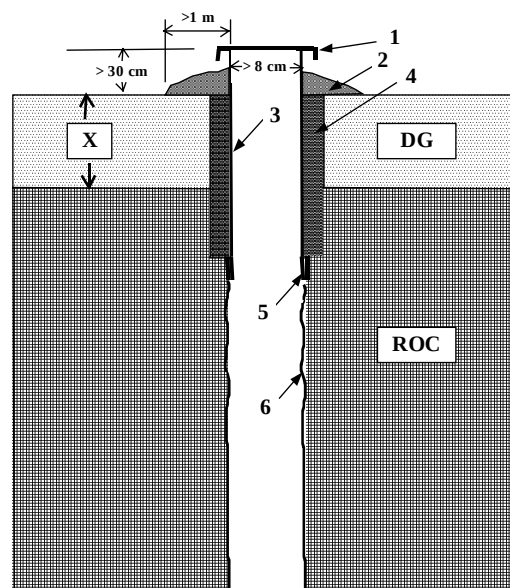
Les figures 8-1 à 8-4 ci-après présentent respectivement les schémas d'un puits tubulaire, d'un puits de surface, d'une pointe filtrante et d'un captage de source.

**Figure 8-1 : Schémas de conception d'un puits tubulaire**

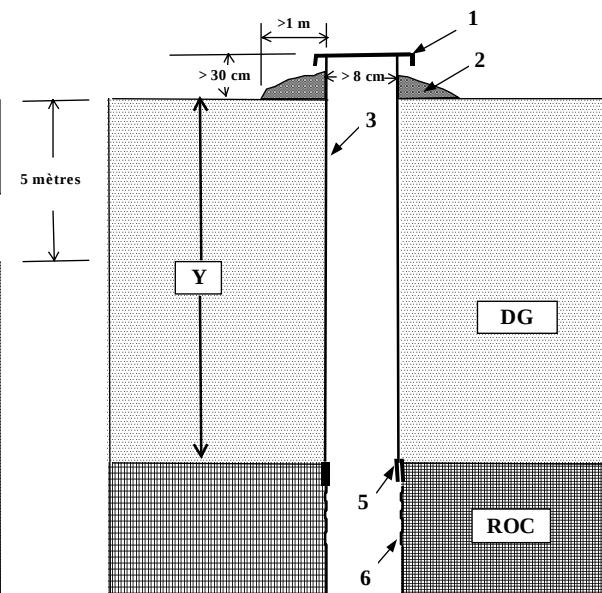
a) Dépôts granulaires



b) Formation rocheuse située à moins de 5 mètres du sol naturel



c) Formation rocheuse située à plus de 5 mètres du sol naturel

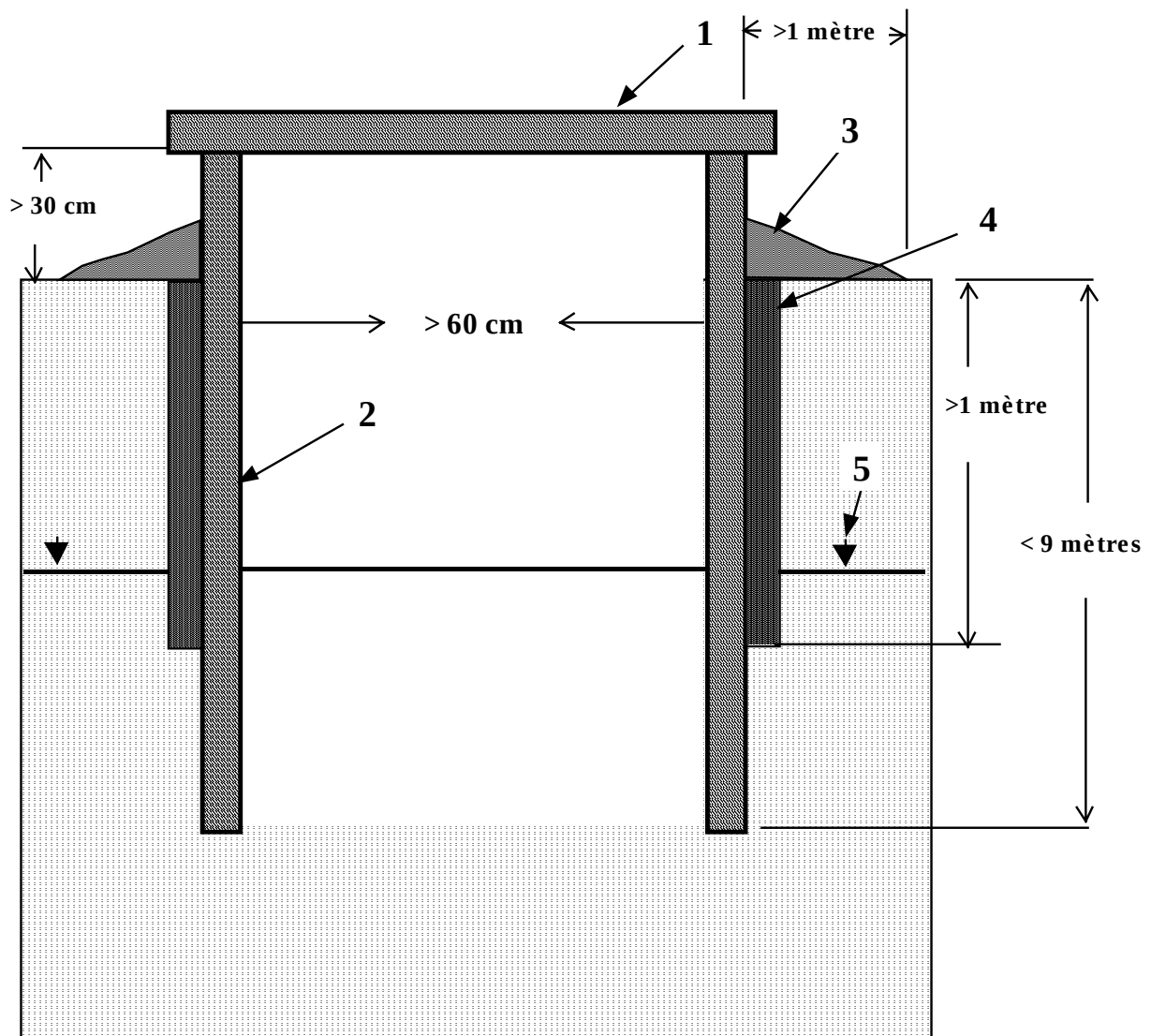


- 1 - Couvercle étanche.
- 2 - Monticule constitué d'un matériau imperméable.
- 3 - Section tubée d'une longueur minimale de 5 mètres [acier (ASTM A-53), acier inoxydable (ASTM A-409), plastique (ASTM F-480)].

- 4 - Matériau scellant d'une profondeur minimale de 5 mètres.
- 5 - Sabot d'enfoncement.
- 6 - Paroi du forage.

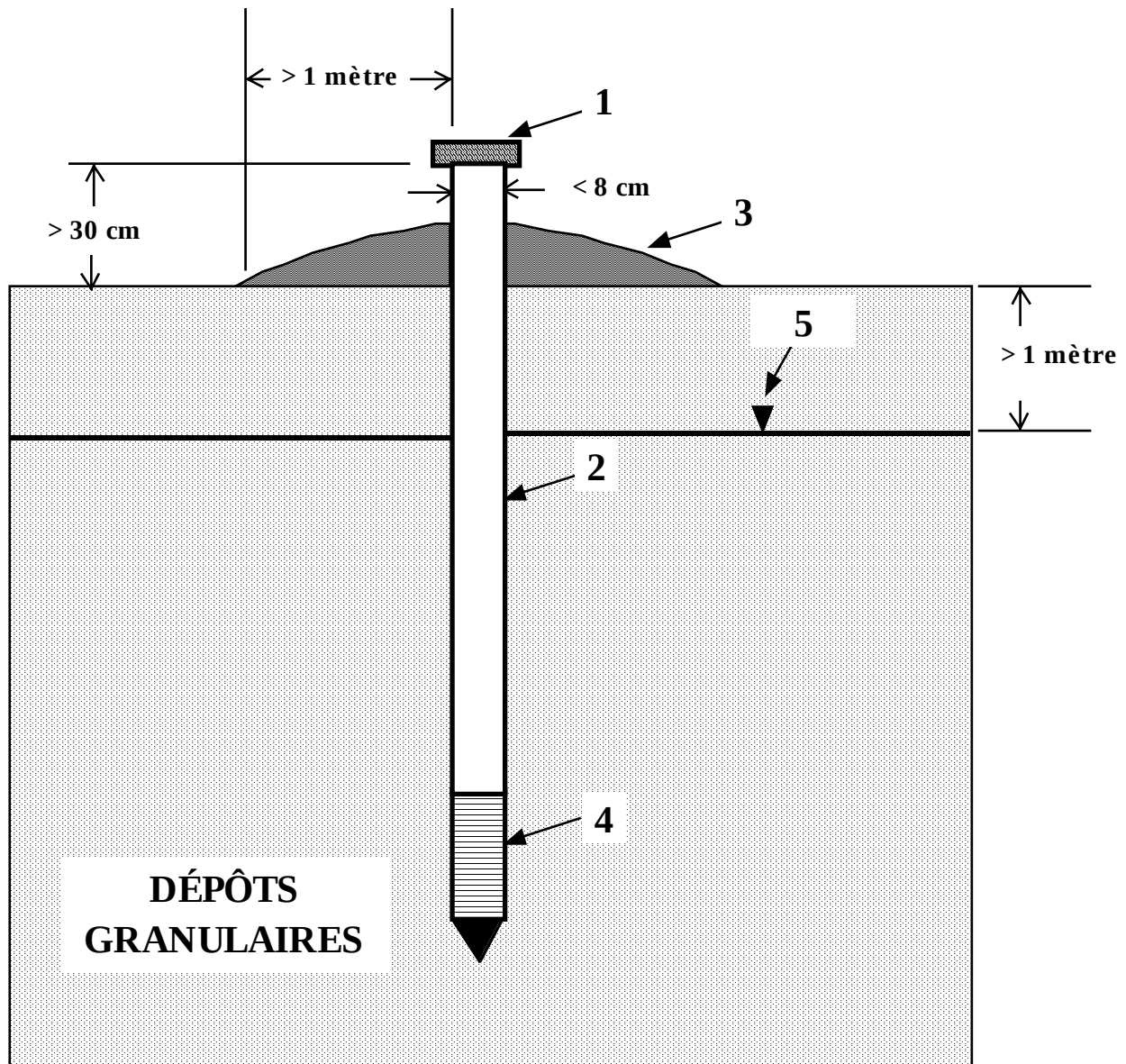
DG - Dépôts granulaires.  
 X - Roc à moins de 5 mètres de la surface naturelle du terrain.  
 Y - Roc à plus de 5 mètres de la surface du sol.

**Figure 8-2 : Schéma de conception d'un puits de surface**



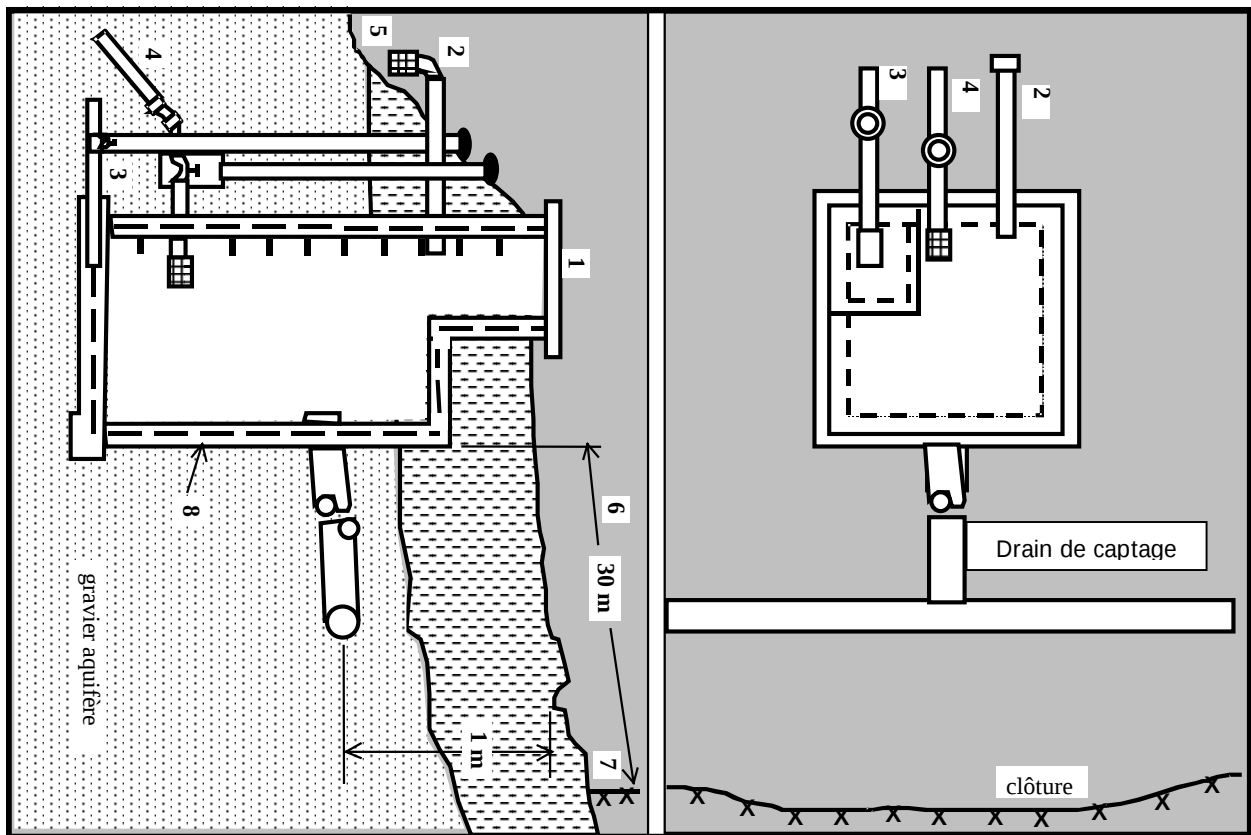
- 1- Couvercle étanche.
- 2- Section tubée [cylindres de béton (NQ 2622-126), plastique, maçonnerie de pierre ou gélinites].
- 3- Monticule constitué d'un matériau imperméable.
- 4- Matériau scellant d'une profondeur minimale de 1 mètre remplissant tout l'espace annulaire.
- 5- Niveau de la nappe d'eau souterraine.

**Figure 8-3 : Schéma de conception d'une pointe filtrante**



- 1- Couvercle étanche.
- 2- Section tubée [acier (ASTM A-53), acier inoxydable (ASTM A-409), plastique (ASTM F-480)].
- 3- Monticule constitué d'un matériau imperméable.
- 4- Pointe filtrante.
- 5- Niveau de la nappe d'eau souterraine.

Figure 8-4 : Schéma d'aménagement d'un captage de source



- 1 Couverture étanche
- 2 Trop-plein
- 3 Drain de nettoyage
- 4 Ligne de distribution
- 5 Grillage
- 6 Aire de protection immédiate
- 7 Clôture
- 8 Réservoir fait de cylindres de béton (NQ 2622-126), de plastique, de maçonnerie de pierres ou de gélinite.

### 8.3.3 Aire d'alimentation et aires de protection autour des ouvrages de captage

#### 8.3.3.1 Principes généraux

##### **Objectifs de la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection**

La détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection a comme objectif principal l'élaboration d'un plan global, au sens de l'examen de l'ensemble des activités humaines, de la gestion de la ressource « eau souterraine ». Ce plan doit permettre aux gestionnaires du territoire d'identifier les activités passées, actuelles et futures qui peuvent constituer une menace pour la qualité de l'eau des puits d'approvisionnement et de développer des stratégies d'intervention afin d'éviter leur contamination. En ce qui a trait à la protection de l'eau souterraine destinée à la consommation humaine, les aires de protection proposées doivent assurer une sécurité maximale de l'eau distribuée tout en évitant la délimitation de surfaces exagérément grandes qui généreraient des contraintes indues sur le plan économique.

Dans le contexte de l'application du *RQEP*, la détermination des aires de protection a comme objectif spécifique d'orienter la prise de décision relativement à la mise en place d'un programme de suivi mensuel de l'eau brute pour détecter la présence des bactéries *E. coli*, des bactéries entérocoques et des virus coliphages F-spécifiques (mâles spécifiques, art. 13).

##### **Responsabilité des consultants**

La détermination des aires de protection et de l'indice de vulnérabilité DRASTIC doit être effectuée par un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec ou par un géologue membre de l'Association professionnelle de géologues et géophysiciens du Québec. L'anisotropie et l'hétérogénéité inhérentes à tout milieu naturel nécessitent, de la part de la personne qui accepte un tel mandat, non seulement une expertise dans le domaine de l'hydrogéologie, mais également un jugement professionnel lui permettant de sélectionner l'approche appropriée et d'en justifier le choix. À cet égard, contrairement à l'approche préconisée par le passé, le MENV ne privilégie pas, pour le moment, de méthode particulière pour la détermination des aires de protection.

Il est toutefois à noter que, dans le cadre du Programme d'aide à la recherche et au développement en environnement (PARDE), le MENV a versé une subvention à une équipe de chercheurs de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), dirigée par le professeur Alain Rouleau, pour la réalisation d'un projet de recherche portant sur la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection d'un lieu de captage d'eau souterraine en milieu anisotrope et hétérogène. Le projet se terminera le 31 mars 2003 et l'un des produits livrables consiste en un *Guide méthodologique de détermination de l'aire d'alimentation d'un lieu de captage en milieux anisotropes et hétérogènes*.

Bien que le MENV préfère laisser cette responsabilité aux consultants, son rôle consiste à mettre en lumière les facteurs qui peuvent influencer la détermination des aires de protection.

### **Familles de méthodes menant à la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection autour d'un ouvrage de captage**

De nombreuses méthodes sont disponibles pour déterminer l'aire d'alimentation et les aires de protection autour d'un ouvrage de captage. Celles-ci varient des plus simples aux plus sophistiquées. Elles sont regroupées, selon leur niveau de complexité croissant, en cinq familles : (1) méthodes basées sur des rayons arbitraires fixes (RAF); (2) méthodes basées sur les rayons calculés (RC); (3) méthodes basées sur des équations analytiques (EA); (4) méthodes basées sur la cartographie hydrogéologique (CH); (5) méthodes basées sur des solutions numériques d'écoulement de l'eau souterraine (SN). Les familles de méthodes faisant intervenir un facteur temporel, se traduisant par un temps de migration, servent à la détermination des aires de protection rapprochée.

Les deux premières familles, soit les RAF et les RC, consistent à déterminer un rayon afin de tracer une zone circulaire de protection autour du puits de captage. Les rayons déterminés à partir de la famille RAF sont fixés de façon arbitraire alors que ceux déterminés à partir de la famille RC sont calculés à partir des volumes d'eau pompés sur une période de temps donnée. Ces familles de méthodes ne devraient être utilisées que lorsque les données disponibles sur les caractéristiques de l'aquifère sont limitées et elles ne sont appropriées que dans les situations où le gradient hydraulique de la nappe d'eau est faible. Leur choix est difficilement justifiable scientifiquement. Ainsi, quoique pouvant servir de première approximation, les aires de protection déterminées doivent nécessairement être réévaluées lorsque des données additionnelles permettent d'en préciser les limites. Bien que l'utilisation des méthodes RAF et RC puisse paraître attrayante, compte tenu des faibles coûts, elles ne doivent, dans la plupart des situations, n'être envisagées que comme solution de départ. Elles sont particulièrement appropriées pour les ouvrages de captage de faible débit (inférieur à  $75 \text{ m}^3/\text{j}$ ).

La troisième famille de méthodes repose sur l'utilisation d'équations analytiques simples (EA) décrivant l'écoulement de l'eau souterraine. Elle tient davantage compte des paramètres hydrogéologiques de l'aquifère et la zone circonscrite autour de l'ouvrage de captage n'est plus représentée par un cercle, mais par une forme allongée vers l'amont par rapport au sens de l'écoulement de l'eau souterraine. Les solutions analytiques sont appropriées pour les aquifères isotropes et homogènes où les conditions d'écoulement de l'eau souterraine sont uniformes et pour lesquelles des données telles le débit de pompage, la transmissivité de l'aquifère et le gradient hydraulique sont disponibles. Dans le roc fracturé, les hétérogénéités et les anisotropies rendent complexes les réseaux d'écoulement et les méthodes analytiques simples ne sont plus applicables. Rappelons que les équations qui intègrent un facteur temporel permettent de circonscrire les aires de protection rapprochée correspondant à des temps de parcours de 200 et 550 jours prescrits dans le *RQEP*.

La cartographie hydrogéologique constitue le point commun de la quatrième famille (CH). Elle consiste à délimiter l'aire d'alimentation à l'aide de courbes piézométriques et topographiques et de cartes géologiques. Alors que les courbes piézométriques permettent de déterminer la direction d'écoulement des eaux souterraines, les courbes topographiques permettent d'identifier les zones de recharge et les lignes de partage des eaux. Les cartes géologiques des dépôts de surface sont utilisées en complément d'information. Les limites peuvent être, par exemple, une rivière, un canal, une ligne de partage des eaux ou une limite étanche. L'utilisation d'outils

cartographiques pour la détermination des limites de l'aire d'alimentation donne place à beaucoup d'interprétation et doit donc être effectuée par des spécialistes en hydrogéologie. Ces méthodes sont plus appropriées pour les milieux aquifères peu profonds directement influencés par la topographie et les propriétés superficielles du terrain.

La dernière famille regroupe les méthodes basées sur des solutions numériques d'écoulement des eaux souterraines (SN). Celles-ci ont l'avantage de prendre en considération les hétérogénéités et anisotropies du milieu. Le développement et l'utilisation de ces modèles nécessitent l'utilisation d'outils informatiques, une expertise pointue en hydrogéologie et de nombreuses données caractérisant le milieu. Le recours à l'une de ces méthodes peut s'avérer la seule façon de délimiter, de façon acceptable, l'aire d'alimentation et les aires de protection rapprochée dans des milieux anisotropes et hétérogènes.

L'utilisation de méthodes combinées basées sur l'emploi de méthodes appartenant à différentes familles peut, dans certains cas, s'avérer la solution idéale. Les avantages et désavantages des cinq familles de méthodes sont énumérés dans le tableau 8-1 ci-après.

**Tableau 8-1 : Avantages et désavantages des cinq familles de méthodes pour déterminer l'aire d'alimentation et les aires de protection rapprochée\***

| <b>Famille de méthodes</b>         | <b>Hypothèses</b>                                                                                                                                                 | <b>Données requises</b>                                                                                                                      | <b>Avantages</b>                                                                                                              | <b>Désavantages</b>                                              |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Rayon arbitraire fixe (RAF)        | Milieux isotropes et homogènes<br>Réseau local d'écoulement non considéré                                                                                         | Aucune                                                                                                                                       | Facile d'utilisation<br>Peu coûteuse                                                                                          | Arbitraire<br>Difficile d'en justifier scientifiquement le choix |
| Rayon calculé (RC)                 | Milieux isotropes et homogènes<br>Réseau local d'écoulement non considéré                                                                                         | Débit de pompage de l'ouvrage de captage<br>Épaisseur saturée de l'aquifère<br>Porosité                                                      | Facile d'utilisation<br>Peu coûteuse<br>Considère certaines caractéristiques du milieu                                        | Basée sur des hypothèses simples et peu communes                 |
| Équations analytiques simples (EA) | Milieux isotropes et homogènes<br>Écoulement horizontal uniforme en régime permanent<br>Ligne de partage des eaux correspond à la limite de l'aire d'alimentation | Débit de pompage de l'ouvrage de captage<br>Transmissivité<br>Gradient hydraulique<br>Porosité<br>Lignes de partage des eaux                 | Facile d'utilisation<br>Peu coûteuse<br>Considère certaines caractéristiques du milieu                                        | Basée sur des hypothèses simples et peu communes                 |
| Cartographie hydrogéologique (CH)  | Le sens d'écoulement de l'eau suit la topographie du terrain.                                                                                                     | Limites de l'aquifère<br>Courbes piézométriques<br>Courbes topographiques<br>Géologie locale                                                 | Considère plusieurs caractéristiques physiques du milieu                                                                      | Modérément coûteuse<br>Nécessite beaucoup de données             |
| Solutions numériques (SN)          | Variables selon le modèle utilisé                                                                                                                                 | Limites de l'aquifère<br>Géologie locale<br>Niveaux piézométriques<br>Transmissivité<br>Conductivités hydrauliques<br>Conditions aux limites | Considère plusieurs caractéristiques physiques du milieu<br>Permet de varier rapidement les paramètres d'outils prévisionnels | Coûteuse<br>Nécessite beaucoup de données                        |

- Tableau inspiré du *Well Protection Toolkit*, Ministry of Environment, Lands and Parks, Government of British Columbia, 2000

### **Exploitation des données existantes**

L'exercice de détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection débute par une caractérisation adéquate des aquifères captés. La précision de l'exercice est largement influencée par la quantité et la qualité des données hydrogéologiques, géomorphologiques et géologiques du secteur d'intérêt. Dans la majorité des zones habitées du Québec, bon nombre de ces données existent déjà. Ainsi, compte tenu des coûts élevés associés aux travaux de terrain requis pour l'acquisition de nouvelles données, il va de soi que l'utilisation de celles déjà disponibles doit être privilégiée. L'utilisation de ces données pourra, dans la plupart des cas, permettre une première approximation de l'aire d'alimentation et des aires de protection. L'usage de plus en plus répandu des systèmes d'information à référence spatiale rend désormais l'intégration et le traitement des données sur un territoire donné plus efficaces, surtout si elles sont déjà compilées sur des fichiers numériques. Un bon inventaire et une bonne analyse des informations existantes permettent de cibler les besoins additionnels en information et donc de mieux orienter les travaux de terrain, s'ils s'avéraient nécessaires.

### **Processus évolutif**

Le niveau des connaissances hydrogéologiques sur un territoire évolue avec le temps à mesure que des données supplémentaires deviennent disponibles. De plus, de nouveaux ouvrages de captage peuvent être aménagés dans le même aquifère que l'ouvrage ciblé ou le débit de pompage de ce dernier modifié une fois les aires de protection déterminées sur la base d'un débit de pompage donné. Dans ces circonstances, les limites des aires de protection seront influencées et, conséquemment, devraient être réévaluées.

### **Incertitudes reliées à la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection**

La détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection comporte toujours une part d'incertitude étant donné que la précision de l'information requise n'est jamais absolue. Compte tenu de l'incertitude inhérente à cet exercice, il faut voir leurs contours de façon probabiliste plutôt que de façon déterministe.

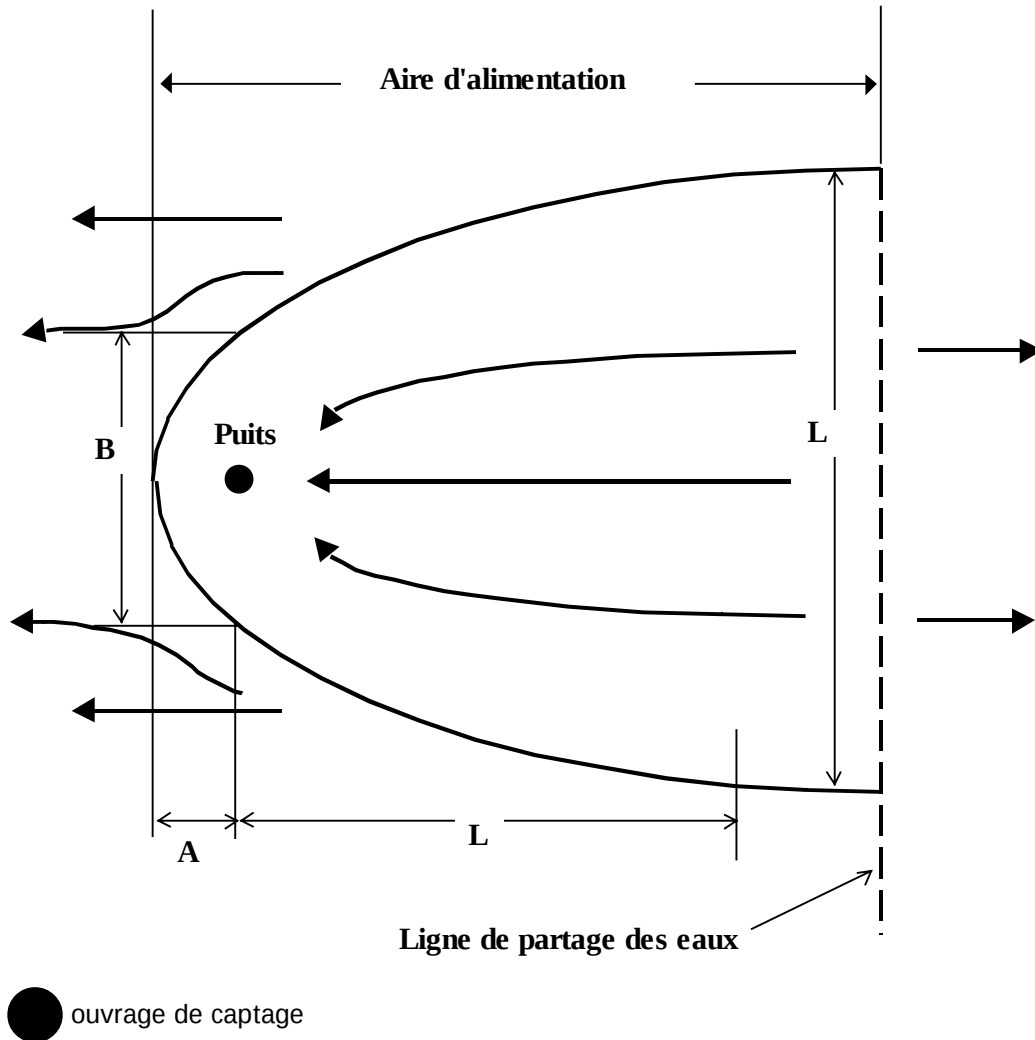
Quelques options permettent néanmoins d'acquérir une plus grande confiance quant à la protection des ouvrages de captage. D'abord, la collecte supplémentaire d'information peut servir à augmenter le niveau de fiabilité des méthodes utilisées. Par ailleurs, les circonstances d'un « pire scénario » peuvent être envisagées comme, par exemple, l'utilisation d'un débit de pompage maximum. Une autre façon consiste à comparer les résultats de plusieurs méthodes afin de valider les limites estimées. Dans les cas où il est pratiquement impossible de définir avec la précision minimale voulue les contours (en raison de la complexité du milieu), il est alors recommandé d'appliquer un facteur de sécurité définissant une surface plus grande. Cette surface pourrait, à la limite, couvrir toute l'aire du bassin versant. Enfin, un programme de suivi, basé sur la mise en place d'une ceinture d'alerte, peut être considéré en plus des contrôles réglementaires, dans les cas où l'on ne peut éliminer ou déplacer certaines activités ou sources potentielles de contamination dans les aires de protection déterminées. Son objectif est de permettre la détection de contaminants en amont hydraulique du point de captage avant qu'ils n'atteignent ce dernier, permettant ainsi un temps de réaction suffisant.

### 8.3.3.2 Exemples de méthodes de détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection en milieux isotropes et homogènes

Dans les milieux isotropes et homogènes, les processus d'écoulement des eaux souterraines peuvent se traduire par des modèles simplifiés dont les facteurs influençant la détermination sont relativement simples à estimer. Sans s'y limiter, deux méthodes appartenant à la famille des équations analytiques simples (EA) sont suggérées. Les deux méthodes, présentées à titre d'exemple, supposent une infiltration verticale nulle.

Dans des conditions de nappe captive, l'une des méthodes communément utilisées pour estimer l'aire d'alimentation est celle développée par Todd (1980). Dans ce modèle simplifié, l'aire d'alimentation, de forme parabolique, s'étend en amont hydraulique jusqu'à la ligne de partage des eaux qui constitue la limite du bassin versant. Trois équations mathématiques simples permettent d'estimer les paramètres géométriques (voir figure 8-5) qui définissent la forme et l'étendue de l'aire d'alimentation. Le paramètre (A) correspond à la distance entre la limite aval de la zone d'appel et l'ouvrage de captage; le paramètre (B) correspond à la largeur de l'aire d'alimentation au droit du puits et le paramètre (L) correspond la largeur maximale de l'aire d'alimentation.

**Figure 8-5 : Illustration en plan de l'aire d'alimentation et des paramètres A, B et L autour d'un ouvrage de captage \***



\* Inspiré de l'USEPA, 1987.

$$A = \frac{Q}{2\pi Kbi} \quad B = \frac{L}{2} \quad L = \frac{Q}{Kbi}$$

Où :

- $K$  : conductivité hydraulique
- $i$  : gradient hydraulique naturel de l'aquifère
- $Q$  : débit de pompage
- $b$  : épaisseur saturée de l'aquifère

Dans des conditions de nappe libre, Grubb (1993) suggère la détermination des mêmes paramètres en utilisant les trois relations mathématiques suivantes :

$$A = \frac{Q\Delta l}{\pi K(h_1^2 - h_2^2)} \quad L = \frac{2Q\Delta l}{K(h_1^2 - h_2^2)} \quad B = \frac{L}{2}$$

Où :

- $\Delta l$  : distance entre deux points de mesure de charge hydraulique
- $h_1$  : hauteur de la charge hydraulique par rapport à la base de l'aquifère au premier point de mesure en aval hydraulique de l'ouvrage de captage
- $h_2$  : hauteur de la charge hydraulique par rapport à la base de l'aquifère au deuxième point de mesure en amont hydraulique de l'ouvrage de captage

### 8.3.3.3 Facteurs influençant la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection en milieux anisotropes et hétérogènes

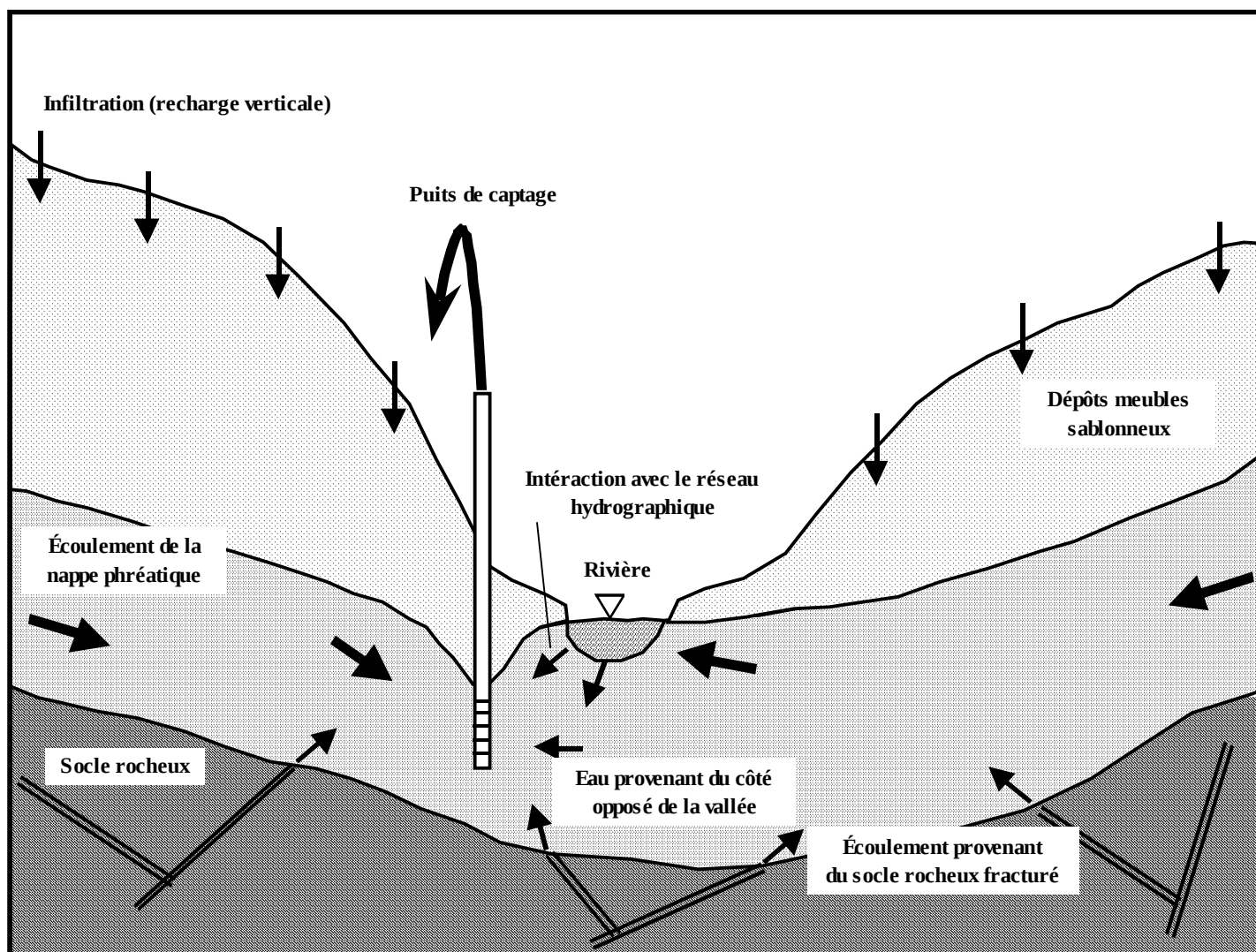
Les solutions analytiques simplifiées reflètent rarement adéquatement les conditions d'écoulement qui prévalent dans les milieux anisotropes et hétérogènes. En conséquence, les consultants qui ont à déterminer les limites de l'aire d'alimentation et des aires de protection dans ces types de milieux doivent, s'ils veulent utiliser ces méthodes, apporter les justifications appropriées.

Dans les milieux anisotropes et hétérogènes, plusieurs facteurs d'écart expliquent les déviations entre les limites réelles et celles déterminées par des solutions analytiques simples. À titre d'exemple, les aquifères à géométrie interne complexe, tels des dépôts deltaïques ou des aquifères constitués d'une formation de roche fracturée, sont des milieux anisotropes et hétérogènes. Dans leurs récents travaux, *Rasmussen, Verreault et Rouleau* (2001) ont identifié certains de ces facteurs d'écart :

- Degré d'anisotropie et d'hétérogénéité dans les milieux granulaires;
- L'irrégularité des limites latérales, inférieures et supérieures de l'aquifère;
- Les interactions et les échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface;
- L'écoulement provenant du socle rocheux sous-jacent à l'aquifère capté;
- La recharge par infiltration verticale dans un aquifère à nappe libre;
- La géométrie (orientation, densité et interconnexion) du réseau de fractures dans les milieux rocheux. Les effets de la fracturation d'une formation rocheuse sur l'estimation de l'aire d'alimentation sont présentés dans Bradbury (1994);
- Une piézométrie imprécise, c.-à-d. déduite de mesures qui ne sont pas suffisamment représentatives des conditions réelles prévalant sur le terrain.

Une situation hypothétique où plusieurs des facteurs d'écart précités auraient une influence sur la détermination de l'aire d'alimentation est illustrée sur la figure 8-6 ci-après.

**Figure 8-6 : Situation hypothétique montrant les facteurs d'écart ayant une influence sur la détermination de l'aire d'alimentation**



Source : Rasmussen, Verreault et Rouleau, février 2001.

Lors de la détermination des limites de l'aire d'alimentation et des aires de protection, les consultants mandatés devront, suite à la caractérisation du site, considérer les facteurs d'écart applicables. Quoique les effets quantitatifs attribués à ces facteurs soient encore peu connus, une discussion qualitative portant sur ces derniers devra être incorporée au rapport.

Cette section devra être mise à jour à la lumière des résultats de la recherche actuellement en cours portant sur les milieux anisotropes et hétérogènes. Les efforts consacrés à ce domaine de recherche mèneront au développement d'un guide méthodologique de l'aire d'alimentation d'un ouvrage de captage aménagé dans ce type de milieux. Le dépôt de ce guide est prévu pour mars 2003.

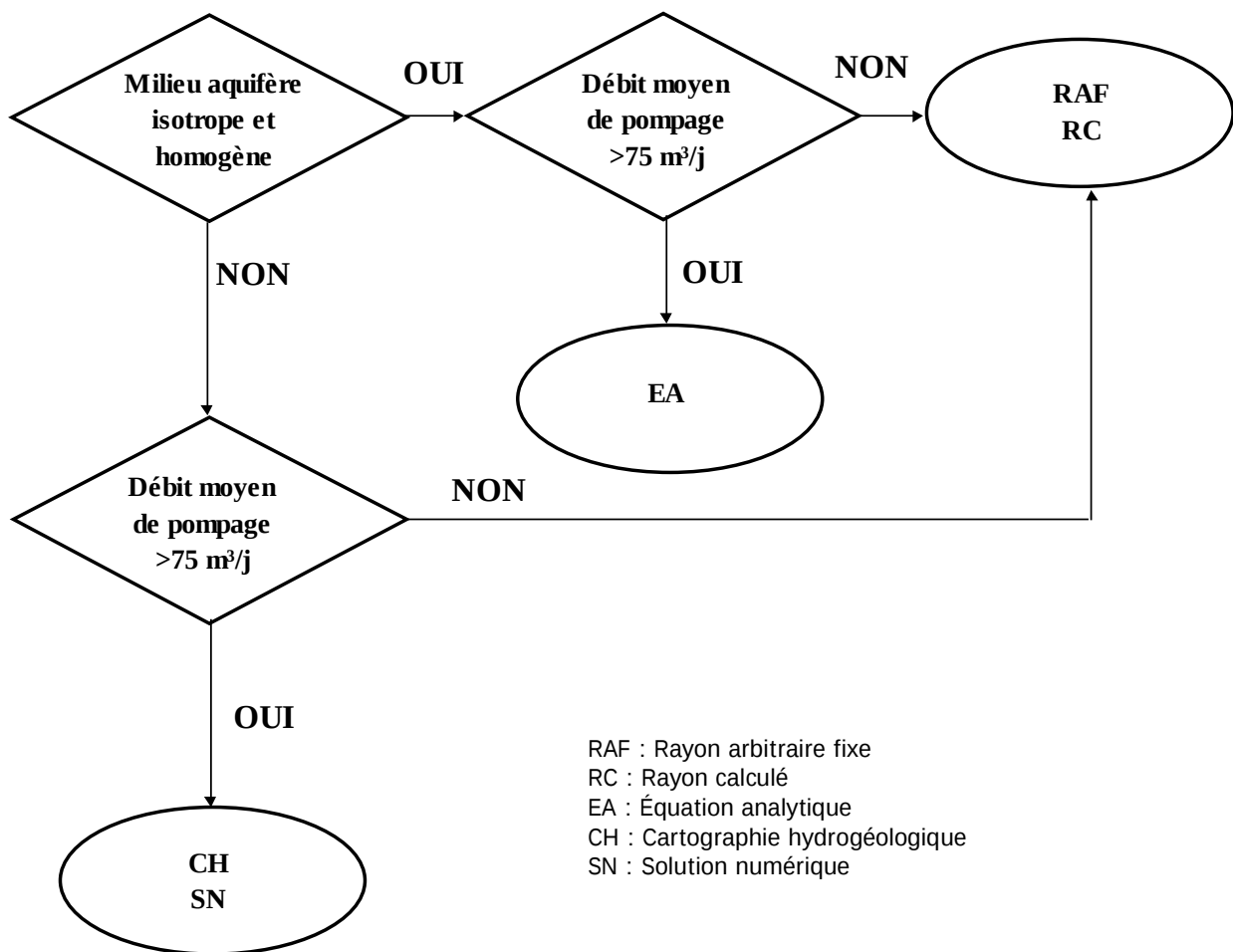
#### 8.3.3.4 Arbre décisionnel pour le choix d'une famille de méthodes

Les sections précédentes ont démontré que le choix d'une méthode appropriée pour la détermination de l'aire d'alimentation et des aires de protection rapprochée dépend de plusieurs facteurs et que le degré de précision varie d'une famille à l'autre. Nous sommes d'avis que le choix d'une méthode appartenant à une famille plutôt qu'à une autre doit d'abord se faire en fonction du degré d'anisotropie et d'hétérogénéité du milieu aquifère capté et du débit moyen de pompage de l'ouvrage de captage. Ainsi, l'arbre décisionnel (figure 8-7), sans préciser de méthode, oriente les intervenants dans le choix d'une famille de méthodes en fonction du type de milieu aquifère et de l'importance du réseau (se traduisant en capacité de pompage de l'ouvrage de captage).

Dans les milieux aquifères isotropes et homogènes, l'aire d'alimentation et les aires de protection peuvent être déterminées en utilisant des méthodes de la famille des rayons fixes arbitraires (RFA) ou des rayons calculés (RC) si la capacité de pompage de l'ouvrage de captage est inférieure à  $75 \text{ m}^3/\text{j}$ . Lorsque le débit est supérieur à  $75 \text{ m}^3/\text{j}$ , les équations analytiques simples (EA) ou les méthodes permettant un degré de précision supérieur (CH ou SN) doivent être privilégiées.

Par ailleurs, les milieux aquifères anisotropes et hétérogènes, tels que les formations rocheuses fracturées et les dépôts granulaires deltaïques, exigent des méthodes d'évaluation d'une plus grande précision. Conséquemment, il n'est pas approprié dans ces cas de délimiter les contours de l'aire d'alimentation et des aires de protection en employant des rayons arbitraires fixes (RAF), des rayons calculés (RC) et des solutions analytiques simples, sauf dans les cas où la capacité de pompage de l'ouvrage de captage est inférieure à  $75 \text{ m}^3/\text{j}$ . La cartographie hydrogéologique et l'utilisation de modèles numériques offrent une plus grande précision, compte tenu du plus grand nombre de paramètres physiques considérés. Le recours à ces méthodes devrait être préconisé lorsque la capacité de pompage de l'ouvrage de captage est supérieure à  $75 \text{ m}^3/\text{j}$ .

**Figure 8-7 : Arbre décisionnel pour le choix d'une famille de méthodes**



### 8.3.4 Indice de vulnérabilité des eaux souterraines

L'indice de vulnérabilité des eaux souterraines reflète le niveau de risque de contamination de l'eau due à l'activité humaine. Le *RQEP* se réfère à la méthode DRASTIC comme moyen d'évaluation de cet indice.

#### 8.3.4.1 Description de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC demeure la méthode de détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines la plus communément utilisée. Cette méthode, qui consiste en un système de cotation numérique, est décrite en détail dans le document EPA/600-2-87-035 (Aller, 1987). Les sections suivantes présentent les notions hydrogéologiques sous-jacentes à la méthode.

#### 8.3.4.2 Hypothèses de base

La méthode proposée repose sur les trois hypothèses de base suivantes avec lesquelles les utilisateurs doivent être familiers afin de bien cerner ses limites d'application :

- Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol;
- De la surface du sol, les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace;
- La nature des contaminants potentiels n'est pas considérée dans le calcul de l'indice.

Dans l'éventualité où l'une des trois hypothèses précédentes n'est pas rencontrée, l'interprétation de l'indice DRASTIC doit donc se faire avec prudence.

#### 8.3.4.3 Facteurs déterminants

Les sept lettres de l'acronyme DRASTIC représentent les facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité. Ces derniers sont, dans l'ordre :

D : *Depth to water table* ou profondeur de la nappe d'eau;  
R : *Recharge* ou infiltration efficace;  
A : *Aquifer media* ou milieu aquifère;  
S : *Soil media* ou type de sol;  
T : *Topography* ou pente du terrain;  
I : *Impact of vadose zone* ou impact de la zone vadose;  
C : *Conductivity* ou conductivité hydraulique.

Ces sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol. Une valeur numérique (poids paramétrique) comprise entre 1 et 5 reflète le degré d'influence de chacun d'eux. Le tableau 8-2 suivant associe à chacun des sept facteurs un poids paramétrique général.

**Tableau 8-2 : Poids des paramètres utiles**

| PARAMÈTRE                    | POIDS (général) |
|------------------------------|-----------------|
| Profondeur de la nappe d'eau | 5               |
| Recharge efficace            | 4               |
| Milieu aquifère              | 3               |
| Type de sol                  | 2               |
| Pente du terrain             | 1               |
| Impact de la zone vadose     | 5               |
| Conductivité hydraulique     | 3               |

À chacun des paramètres est aussi associée une cote variant de 1 à 10, définie en fonction d'intervalles de valeurs. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. Les cotes pour tous les paramètres sont compilées dans les tableaux 8-3 à 8-9 ci-après.

**Tableau 8-3 : Cote selon la profondeur de la nappe**

| PROFONDEUR DE LA NAPPE D'EAU (m) |      |
|----------------------------------|------|
| INTERVALLE                       | COTE |
| 0 à 1,5                          | 10   |
| 1,5 à 4,5                        | 9    |
| 4,5 à 9,0                        | 7    |
| 9,0 à 15,0                       | 5    |
| 15,0 à 23,0                      | 3    |
| 23,0 à 31,0                      | 2    |
| 31,0 et plus                     | 1    |

L'estimation de ce paramètre doit tenir compte des conditions de crues saisonnières. La méthode DRASTIC prévoit que, dans les cas de nappes captives, la profondeur de la nappe d'eau correspond à celle du toit de l'aquifère.

**Tableau 8-4 : Cote selon la recharge annuelle**

| RECHARGE ANNUELLE (cm) |      |
|------------------------|------|
| INTERVALLE             | COTE |
| 0 à 5                  | 1    |
| 5 à 10                 | 3    |
| 10 à 18                | 6    |
| 18 à 25                | 8    |
| 25 et plus             | 9    |

**Tableau 8-5 :Cote selon le milieu aquifère**

| <b>MILIEU AQUIFÈRE</b>                |      |           |
|---------------------------------------|------|-----------|
| TYPE D'AQUIFÈRE                       | COTE | COTE-TYPE |
| Shale massif                          | 1-3  | 2         |
| Roches ignées/métamorphiques          | 2-5  | 3         |
| Roches ignées/métamorphiques altérées | 3-5  | 4         |
| Till                                  | 4-6  | 5         |
| Lits de grès, calcaire et shale       | 5-9  | 6         |
| Grès massif                           | 4-9  | 6         |
| Calcaire massif                       | 4-9  | 6         |
| Sable et gravier                      | 4-9  | 8         |
| Basalte                               | 2-10 | 9         |
| Calcaire karstique                    | 9-10 | 10        |

**Tableau 8-6 : Cote selon le type de sol**

| <b>TYPE DE SOL</b> |      |
|--------------------|------|
| NATURE DU SOL      | COTE |
| Sol mince ou roc   | 10   |
| Gravier            | 10   |
| Sable              | 9    |
| Tourbe             | 8    |
| Argile fissurée    | 7    |
| Loam sableux       | 6    |
| Loam               | 5    |
| Loam silteux       | 4    |
| Loam argileux      | 3    |
| Terre noire        | 2    |
| Argile             | 1    |

Ce paramètre correspond approximativement au premier mètre de dépôts à partir de la surface du sol.

**Tableau 8-7 :Cote selon la pente du terrain**

| <b>PENTE DU TERRAIN (%)</b> |      |
|-----------------------------|------|
| INTERVALLE                  | COTE |
| 0-2                         | 10   |
| 2-6                         | 9    |
| 6-12                        | 5    |
| 12-18                       | 3    |
| 18+                         | 1    |

**Tableau 8-8 :Cote selon l'impact de la zone vadose**

| <b>IMPACT DE LA ZONE VADOSE</b>      |      |           |
|--------------------------------------|------|-----------|
| NATURE DE LA ZONE VADOSE             | COTE | COTE-TYPE |
| Couche imperméable                   | 1    | 1         |
| Silt/argile                          | 2-6  | 3         |
| Shale                                | 2-5  | 3         |
| Calcaire                             | 2-7  | 6         |
| Grès                                 | 4-8  | 6         |
| Lits de calcaire, grès et shale      | 4-8  | 6         |
| Sable et gravier avec silt et argile | 4-8  | 6         |
| Roches ignées/métamorphiques         | 2-8  | 4         |
| Sable et gravier                     | 6-9  | 8         |
| Basalte                              | 2-10 | 9         |
| Calcaire karstique                   | 8-10 | 10        |

*Pour l'application de la méthode DRASTIC, la zone vadose correspond à la portion souterraine du terrain comprise entre le sol (premier mètre à partir de la surface) et le niveau de la nappe d'eau souterraine prenant ainsi en considération toutes les unités influençant le transport de contaminants.*

**Tableau 8-9 : Cote selon la conductivité hydraulique**

| <b>CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE (M/J)</b> |      |
|---------------------------------------|------|
| INTERVALLE                            | COTE |
| 0,04-4                                | 1    |
| 4-12                                  | 2    |
| 12-29                                 | 4    |
| 29-41                                 | 6    |
| 41-82                                 | 8    |
| 82+                                   | 10   |

L'indice de vulnérabilité DRASTIC (ID) est déterminé, pour chacune des unités hydrogéologiques à l'intérieur des aires de protection rapprochée correspondant à des temps de parcours de 200 et 550 jours, par la somme des produits des poids pondérés par la cote correspondante. Ainsi,

$$ID = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c$$

À titre d'exemple, pour le paramètre D (profondeur de la nappe d'eau),  $D_p$  et  $D_c$  correspondent respectivement au poids et à la cote paramétrique.

Lorsque plusieurs unités hydrogéologiques coexistent à l'intérieur des aires de protection ciblées, la création de cartes de vulnérabilité délimitant ces unités et montrant les indices DRASTIC correspondants devient nécessaire. Il est aussi fréquent qu'à l'intérieur d'une unité hydrogéologique, les cotes rattachées aux paramètres varient considérablement, de sorte qu'il devient alors indispensable de différencier ces zones en sous-unités. Les étapes de construction de cartes de vulnérabilité sont décrites par Champagne et Chapuis (1993).

#### 8.3.4.4 Cueillette de données

L'identification des unités et des sous-unités hydrogéologiques ainsi que l'évaluation des sept paramètres requièrent la connaissance de la géologie (roc et dépôts meubles), de l'hydrogéologie, de la pédologie, de la topographie ainsi que de la météorologie. Ces informations sont le plus souvent contenues dans des rapports ou des banques de données existantes. Ainsi, avant de déployer des efforts coûteux dans la réalisation de travaux de terrain, le consultant fera l'inventaire de ces données, jugera de leur fiabilité et les analysera afin d'estimer les sept paramètres de base. Seules les informations manquantes dans les sources de données existantes ou celles pour lesquelles un doute existe quant à leur fiabilité ou leur précision devront être obtenues à partir de travaux de terrain.

Le rapport sur la détermination de l'indice DRASTIC doit indiquer clairement la source des informations utilisées ainsi que le cheminement et les hypothèses qui ont mené à l'estimation de chacune des cotes. Le lecteur pourra ainsi juger de la valeur des cotes attribuées, car la fiabilité de l'indice DRASTIC dépend de la quantité et de la qualité des données qui ont permis l'évaluation.

La réalisation des ouvrages de captage dont la capacité de pompage est inférieure à 75 m<sup>3</sup>/j ne nécessite pas d'étude hydrogéologique exhaustive. Dans ces cas, les eaux souterraines sont considérées comme étant vulnérables. Il peut cependant arriver qu'un exploitant préfère réaliser une étude hydrogéologique auquel cas les conclusions seront alors prises en considération. Les données obtenues lors de l'exécution du forage pourront servir à la détermination de l'indice de vulnérabilité DRASTIC.

Les tableaux 8-10 et 8-11 ci-après compilent les principales sources d'information auxquelles le consultant peut se référer pour l'estimation des sept paramètres.

#### 8.3.4.5 Interprétation des indices de vulnérabilité DRASTIC

L'indice de vulnérabilité DRASTIC correspond à un nombre dont la valeur croît avec le niveau de risque de contamination de l'aquifère. La gamme des poids et des cotes paramétriques décrites précédemment résulte en des valeurs minimale et maximale respectives de 23 et 226.

Dans le *RQEP*, il est stipulé qu'un indice de vulnérabilité DRASTIC supérieur à 100 dans les aires de protection de l'aire d'alimentation du lieu de captage, établis sur la base d'un temps de migration des eaux souterraines de 550 jours pour une protection virologique et de 200 jours pour une protection bactériologique, requiert un suivi particulier de la qualité microbiologique de l'eau.

#### 8.3.4.6 Exemple d'application

Un exemple d'application de la méthode DRASTIC en territoire québécois (MRC de Montcalm) est présenté par Champagne (1993). Ces travaux démontrent que les cas inventoriés de contamination des eaux souterraines se retrouvent dans les zones où des indices élevés de vulnérabilité ont été déterminés. Cette constatation suggère que la méthode préconisée fournit un bon indicateur de la vulnérabilité des eaux souterraines.

**Tableau 8-10 : Principales sources d'information publiques pour l'estimation des sept paramètres de la méthode DRASTIC**

| TYPE D'INFORMATION                                              | BANQUE DE DONNÉES                                                               | ORGANISME DÉPOSITAIRE                                                 | ADRESSE ÉLECTRONIQUE OU NUMÉRO DE TÉLÉPHONE                                                    |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Données géologiques des dépôts quaternaires et du socle rocheux | SIGÉOM (Système d'information géologique à référence spatiale)                  | Géologie-Québec MRN                                                   | <a href="http://www.mrn.gouv.qc.ca/geologie/produits">www.mrn.gouv.qc.ca/geologie/produits</a> |
| Données hydrogéologiques                                        | SIH (Système d'information hydrogéologique à référence spatiale)                | Service de l'expertise technique en eau MENV                          | (418) 521-3885                                                                                 |
| Cartes topographiques 1 : 20 000                                | GÉOSELECTION (Système d'information sur les produits à référence spatiale)      | Photocartotheque québécoise MRN                                       | <a href="http://www.mrn.gouv.qc.ca/photocartotheque">www.mrn.gouv.qc.ca/photocartotheque</a>   |
| Photographies aériennes 1 : 15 000 1 : 40000                    | SIPA Système d'information sur les photographies aériennes                      | Photocartotheque québécoise MRN                                       | <a href="http://www.mrn.gouv.qc.ca/photocartotheque">www.mrn.gouv.qc.ca/photocartotheque</a>   |
| Information géotechnique                                        | Banque de données géotechniques                                                 | MTQ                                                                   | Consultation sur place                                                                         |
| Information climatologique et hydrologique                      |                                                                                 | Direction des systèmes atmosphériques Environnement Canada            | <a href="http://www.cmc.ec.gc.ca/climat">www.cmc.ec.gc.ca/climat</a>                           |
| Information pédologique                                         | Banque de données pédologiques                                                  | Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRMA) | (418) 643-2787                                                                                 |
| Information hydrogéologique et géotechnique                     | Rapports hydrogéologiques et géotechniques. Fichiers numériques, selon le cas.* | Municipalités et MRC                                                  | Consultation sur place                                                                         |
| Information hydrologique, hydrogéologique et géotechnique       | Thèses, rapports, cartes, articles scientifiques et fichiers numériques divers  | Universités                                                           | Consultation sur place ou via des sites Internet spécifiques                                   |

\* Certaines municipalités détiennent leurs données sur fichiers numériques.

**Tableau 8-11 : Principales sources d'information privées\* pour l'estimation des sept paramètres de la méthode DRASTIC**

| TYPE DE DONNÉES                                                       | ORGANISMES DÉPOSITAIRES    |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Rapports hydrogéologiques et géotechniques                            | Entreprises industrielles  |
| Rapports hydrogéologiques et géotechniques, études de caractérisation | Bureaux d'experts-conseils |

\* La nature privée de ces sources d'information peut en limiter l'accessibilité.

## 8.4 Recharge artificielle de la nappe

### 8.4.2 Conditions d'applications

La recharge artificielle de la nappe phréatique peut être appliquée pour résoudre différentes problématiques d'alimentation et de traitement :

- Augmentation de la capacité d'extraction d'un aquifère;
- Prétraitement de l'eau avant la réalisation d'un traitement plus élaboré;
- Considérations opérationnelles.

Les ressources en eau sont parfois limitées sur certains territoires. Les besoins en eau peuvent alors excéder la capacité de la nappe phréatique naturelle. La recharge artificielle de la nappe à partir d'une source d'eau de surface permet alors d'augmenter sa capacité d'extraction. Lorsque la qualité de l'eau utilisée pour la recharge est bonne et que les conditions d'opérations sont favorables, l'eau extraite de la nappe peut ne nécessiter qu'un traitement de désinfection. Dans le contexte du *RQEP*, cette avenue peut s'avérer intéressante pour les petites et moyennes municipalités.

Le prélèvement de l'eau de surface peut présenter, lui aussi, des limites (voir section 9.3). De façon générale, cette limitation se rencontre lors des périodes d'étiage. Cependant, au cours de l'année, les volumes d'eau s'écoulant dans les cours d'eau sont suffisamment grands pour répondre aux besoins. La recharge artificielle de la nappe permet alors d'entreposer d'importants volumes d'eau dans le sol pour ensuite la récupérer. En fonction des conditions d'opération du système de recharge, le traitement subséquent requis peut être plus ou moins élaboré. Pour que cette application soit intéressante, les zones de recharge et de collecte doivent être localisées à proximité des ouvrages de la prise d'eau de surface et des installations de traitement.

Dans le cas d'une eau brute de mauvaise qualité, le passage de l'eau à travers le sol permet de réduire sa turbidité, son contenu bactériologique, la matière organique dissoute, l'ammoniaque et d'autres micropolluants. La filtration à travers le sol atténue les pointes de concentrations des polluants contenus dans les eaux de surface et permet de retarder leurs entrées aux installations de traitement. Lors d'un déversement accidentel, la recharge artificielle peut être interrompue sans nécessiter l'arrêt des installations de traitement (la capacité d'entreposage souterraine pallie cette interruption). Exploitée de la sorte, la recharge artificielle devient un prétraitement qui permet de limiter la complexité de la filière subséquente des installations de traitement et de sécuriser la source d'approvisionnement.

Dans certaines applications particulières, l'eau traitée par l'usine de filtration peut être injectée dans la nappe en période de consommation normale et récupérée sans traitement additionnel pour répondre à une demande en eau excédant le débit moyen annuel. Il s'agit alors de considérations opérationnelles qui peuvent permettre d'éviter la réalisation de travaux plus coûteux (augmentation de la capacité de l'usine, exploitation d'une source éloignée, etc.). Cette application est mieux connue sous le terme anglais *Aquifer Storage and Recovery*.

#### 8.4.3 Autres éléments reliés à la conception

##### 8.4.3.1 Phénomènes susceptibles de se produire lors de la recharge

Différents phénomènes naturels contribuent à l'amélioration et parfois aussi à la détérioration de la qualité de l'eau de surface injectée dans le sol. Parmi les constats les plus fréquents sur sites à l'échelle réelle, citons :

- L'injection d'une eau ayant une demande en oxygène ( $\text{COA}$ ,  $\text{NH}_3\text{-NH}_4$ , etc.) excédant sa teneur en oxygène est susceptible de provoquer l'apparition de conditions réductrices ( $\text{O}_2 < 1 \text{ mg/L}$ ) et parfois anaérobiques qui favorisent le relargage de fer et de manganèse dans la nappe ainsi qu'une plus importante dureté et dénitrification de l'eau;
- L'injection d'une eau oxygénée dans un sol contenant de la pyrite, de la marcassite ou de la sidérite provoque leur dissolution (sulfures de fer, etc.). Ce phénomène induit une augmentation significative de l'acidité qui conduit à l'augmentation des sulfates, du fer, du  $\text{CO}_2$  et à une diminution du pH;
- L'introduction de conditions oxydantes (oxygène dissous) dans une nappe naturelle dont les conditions sont réductrices, et qui contient naturellement du fer ou du manganèse dissous, favorise le colmatage du sol par précipitation de ces métaux ainsi que la prolifération des bactéries du fer;
- La matière organique est réduite par des phénomènes d'adsorption et de biodégradation dont l'efficacité est relativement stable dans le temps. Les matières les plus biodégradables sont retirées à faible profondeur alors que les matières moins biodégradables (la couleur organique) le sont après un plus long parcours;
- Les micro-organismes sont enlevés par tamisage, inactivation et attachement au massif granulaire;
- Les particules sont enlevées par filtration, adsorption et sédimentation intergranulaire;
- Les métaux lourds sont réduits par des phénomènes de précipitation et d'adsorption. Ils peuvent ainsi demeurer dans le sol durant de longues périodes sans être remobilisés.

##### 8.4.3.2 Performances

Les performances de traitement atteintes lors de la recharge artificielle d'une eau de surface dépendent du temps de séjour de l'eau dans le sol, de la qualité de l'eau brute infiltrée, du niveau de dilution avec la nappe naturelle, des caractéristiques du massif granulaire et de l'écoulement souterrain. De manière typique, les performances suivantes sont observées :

- Diminution de la température de l'eau de surface après infiltration à un niveau similaire à celle de l'eau souterraine;

- Réduction du carbone organique dissous, de la couleur vraie et des précurseurs de trihalométhanes (THM) à des niveaux variables (de 30 à 75% et souvent supérieurs pour la couleur). L'eau ainsi obtenue est généralement biologiquement stable;
- Des réductions de phosphates et de fer dans l'eau de surface infiltrée de l'ordre de 90% ont déjà été observées après infiltration;
- Les virus et autres micro-organismes sont généralement bien enlevés, mais il n'existe pas de crédit clairement associé à ce processus. Certains chercheurs ont proposé d'accorder 1 log de crédit d'enlèvement pour les *Cryptosporidium*. Des évaluations spécifiques à certains sites existants de recharge par les berges (*River Bank Filtration*) aux États-Unis, ont conduit à l'accréditation de 1 log d'enlèvement pour les virus et de 2,0 et 2,5 log pour les *Giardia*.

#### 8.4.3.3 Temps de séjour dans le sol

Il est généralement reconnu que les principales modifications des caractéristiques de l'eau infiltrée se produisent à l'intérieur des 10 à 20 premiers jours. Les vitesses de réaction sont différentes selon le paramètre considéré. Sur les principaux sites de recharge étudiés à travers le monde, les principales observations suivantes ont été faites :

- Le carbone organique assimilable est réduit au cours des premières heures suivant l'infiltration et parfois même dans le premier mètre de sol;
- Le carbone organique non biodégradable demande cependant des temps de séjour beaucoup plus longs;
- La réduction de la turbidité s'effectue habituellement en deçà de quelques jours;
- La reminéralisation de l'eau infiltrée se fait de façon graduelle dans un délai de 3 à 20 jours;
- La réduction de 3 à 5 log de bactériophages peut être observée après une période de 4 à 7 jours.

#### 8.4.3.4 Ouvrages d'infiltration

L'infiltration de l'eau de surface peut se faire à partir de différents ouvrages :

- De puits sous pression;
- De bassins;
- De rivières.

L'infiltration qui a lieu à partir de puits conduit inévitablement à un colmatage rapide des puits, qui nécessite donc un entretien régulier et habituellement fréquent. L'usage de bassins est plus approprié au contrôle du colmatage (raclage de surface) et les grandes surfaces disponibles permettent de réduire la fréquence d'entretien à une ou deux fois par an. L'infiltration à partir d'une rivière nécessite habituellement l'inversion du gradient hydraulique par pompage ou par l'installation de galeries filtrantes à une profondeur appropriée. Ce type d'ouvrage risque de se colmater en partie sur le lit de la rivière, ce qui complique l'entretien. L'emploi de bassins est donc préconisé parce qu'ils sont faciles d'entretien et qu'ils permettent de choisir le secteur désiré pour l'infiltration (contrairement au cas de la rivière).

De nombreux phénomènes expliquent le colmatage, entre autres :

- Introduction d'air entraîné dans la nappe (souvent à partir de puits);
- Dégazage de l'oxygène dû au réchauffement de l'eau lors de l'infiltration d'une eau aérée froide (au cours de l'hiver). Ne pose généralement pas de problème en deçà de 10 mg/L d'oxygène;
- Le développement d'un matelas biologique dû au carbone organique assimilable et aux nutriments (en surface);
- Réarrangement des particules d'un sol non consolidé (habituellement moins important que les autres phénomènes);
- Précipitation de métaux (hydroxydes de calcite, de fer et de manganèse) contenus dans l'eau à infiltrer ou dans l'eau souterraine naturelle;
- Filtration des matières en suspension contenues dans l'eau utilisée pour la recharge.

La présence d'un gravier grossier en surface des bassins favorisera le colmatage en profondeur et celui d'un gravier fin, en surface. Dans ce dernier cas, la fréquence d'entretien peut être diminuée par un à trois hersages entre les raclages. Lorsque le colmatage se fait en profondeur, la fréquence de colmatage s'en trouve réduite, mais lorsqu'il survient, un nouveau bassin doit être construit à l'extérieur de la zone colmatée.

La mise au repos des bassins (cycle de mise en eau et séchage) permet généralement de limiter le taux de colmatage et souvent de récupérer une partie du colmatage biologique. De plus, cette alternance prévient les nuisances causées par les larves d'insectes et autres organismes aquatiques. En conséquence, au moins deux bassins sont recommandés.

#### 8.4.3.5 Nature du sol

La nature du sol joue un rôle important sur l'efficacité du traitement de filtration par le sol. Un sol plus fin permettra d'atteindre des niveaux d'épuration (micro-organismes, substances biodégradables et absorbables) beaucoup plus rapidement qu'un sol grossier. Dans la recherche de site propice, il faut donc concilier la capacité hydraulique du sous-sol et l'efficacité de traitement. La mise en place d'une couche de sable grossier dans le fond des bassins d'infiltration permet de trouver un certain équilibre entre ces deux objectifs.

La qualité de l'eau souterraine naturelle ainsi que la teneur en sidérite, en pyrite et en marcassite doit être mesurée afin de déterminer les réactions potentielles de l'introduction d'une eau contenant de l'oxygène dissous. On évitera les matrices granulaires dont l'eau contient déjà du fer et du manganèse et celles contenant de fortes teneurs en sulfures métalliques.

#### 8.4.3.6 Taux d'infiltration dans le sol

Le taux d'infiltration dans le sol via les ouvrages de recharge dépend :

- Des caractéristiques hydrogéologiques du sous-sol (granulométrie, porosité de l'aquifère, etc.);
- Des propriétés colmatantes de l'eau de recharge et du type de sol en surface des bassins;

- De la présence ou non d'une zone vadose (partie du sol non saturé limitant le taux d'infiltration);
- Du taux de récupération de l'eau infiltrée (dépend de la configuration des ouvrages de collecte et de l'écoulement souterrain engendré par la recharge).

Le taux d'infiltration devra être déterminé par une étude hydrogéologique et une modélisation des écoulements souterrains.

#### 8.4.3.7 Prétraitement

Certains pré-traitements ont déjà été appliqués à l'échelle réelle afin d'améliorer l'efficacité de la recharge. Parmi les plus fréquents, citons :

- L'aération de l'eau de surface avant son infiltration afin de maintenir des conditions aérobiques ou oxydantes dans le sol et d'éviter la solubilisation du fer et du manganèse;
- L'ozonation de l'eau de surface afin d'oxyder, de coaguler et de réduire certains contaminants (couleur, précurseurs de THM, 2-méthyl-isoborneol (MIB), géosmine, etc.). L'ozonation stimule également la biodégradation des matières organiques, améliore la désinfection de l'eau et augmente le taux d'oxygène dissous;
- L'injection d'un agent réducteur tel que le bisulfite de sodium pour éliminer le pouvoir oxydant de l'oxygène dissous et éviter la précipitation du fer et du manganèse contenus dans l'eau souterraine naturelle ou l'oxydation de la pyrite;
- La correction de pH d'une eau utilisée pour la recharge à une valeur alcaline (9,0) a permis dans certains sites d'entreposage d'eau traitée l'élimination du fer et du manganèse contenus originellement dans la nappe;
- La sédimentation de l'eau de surface avant son injection en puits profond;
- Le traitement complet de l'eau dans le but d'entreposer de l'eau potable dans le sous-sol et de la réutiliser directement par la suite.

#### 8.4.3.8 Procédure de conception

La prévision des performances de la recharge artificielle est difficile à évaluer en raison de l'hétérogénéité du sous-sol et de l'incertitude qui peut persister relativement aux possibilités d'écoulement préférentiel. La conception d'une telle approche nécessitera la réalisation de plusieurs phases d'étude. Mentionnons les points suivants :

##### **Étude de faisabilité et design conceptuel**

- Caractérisation de la qualité de l'eau utilisée pour la recharge et du débit disponible à cette fin;
- Caractérisation de la qualité de l'eau souterraine;
- Caractérisation du sol dans lequel la recharge se fera;
- Élaboration conceptuelle de l'installation de recharge et de collecte;
- Modélisation tridimensionnelle des écoulements souterrains;
- Évaluation des impacts de la recharge (influence de la modification des niveaux d'eau sur les puits environnants et autres ouvrages hydrauliques, apparition de résurgence ou réduction de

la recharge de certains cours ou plans d'eau, détérioration ou amélioration de la qualité de l'eau souterraine, instabilité des pentes, etc.).

### **Essais pilote**

- Durée minimale des essais : 3 mois;
- Une colonne de filtration remplie d'un sol représentatif de la zone d'écoulement souterrain (munie de plusieurs points de mesure du niveau piézométrique) pour simuler le temps de séjour dans le sol;
- Une colonne de filtration remplie d'un sol simulant la zone d'infiltration des bassins incluant les matériaux d'emprunt, le cas échéant (munie de plusieurs points de mesure du niveau piézométrique) pour simuler le taux d'infiltration dans les bassins;
- Caractérisation de l'eau brute et de l'eau filtrée (bihebdomadaire pour les paramètres de contrôle régulier et mensuel pour une caractérisation complète de l'eau).

#### **8.4.3.9 Suivi et contrôle**

Les ouvrages minimums suivants doivent être prévus pour la surveillance du procédé :

- Règles graduées dans le bassin (suivi du colmatage en surface du bassin);
- Piezomètres dans les bassins à une profondeur de 1 m et 3 m sous le niveau initial des bassins ou selon les niveaux piézométriques anticipés (suivi du colmatage à faible profondeur);
- Au moins quatre piezomètres de contrôle répartis uniformément entre les ouvrages d'infiltration et de collecte (peut contenir des niveaux multiples selon la stratigraphie du site) pour mesurer la qualité de l'eau.

Les chlorures ne sont pas modifiés par l'infiltration dans le sol et peuvent donc être utilisés pour calculer le taux de dilution avec la nappe naturelle.

Les paramètres suivants doivent faire l'objet d'un suivi :

- Débit d'eau infiltrée et collectée;
- Niveaux piézométriques;
- Paramètres de suivi complémentaires à ceux prévus à la section 6.1.1 : solides dissous totaux, potentiel redox (Eh) et calcium.

## VOLUME 2

### CHAPITRE 9

|             |                                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>9.</b>   | <b>APPROVISIONNEMENT EN EAUX DE SURFACE ET TRAITEMENT .....</b>          |
| <b>9.5</b>  | <b>Dégrillage .....</b>                                                  |
| 9.5.1       | Dégrillage .....                                                         |
| 9.5.2       | Microtamis .....                                                         |
| <b>9.6</b>  | <b>Coagulation .....</b>                                                 |
| 9.6.1       | Description .....                                                        |
| 9.6.5       | Équipement .....                                                         |
| 9.6.6       | Données requises pour la conception .....                                |
| 9.6.7       | Paramètres de suivi et de contrôle .....                                 |
| <b>9.7</b>  | <b>Floculation .....</b>                                                 |
| <b>9.8</b>  | <b>Clarification .....</b>                                               |
| 9.8.2       | Flottation .....                                                         |
| 9.8.3       | Filtre clarificateur .....                                               |
| <b>9.9</b>  | <b>Filtration .....</b>                                                  |
| 9.9.1       | Filtration rapide à lavage intermittent .....                            |
| 9.9.2       | Filtration à lavage en continu .....                                     |
| 9.9.3       | Filtration sur charbon actif biologique .....                            |
| 9.9.5       | Filtration lente sur sable .....                                         |
| 9.9.6       | Filtration sur charbon actif granulaire .....                            |
| 9.9.7       | Filtration directe .....                                                 |
| <b>9.10</b> | <b>Filtration membranaire .....</b>                                      |
| 9.10.1      | Mise en œuvre des membranes .....                                        |
| 9.10.1.1    | Modes de filtration .....                                                |
| 9.10.1.2    | Modules .....                                                            |
| 9.10.1.3    | Systèmes .....                                                           |
| 9.10.3      | Règles de conception .....                                               |
| 9.10.3.1    | Choix du type de membrane .....                                          |
| 9.10.3.2    | Choix du type de module .....                                            |
| 9.10.3.3    | Choix des conditions d'opération .....                                   |
| 9.10.3.4    | Configuration des unités de traitement (systèmes sous<br>pression) ..... |
| 9.10.3.5    | Types de produits chimiques utilisés .....                               |
| 9.10.3.6    | Intégrité des systèmes membranaires .....                                |
| 9.10.3.7    | Prévention du colmatage .....                                            |
| 9.10.3.8    | Techniques de nettoyage des membranes .....                              |
| 9.10.3.9    | Contrôles et automatisation .....                                        |
| 9.10.3.10   | Paramètres de suivi .....                                                |

|           |                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| 9.10.3.11 | Santé et sécurité .....                                          |
| 9.10.4    | <i>Description des chaînes de traitement</i> .....               |
| 9.10.4.1  | Chaînes de traitement avec filtration sur membranes d'UMF .....  |
| 9.10.4.2  | Chaînes de traitement avec filtration sur membranes de NF .....  |
| 9.10.4.3  | Chaînes de traitement avec filtration sur membranes de NUF ..... |
| 9.10.4.4  | Chaînes de traitement avec filtration sur membranes d'OI ..      |

## **9. APPROVISIONNEMENT EN EAUX DE SURFACE ET TRAITEMENT**

### **9.5 Dégrillage**

#### *9.5.1 Dégrillage*

L'objectif de réduction des interventions manuelles impose de plus en plus l'automatisation du dégrillage, même dans des installations de faible importance. Celle-ci est inévitable lorsqu'il y a risque d'arrivée brutale de matières végétales (feuilles en automne) ayant tendance à s'amasser sur la grille, ce qui peut rapidement provoquer un colmatage complet.

Le fonctionnement du dispositif de nettoyage de la grille est généralement discontinu. Il peut être commandé soit par un système cyclique à cadence (1 min à 1 h) et durée réglable (1 à 15 min), soit par un indicateur de perte de charge différentiel ou encore par une combinaison des deux systèmes.

Les grilles courbes et grilles droites à nettoyage alternatif comportent normalement un dispositif assurant l'arrêt automatique du râteau en un point placé hors du champ de grille afin d'éviter tout risque de coincement lors du redémarrage.

#### *9.5.2 Microtamis*

La conception de cet équipement doit tenir compte des points suivants :

- Le microtamis est conçu pour retirer des solides spécifiques. Le diamètre des ouvertures du tamis doit être choisi en fonction de cet usage particulier;
- Une attention doit être apportée au choix du matériau formant le tamis pour éviter des problèmes de corrosion;
- Si une désinfection est requise en prétraitement, il faut tenir compte de l'effet de l'ajout du désinfectant sur les tamis;
- Il faut prévoir des ouvrages permettant de contourner chaque unité;
- La récupération des matières retenues par les tamis et leur disposition est à examiner.

### **9.6 Coagulation**

#### *9.6.1 Description*

Les substances indésirables les plus difficiles à éliminer dans les eaux naturelles sont celles qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes (matières organiques causant la coloration de l'eau et la formation des trihalométhanes (THM)). Ces substances portent habituellement une charge électrique négative qui empêche les particules de s'agglomérer les unes aux autres pour former des particules plus volumineuses (flocs) et faciliter leur enlèvement par sédimentation et filtration.

Le but de la coagulation est donc de neutraliser les charges de ces substances afin de favoriser la formation d'un agglomérat. Pour ce faire, on introduit habituellement dans l'eau un produit chimique chargé positivement nommé « coagulant » (sels d'aluminium ou de fer, polymères ou l'équivalent). L'injection d'un coagulant doit se faire à un endroit où l'agitation est très forte afin qu'il se disperse rapidement dans l'eau brute. La réaction du coagulant se fait en moins de 1 à 10s en eau chaude, selon le mécanisme de coagulation impliqué (AWWA, 1990), mais peut être passablement ralentie en eau froide ( $< 4^{\circ}\text{C}$ ).

Deux mécanismes de coagulation sont possibles :

- La neutralisation des charges;
- Le piégeage et l'adsorption sur des floccs amorphes d'aluminium ou de fer (coagulation par entraînement).

La neutralisation des charges conduit à l'agglomération des particules colloïdales entre elles. Pour les substances organiques dissoutes, elle provoque la formation d'un sel nommé humate d'aluminium ou de fer, selon le coagulant employé. Il s'agit, dans ce cas, d'un mécanisme de coagulation associé à une relation stœchiométrique entre le coagulant et les substances à éliminer. Ce mécanisme de coagulation ne se rencontre qu'à pH acide ( $< 5,5$ ) où les espèces dominantes du coagulant sont chargées positivement ( $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ ,  $\text{Al}_{13}(\text{OH}_{34})^{+5}$ , etc.) (Association canadienne des eaux potables et usées, 1994).

Dans le cas de la coagulation par entraînement, les particules colloïdales ainsi que la matière organique dissoute s'adsorberont en surface. Il s'agit d'un procédé très efficace pour l'enlèvement de la turbidité, mais beaucoup moins pour la matière organique dissoute. Parce qu'il fait intervenir des floccs amorphes de coagulant ( $\text{Al}(\text{OH})_3$  et  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), le pH de coagulation est moins important et des pH beaucoup plus élevés peuvent être utilisés si désiré (Association canadienne des eaux potables et usées, 1994).

Le pH de coagulation, et le dosage de coagulant dans une moindre proportion, sont donc très importants dans le choix du mécanisme de coagulation. L'ajout d'agent alcalin ou acide devra souvent être envisagé pour ce faire.

Des dosages de coagulant supérieurs à 15 mg/L d'alun sont difficilement applicables en filtration directe et nécessitent habituellement l'utilisation d'une décantation préalablement à la filtration pour éviter les colmatages rapides et excessifs des filtres.

Le choix et le dosage des coagulants doivent être déterminés en laboratoire par un *jar test* sur l'eau à traiter ou encore par des essais pilotes. Le dosage est fonction de la nature de l'eau brute (pH, alcalinité, MES, etc.) et du taux d'enlèvement sur les paramètres visés (turbidité, couleur, carbone organique total (COT), THM, etc.). Tout coagulant utilisé en eau potable doit, au préalable, avoir été approuvé par un organisme spécialisé et reconnu par le ministère de l'Environnement (MENV) en vue d'une utilisation en eau potable.

Parmi les coagulants les plus courants, mentionnons le sulfate d'aluminium (alun), le sulfate et le chlorure ferrique, le PASS (poly-silico-sulfates-d'aluminium), les PAC (polychlorures d'aluminium) et les polymères organiques cationiques à haute densité de charge et bas poids

moléculaire. Ces derniers sont surtout utilisés en combinaison avec un coagulant inorganique afin de diminuer la charge solide appliquée sur une filtration directe. Lorsque l'eau est froide, colorée et longue à coaguler, l'emploi d'un initiateur de floc tel que l'aluminate de sodium est souvent intéressant.

Une automatisation du dosage de coagulant peut être obtenue en utilisant un SCD (*Streaming Current Monitor*) tel que présenté au chapitre 16 du volume 1.

Pour optimiser l'enlèvement de la couleur vraie et des précurseurs de trihalométhanés (pTHM) (substances humiques), il est préférable de coaguler les eaux par neutralisation des charges. Comme il s'agit d'une réaction stœchiométrique, le dosage optimal de coagulant sera proportionnel à la quantité de substances humiques à l'origine de la couleur et des précurseurs. La sélection de ce mode de coagulation se fait en maintenant un pH de coagulation acide. Le lecteur se référera au document intitulé *Enhanced Coagulation* (1999) rédigé par l'United States Environmental Protection Agency (USEPA) pour obtenir de plus amples détails sur les objectifs et la procédure pour y parvenir.

L'addition de produits chimiques autres que ceux servant à la coagulation (chaux, soude caustique, acide, etc.) doit être réalisée à une distance raisonnable avant le point d'ajout de coagulant. Cette distance doit être validée par un *jar test*.

#### 9.6.5 Équipement

Un dispositif mécanique de mélange rapide, souvent vertical à hélice, est habituellement utilisé dans le cas d'un bassin de coagulation. Selon la configuration du bassin (si la profondeur est plus grande que deux fois le diamètre), deux hélices peuvent être requises.

#### 9.6.6 Données requises pour la conception

Les analyses d'eau brute qui suivent (incluant les variations cycliques de qualité) sont requises pour la conception :

- Dureté calcique;
- Couleur apparente;
- COT;
- Fer dissous;
- Manganèse dissous (si présence soupçonnée).

#### 9.6.7 Paramètres de suivi et de contrôle

Il convient de :

- S'assurer du bon fonctionnement mécanique des équipements d'agitation et de dosage;
- Suivre les variations du pH de l'eau brute et de l'eau en décantation;
- S'assurer que le dosage de coagulant se fait proportionnellement au débit d'entrée;

- Accroître les dosages en cas de dégradation de l'eau brute (augmentation de la turbidité, des MES, etc.).

## 9.7 Flocculation

Les éléments suivants peuvent être considérés pour optimiser la conception des flocculateurs :

- La profondeur du bassin ne devrait pas excéder cinq mètres en raison des courants instables parfois induits dans le bassin au-delà de cette profondeur;
- Des déflecteurs peuvent être utilisés pour éviter la formation d'un vortex et améliorer l'efficacité du mélange. Le cas échéant, ils pénétreront de 1/8 à 1/12 la largeur du bassin;
- Parfois, il est avantageux d'utiliser deux ou trois bassins en série. Le cas échéant, l'intensité de mélange devra être décroissante (de  $G = 60 \text{ s}^{-1}$  à  $15 \text{ s}^{-1}$ ) dans chacun des bassins. Le temps total de flocculation doit respecter les exigences susmentionnées;
- La dimension des pales doit respecter un ratio  $D/T = 0,2$  à  $0,4$  où  $D$  = longueur des pales et  $T$  = diamètre équivalent du bassin;
- Le choix et le dosage du flocculant doivent être déterminés en laboratoire par un *jar test* sur l'eau à traiter ou encore par des essais pilotes. Tout flocculant utilisé en eau potable doit, au préalable, avoir été approuvé par un organisme spécialisé et reconnu par le MENV en vue d'une utilisation en eau potable;
- Les polymères organiques à moyen et haut poids moléculaire sont les plus utilisés. La charge du polymère importe peu généralement. La silice activée est également utilisée comme flocculant.

## 9.8 Clarification

### 9.8.2 Flottation

#### 9.8.2.1 Description

La production de bulles d'air peut être réalisée de différentes façons qui permettent de diviser la flottation en trois grandes catégories : la flottation à air dissous, la flottation à air induit et l'électroflottation.

La flottation à air dissous fait référence à la dissolution d'air dans l'eau par pressurisation et suivie d'une détente qui favorise la formation de microbulles ayant une faible vitesse ascendante. La taille des bulles est un facteur important puisque plus elle est petite, plus la surface spécifique totale est grande et plus les chances de la formation d'un agglomérat bulle-solide sont augmentées. De plus, de grosses bulles entraînent un phénomène de turbulence qui provoque le cisaillement des floccs, ce qui abaisse l'efficacité du traitement.

#### 9.8.2.2 Conditions d'application

À l'heure actuelle, seule la flottation à air dissous est utilisée pour le traitement de l'eau potable. Cette technologie est couramment utilisée en Europe, particulièrement en Angleterre

et dans les pays scandinaves, depuis plusieurs années, comme alternative à la décantation. On compte plus de 150 installations de traitement de l'eau potable en Europe qui utilisent ce type de flottation. En Amérique du Nord, la flottation à air dissous est de plus en plus considérée comme alternative de traitement à la décantation pour certaines applications. À la date de tombée du guide, on compte une dizaine d'unités en opération au Canada.

La flottation à air dissous permet de traiter des eaux de turbidité équivalente à celles traitées par un procédé de décantation. En ce qui a trait à la couleur vraie, la flottation est reconnue pour être aussi et souvent plus efficace que les procédés de décantation visant la clarification de ce type d'eaux. Le procédé est particulièrement efficace pour l'enlèvement des kystes de *Giardia* et *Cryptosporidium* qui sont de petite taille et présentent une faible densité. La décantation requiert que ces particules soient incorporées à un floc d'une taille de 100 microns ou plus, alors que la flottation permet leur enlèvement même si elles ne sont pas floculées. De plus, cette technologie est plus appropriée que la décantation pour l'enlèvement de floes ayant une faible densité provenant de la coagulation du COT. La flottation à air dissous peut permettre l'enlèvement de la turbidité jusqu'à un niveau d'environ 0,5 à 1 UTN.

L'unité de flottation est peu sensible aux opérations d'arrêt et de départ. L'unité peut être démarrée rapidement et une bonne performance de traitement est obtenue quelques minutes déjà après le démarrage.

#### 9.8.2.3 Éléments de conception

Historiquement, les installations de flottation à air dissous utilisaient un temps de floculation de l'ordre de 20 min. Toutefois, des études plus récentes ont démontré que les réservoirs de floculation peuvent être conçus pour des temps de rétention beaucoup plus courts, soit de l'ordre de 5-10 min. Contrairement à la décantation, qui requiert la formation de larges floes (environ 100 microns et plus), la flottation nécessite une taille de floes inférieure (de l'ordre de quelques dizaines de microns), ce qui justifie l'utilisation d'un temps de floculation réduit.

Chaque flottateur doit être pourvu :

- D'un système de vidange pour l'entretien;
- De passerelles d'accès munies d'un fond et de bordures étanches sur lesquelles sont installées des garde-fous;
- D'un système de collecte des boues (souvent un bassin est localisé sous la goulotte d'élimination des boues raclées).

### Système de saturation

La conception d'un système de flottation doit prévoir un système de saturation qui pressurise une portion de l'eau traitée qui est recirculée à l'entrée du flottateur. Ce système doit permettre de générer des microbulles d'air ayant une taille comprise entre 20 et 100 microns. Plusieurs méthodes peuvent être employées pour dissoudre l'air sous pression. Parmi les plus courantes, on note l'injection d'air dans un réservoir de pressurisation ou saturateur (avec ou sans média poreux) et l'injection d'air à la succion de la pompe de recirculation. La pression de saturation peut varier entre de 450 à 725 kPa. Le taux de recirculation peut

varier de 6 à 12% du débit d'eau brute. La quantité d'air requise varie de 8 à 12 g/m<sup>3</sup> d'eau brute.

L'injection de l'eau recirculée contenant les microbulles d'air doit être faite de façon à assurer une bonne distribution à l'entrée du flottateur et à minimiser la coalescence des bulles d'air à l'endroit de l'injection.

L'air comprimé doit être asséché avant utilisation.

### **Taux de charge hydraulique superficielle**

Le taux de charge hydraulique superficielle peut varier de 5 à 20 m/h. Historiquement, une valeur type de l'ordre de 5-10 m/h était observée avec des unités de flottation sans plaques parallèles. Toutefois, le développement des technologies des dix dernières années a permis l'utilisation d'unités de flottation à taux de charge hydraulique superficielle élevé (de l'ordre de 20 à 40 m/h) qui ont une efficacité variable en fonction de la température de l'eau. La charge hydraulique maximale admissible n'est pas encore définie dans le contexte québécois.

### **Système d'enlèvement des boues flottées**

Les boues flottées en surface de l'unité de flottation peuvent être enlevées de façon continue ou de façon intermittente par un système de raclage mécanique ou par débordement (noyage). Le système d'enlèvement par débordement a l'inconvénient d'entraîner la dilution des boues flottées. Le système d'enlèvement par raclage doit pouvoir permettre un ajustement mécanique de la vitesse de raclage afin de faire varier le temps de séjour des boues flottées. Selon le type d'eau à traiter, un temps de séjour trop long peut entraîner la détérioration de la qualité de l'eau traitée lors du raclage. Par exemple, un temps de séjour supérieur à 30 min pour une eau douce et très colorée peut entraîner le bris de la couche de boues et le détachement de floccs. À l'inverse, la boue produite à partir d'une eau turbide ou à forte teneur en algues est beaucoup plus stable et le temps de séjour peut être beaucoup plus long (24 h) sans que la qualité de l'eau ne se détériore.

### **Remarques**

La plupart des unités de flottation sont munies d'une chicane, habituellement inclinée à un angle de 60°, qui sépare le compartiment d'entrée du reste du bassin et permet de diriger les agglomérats de bulles/floccs vers la surface.

L'efficacité de la flottation à air dissous pour une source d'eau brute en particulier doit être vérifiée par la réalisation d'un essai pilote. Dans ce cas-ci, il s'agit des essais prévus dans le cadre du protocole d'essais pour les technologies « en validation ».

#### **9.8.2.4 Équipements typiques sur le marché**

Les unités de flottation sur le marché peuvent avoir une configuration circulaire ou rectangulaire. Les unités rectangulaires ou carrées sont plus courantes que les circulaires compte tenu de certains avantages tels que la simplicité de construction, la possibilité d'une construction modulaire et la surface réduite d'emprise au sol. Certaines unités rectangulaires utilisent des plaques parallèles inclinées qui permettent d'opérer à un taux de charge hydraulique superficielle plus élevé. On retrouve également des systèmes intégrés

flottation/filtration où la couche de média filtrant est située sous le compartiment de flottation, tels que les technologies *Sandfloat* de Krofta, *FloFilter* de Purac, AquaDAF d'Ondeo ainsi que des unités de *BCA*.

#### 9.8.2.5 Paramètres de suivi et de contrôle du procédé

Pour le suivi du procédé, on doit vérifier les principaux paramètres d'opération suivants :

- Aspect général de la couche de boues flottées qui est relié au temps de séjour (vitesse de raclage) et à la coagulation/floculation;
- Coagulation/floculation adéquate;
- Pression de recirculation;
- Quantité d'air insufflé.

### 9.8.3 *Filtre clarificateur*

#### 9.8.3.2 Conditions d'application

L'emploi d'un filtre clarificateur en eau de surface nécessite une coagulation préalable des eaux. L'étape de floculation n'est habituellement pas obligatoire si le temps de réaction du coagulant est suffisamment rapide. Le mélange rapide du coagulant est assuré habituellement par un mélangeur statique en ligne pour permettre une admission au filtre légèrement sous pression. La floculation se fait par contact à l'intérieur du média du clarificateur de la même façon que pour les filtres à lavage en continu.

Le filtre clarificateur doit obligatoirement être suivi d'une filtration rapide (bicouche, multicouches, etc.). Dans cette configuration, les unités de traitement préfabriquées sont appelées système de double filtration.

Bien qu'il s'agisse d'une étape de clarification, le filtre clarificateur ne peut supporter une charge solide aussi élevée que celle des procédés de décantation et de flottation. La qualité d'eau brute qui peut lui être appliquée se situe au-delà des limites recommandées pour la filtration directe, mais en deçà des limites maximales admissibles pour une filière de traitement conventionnelle (coagulation/décantation/filtration). Appliquer une charge trop élevée entraînera la crevaison prématurée du filtre clarificateur et une fréquence de lavage trop élevée pour être économiquement intéressante. Les charges maximales admissibles sous les conditions québécoises ne sont pas encore connues. Des essais pilotes sont donc nécessaires dans des conditions de charges élevées (supérieures à celles admissibles pour la filtration directe) pour confirmer l'applicabilité du système.

Des turbidités variant de 0,5 à 1,5 UTN sont habituellement obtenues à l'effluent du filtre clarificateur. L'emploi d'un aide-filtrant est cependant obligatoire.

Ce type de clarificateur est intéressant pour les sources d'eau dont la qualité dépasse modérément les critères de qualité d'eau brute admissibles sur une filtration directe.

### 9.8.3.3 Critères de construction et d'aménagement

Le taux de filtration admissible dépend de la configuration du clarificateur ainsi que du média utilisé.

Pour un média constitué de pastilles et de copeaux de polyéthylène retenus par un grillage en raison de sa faible densité (système *Trimite* ou *Trident* de Microflocs) :

- Le taux de filtration maximal admissible est de 25 m/h;
- Le débit d'eau brute de lavage doit correspondre à une charge hydraulique de 25 m/h;
- Le taux d'air de lavage utilisé doit se situer entre 36 et 92 m/h;
- L'épaisseur de média doit être de 1200 mm;
- La granulométrie du média doit être entre 2 et 6 mm;
- Le média doit être composé d'au moins 50% de copeaux de polyéthylène.

Pour un média constitué de grenat de densité élevée ( $> 3.8$ ) (système *Advent* de Dégremont) :

- Le taux de filtration maximal admissible est de 25 m/h;
- Le débit d'eau brute de lavage doit correspondre à une charge hydraulique de 35 m/h;
- Le taux d'air de lavage utilisé doit être de 70 N/h;
- L'épaisseur de média doit être de 750 à 1000 mm;
- La granulométrie doit être entre 2,0 et 2,2 mm.

Les accessoires requis sur chaque filtre clarificateur sont :

- Un système de contrôle du débit d'eau brute;
- Une jauge de perte de charge;
- Une prise d'échantillonnage d'eau clarifiée;
- Un turbidimètre en continu est facultatif, mais fortement suggéré.

## 9.9 Filtration

Type physico-chimique : les filtres de type physico-chimique sont les plus utilisés en traitement de l'eau potable. Par définition, ils doivent être précédés d'une coagulation. La filière de traitement conventionnelle, qui inclut une coagulation, une floculation, une décantation et une filtration est la filière la plus courante en raison du vaste éventail de qualité d'eau brute qu'elle peut traiter.

Pour des eaux brutes de bonne qualité, une filtration directe (excluant l'étape de décantation) est parfois possible et peut inclure ou non l'étape de floculation, mais la coagulation et la filtration demeurent nécessaires. La section 9.9 présente de façon plus détaillée cette filière de traitement simplifiée.

Type physique : les filtres de ce type font intervenir des processus de traitement purement physiques tels que le tamisage et l'adsorption des particules en suspension dans l'eau, sans nécessiter de prétraitement chimique. Pour cette raison, la qualité de l'eau brute doit être excellente. Plus spécifiquement, il s'agit de la filtration sur pré-couche.

Type biologique : les filtres biologiques font intervenir l'activité microbienne comme processus de traitement principal. Le milieu filtrant sert alors de support pour le développement de cette biomasse. Cette dernière sécrète des diastases favorisant l'action coagulante sur l'eau. La qualité physique de l'eau appliquée sur ces filtres (turbidité et couleur vraie) doit être relativement bonne pour que leur rendement soit acceptable. La filtration biologique permet cependant de gérer des contaminants que les autres filtres ne peuvent enlever (carbone organique assimilable et autres composés biodégradables).

Les filières de traitement biologique sont :

- Ozone – filtre à charbon actif biologique;
- Filtre lent sur sable.

Type adsorptif : ce type de filtration utilise le processus d'adsorption et s'adresse principalement aux substances dissoutes. Le filtre à charbon actif granulaire est le seul procédé de cette catégorie. Il s'agit d'un traitement de polissage qui peut parfois être intégré à une filière physico-chimique (remplacement de l'antracite d'un filtre bicouche par du charbon actif granulaire).

### *9.9.1 Filtration rapide à lavage intermittent*

#### 9.9.1.1 Fonds de filtres en gravier

Dans le cas de l'utilisation de fonds en gravier, encore utilisés dans certaines usines existantes mais rarement dans des neuves, la section totale des latéraux doit être égale à deux fois celle des passoires. La section du collecteur principal doit être de 1,5 à 2,0 fois celle des latéraux.

Quand du gravier est utilisé comme support de lit filtrant ou couche de séparation entre celui-ci et le fond du filtre, il doit posséder au moins cinq couches dont l'épaisseur et la granulométrie sont les suivantes :

| Épaisseur(cm) | Granulométrie(mm) |
|---------------|-------------------|
| 5 – 7,5       | 2 – 5             |
| 5 – 7,5       | 5 – 13            |
| 5,5 – 12,5    | 13 – 19           |
| 7,5 – 12,5    | 19 – 38           |
| 12,5 – 17,5   | 38 – 64           |

Les collecteurs perforés doivent être recouverts entièrement par les graviers. Les matières filtrantes doivent être propres, exemptes de matières étrangères. Les graviers doivent être durs et ronds.

### 9.9.1.2 Paramètres de suivi et de contrôle

Pour l'opération des filtres rapides à lavage intermittent, il convient de :

- Suivre les variations de la turbidité de l'eau décantée et la turbidité de l'eau à la sortie de chaque filtre, ceci avant ajout de produits chimiques;
- S'assurer que les pertes de charge ne sont pas trop grandes et que les filtres sont lavés à une fréquence acceptable.

Au besoin, un compteur de particules peut être utilisé pour vérifier l'enlèvement des protozoaires.

### 9.9.2 Filtration à lavage en continu

#### 9.9.2.1 Crédit d'enlèvement pour *Giardia*, *Cryptosporidium* et virus

Certaines études réalisées par la compagnie *Axel Johnson* (fabriquant des filtres *Dynasand*) sur l'efficacité d'enlèvement des *Giardia* et des *Cryptosporidium* indiquent que les filtres à lavage en continu possèdent un bon potentiel de réduction de ces micro-organismes. Cependant, des risques de contaminations accidentelles sont possibles, en raison d'un mauvais fonctionnement du système de nettoyage du sable. Par exemple, un mauvais ajustement du débit de lavage ou une variation brusque de la charge à l'entrée du filtre risquent d'entraîner de l'eau de lavage dans l'eau filtrée. Aussi, certains risques sont reliés au fait que pour certaines marques, le sable sale qui descend vers la base de la pompe à émulsion passe devant les tamis de collecte d'eau filtrée.

Pour l'instant, aucun crédit n'est accordé à ce procédé pour l'enlèvement de *Giardia*, de *Cryptosporidium* ou de virus. Le niveau de désinfection exigé par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* devra être assuré par des traitements complémentaires (voir chapitre 10). Malgré cela, le filtre à lavage en continu est tenu de respecter 0,5 UTN 95% du temps chaque mois tel que requis par le *RQEP*.

#### 9.9.2.2 Champs d'application

Les filtres à lavage en continu peuvent être incorporés à une filière de traitement de diverses façons :

- Filtration directe, précédée d'une coagulation (2 m de sable);
- Filtration d'une eau clarifiée (1 m de sable).

La filtration directe, précédée d'une coagulation, est le type de filtration le plus répandu au Québec. Il s'agit d'une filière de traitement très économique. Les critères régissant son utilisation dépendent de la vitesse des réactions de coagulation (en eau froide) ainsi que de la charge totale appliquée sur le filtre (MES, carbone organique dissous (COD), coagulant, etc.). Un aide filtrant doit toujours être prévu en mode de filtration directe.

La filtration d'une eau clarifiée est également possible, bien qu'à cette étape de la filière de traitement, les filtrations bicouches ou multicouches soient souvent préférées.

#### 9.9.2.3 Données requises pour la conception

La qualité de l'eau brute doit avoir fait l'objet d'une caractérisation telle que décrite au chapitre 6. De plus, la caractérisation devra être effectuée durant une des périodes de l'année reconnues pour contenir des charges élevées.

Des essais de coagulation en bécher doivent être effectués dans des conditions d'opération hivernales afin de déterminer le temps de contact minimal requis pour l'apparition de floccs après coagulation. Il faudra également mesurer la turbidité, la couleur vraie, l'aluminium dissous ou le fer dissous (selon le type de coagulant utilisé) ainsi que le pH de l'eau brute et décantée. Un échantillon représentatif des MES en condition d'exploitation anticipée permettra de valider l'application du procédé.

Lorsqu'il est prévu que la charge de l'eau brute coagulée s'approchera de la limite d'application citée précédemment, des essais pilotes seront requis.

#### 9.9.2.4 Paramètres du suivi et de contrôle du procédé

Les paramètres de suivi d'un filtre à lavage en continu sont identiques à ceux de la filtration conventionnelle.

En plus des paramètres de suivi communs aux filtres à sable, il faut mesurer les paramètres d'opération suivants :

- Débit et pression d'alimentation d'air de lavage (permet de connaître le taux de lavage du sable);
- Pression d'air à la base de la pompe à émulsion (renseigne sur le taux de colmatage du système d'alimentation en air);
- Vitesse d'abaissement du sable à différents endroits du filtre (réalisé avec une perche, il permet de diagnostiquer un colmatage local du filtre).

### 9.9.3 *Filtration sur charbon actif biologique*

#### 9.9.3. 1 Description du procédé

L'ozonation permet d'augmenter la fraction biodégradable du carbone organique dissous (COD) et favorise ainsi sa réduction par la biomasse présente dans les filtres au charbon actif. Pour optimiser le procédé, on doit viser le potentiel maximum de formation de la matière organique facilement assimilable. En général, l'augmentation de la fraction biodégradable de la matière organique est proportionnelle à l'augmentation de la dose d'ozone jusqu'à une valeur limite. Si cette valeur limite est dépassée, l'application d'une plus forte dose d'ozone ne crée pas ou peu de matières biodégradables supplémentaires.

En ce qui a trait aux filtres, il existe plusieurs types de charbon actif. Parmi ceux destinés au traitement de l'eau potable, on retrouve : (1) les microporeux, d'origine bitumineuse, dont les pores ont un diamètre inférieur à 2 nm; (2) les macroporeux, d'origine végétale, dont les pores ont un diamètre supérieur à 50 nm. Les charbons microporeux sont également

qualifiés de superstructures fermées et les macroporeux portent le qualificatif de superstructures ouvertes. Sur des charbons colonisés et en conditions stables d'opération, peu d'écart existe entre la performance des deux types de charbon mentionnés. Toutefois, il semblerait que la colonisation du charbon macroporeux soit plus rapide.

La longueur des cycles de filtration des filtres biologiques ainsi que la turbidité à la sortie des filtres se comparent à celles des filtres bicouches sable et anthracite : la croissance de la biomasse ne provoque pas le colmatage prématuré de la surface des filtres.

#### 9.9.3.2 Méthodes de suivi du procédé

Plusieurs paramètres peuvent permettre le suivi de la performance des filtres biologiques :

- L'absorbance U.V.;
- L'ammoniaque;
- La biomasse fixée;
- Le carbone organique dissous (COD);
- Le carbone organique dissous biodégradable (CODB);
- Le carbone organique assimilable (COA);
- Le bioréacteur pour la mesure rapide du CODB;
- Les sous-produits de désinfection (SPD);
- La demande en chlore;
- Les acides aminés.

Malheureusement, l'analyse de la plupart de ces paramètres requiert du personnel spécialisé et des appareils de laboratoire sophistiqués. De plus, le délai engendré pour l'obtention des résultats (jusqu'à 30 jours dans certains cas) rend impraticable le contrôle en temps réel du procédé.

Étant donné la simplicité de leur analyse, les deux paramètres qu'il est recommandé d'intégrer aux routines d'opération, en plus des paramètres de contrôle d'un filtre conventionnel, sont :

- L'ammoniaque (par électrode spécifique);
- L'absorbance U.V. (spectrophotométrie à 254 nm).

Toutefois, selon les concentrations d'ammoniaque observées dans une filière de traitement donnée, la précision de cette méthode peut être insuffisante. L'absorbance U.V. demeure une mesure indirecte de la performance du traitement et doit cependant être validée initialement avec des mesures de matières organiques biodégradables. Le profil d'enlèvement de l'absorbance U.V. est généralement comparable à celui du COD, bien que les variations ne présentent pas autant d'amplitude.

### 9.9.5 Filtration lente sur sable

#### 9.9.5.1 Performances typiques

Lorsque l'ensemencement biologique est bien établi dans le filtre, ce procédé est reconnu pour avoir une gamme de performances en ce qui a trait à l'eau traitée variant de 0,1 à 2 UTN avec 99% des filtres produisant une eau de moins de 1 UTN. Les performances de réduction du potentiel de formation des THM varient de 10 à 30% et l'enlèvement de la couleur est d'environ 30%. En effet, le procédé réduit le COA et rend ainsi l'eau biologiquement plus stable. La filtration lente a démontré une efficacité d'enlèvement de 3 à 4 log pour les kystes de *Giardia* et de 1 à 6 log pour les virus.

Les crédits de désinfection alloués pour cette technologie ainsi que les conditions à respecter pour les obtenir sont définis au chapitre 10.

#### 9.9.5.2 Prétraitement de l'eau brute

Dans le cas où l'eau brute subirait des pointes de turbidité et/ou de couleur ou encore des poussées d'algues, un prétraitement devrait être considéré afin de maintenir la qualité de l'eau brute à l'entrée des filtres lents à des teneurs acceptables. Le prétraitement peut être réalisé à l'aide de filtres à granulométrie grossière (*roughing filters*) ou d'un microtamisage. Une attention particulière devra être portée à l'efficacité de nettoyage de ces filtres de manière à restaurer la capacité de traitement initiale.

#### 9.9.5.3 Période de maturation (ou d'ensemencement)

Les filtres à sable devront évacuer l'eau vers les égouts après un nettoyage ou après l'ajout de sable lors de la période de maturation. La maturation du filtre est mesurée par les indicateurs suivants :

- Turbidité inorganique colloïdale égale ou inférieure à celle de l'eau brute (dans le cas de sable neuf, celui-ci peut relarguer une turbidité inorganique durant un certain temps) et turbidité inférieure à 1 UTN;
- Enlèvement de 2 log et plus de coliformes totaux (principal indicateur de maturation pour les crédits de *Giardia*);
- Consommation de 2 mg/L d'oxygène dissous au moment du passage dans le filtre.

Les temps de maturation typiques pour du sable nouveau sont de 1 à 6 mois, alors que le temps de maturation après un raclage (nettoyage) peut varier de 6 heures à 14 jours (minimum de 2 jours recommandé).

#### 9.9.5.4 Pré-ozonation

Pour augmenter les performances de l'enlèvement de la turbidité, du fer et du manganèse, de la matière organique et de la couleur d'un filtre à sable lent, on peut introduire une ozonation de l'eau brute à l'affluent du filtre. D'une part, l'ozonation de l'eau brute augmente la partie biodégradable de la matière organique présente dans les eaux naturelles et permet également le contrôle des algues. Le contrôle des algues est bénéfique puisqu'on prolonge la durée des cycles de filtration, alors que l'augmentation de la biodégradabilité des eaux améliore généralement l'enlèvement des précurseurs organiques, telles que les substances humiques, minimisant ainsi la présence de sous-produits de désinfection comme les THM. Les performances typiques d'un filtre lent précédé d'une ozonation sont d'environ 50% d'enlèvement du potentiel de formation des THM et de 50 à 75% d'enlèvement de la couleur vraie.

Dans le but de savoir si une pré-ozonation est utile comme prétraitement à la filtration lente, on devra effectuer une analyse de SUVA (*Specific U.V. Absorbance*) sur l'eau brute à traiter. Cette analyse est le rapport entre l'absorbance U.V. à 254 nm et le COD. Le résultat donne une bonne approximation de la biodégradabilité de la matière organique, ce qui permettrait de décider de la pertinence de la pré-ozonation en tête de la filtration lente.

Pour les critères de dosage d'ozone et du temps de contact de mise en place du système de diffusion d'ozone dans l'eau brute, le lecteur se référera à la section 10.4.2.

### 9.9.6 Filtration sur charbon actif granulaire

#### 9.9.6.1 Performances typiques

La capacité d'adsorption d'un filtre CAG dépend de plusieurs facteurs, dont : (1) la nature du matériau de base pour le fabriquer; (2) le traitement reçu en cours de fabrication; (3) ses caractéristiques physiques; (4) les caractéristiques des substances à enlever de l'eau. Le pH peut jouer un rôle majeur selon les substances à enlever. Les CAG sont des matériaux poreux qui portent des charges électrostatiques qui les rendent aptes à adsorber des molécules transportées par l'eau à traiter : les dimensions des pores déterminent donc l'envergure des molécules qui peuvent être adsorbées (l'enlèvement de composés de faibles poids moléculaires est ordinairement visé par ce procédé). Il peut se produire du relargage (désorption) des substances adsorbées une fois que la capacité d'adsorption est épuisée. Selon les cas, l'efficacité peut persister durant des mois ou des années selon le produit utilisé, la concentration des matières à enlever, le débit traité, etc.

#### 9.9.6.2 Données requises pour la conception

La conception doit reposer sur des paramètres bien identifiés pour des besoins bien définis. Les résultats des tests et des essais doivent circonscrire ces besoins, de même que la gamme des débits de passage dans les filtres. Le dimensionnement doit être établi en fonction des critères physiques mentionnés dans les autres sections portant sur la filtration et la présence de polluants spécifiques. À cet effet, il serait important de consulter des ouvrages de référence permettant d'identifier les critères de conception selon le polluant visé et les objectifs à rencontrer.

La conception d'un filtre à charbon actif granulaire doit aussi tenir compte des facteurs se rapportant au matériau filtrant dont les principaux sont les suivants :

- La taille effective;
- Le coefficient d'uniformité;
- La densité apparente;
- La dureté;
- La capacité d'adsorption mesurée en indice d'iode;
- La capacité d'adsorption mesurée en adsorption du bleu de méthylène;
- Le taux d'humidité;
- La teneur en cendres.

La conception doit prévoir des contrôles pour que le débit de lavage puisse varier en fonction des caractéristiques du milieu filtrant dans toutes les conditions. L'utilisation d'air de lavage, la température de l'eau et la distance entre le lit filtrant et les crêtes déversantes sont les facteurs les plus importants à considérer pour éviter des pertes par entraînement lors des lavages.

Il est important de prévoir au moment de la conception des moyens de prélever et analyser des échantillons d'eau et de CAG. À moins d'utiliser des filtres sous pression, des repères bien visibles (permettant de vérifier périodiquement l'épaisseur du lit de CAG) sont aussi nécessaires à l'intérieur de l'enceinte de chaque filtre.

#### 9.9.6.3 Paramètres de suivi et de contrôle

La capacité d'adsorption des CAG est définie par un outil mathématique appelé isotherme. Il se traduit en équations qui, une fois reportées en graphiques, donnent l'image du comportement du charbon actif dans des conditions données. Les équations de Freundlich et de Langmuir sont les plus utilisées, mais il faut toujours s'assurer que les limites des conditions d'essai respectent la gamme pour laquelle les équations s'appliquent.

De façon pratique, il faut choisir des paramètres représentatifs pour effectuer le suivi de l'état du matériau adsorbant. Il faut se référer aux objectifs initiaux pour choisir les paramètres et fixer un seuil de concentration acceptable dans l'eau traitée : la fréquence des analyses périodiques à pratiquer doit être établie pour chaque cas. Il faut s'assurer que les échantillons des CAG prélevés pour vérification seront représentatifs. De même, il faut prélever plusieurs échantillons et homogénéiser le mélange pour en retenir un volume approprié pour les analyses, et ce en évitant autant que possible la pulvérisation du matériau.

Le suivi de l'attrition se fait de la même manière que celle décrite dans la section traitant de la filtration biologique (voir section 9.9.3).

### 9.9.7 Filtration directe

#### 9.9.7.1 Description du procédé

La filière conventionnelle de traitement des eaux de surface comprend principalement les étapes de coagulation, de floculation, de décantation, puis de filtration sur milieu granulaire suivies de la désinfection avant la distribution aux consommateurs. Au cours des vingt dernières années, elle a connu un essor notable pour traiter les eaux brutes de bonne qualité.

Dans une filière de filtration directe, le filtre représente la seule barrière physique d'élimination des particules présentes dans l'eau à traiter. L'efficacité du traitement est donc très dépendante du conditionnement initial de l'eau brute lors de la coagulation (et de la floculation, le cas échéant). Les mécanismes de rétention des particules, d'encrassement des filtres et de développement des pertes de charge sont identiques au système conventionnel. Cependant, contrairement au système conventionnel où l'on accorde la priorité à la formation de floccs larges, denses et décantables, il est suffisant en filtration directe d'obtenir des floccs microscopiques de tailles moyennes comprises entre 10 et 50  $\mu\text{m}$ . Des floccs de tailles supérieures augmentent le risque d'encrassement des filtres en surface et entraînent en conséquence une augmentation rapide des pertes de charge et donc des cycles de filtration très courts. Cette situation est à éviter, car elle ne permet pas l'utilisation du lit filtrant en profondeur.

#### 9.9.7.2 Avantages et limites

La filtration directe est de plus en plus utilisée en raison de ses nombreux avantages par rapport à la filière conventionnelle pour les types d'eau considérés :

- Coûts moindres d'investissement et de construction, puisque les ouvrages de sédimentation ne sont pas requis;
- Réduction de la surface occupée;
- Consommation moindre de coagulants pour former des floccs filtrables de petites tailles au lieu de gros floccs décantables;
- Faibles coûts de maintenance et d'opération grâce à l'absence de bassin de décantation et parfois de floculation;
- Faible production de boues et donc faibles coûts d'entreposage ou de traitement.

Malgré ces nombreux avantages, le contexte doit être étudié attentivement avant d'opter pour la filière de la filtration directe à cause des limites du procédé :

- La filtration directe n'est applicable qu'à des eaux brutes de bonne qualité;
- Elle constitue la seule barrière physique aux particules et micro-organismes pouvant présenter un risque sanitaire;
- Les performances d'un tel procédé sont davantage affectées par les changements de la qualité de l'eau que la filière conventionnelle. Il offre moins de flexibilité au niveau de l'opération de l'installation et requiert un suivi serré ainsi qu'une instrumentation adéquate;

- Le contrôle des goûts et des odeurs est moins évident étant donné le faible temps de séjour de l'eau à l'installation. Durant les périodes critiques, un prétraitement d'oxydation ou l'utilisation d'un bassin supplémentaire pourrait s'imposer afin de fournir un temps de contact suffisant avec l'oxydant ou le charbon actif, le cas échéant.

Étant donné les caractéristiques de la filtration directe, une automatisation poussée s'avère indispensable pour assurer une bonne gestion de l'installation. Un contrôle en continu de la qualité de l'eau brute et de l'eau traitée est nécessaire pour bien cibler les périodes à risques et prendre les mesures appropriées pour la production d'une eau filtrée qui respecte les normes en vigueur.

#### 9.9.7.3 Prétraitement en amont des filtres

Le traitement chimique de l'eau brute est critique vis-à-vis des performances de la filtration directe. Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour déterminer les produits chimiques à utiliser et le conditionnement optimal à appliquer : les plus importantes sont le test de filtrabilité par la mesure de l'indice de lves ou par filtration à travers un papier filtre et la mesure de la taille des floccs par observation au microscope. Le choix des réactifs pour la coagulation/floculation peut être évalué par des essais en *jar test*. Mais, étant donné la formation de petits floccs en filtration directe, l'application de la technique du *jar test* n'est utile que lorsqu'elle est associée à des essais de filtrabilité sur papier filtre ou sur lit filtrant granulaire miniature (module de lves). Toutefois, la meilleure approche consiste à confirmer et ajuster ces doses par des essais pilotes, voire à l'échelle réelle. Le choix de la dose optimale se fait en tenant compte de la qualité de l'eau produite et de l'évolution des pertes de charge. En effet, au-delà des doses optimales de produits chimiques, l'amélioration de la qualité de l'effluent des filtres est négligeable alors que les pertes de charge augmentent très rapidement, ce qui se traduit par une baisse de productivité.

Les coagulants à base de sels d'aluminium et de fer sont moins sensibles aux variations de la qualité de l'eau brute que les polymères cationiques usuels. De fait, plusieurs installations de filtration directe combinent l'utilisation de l'alun (2 à 10 mg/L) avec un polymère cationique (0,2 à 2 mg/L).

La comparaison des performances des filières comprenant ou non une étape distincte de floculation a montré que cette étape : (1) améliore la qualité du filtrat avant la percée, mais que cette dernière survient plus rapidement; (2) réduit la durée de la phase de maturation du filtre après un lavage; (3) réduit le taux d'évolution des pertes de charge. La mise en place d'un bassin de floculation n'est donc pas toujours bénéfique en termes de quantité d'eau produite par cycle de filtration : une étude au cas par cas est alors suggérée. Néanmoins, un temps moyen de floculation à un gradient de vitesse  $G$  allant à  $100 \text{ s}^{-1}$  est souvent appliqué dans les usines utilisant la filtration directe.

La floculation de contact (sans bassin de floculation) est plus appropriée pour les eaux de très bonne qualité (faible turbidité, faible couleur). En effet, la faible charge particulaire de ces eaux nécessiterait des temps de séjour très importants afin d'augmenter les probabilités de collision (floculation) entre les particules. Dans de tels cas, et pour des raisons de flexibilité d'opération, un bassin de floculation peut être prévu pour n'être utilisé qu'en cas de

nécessité, par exemple lorsque la qualité de l'eau brute se détériore pour une courte période de temps.

#### 9.9.7.4 Filtration directe à grande vitesse

Depuis le début des années 1980, le souci de réduire les coûts de construction des filtres et d'augmenter leur production a orienté plusieurs études sur l'utilisation des filtres à haute charge hydraulique. La filtration directe n'a pas échappé à la règle. Les vitesses de filtration peuvent aller au-delà de 30 m/h contre 5 à 10 m/h pour la plupart des filtres dits rapides. Les performances des filtres dans ces conditions sont encore plus sujettes aux variations de la qualité des eaux brutes. Des études sont en cours pour déterminer les méthodes optimales de conception et d'opération de ces filtres afin de produire une eau qui réponde aux normes en vigueur.

À l'instar de la filière conventionnelle, mais plus encore dans les usines utilisant la filtration directe, la turbidité de l'eau filtrée ne suffit plus à elle seule à garantir un effluent de bonne qualité. Même s'il n'existe aujourd'hui aucune norme sur le comptage de particules dans l'eau filtrée, ce paramètre, plus sensible que la mesure de turbidité, constitue un outil de contrôle interne très utile dans la plupart des filières de filtration directe, en particulier celles fonctionnant à charge hydraulique élevée.

### 9.10 Filtration membranaire

#### 9.10.1 Mise en œuvre des membranes

##### 9.10.1.1 Modes de filtration

À cause de la séparation, il y a nécessairement une accumulation de matière à la surface des membranes (phénomène de la polarisation de la concentration) et donc une augmentation du risque de colmatage des membranes et de la pression osmotique. Il existe trois façons, qui peuvent être combinées, pour limiter l'accumulation de matière à la surface des membranes :

- Diminuer la vitesse de perméation à travers les membranes;
- Faire de fréquents rétrolavages;
- Entretenir un écoulement tangentiel à la surface de la membrane.

La première voie implique une augmentation de la surface de membrane. La deuxième voie implique que la membrane puisse supporter mécaniquement un écoulement à travers la membrane dans les deux sens. L'écoulement tangentiel consiste à maintenir un écoulement parallèle à la surface de la membrane, c'est-à-dire un balayage continu de la surface des membranes. Cette dernière voie influence le taux de récupération (voir ci-après).

L'écoulement tangentiel peut se faire de différentes façons :

- écoulement tangentiel canalisé, avec ou sans promoteurs de turbulence;
- écoulement tangentiel libre.

L'écoulement tangentiel peut être canalisé comme à l'intérieur d'un tube ou être libre comme dans un système à membranes immergées. Les promoteurs de turbulence sont des obstacles à l'écoulement qui augmentent la turbulence comme les grilles plastiques dans les modules spiralés qui sont placées entre les membranes pour permettre l'écoulement de l'eau à traiter.

Mentionnons qu'il existe d'autres techniques pour limiter l'accumulation de matière à la surface des membranes telles que l'écoulement pulsé, les membranes rotatives, les systèmes en vibration, l'application d'ultrasons ou d'un champ électrique, mais ces techniques ne sont pas, ou très peu, utilisées actuellement dans le domaine de l'eau potable.

Les substances retenues par les membranes sont évacuées sous forme d'un concentré (l'équivalent des boues de lavage pour un filtre sur lit granulaire). Le taux de récupération (*recovery rate*) correspond à la proportion d'eau qui passe à travers la membrane, et ce par rapport à l'eau qui entre dans le système (taux de récupération global) ou dans le module (taux de récupération par module). Par exemple, un taux de récupération de 75% signifie que le débit de perméat et le débit de concentré représentent respectivement 75% et 25% du débit d'alimentation; cela correspond aussi à un taux de concentration de 400% des substances retenues complètement par la membrane. D'après USEPA (2001), les taux de récupération en MF et UF varient de 85 à 97%. En NF, les taux de récupération varient habituellement de 65 à 80%.

Dans la plupart des cas, le concentré est soutiré en continu ce qui signifie qu'il y a un courant d'entrée (l'alimentation) et deux courants de sortie (le perméat et le concentré). D'après Jacangelo et Buckley (1996), certains systèmes de MF sont opérés en filtration frontale (*dead-end filtration*). Dans ce cas, toute l'eau à traiter passe à travers la membrane (taux de récupération = 100%) entre deux soutirages périodiques de concentré. Ce mode d'opération peut aussi être appliqué à l'UF.

Pour un débit donné à traiter, les systèmes membranaires sont généralement opérés à vitesse de perméation constante. Au fur et à mesure que les membranes se colmatent, la pression transmembranaire tend donc à augmenter.

#### 9.10.1.2 Modules

Comme les membranes sont très peu perméables, il faut mettre en œuvre de grandes surfaces de membrane, ce qui a amené les fournisseurs à développer différentes configurations de module. Les modules industriels contiennent généralement de 10 à 100 m<sup>2</sup> de membrane.

Les modules plaques et cadres (*plate and frame*) ne sont pas présentés dans ce qui suit car ils ne sont pas encore utilisés en Amérique du Nord dans le domaine de l'eau potable.

#### **Modules spiralés**

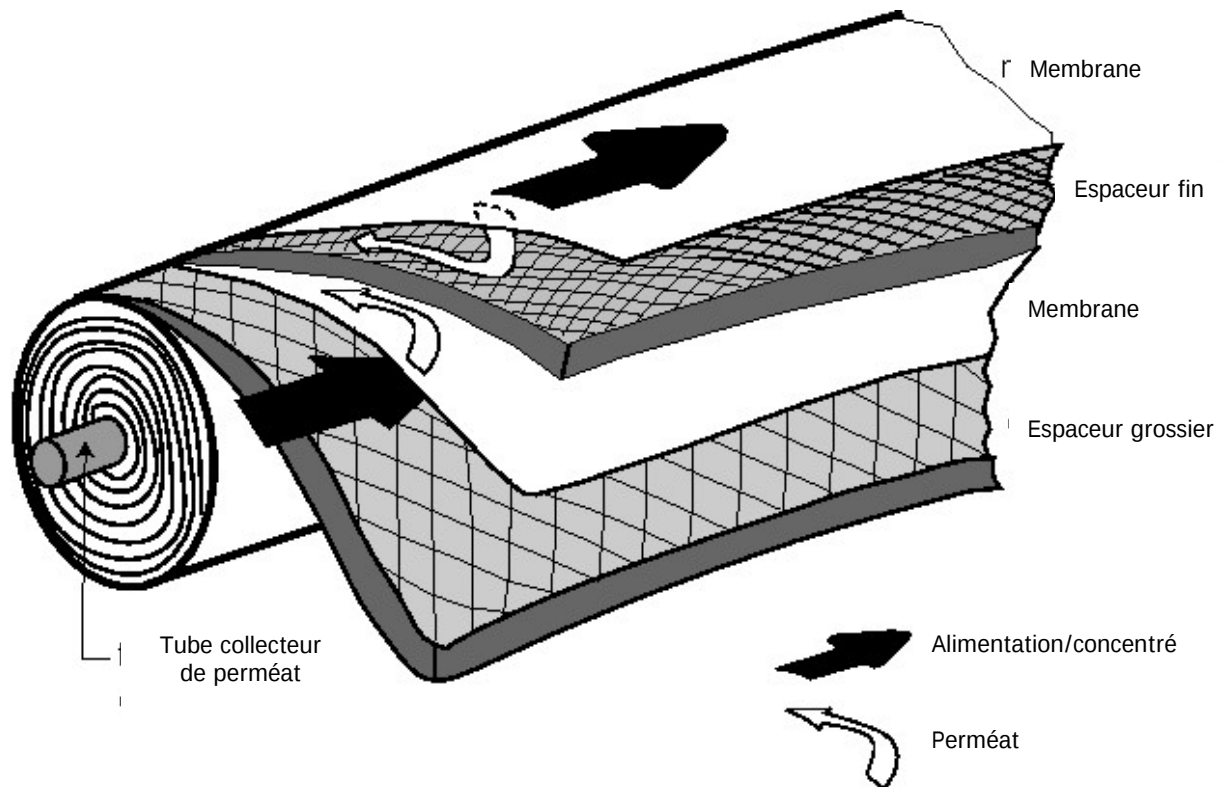
Dans les modules spiralés (figure 9-1), des membranes planes sont enroulées de manière très serrée autour d'un tube collecteur de perméat. D'un côté, les membranes sont séparées par une grille plastique (espaceur grossier) qui permet l'écoulement tangentiel de l'eau à traiter et de l'autre côté elles sont séparées par une autre grille plus fine qui permet la collecte et l'acheminement du perméat jusqu'au tube collecteur. La grille du côté alimentation

sert aussi de promoteur de turbulence. Les modules spiralés les plus couramment employés ont un diamètre de 0,2 m (8 po), une longueur de 1 m (40 po) et contiennent environ 40 m<sup>2</sup> de membrane. A priori, ce type de configuration ne permet pas de faire des rétrolavages.

### Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série (plusieurs dizaines de tubes sont parfois connectés les uns aux autres) ou en parallèle. Dans ce dernier cas, les tubes peuvent avoir été fabriqués séparément et assemblés par la suite ou avoir été fabriqués dans une barre comportant plusieurs canaux. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangential. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes. D'après Aptel et Buckley (1996), l'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent, voire très turbulent. À cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne a priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations.

**Figure 9-1 : Module spiralé (Bouchard et al., 2000)**



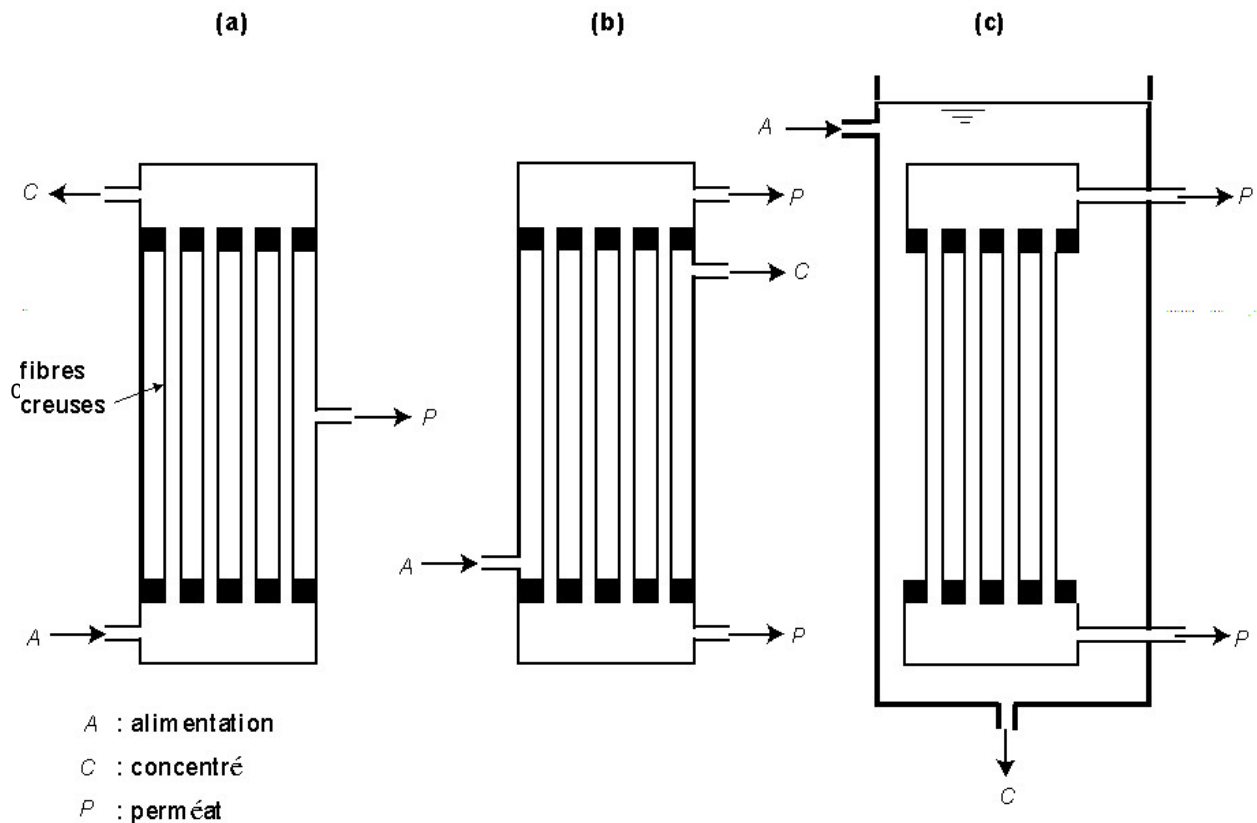
### Modules à fibres creuses

Les fibres creuses sont assemblées en parallèle suivant deux configurations :

- *Configuration Int-Ext* (figure 9-2a) : comme dans les tubes, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres; il y a écoulement tangentiel canalisé à l'intérieur des fibres;
- *Configuration Ext-Int* (figures 9-2b et 9-2c) : l'eau à traiter circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres; l'écoulement entre les fibres est libre.

Dans les deux cas, les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le perméat de l'eau à traiter (Buisson et al., 1998). Un module industriel peut être constitué de dizaines de milliers de fibres. Les fibres creuses supportent des rétrolavages. D'après Aptel et Buckley (1996), l'écoulement à l'intérieur des fibres creuses devrait être laminaire.

Figure 9-2 : Modules à fibres creuses (Bouchard et al, 2000)



### 9.10.1.3 Systèmes

Un système membranaire comprend essentiellement :

- Un système de prétraitement (procédé de séparation et/ou ajout de produits chimiques);
- Des pompes;
- Un système d'agitation (système à membranes immergées);
- Un ensemble de modules;
- Un post-traitement chimique (au besoin).

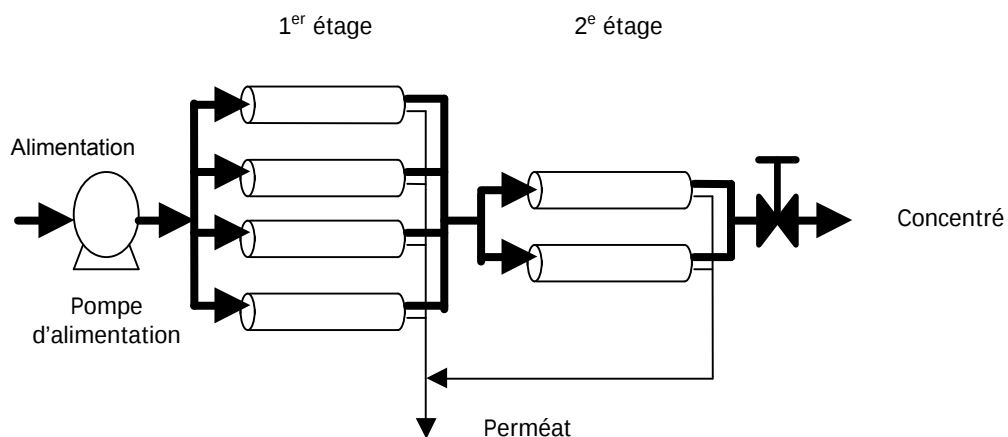
Le prétraitement vise à prévenir le colmatage prématuré des membranes et/ou l'obstruction des canaux d'écoulement tangentiels. Il peut s'agir d'un autre procédé membranaire (voir sections 9.10.4 des volumes 1 et 2). Les pompes servent à bâtir la pression transmembranaire. Les pompes ou un système d'agitation permettent la circulation de l'eau à traiter dans les modules ou entre les modules. La séparation est effectuée dans les modules membranaires. Le post-traitement chimique permet d'ajuster, ou de réajuster, la composition chimique de l'eau traitée.

Suivant la manière dont est appliquée la pression transmembranaire, deux types de systèmes peuvent être distingués : les systèmes de filtration sous pression (figure 9-3) et les membranes immergées (figure 9-2c).

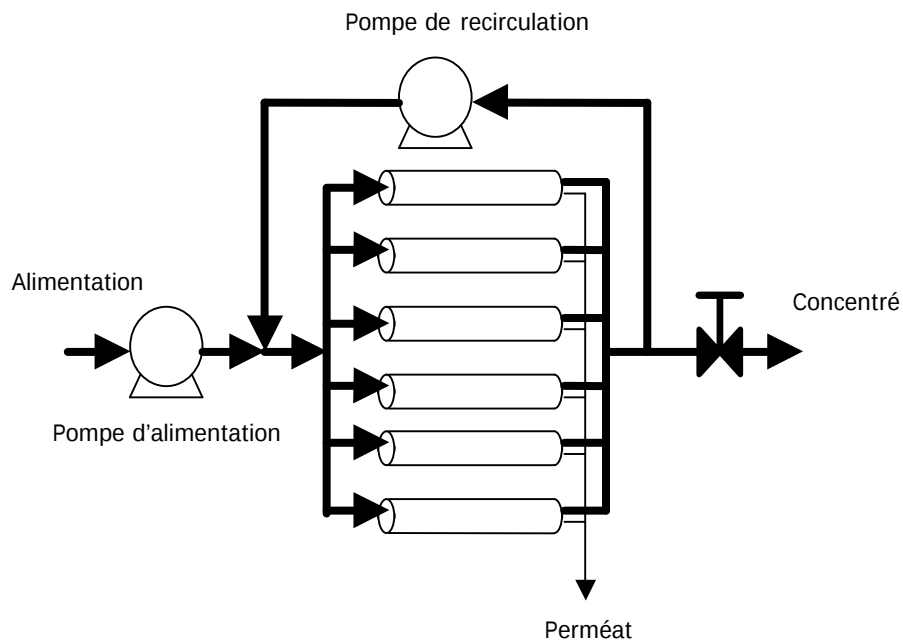
Ces deux types de systèmes sont décrits dans ce qui suit.

**Figure 9-3 : Systèmes de filtration membranaire sous pression**

**a) Exemple de configuration multi-étagée**



**b) Exemple de configuration avec recirculation**



### **Systèmes de filtration membranaire sous pression**

Dans un système de filtration sous pression, les modules sont installés dans des caissons pressurisés. Une pompe permet de pressuriser l'eau à traiter et de la faire circuler dans les modules (figure 9-3a). Une pompe additionnelle peut servir à la recirculation du concentré à l'entrée des modules (figure 9-3b). L'ajustement du débit d'alimentation et l'ajustement d'une vanne, située en aval des modules, permettent de contrôler la pression transmembranaire et le taux de récupération global.

Tous les types de modules peuvent être mis en œuvre de cette façon. Plusieurs modules peuvent être placés en série dans un même caisson comme dans le cas des modules spiralés où un caisson peut contenir de 1 à 6 modules spiralés. Plusieurs caissons peuvent être utilisés en série et/ou en parallèle.

### **Systèmes à membranes immergées**

Dans un système à membranes immergées, les membranes sont plongées dans un bassin alimenté avec l'eau à traiter (figure A9-2c). Le côté alimentation est soumis à une pression hydrostatique et un vide partiel est appliqué du côté perméat (Côté et al., 1998). L'agitation de l'eau autour des membranes (écoulement tangentiel libre) réduit l'accumulation de particules à la surface des fibres. La vitesse de soutirage du concentré à même le bassin contrôle le taux de récupération. Dans le domaine de l'eau potable, cette configuration n'existe actuellement qu'avec des membranes fibres creuses de type UMF. Dans les applications actuelles, tous les modules sont installés en parallèle, et donc toutes les fibres opèrent a priori dans les mêmes conditions.

#### *9.10.3 Règles de conception*

La conception est un processus itératif car il n'est pas évident, à moins de posséder suffisamment de données sur des cas très similaires, de déterminer d'emblée quelle est la meilleure conception du point de vue économique. En premier lieu, les types de procédé et de membrane qui s'appliquent sont identifiés en fonction des objectifs de traitement. Ensuite, tout dépendant des moyens et du temps dont on dispose, plusieurs choix de modules, de configurations et de conditions d'opération peuvent être comparés en vue de trouver la solution la plus économique qui permet d'atteindre les objectifs que l'on s'est fixés. Cela peut être fait en partie de manière théorique et en partie de manière expérimentale. Afin d'assister le concepteur, plusieurs règles qui permettent de limiter les degrés de liberté dans la conception sont présentées dans ce qui suit.

##### **9.10.3.1 Choix du type de membrane**

L'objectif de séparation le plus contraignant devrait permettre de faire un tri dans les procédés membranaires (voir le tableau 9-5 du volume 1). En eau de surface, les membranes se distinguent essentiellement par l'enlèvement, ou non, des virus et par le niveau d'enlèvement du COT. En eau souterraine, les membranes se distinguent essentiellement par leur taux de rétention des sels. Le matériau membranaire conditionne certaines limites de fonctionnement (pH, concentration en désinfectant, etc.). Il ne faut pas oublier qu'une filtration membranaire peut être combinée avec un autre procédé pour augmenter le taux de séparation (voir sections 9.10.2 des volumes 1 et 2).

### 9.10.3.2 Choix du type de module

Pour un procédé et une membrane donnés, il peut exister plusieurs types de modules disponibles. Le choix du module va orienter grandement la conception. Comme cela a déjà été dit, il n'est pas facile d'identifier d'emblée quel type de module est le plus avantageux. Les modules se distinguent par :

- Leur compacité;
- La taille de leurs canaux d'écoulement tangentiels;
- Le dispositif qui assure l'étanchéité entre les compartiments d'eau à traiter et de perméat (lié à l'intégrité des systèmes, voir ci-après section 9.10.3.6);
- Les possibilités de mode d'opération (voir ci-dessus section 9.10.1);
- Leur plus ou moins grande facilité de montage et de démontage.

Les différents types de module sont comparés au tableau 9-1. D'après Aptel et Buckley (1996), le ratio (surface de membrane/volume de module) est de 700 à 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> pour les modules spiralés et de plus de 1000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> pour les modules à fibres creuses. Pour les modules tubulaires, ce ratio est inférieur à 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Pour une surface de membrane donnée, ce ratio détermine la taille du système. La taille des canaux d'écoulement tangentiels a un effet sur :

- Le niveau de pré-filtration requis pour éviter d'obstruer les canaux d'écoulement tangentiels;
- L'énergie requise pour maintenir l'écoulement tangentiel;
- La perte de charge due à l'écoulement tangentiel;
- La facilité de désinfection et l'accessibilité à la surface des membranes;
- Le volume mort.

**Tableau 9-1 : Caractéristiques des modules (adapté de Aptel et Buckley, 1996)**

|                                                | <b>module spiralé</b> | <b>fibres creuses int-ext</b> | <b>Fibres creuses ext-int</b> | <b>module tubulaire</b> |
|------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Compacité                                      | ++                    | +++                           | +++                           | -                       |
| Facilité de nettoyage chimique                 | -                     | -                             | -                             | ++                      |
| Lavage mécanique                               | -                     | -                             | -                             | +++                     |
| Rétrolavage                                    | -                     | +++                           | +++                           | - (a)                   |
| Faible perte de charge (écoulement tangentiel) | ++                    | +                             | +++                           | variable (b)            |
| Pré-filtration requise                         | -                     | +                             | ++                            | +++                     |

+++ : net avantage

- : net désavantage

(a): Seules les membranes inorganiques tubulaires, où la couche superficielle est liée chimiquement au support, supportent des rétrolavages

(b) : de faible (tubes en parallèle dans un module) à fort (grand nombre de tubes en série dans un module).

Pour les modules spiralés, l'AWWA (1999B) recommande de ne pas dépasser un SDI de 5 %/min à l'entrée des modules pour limiter l'obstruction des canaux d'écoulement. Du point de vue de l'obstruction des canaux d'écoulement tangentiels, les modules tubulaires et les modules à fibres creuses avec alimentation par l'extérieur des fibres peuvent être opérés sans pré-filtration ou avec une pré-filtration grossière. Les fabricants fournissent aussi un débit d'alimentation maximal pour chaque type de module qui est fonction de la taille et de la forme des canaux d'écoulement tangentiels, et aussi de la résistance mécanique des différents composants du module.

#### 9.10.3.3 Choix des conditions d'opération

Les conditions d'opération sont :

- La gamme de pression transmembranaire;
- La gamme de vitesse de perméation;
- La gamme de taux de récupération par module (taux de récupération à l'échelle d'un module);
- La gamme de vitesse/débit d'écoulement tangentiel (systèmes sous pression) ou le taux d'agitation (membranes immergées).

Il s'agit bien de gammes car tous les modules dans un système ne fonctionnent pas dans les mêmes conditions d'opération, en particulier dans les systèmes où un grand nombre de modules sont opérés en série sans recirculation.

Deux cas peuvent se présenter :

- **1<sup>e</sup> cas** : les taux de séparation des substances d'intérêt ne sont pas, ou peu, dépendants des conditions d'opération; les conditions d'opération devraient être fixées en fonction du colmatage des membranes;
- **2<sup>e</sup> cas** : les taux de séparation des substances d'intérêt sont dépendants des conditions d'opération; les conditions d'opération devraient être fixées en fonction du colmatage des membranes et en fonction des objectifs de séparation.

Les relations entre les conditions d'opération et les taux de rétention sont déterminées expérimentalement. Il n'existe pas, à notre connaissance, de modèle universel reconnu qui permette de l'établir autrement. Dans certains cas, il est possible d'établir ces relations à l'échelle de laboratoire et ensuite de les extrapoler à plus grande échelle. Dans d'autres cas, il est nécessaire de réaliser des essais pilotes. Dans certains cas, ces données sont fournies par les fabricants de membranes (voir aussi AWWA -1999B).

Les conditions d'opération sont déterminantes pour les vitesses de colmatage des membranes car elles déterminent les concentrations au voisinage de la surface des membranes. Grossièrement, on peut choisir entre :

- opérer dans des conditions plus difficiles (vitesse de perméation et/ou taux de récupération par module plus élevés) et faire des lavages plus fréquents. Cette approche permet a priori de réduire la surface de membrane, et donc les coûts de construction,

mais entraîne des pressions transmembranaires plus élevées, ce qui augmente les coûts d'opération et peut limiter la durée de vie des membranes;

- mettre l'accent sur la prévention du colmatage en opérant dans des conditions plus faciles (vitesse de perméation et/ou taux de récupération par module plus faibles et/ou rétrolavages plus fréquents). Cette approche permet de réduire la fréquence des lavages chimiques, et éventuellement augmente la durée de vie des membranes, mais peut requérir plus de surface de membrane et/ou d'énergie de circulation.

Les ordres de grandeur des vitesses de perméation et des pressions d'opération pour les différents types de procédés sont présentés au tableau 9-2. Ces valeurs correspondent aux pratiques actuelles en matière de filtration sur membrane dans le domaine de l'eau potable.

**Tableau 9-2 : Ordres de grandeur des conditions d'opération (pratiques usuelles 2002)**

|     | Vitesse de perméation<br>( $L/(h.m^2)$ ) | Pression transmembranaire |          |
|-----|------------------------------------------|---------------------------|----------|
|     |                                          | (kPa)                     | (psi)    |
| OI  | 10 à 15                                  | 500 à 6000                | 70 à 800 |
| NF  | 15 à 35                                  | 400 à 1400                | 60 à 200 |
| NUF | 20 à 100                                 | 100 à 700                 | 15 à 100 |
| UMF | 40 à 150                                 | 30 à 100                  | 5 à 15   |

D'autre part, les membranes polymériques ont tendance à se compacter avec le temps, ce qui occasionne une baisse de perméabilité. Afin de limiter cette baisse de perméabilité, à ne pas confondre avec le colmatage, les fabricants des membranes définissent des pressions maximales à ne pas dépasser. La pression maximale dépend aussi de la résistance mécanique de la membrane comme dans le cas des fibres creuses. Les pressions minimales d'opération dépendent de la pression osmotique qui elle-même dépend de la nature des espèces à séparer et de leur concentration au voisinage de la membrane. Ces considérations permettent de délimiter les gammes d'opération en pression.

En ce qui concerne le taux de récupération par module (en mode d'écoulement tangentiel), l'AWWA (1999B) recommande de maintenir ce taux entre 3 et 20% pour les modules spiralés alors que Aptel et Buckley (1996) rapportent des taux de variations de 2 à 25% pour les modules spiralés et de 5 à plus de 95% pour les modules à fibres creuses.

#### 9.10.3.4 Configuration des unités de traitement (systèmes sous pression)

Un système est généralement divisé en plusieurs unités dont la capacité de production ne dépasse pas quelques milliers de  $m^3/d$  chacune (AWWA, 1999B). L'agencement des modules dans une unité doit permettre d'atteindre les objectifs de taux global de récupération, de quantité et de qualité d'eau à produire tout en respectant les limites d'opération. Dans la pratique, deux approches sont utilisées pour augmenter le taux global de récupération : augmenter le nombre de modules en série et/ou faire une boucle de recirculation (voir figure 9-3).

Dans une série de modules, la pression diminue, la concentration augmente et le débit d'écoulement tangentiel diminue d'amont en aval. La perte de charge due à l'écoulement

tangentiel limite donc le nombre de modules en série. L'ajout d'une pompe de surpression entre 2 étages peut permettre de pallier à ce problème.

Lorsqu'il y a recirculation, le débit et la concentration (espèces retenues) sont augmentés à l'entrée des modules, ce qui d'un côté diminue l'accumulation de matière à la surface des membranes (augmentation de l'écoulement tangentiel) et de l'autre a l'effet inverse (augmentation de concentration à l'entrée). Lorsqu'il y a recirculation, la consommation d'énergie de circulation tangentielle est augmentée.

Un bilan global des avantages et des inconvénients (colmatage, consommation d'énergie, pompes) des deux approches, ou d'une combinaison des deux approches, permet d'établir la solution la plus avantageuse. Dans tous les cas, le nombre de caissons en parallèle est augmenté pour accroître la capacité de production de l'unité de traitement sans que cela affecte le taux global de récupération.

Dans une unité de traitement avec modules spiralés sans recirculation (membranes d'OI ou de NF), l'arrangement multi-étages est couramment utilisé (voir figure 9-3a). Le nombre de caissons en parallèle dans chaque étage va en diminuant d'amont en aval. Pour des taux de récupération inférieurs à 50%, de 50 à 75% et supérieur à 75%, AWWA (1999B) recommande respectivement 1, 2 et 3 étages de concentration (caissons de 6 membranes en série). Le nombre de caissons en parallèle dans un étage correspond généralement à la moitié du nombre de caissons de l'étage précédent (AWWA, 1999B).

#### 9.10.3.5 Types de produits chimiques utilisés

Les produits chimiques qui peuvent être ajoutés en continu sont :

- Agent anti-tartre (prétraitement);
- Coagulant (prétraitement);
- Acide (prétraitement);
- Alcalin (pré- ou post-traitement);
- Désinfectant (post-traitement).

Comme en filtration granulaire, il pourrait y avoir une pré-désinfection avant la filtration sur membranes pour limiter le colmatage biologique des membranes et maintenir l'état sanitaire du système. Cependant, cela pourrait entraîner la formation d'une quantité excessive de sous-produits de désinfection. Des désinfections périodiques du système sont une alternative qui évite ce problème.

Les solutions qui peuvent être utilisées pour le lavage des membranes contiennent généralement un ou plusieurs des produits suivants :

- Acide (dissolution des sels);
- Base (dépôt organique);
- Désinfectant;
- Détergent (dépôt organique);
- Enzymes.

Il est important de respecter les consignes des fournisseurs d'équipements pour ne pas endommager les membranes de manière irréversible.

#### 9.10.3.6 Intégrité des systèmes membranaires

L'un des défis les plus importants pour l'opération des systèmes membranaires est de maintenir l'intégrité des systèmes pour que leur capacité de séparation des contaminants, qui a été établie préalablement, soit conservée. À ce sujet, l'aspect désinfection est critique comme dans toutes les filières de traitement en eau potable, et ce d'autant plus que le nombre de barrières est restreint. De nombreuses études ont montré que les membranes peuvent être un moyen très efficace de désinfection à condition que les systèmes membranaires soient intègres (USEPA, 1998; USEPA, 2001). L'intégrité d'un système membranaire peut être défaillante quand les membranes ont des défauts par lesquels des micro-organismes pathogènes peuvent passer ou quand l'étanchéité entre les compartiments d'eau brute et d'eau traitée (joints toriques, joints de colle, etc.) n'est pas assez bien assurée. Un bris d'intégrité peut amener une diminution significative de la séparation d'autres contaminants. Par exemple, dans le cas de la NF ou de l'OI, un bris majeur d'intégrité va occasionner une diminution de la séparation des sels dissous et donc une augmentation de la conductivité du perméat.

Deux types de techniques sont distingués suivant que celles-ci permettent de vérifier directement ou indirectement l'intégrité des systèmes membranaires. Les techniques dites directes permettent de détecter et de caractériser jusqu'à un certain point les défauts. Les techniques dites indirectes mesurent l'effet des défauts sur le passage accru des contaminants. Les techniques qui sont utilisées, ou qui ont été proposées, pour vérifier l'intégrité des systèmes membranaires sont (Jacangelo et Buckley, 1996; Allgeier, 2001; USEPA, 2001) :

**Méthodes indirectes :** (par ordre croissant de sensibilité et de fiabilité) :

- Mesure de la turbidité du perméat;
- Monitoring des particules dans le perméat;
- Comptage des particules dans le perméat;
- Tests avec des particules/micro-organismes de référence.

**Méthodes directes :**

- Mesure du point de bulle;
- Maintien de la pression;
- Maintien du vide;
- Détection acoustique.

Plusieurs auteurs (Jacangelo et Buckley, 1996; Allgeier, 2001) s'entendent sur le fait que, dans l'état actuel de la technologie, les techniques indirectes sont moins sensibles et moins fiables que les techniques qui permettent une mesure directe de l'intégrité. À l'exception de la détection acoustique, les mesures directes impliquent un arrêt de la filtration et donc ne donnent qu'une information ponctuelle sur l'intégrité d'un système membranaire. Les mesures indirectes permettent d'assurer un suivi en continu de l'intégrité des systèmes

membranaires. Dans tous les cas, l'approche consiste à établir un niveau de référence pour un système intègre et à vérifier ensuite si ce niveau est dépassé suite à un bris d'intégrité.

À l'exception des cas où la détection acoustique pourrait s'appliquer efficacement (voir ci-dessus) ou à moins de développer un nouveau système de suivi en continu de l'intégrité suffisamment sensible pour détecter des bris mineurs d'intégrité, il est recommandé de combiner les deux types de techniques, c'est-à-dire d'assurer un suivi en continu avec une méthode indirecte et de faire des mesures ponctuelles à fréquence fixe avec une méthode directe.

La sensibilité de toutes les méthodes augmente quand la surface de membrane, dont l'intégrité est vérifiée, diminue. L'échelle à laquelle l'intégrité est vérifiée devrait permettre d'établir si la capacité de désinfection du système est altérée ou non.

Les méthodes de vérification de l'intégrité sont décrites et analysées brièvement dans ce qui suit. Il faut mentionner que cet aspect important de la filtration membranaire est encore en plein développement (USEPA, 2001).

#### **Mesure de la turbidité du perméat**

Il s'agit de la méthode conventionnelle pour mesurer la performance des filtres dans le domaine de l'eau potable. D'après l'étude de Adam et al. (1995), l'effet d'un bris mineur d'intégrité (suffisant pour laisser passer des kystes de protozoaires) n'est pas nécessairement détectable par une variation de turbidité dans le perméat. Par contre, cette méthode peut servir à détecter en continu des bris plus importants d'intégrité à condition de mesurer la turbidité avec une grande précision (Colvin et al., 2001). Mentionnons que la turbidité des perméats des membranes d'UMF, et a fortiori celle des autres types de membranes, devrait être de l'ordre de quelques centièmes de UTN (Colvin et al., 2001).

#### **Monitoring des particules dans le perméat** (Jacangelo et Buckley, 1996)

Comme le comptage de particules, cette technique consiste à détecter la présence de particules en mesurant l'*obscuration* d'un faisceau lumineux occasionnée par les particules. Contrairement au comptage de particules, le *monitorage* des particules ne permet pas de mesurer la taille des particules ni de les compter. La mesure est relative, c'est-à-dire que la quantité de particules dans le perméat est comparée avec la quantité de particules présentes dans l'alimentation. Ce type d'appareil est moins sensible qu'un compteur de particules mais plus facile à utiliser et beaucoup moins coûteux.

#### **Comptage des particules dans le perméat**

Contrairement au *monitorage*, cette technique permet de compter les particules et donc de déterminer leur nombre par unité de volume d'eau. La mesure est faite pour différentes gammes de tailles de particules. Les tailles de particules qu'il est pertinent de suivre vont de quelques dixièmes de  $\mu\text{m}$  à quelques  $\mu\text{m}$  (Colvin et al., 2001; Kruithof et al. 2001). Les compteurs de particules sont déjà utilisés dans certaines usines d'eau potable mais il faut mentionner que, dans l'état actuel de la technologie, ces appareils sont beaucoup plus complexes à opérer que les turbidimètres. L'utilisation d'un compteur de particules requiert donc une certaine expertise et beaucoup de soin.

### **Tests avec des particules/micro-organismes de référence**

D'après Jacangelo et Buckley (1996), il s'agit de la méthode indirecte la plus précise pour mesurer l'intégrité du point de vue de la désinfection. Cette méthode consiste à ajouter des grandes quantités de particules calibrées ou de micro-organismes dans l'eau à traiter (eaux dopées) et à mesurer leur taux d'enlèvement. Les caractéristiques de ces particules ou micro-organismes doivent être bien connus et on doit pouvoir les dénombrer ou les analyser de manière très précise. Par exemple, Acker et al. (2001) ont utilisé des microsphères fluorescentes (0,02  $\mu\text{m}$ ) et des virus MS2 phage (0,025  $\mu\text{m}$ ) pour tester l'intégrité de systèmes d'OI. Pour des raisons évidentes de sécurité, il n'est pas possible d'utiliser des pathogènes pour tester des systèmes à pleine échelle. Les tests avec des micro-organismes sont donc réservés aux essais pilotes.

Ce genre de test pourrait aussi servir à établir les capacités d'enlèvement des pathogènes (log d'enlèvement) des systèmes membranaires. La fiche membrane développée par le *Comité sur les technologies de traitement en eau potable* donne les critères à rencontrer pour l'obtention des crédits d'enlèvement et la vérification de l'intégrité des systèmes membranaires.

### **Mesure du point de bulle**

Cette technique, utilisée couramment dans le domaine des milieux poreux, consiste à mesurer la pression minimale d'air (le point de bulle) qu'il faut appliquer pour faire passer de l'air (apparition de bulles) à travers les défauts d'une membrane. D'après Jacangelo et Buckley (1996), cette technique est utilisée pour vérifier l'intégrité des modules à fibres creuses de MF et d'UMF et a permis de détecter un trou d'aiguille dans une fibre faisant partie d'un module de 22400 fibres. Cette technique est simple mais oblige à démonter les modules et à les tester un par un dans le cas des systèmes sous pression. Les fournisseurs de membranes devraient fournir le point de bulle des membranes.

### **Maintien de la pression et maintien du vide**

D'après Jacangelo et Buckley (1996), la technique de maintien de la pression s'applique aux systèmes de MF et d'UF du type fibres creuses. L'intérieur des fibres est drainé puis une pression d'air inférieure au point de bulle est appliquée. Dans un module intègre, la pression d'air baisse uniquement à cause de la diffusion de l'air à travers les pores de la membrane qui sont remplis d'eau. Lorsque les membranes ou les joints de colle comportent des défauts, la baisse de pression est plus rapide. La vitesse à laquelle la pression d'air diminue sert donc d'indicateur de l'intégrité de la membrane.

Kruithof et al. (2001) ont utilisé des tests de maintien du vide pour vérifier l'intégrité de caissons contenant des modules à fibres creuses d'UF et de caissons contenant des modules spiralés d'OI. Cette technique consiste à appliquer un vide partiel du côté perméat et à suivre à quelle vitesse le vide va diminuer. Comme pour les tests de maintien de la pression, cette vitesse de diminution du vide sert d'indicateur de l'intégrité de la membrane (voir la norme ASTM D-3923).

Les fournisseurs d'équipement devraient fournir une valeur de référence de variation de la perte de pression ou de vide pour les modules intègres ou cela devrait être établi par des tests spécifiques.

### **Détection acoustique (Agence de l'Eau Seine-Normandie, 1999)**

Cette technique s'applique aux modules à fibres creuses. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un hydrophone placé sur chaque module de filtration. En présence d'une ou plusieurs fibres cassées, il y a augmentation du niveau sonore. Il semble que le mode de fonctionnement le plus approprié soit la filtration frontale en raison du niveau de bruit de fond plus faible (pas de pompe de recirculation). Des mesures sont possibles en filtration tangentielle et en rétrolavage mais la différence de signal entre un module intègre et un module avec une fibre cassée est moins importante que dans le cas de la filtration frontale. Il est possible de détecter une fibre cassée parmi 18000 fibres.

#### **9.10.3.7 Prévention du colmatage**

Les canaux d'écoulement tangentiels peuvent être obstrués et les membranes peuvent être colmatées par les substances qui se trouvent dans l'eau brute. Plus les canaux d'écoulement tangentiels sont fins et plus le risque d'obstruction est grand. Ce problème est généralement réglé en pré-filtrant les particules qui pourraient amener une obstruction trop importante des canaux d'écoulement tangentiels et donc causer une augmentation induite de la perte de charge à travers les modules. Pour les fibres creuses Int.-Ext., Cheryan (1998) recommande d'enlever les particules dont la taille excède 1/10 du diamètre interne des fibres et Anselme et Jacobs (1996) mentionnent que la pré-filtration varie de 50 à 200  $\mu\text{m}$ . Pour les modules spirales, la pré-filtration varie généralement de 1 à 25  $\mu\text{m}$ . Pour les tubes et pour les fibres creuses Ext-Int, il n'est pas nécessaire de faire une pré-filtration pour éviter l'obstruction des canaux d'écoulement tangentiels mais cela peut être utilisé pour limiter le colmatage des membranes dû au dépôt des particules ou pour limiter l'abrasion de la surface des membranes (voir ci-dessous).

Le colmatage des membranes dépend de la nature et de la concentration des particules au voisinage de la surface de la membrane (voir section 9.10.1 du volume 2). Le colmatage amène une baisse de la perméabilité des membranes et, éventuellement, une augmentation de leur capacité de séparation. Dans le domaine de l'eau potable, les agents qui peuvent colmater les membranes sont des particules inertes fines, les micro-organismes (formation d'un biofilm), les colloïdes organiques et les sels inorganiques. Le colmatage dû aux particules dépend de leur taille et de la vitesse de perméation (Wiesner et Aptel, 1996). La turbidité est parfois utilisée comme indicateur de colmatage mais il faut rappeler que la turbidité ne renseigne pas sur la taille des particules.

La stratégie générale de prévention du colmatage consiste soit à enlever les agents colmatants ou à éviter qu'ils colmatent les membranes. Cette deuxième voie peut être réalisée en ajustant les conditions d'opération ou en transformant les espèces colmatantes en des composés moins colmatants.

Au niveau du pré-traitement, la prévention du colmatage peut prendre les formes suivantes :

- Pré-filtration;
- Enlèvement plus poussé des particules et des colloïdes par un autre procédé membranaire ou par un traitement conventionnel;

- Ajustement de pH (acidification) pour déplacer les équilibres de solubilité des sels susceptibles de précipiter (sels de fer, de manganèse, de calcium, de baryum, etc.);
- Ajout d'un agent anti-tartre pour empêcher le dépôt de sels à la surface des membranes;
- Coagulation de la MON car, a priori, l'effet colmatant des floccs est moins fort que celui des colloïdes;
- Enlèvement du fer qui pourrait précipiter; en effet, tout dépendant des conditions d'oxydoréduction, le fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) peut s'oxyder et former des précipités susceptibles de se déposer à la surface des membranes; il est possible aussi d'agir au niveau de la chimie de l'eau (voir ci-dessus).

L'autre stratégie de prévention du colmatage consiste à limiter l'accumulation des agents colmatants à la surface de la membrane. Comme cela est indiqué à la section 9.10.1 du volume 2, la réduction de la vitesse de filtration (ou vitesse de perméation) réduit les risques de colmatage et amène à opérer les systèmes membranaires à plus faible pression transmembranaire. À moins de trouver une membrane ayant une perméabilité plus importante et une capacité de séparation équivalente, cette approche occasionne une augmentation de la surface de membrane. L'autre manière de diminuer l'accumulation à la surface de la membrane est d'augmenter le rétrotransport des agents colmatants vers le cœur de l'écoulement (voir la section 9.10.1 du volume 2). Le colmatage biologique peut être limité en faisant des désinfections régulières du système. Le choix des solutions désinfectantes est alors limité par la nature du matériau membranaire.

Les stratégies de prévention du colmatage peuvent évidemment être combinées.

#### 9.10.3.8 Techniques de nettoyage des membranes

La filtration de l'eau brute est arrêtée pour permettre le nettoyage des membranes lorsqu'une consigne de perte de charge maximale due à l'écoulement tangentiel et/ou une consigne de pression transmembranaire maximale et/ou lorsqu'une consigne de temps est atteinte. Le nettoyage des membranes vise à limiter le colmatage irréversible des membranes et donc à limiter la perte irréversible de perméabilité, et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont :

- Le rinçage;
- Le rétrolavage à l'eau ou à l'air (d'après USEPA, 2001, les fréquences des rétrolavages varient de 15 à 60 min tandis que les durées des rétrolavages varient de 30 s à 3 min);
- Le nettoyage mécanique avec une balle de mousse (uniquement pour les modules tubulaires et pour le colmatage avec la MON des eaux de surface);
- Le nettoyage chimique de la membrane (trempage et/ou circulation de solution nettoyante).

Un rinçage des membranes a avantage à être fait à haute vitesse d'écoulement tangentiel et à faible pression transmembranaire pour favoriser le plus possible la remise en solution des agents colmatants. La fréquence et la durée des rétrolavages doivent être ajustées au cas par cas. Ce type de nettoyage est utilisé actuellement surtout avec les membranes à fibres creuses (voir tableau 9-1). Le nettoyage mécanique des membranes permet d'espacer les nettoyages chimiques, ce qui représente un avantage particulièrement dans le cas des petits systèmes. Les agents nettoyants sont énumérés à la section 9.10.3.5 du volume 2. Suivant

les spécifications du fabricant de la membrane et suivant les applications, il peut être utile de chauffer la solution de lavage à condition de respecter la limite de température imposée par le fabricant de membranes. La solution de lavage est recirculée; il faut donc prévoir un réservoir à cet effet. Un lavage chimique est toujours suivi d'un rinçage.

Il est important aussi de faire des désinfections périodiques des systèmes membranaires (circuits/compartiments d'alimentation et de perméat). Les fabricants de membranes donnent des recommandations précises quant aux produits à utiliser pour désinfecter les membranes sans les détériorer. Il faut mentionner que les micro-organismes se développent plus facilement dans les eaux stagnantes et que certaines espèces peuvent se développer même dans des eaux qui contiennent très peu de nutriments comme les perméats de NF et d'OI.

#### 9.10.3.9 Contrôles et automatisation

Les procédés utilisant des membranes pour le traitement de l'eau potable sont relativement aisés à automatiser. En effet, les actions à poser sont simples, répétitives et souvent contrôlées par des paramètres pouvant facilement être mesurés comme la perte de charge au travers des membranes.

Par conséquent, même si les coûts d'immobilisation d'une usine complètement automatisée sont plus élevés, il est fortement recommandé d'emprunter cette voie, particulièrement dans le cas des petites municipalités afin de limiter les besoins en personnel qualifié tout en assurant un bon fonctionnement des installations.

L'automatisation, ou toute autre mesure visant à réduire le colmatage irréversible ou l'altération des membranes, présente un autre avantage : la durée de vie de celles-ci s'en trouvera fort probablement augmentée. Compte tenu de l'importance du coût de remplacement des membranes dans le coût total d'opération des usines, les montants additionnels requis pour l'automatisation de celles-ci représentent un bon investissement.

#### 9.10.3.10 Paramètres de suivi

En plus des paramètres de qualité d'eau normés et des paramètres usuels d'opération en traitement d'eau, il est important de faire un suivi sur l'intégrité des systèmes (voir la section 9.10.3.6 du volume 2) et sur l'état des membranes. Ce deuxième type de suivi peut être fait en vérifiant régulièrement la perméabilité et, si possible, le taux de séparation d'une substance de référence. Ce suivi peut être fait également en analysant l'évolution des fréquences de lavage, l'évolution des pressions d'opération et les évolutions des taux de séparation de la MON et de la conductivité. Ce suivi doit être fait à la même échelle que le suivi de l'intégrité des membranes.

Le suivi à long terme permet de construire un précieux historique des membranes depuis le début de leur utilisation (base de données). Cet historique peut servir à ajuster les conditions d'opération et à prédire ou établir la durée de vie des membranes.

#### 9.10.3.11 Santé et sécurité

Les usines de production d'eau potable utilisant des membranes présentent sensiblement les mêmes défis au niveau de la santé et de la sécurité qu'une usine conventionnelle. Ce sujet est abordé au chapitre 15.

Le seul élément méritant d'être souligné est que les procédés qui utilisent les membranes de type NUF, NF et OI fonctionnent à des pressions supérieures à ce qui est normalement observé dans les usines conventionnelles. Les opérateurs doivent être sensibilisés à cette situation lorsque requis.

#### 9.10.4 Description des chaînes de traitement

##### 9.10.4.1 Chaînes de traitement avec filtration sur membranes d'UMF

Cette section traite des applications en production d'eau potable des membranes d'UMF (voir figure 9-4), c'est-à-dire de celles qui permettent, dans la mesure où il n'y a pas de bris d'intégrité, de retenir les bactéries pathogènes, les kystes de protozoaires et la quasi-totalité des particules à l'origine de la turbidité. Cette catégorie correspond aux membranes classées à la limite de la MF et de l'UF et couvre aussi la partie supérieure du spectre de l'UF.

Les membranes d'UMF utilisées sans autre procédé de traitement retiennent partiellement les virus et enlèvent peu de MON. Pour enlever une fraction significative de la MON, il faut donc compléter la chaîne de traitement avec d'autres procédés comme cela est montré dans les sections qui suivent. Comme les membranes d'UMF n'atteignent pas a priori l'exigence pour les virus, il est important de mentionner que la filtration sur membrane d'UMF doit être complétée par une désinfection chimique.

##### **Filtration sur membranes d'UMF + désinfection chimique (chaîne UMF-I au tableau 9-2)**

Pour les eaux de surface où il s'agit uniquement de réduire la turbidité de l'eau et de désinfecter l'eau, une filtration sur membrane d'UMF suivie d'une désinfection chimique pour l'inactivation des virus peut être utilisée (voir figure 9-4a) (Yoo et al., 1995; Jacangelo et Buckley, 1996). Cette chaîne de traitement peut aussi être utilisée pour traiter des eaux souterraines karstiques (Doyen et al., 1992) qui subissent des variations importantes de turbidité.

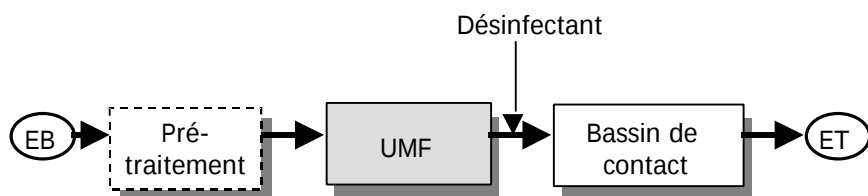
Les configurations qui sont utilisées actuellement dans cette application (Amérique du Nord et Europe) sont les modules à fibres creuses et les modules tubulaires en mode de filtration tangentielle ou frontale. Des systèmes avec caissons pressurisés et des systèmes à membranes immergées sont utilisés en Amérique du Nord et en Europe. La nécessité de faire une pré-filtration et le type de pré-filtration à utiliser dépendent de la qualité de l'eau brute, du type de module utilisé et de la stratégie de prévention du colmatage (voir section 9.10.3.7 du volume 2).

**Coagulation-floculation + filtration sur membranes d'UMF + désinfection chimique  
(chaîne C-UMF-I au tableau 9-2)**

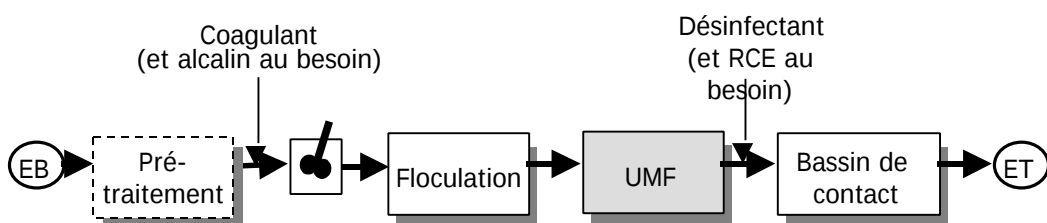
Lorsqu'en plus de la désinfection et de la réduction de la turbidité il est nécessaire de réduire la couleur et d'enlever une partie de la MON pour réduire la formation des SPD, une chaîne de traitement combinant la coagulation/floculation et la filtration sur membrane d'UMF est envisageable (Best et al. 2001) (voir figure 9-4b). Cette chaîne de traitement, qui s'apparente à la filtration directe, est applicable aux eaux de surface colorées et aux eaux souterraines contaminées par de la MON.

**Figure 9-4 : Chaînes de traitement avec filtration sur membranes d'UMF**

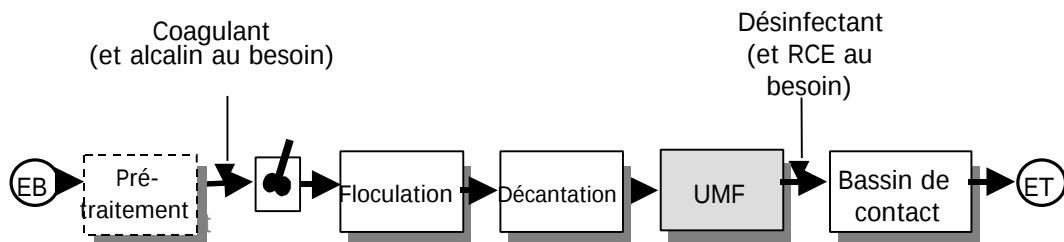
**a) UMF simple**



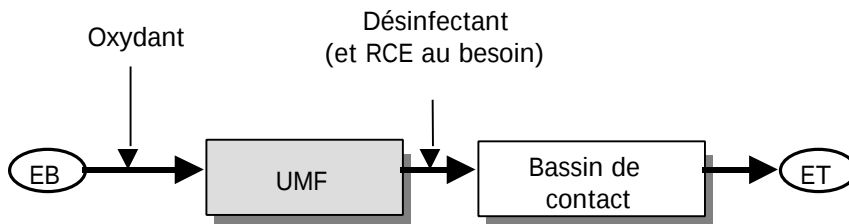
**b) Coagulation -UMF**



**c) Coagulation-décantation-UMF**



**d) Oxydation-UMF**



EB : Eau brute

ET : Eau traitée

RCE : Ré-équilibrage chimique de l'eau

--- : les étapes optionnelles sont représentées en traits pointillés

Comme dans un traitement conventionnel, seule la fraction coagulable de la MON est enlevée, ce qui représente généralement de 40 à 60% de la MON (exprimée en COT) tout dépendant de la nature des composés organiques. Rappelons qu'il existe des conditions particulières de pH et de dose de coagulant pour une coagulation optimale de la MON. La recherche de ces conditions optimales peut impliquer des essais en laboratoire et/ou des essais pilotes. Le lecteur est invité à consulter les sections 9.6 et 9.7 du volume 1 pour connaître les principes gouvernant la conception des étapes de coagulation et de floculation. Il faut rappeler aussi que la coagulation de la couleur amène une baisse significative de l'alcalinité. Un rééquilibrage chimique de l'eau (voir chapitre 13) en fin de traitement peut s'avérer nécessaire.

Actuellement, seuls des systèmes à membranes fibres creuses immergées sont utilisés dans ce type de traitement en Amérique du Nord. Cette configuration ne requiert pas de pré-filtration dans cette chaîne de traitement. Si d'autres configurations devaient être utilisées, il faudrait éventuellement ajouter une pré-filtration avant la filtration sur membrane (voir section 9.10.3.7 du volume 2).

#### Coagulation-floculation + décantation + filtration sur membranes d'UMF + désinfection chimique (chaîne C-D-UMF-I au tableau 9-2)

Cette chaîne de traitement est tout à fait similaire à une chaîne conventionnelle de traitement où la filtration sur lit granulaire aurait été remplacée par une filtration sur membrane de type 1 (voir figure 9-4c). Elle vise les mêmes objectifs que la chaîne présentée à la section précédente et possède des rendements qui sont supérieurs ou égaux à ceux obtenus avec une filière de traitement conventionnel. Elle est applicable essentiellement aux eaux de surface colorées et turbides. Par rapport à la chaîne précédente, elle permet, a priori, de traiter des eaux plus turbides et/ou de réduire le colmatage des membranes puisque l'étape de sédimentation permet d'enlever une grande partie des floes formés après la coagulation/floculation. Cependant, l'état des connaissances au moment de la rédaction de ce guide ne permet pas d'établir de limites précises à partir desquelles une étape de décantation doit être ajoutée.

Ce sont essentiellement des systèmes à fibres creuses qui sont actuellement utilisés dans ce type de traitement en Amérique du Nord. A priori, pour les membranes immergées, il n'est pas nécessaire de faire une pré-filtration juste avant la filtration sur membrane. Dans le cas des fibres creuses Int-Ext, Anselme et Jacob (1996) recommandent de faire une pré-filtration de 50 à 200  $\mu\text{m}$  (voir section 9.10.3.7 du volume 2).

Cette filière de traitement peut aussi s'appliquer dans le cas particulier d'une usine de production d'eau potable existante utilisant une filière de traitement conventionnelle mais qui ne possède plus la capacité requise pour subvenir aux besoins des usagers (Côté et al., 2001). Les bassins de filtration sont alors recyclés en bassins pour membranes à fibres creuses immergées. D'après Côté et al. (2001), et tout dépendant de la configuration des installations existantes, le débit de filtration obtenu avec les membranes d'UMF pourrait être majoré d'un facteur variant entre deux et quatre par rapport aux filtres bi-couches d'un traitement conventionnel.

### **Oxydation + filtration sur membranes d'UMF + désinfection chimique (chaîne O-UMF-I au tableau 9-2)**

Cette chaîne de traitement s'applique principalement au cas des eaux souterraines contenant du fer et/ou du manganèse mais le même principe de traitement peut être utilisé pour d'autres contaminants qui peuvent être oxydés/précipités. Il s'agit essentiellement de faire une oxydation chimique du fer et du manganèse engendrant un précipité qui pourra être intercepté par les membranes d'UMF. Les critères de conception guidant le processus d'oxydation sont décrits à la section 8.5.1 de ce *Guide de conception*. Plusieurs types d'oxydants peuvent être utilisés : chlore, ozone, dioxyde de chlore, permanganate, peroxyde d'hydrogène, etc. Suite à l'oxydation, les membranes d'UMF sont en mesure d'enlever jusqu'à 99% du fer et/ou du manganèse (Schneider et al., 2001). Il est important de s'assurer que la membrane choisie est en mesure de résister à l'oxydant qui est injecté dans l'eau brute. La figure 9.4 présente un schéma de cette chaîne de traitement.

Une mise en garde est cependant applicable. L'ajout d'un oxydant peut engendrer la formation de sous-produits tel que décrit au chapitre 10 du présent *Guide de conception*. Ainsi, si l'eau brute contient des précurseurs de THM, l'utilisation du chlore comme oxydant est à proscrire car ce dernier engendrera des THM qui ne seront pas éliminés par les membranes d'UMF. La même remarque s'applique dans le cas de l'utilisation de l'ozone comme oxydant s'il y a présence de bromures dans l'eau brute. En effet, l'ozone réagira avec les bromures présents dans l'eau, ce qui provoquera la formation de sous-produits potentiellement cancérigènes non enlevés par les membranes d'UMF.

A priori, des membranes fibres creuses et tubulaires peuvent être employées dans ce type de traitement. La nécessité de faire une préfiltration, et le type de préfiltration à utiliser, dépendent de la qualité de l'eau brute, du type de module utilisé et de la stratégie de prévention du colmatage (voir section 9.10.3.7 du volume 2).

### **Adsorption sur charbon actif en poudre + filtration sur membrane d'UMF + désinfection chimique (chaîne A-UMF-I au tableau 9-2)**

Pour des raisons technico-économiques, la chaîne de traitement comprenant un ajout de charbon actif en poudre (CAP) suivi d'une filtration sur membranes d'UMF s'applique plutôt aux cas où il est nécessaire d'enlever des contaminants qui sont réfractaires à la coagulation/floculation mais qui peuvent être enlevés par adsorption. Cela s'applique par exemple à l'enlèvement des pesticides. Ce type de traitement peut servir aussi à un enlèvement plus ou moins poussé de la fraction non coagulable du COD. Cette chaîne peut être utilisée pour le traitement des eaux de surface ou encore des eaux souterraines contaminées par des composés organiques.

Les doses de réactifs à employer et les temps de contact requis (cinétique d'adsorption) doivent être choisis en fonction des objectifs d'enlèvement qui sont visés. Des essais en laboratoire et/ou des essais pilotes peuvent s'avérer nécessaires. Cela est d'autant plus important que le coût du CAP est généralement assez élevé.

L'ajout de CAP peut être combiné avec la coagulation/floculation, ce qui équivaut à combiner différentes chaînes de traitement présentées auparavant. L'ajout de CAP peut être occasionnel ou continu.

A priori, des membranes fibres creuses et tubulaires peuvent être employées dans ce type de traitement. La nécessité de faire une pré-filtration, et le type de pré-filtration à utiliser, dépendent de la qualité de l'eau brute, du type de module utilisé et de la stratégie de prévention du colmatage (voir section 9.10.3.7 du volume 2).

#### 9.10.4.2 Chaînes de traitement avec filtration sur membranes de NF

Cette section traite des applications en production d'eau potable des membranes de NF dont le seuil de coupure est inférieur à 600 Daltons (voir figure 9.5). À moins d'un bris d'intégrité, ces membranes permettent de retenir les micro-organismes pathogènes et les particules à l'origine de la turbidité. Ces membranes permettent en plus de retenir la majeure partie de la MON et de retenir directement une fraction importante des ions bivalents (AWWA, 1999B). Tout dépendant de leur seuil de coupure, de leur charge de surface et des conditions d'opération, ces membranes permettent aussi un enlèvement partiel des ions monovalents. L'enlèvement d'une forte proportion de la MON se traduit par un très bon enlèvement de la couleur ainsi que des précurseurs de THM. Elles permettent aussi de retenir d'autres composés organiques dissous synthétiques tout dépendant de la masse molaire et de la nature de ces composés.

Les paragraphes suivants s'appliquent à décrire des chaînes de traitement faisant intervenir des membranes de NF.

##### **Simple filtration sur membranes de NF (chaîne NF au tableau 9-2)**

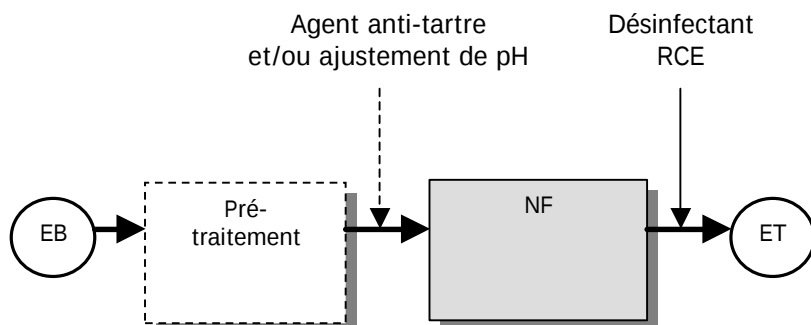
Une filtration sur membranes de NF peut constituer un traitement complet dans au moins deux cas (voir figure 9-5a) :

- Désinfection, réduction de la turbidité et enlèvement poussé du COD des eaux de surface colorées ou des eaux souterraines sous influence d'eaux de surface;
- Traitement des eaux souterraines, sous ou sans influence d'eaux de surface, qui contiennent un ou plusieurs des ions suivants en quantité excédant les objectifs de traitement :
  - réduction de la dureté (adoucissement, enlèvement  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ );
  - réduction partielle de la salinité et/ou enlèvement partiel d'ions monovalents ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , etc.);
  - enlèvement des sulfates ( $\text{SO}_4^-$ ) et autres ions bivalents.

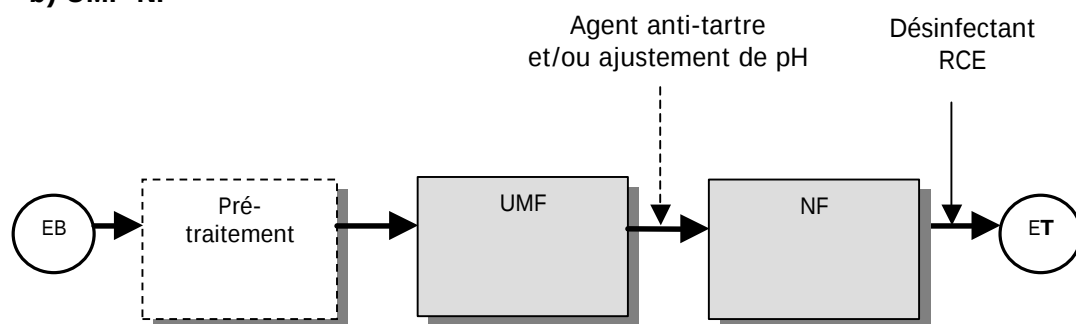
Dans le premier cas, les membranes visent un enlèvement poussé des précurseurs de formation de SPD et une réduction très forte de la demande en désinfectant, ce qui peut permettre de réduire la dose de désinfectant à ajouter en post-désinfection. Les membranes permettent a priori une désinfection complète mais l'intégrité des systèmes est particulièrement importante dans ce cas puisque la membrane est la seule étape de traitement (à moins d'ajouter une étape de désinfection après les membranes, voir section 9.10.2 du volume 2). La réduction de la turbidité est aussi complète. Un rééquilibrage chimique de l'eau peut être nécessaire après la filtration sur membrane à cause de l'enlèvement des ions effectué par les membranes (voir chapitre 13).

**Figure 9-5 : Chaînes de traitement avec filtration sur membranes de NF**

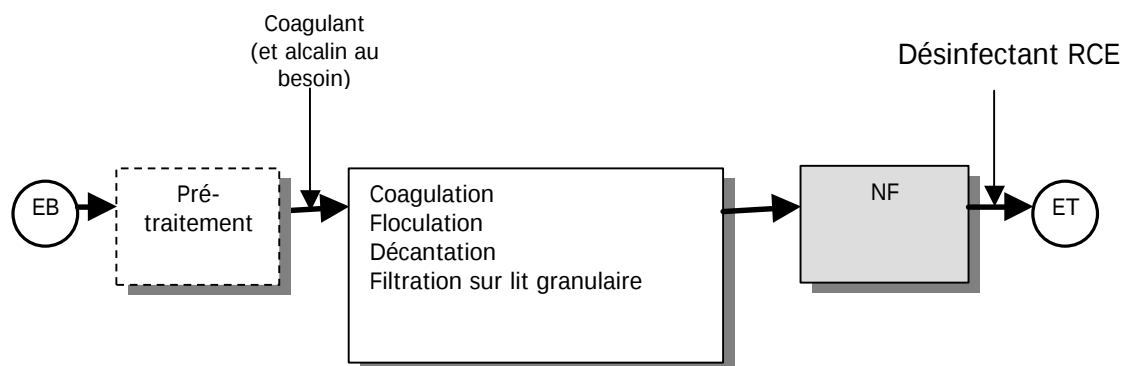
**a) NF simple**



**b) UMF-NF**



**c) Traitement conventionnel-NF**



EB : Eau brute

ET : Eau traitée

RCE : Ré-équilibrage chimique de l'eau

---- : Les étapes optionnelles sont représentées en traits pointillés

Dans le deuxième cas, les membranes visent un enlèvement direct des ions bivalents et/ou d'une partie des ions monovalents. La pression osmotique peut être significative. Elle peut être évaluée à partir de la conductivité de l'eau. La précipitation des sels à la surface des membranes doit être évitée pour qu'il n'y ait pas colmatage des membranes (voir sections 9.10.3 des volumes 1 et 2). Cet objectif peut être atteint en ajoutant un agent anti-tartre ou en contrôlant les conditions de pH et de potentiel redox. En présence de fer, il est essentiel d'éviter le contact avec l'oxygène de l'air qui aurait pour effet de faire oxyder et précipiter le fer.

Le pré-traitement et les conditions d'opération à appliquer dépendent de la qualité de l'eau brute et du type de module utilisé. Pour les modules spiralés, AWWA (1999B) recommande de ne pas dépasser un SDI de 5%/min à l'entrée des modules. Il faut ajouter une pré-filtration fine (1 à 25 µm) en amont de la filtration sur membrane pour limiter les risques d'obstruction des canaux d'écoulement tangentiels. Cette exigence est due à la finesse des canaux d'écoulement tangentiels et à l'impossibilité de faire des rétrolavages dans ce type de module. La turbidité de l'eau brute va alors déterminer la fréquence de nettoyage/régénération des pré-filtres. Pour les eaux de surface, cette fréquence va varier très significativement en fonction des saisons à cause des variations de la qualité de l'eau brute. Pour une eau souterraine non influencée par une eau de surface, cette fréquence devrait être beaucoup plus faible considérant que la turbidité de l'eau brute devrait être plus faible qu'en eau de surface. Il est difficile de fixer une limite de turbidité à l'eau brute pour cette chaîne de traitement (pré-filtration + filtration sur membranes de NF avec modules spiralés) mais on peut noter que pour la grande majorité des applications actuelles la turbidité de l'eau brute ne dépasse pas quelques UTN.

S'il s'agit de modules tubulaires, ou d'autres configurations qui ne possèdent pas de fins canaux d'écoulement tangentiel, il n'est pas obligatoire de faire une pré-filtration mais cela est recommandé pour augmenter la durée de vie des membranes et pour éviter l'abrasion de la surface des membranes.

#### **Filtration sur membranes d'UMF + filtration sur membranes de NF**

Dans la section précédente, il est mentionné que la filtration sur membranes de NF permet de traiter des eaux de surface colorées mais que le prétraitement et/ou les conditions d'opération doivent être adaptés à la qualité de l'eau brute, et ce pour limiter le colmatage des membranes et l'obstruction des canaux d'écoulement tangentiels. Lozier et al. (1997) proposent de faire une filtration sur membranes d'UMF comme prétraitement à la filtration sur membranes de NF pour réduire la vitesse de colmatage des membranes. Cette combinaison est connue sous l'appellation de "système membranaire intégré" ("Integrated Membrane System") dans la littérature technique. Cette combinaison permet d'enlever les particules en suspension et une partie des colloïdes avant la filtration sur membranes de NF et donc d'augmenter la vitesse de filtration ou d'espacer les lavages des membranes de NF. Cela permet aussi d'ajouter une barrière supplémentaire pour les micro-organismes pathogènes, ce qui rend la question de l'intégrité moins critique que dans le cas précédent. Par contre, les coûts de construction et de production augmentent très significativement a priori.

### **Combinaison d'un traitement conventionnel avec une filtration sur membranes de NF**

L'ajout d'une filtration sur membranes de NF à une chaîne conventionnelle permet d'augmenter le niveau d'enlèvement de la MON et d'ajouter une barrière supplémentaire pour la désinfection. On parle alors d'affinage par membrane. Cette chaîne de traitement permet de traiter des eaux de surface très chargées en matières en suspension, en MON et en micro-organismes pathogènes. Ce traitement permet, à un coût élevé, de produire une eau de très bonne qualité à partir d'une eau brute fortement contaminée. Comme dans le cas précédent (combinaison membrane d'UMF + membrane de NF), cette chaîne de traitement comprend plusieurs barrières pour les micro-organismes pathogènes.

#### **9.10.4.3 Chaînes de traitement avec filtration sur membranes de NUF**

Les membranes de NUF ont en commun de pouvoir retenir les virus et les autres micro-organismes pathogènes (à condition d'en faire la démonstration et de maintenir l'intégrité du système membranaire). Elles permettent aussi de retenir la quasi-totalité des particules à l'origine de la turbidité. Cette catégorie de membrane couvre une large gamme de taux de séparation de la MON allant de près de 0 à plus de 70%. Les chaînes de traitement qui font appel aux membranes de NUF sont similaires aux chaînes de traitement qui utilisent les membranes d'UMF ou similaires à celles qui utilisent les membranes de NF tout dépendant du seuil de coupure des membranes.

#### **9.10.4.4 Chaînes de traitement avec filtration sur membranes d'OI**

Dans le domaine de l'eau potable, la principale application des membranes d'OI est le traitement des eaux de mer (plus de 30 000 mg/L de solides totaux dissous) et des eaux souterraines saumâtres (1500 à 3000 mg/L de solides totaux dissous). Elles sont donc utilisées lorsque des taux d'enlèvement très élevés des ions monovalents sont requis. Les membranes d'OI s'appliquent également à l'enlèvement des contaminants suivants :

- Les pesticides;
- Les radionucléides;
- L'arsenic;
- Le bore;
- Les nitrites seuls;
- Les nitrites-nitrates.

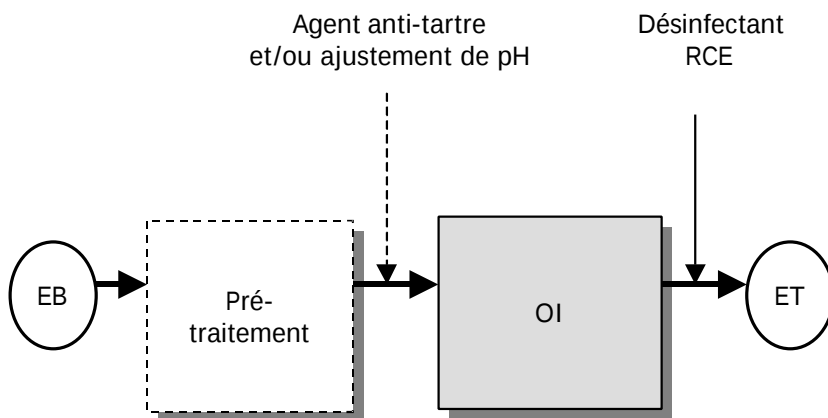
Compte tenu que ce sont les modules spiralés qui sont surtout utilisés dans ce type de traitement, il y a un prétraitement (1 à 25  $\mu\text{m}$ ) avant la filtration sur membranes d'OI. Dans certains cas, le prétraitement peut être constitué de membranes d'UMF (Kruithof et al., 2001).

Les précautions à prendre avec ce type de traitement sont les mêmes que celles qui s'appliquent aux chaînes de filtration simple sur membranes de NF pour les eaux souterraines. Il est particulièrement important en OI de vérifier si les limites de solubilité des sels seront dépassées dans les modules membranaires afin d'éviter le colmatage. Le lecteur peut se référer au manuel de l'AWWA (1999B) à ce sujet. Par ailleurs, étant donné que la plupart des sels sont retenus par les membranes d'OI, un post-traitement doit

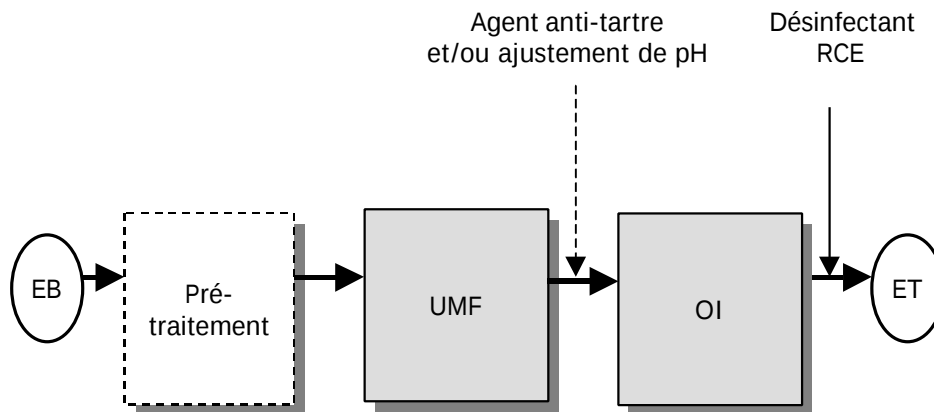
nécessairement être prévu pour l'ajustement du pH, de l'alcalinité et de l'agressivité de l'eau. À cet égard, le lecteur est invité à consulter le chapitre 13 du *Guide de conception*. Les chaînes de traitement faisant appel aux membranes d'OI sont présentées à la figure 9-6.

**Figure 9-6 : Chaînes de traitement avec filtration sur membranes d'OI**

**a) OI simple**



**b) UMF-OI**



EB : Eau brute

ET : Eau traitée

RCE : Ré-équilibrage chimique de l'eau

---- : Les étapes optionnelles sont représentées en traits pointillés

## VOLUME 2

### CHAPITRE 10

|                                                                                              |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>10. DÉSINFECTION ET CONTRÔLE DES SOUS-PRODUITS.....</b>                                   |  |
| 10.3 <i>Calcul de la performance des filières de traitement (log de réduction).....</i>      |  |
| <b>10.3.2 Évaluation de l'efficacité hydraulique des bassins de contact.....</b>             |  |
| 10.3.2.1 Concept du temps de séjour effectif ( $T_{10}$ ).....                               |  |
| 10.3.2.2 Détermination du $T_{10}$ par traçage.....                                          |  |
| 10.3.2.3 Détermination du $T_{10}$ selon les critères de conception des bassins ..           |  |
| 10.3.2.4 Autres méthodes de détermination du $T_{10}$ ..                                     |  |
| 10.4 <i>Revue et choix du mode de désinfection.....</i>                                      |  |
| 10.4.1 <i>Chlore ..</i>                                                                      |  |
| 10.4.1.1 Chimie du chlore.....                                                               |  |
| 10.4.1.2 Fabrication du chlore ..                                                            |  |
| 10.4.1.3 Doses typiques de chlore ..                                                         |  |
| 10.4.1.4 Diminution des précurseurs de THM.....                                              |  |
| 10.4.1.5 Effet des conditions environnementales sur l'efficacité de la<br>chloration ..      |  |
| 10.4.2 <i>Ozone ..</i>                                                                       |  |
| 10.4.2.1 Applications de l'ozonation.....                                                    |  |
| 10.4.2.2 Production d'ozone à partir d'oxygène ..                                            |  |
| 10.4.2.3 Particularités du système d'alimentation en gaz.....                                |  |
| 10.4.2.4 Particularités des générateurs d'ozone ..                                           |  |
| 10.4.2.5 Particularités des bassins de mélange ..                                            |  |
| 10.4.2.6 Influence sur les autres traitements ..                                             |  |
| 10.4.2.7 Filtration biologique.....                                                          |  |
| 10.4.2.8 Effet des conditions environnementales sur l'efficacité de l'ozonation              |  |
| 10.4.2.9 Niveaux d'exposition maximum à l'ozone ..                                           |  |
| <b>10.4.3 Monochloramines.....</b>                                                           |  |
| 10.4.3.1 Généralités ..                                                                      |  |
| 10.4.3.2 Principales applications ..                                                         |  |
| 10.4.3.3 Points d'injection.....                                                             |  |
| 10.4.3.4 Sous-produits de désinfection ..                                                    |  |
| 10.4.3.5 Paramètres de conception ..                                                         |  |
| 10.4.3.6 Effets des conditions environnementales sur l'efficacité de la<br>chloramination .. |  |
| 10.4.3.7 Passage de la chloration à la chloramination ..                                     |  |
| 10.4.3.8 Effets possibles de la chloramination sur l'ensemble du traitement.                 |  |
| 10.4.3.9 Nitrification.....                                                                  |  |
| 10.4.3.10 Goût et odeur.....                                                                 |  |
| 10.4.3.11 Corrosion.....                                                                     |  |
| 10.4.3.12 Considérations pour le dosage et l'injection des chloramines.....                  |  |

|                                                                                 |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>10.4.4. Bioxyde de chlore</b>                                                | ..... |
| 10.4.4.1 Généralités                                                            | ..... |
| 10.4.4.2 Principales applications                                               | ..... |
| 10.4.4.3 Points d'injection                                                     | ..... |
| 10.4.4.4 Sous-produits                                                          | ..... |
| 10.4.4.5 Les différents procédés de génération du bioxyde de chlore             | ..... |
| 10.4.4.6 Efficacité de la désinfection                                          | ..... |
| 10.4.4.7 Stratégies pour prévenir la formation de sous-produits de désinfection | ..... |
| 10.4.4.8 Paramètres de conception                                               | ..... |
| <b>10.4.5 Rayonnement ultraviolet</b>                                           | ..... |
| 10.4.5.1 Photochimie du rayonnement U.V.                                        | ..... |
| 10.4.5.2 Variables importantes pour le procédé                                  | ..... |
| 10.4.5.3 Production des rayons ultraviolets                                     | ..... |
| 10.4.5.4 Types de réacteur U.V.                                                 | ..... |
| 10.4.5.5 Considérations relatives à l'hydraulique                               | ..... |
| 10.4.5.6 Inactivation des agents pathogènes et efficacité de la désinfection    | ..    |
| 10.4.5.7 Remplacement des lampes U.V.                                           | ..... |
| 10.4.5.8 Nettoyage des manchons de quartz                                       | ..... |
| 10.4.5.9 Alimentation électrique d'urgence                                      | ..... |

## 10. DÉSINFECTION ET CONTRÔLE DES SOUS-PRODUITS

### 10.3 Calcul de la performance des filières de traitement (log de réduction)

#### 10.3.2 Évaluation de l'efficacité hydraulique des bassins de contact

##### 10.3.2.1 Concept du temps de séjour effectif ( $T_{10}$ )

Tel que discuté au chapitre 11, le calcul du CT qui est nécessaire pour l'évaluation de l'efficacité de la désinfection, requiert de connaître le temps de séjour effectif des bassins, lequel tient compte du degré de court-circuitage dans les bassins. Par convention, le temps de contact à utiliser est le  $T_{10}$ , c'est-à-dire le temps nécessaire pour récupérer à la sortie d'un bassin, 10% d'un traceur injecté à l'entrée. Le  $T_{10}$  est une valeur plus conservatrice que le temps de séjour théorique moyen ( $V/Q$ ). Son utilisation assure que 90% de l'eau à traiter a été en contact avec le désinfectant pour une période supérieure ou égale au  $T_{10}$ . Dans le cas des réserves, le volume ( $V$ ) doit être suffisant pour assurer les besoins quantitatifs et les besoins de désinfection.

La présente section décrit trois approches différentes pour évaluer l'efficacité hydraulique d'un bassin :

- La méthode par essais de traçage pour les installations existantes;
- La méthode théorique pour la conception;
- Les méthodes expérimentales (modèle réduit ou modélisation numérique).

##### 10.3.2.2 Détermination du $T_{10}$ par traçage

#### Principes généraux

Un essai de traçage nécessite l'emploi d'un traceur chimique afin de déterminer le temps de contact de l'eau à travers un procédé, un segment d'un bassin ou un bassin dans son ensemble. Un segment est défini comme étant la portion d'une installation de traitement située entre deux points de désinfection et/ou de contrôle du désinfectant résiduel. Les traceurs généralement employés sont les chlorures, les fluorures et le lithium. Idéalement, le traceur doit être conservatif, facilement disponible, aisément mesurable, et sans danger pour la santé humaine. Par conservatif, on entend que le traceur ne sera pas éliminé durant le traitement. Les ions fluorures peuvent généralement être utilisés à plus faibles doses que les ions chlorures, car ils sont présents dans les eaux naturelles en plus faibles concentrations que ces derniers. La sélection du traceur peut dépendre du type de procédé à évaluer et de la concentration en sels des eaux à tester.

#### Méthodes d'injection

Deux méthodes sont disponibles afin de réaliser un essai de traçage :

- La méthode d'injection en continu (*step-dose method*);
- La méthode d'injection instantanée (*slug-dose method*).

Pour la première méthode, le traceur chimique est injecté en continu dans une zone de turbulence à concentration constante à l'entrée. La concentration à la sortie est mesurée à intervalles réguliers (ou en continu). Il est recommandé de continuer l'injection jusqu'à ce que la concentration à la sortie soit stable. Cette concentration devrait alors être à  $\pm 10\%$  de la concentration théorique injectée.

Pour la méthode à injection instantanée, une concentration élevée de traceur est injectée instantanément à l'entrée du bassin dans une zone de turbulence. La concentration de traceur est mesurée à la sortie (en continu ou à intervalles réguliers) jusqu'à ce qu'elle soit entièrement transitée à travers le système. Contrairement à la méthode précédente, un bilan de masse est requis afin de s'assurer que la totalité du traceur a été récupérée. Cette vérification implique également des manipulations mathématiques additionnelles afin de calculer le  $T_{10}$ . Pour ces deux raisons et compte tenu de la limite liée à l'injection d'une forte dose de traceur dans l'eau potable, la méthode par injection instantanée est moins utilisée que la méthode par injection en continu.

Quelle que soit la méthode de traçage retenue, le traceur doit être ajouté aux mêmes points de la chaîne de traitement utilisés pour ajouter le désinfectant. De façon similaire, le traceur devrait être mesuré à l'endroit prévu pour le calcul du  $CT_{10}$ . Dans le cas d'une mesure à la sortie du système de pompage, privilégier un point de mesure sécuritaire. Par exemple, choisir un point de mesure à la sortie de la pompe qui offre le chemin de l'eau le plus court.

### **Conditions durant le traçage (débit et niveau)**

Même si le temps de séjour effectif est inversement proportionnel au débit, la relation n'est pas nécessairement linéaire. L'efficacité hydraulique d'un bassin a généralement tendance à diminuer lorsque le débit augmente. Par conséquent, il est recommandé de réaliser au moins deux essais de traçage de façon à couvrir la gamme de débits probables dans le bassin : un premier essai pour le débit moyen et un deuxième essai à un débit équivalent à environ 90% du débit maximal anticipé (débit de conception). Dans l'éventualité où les deux essais indiquent des performances hydrauliques ( $T_{10}/T$ ) différentes, il serait alors justifié de procéder à une série d'essais additionnels : un troisième essai à un débit intermédiaire aux deux premiers essais et un quatrième essai à un débit inférieur au débit moyen. Le choix de ces débits additionnels devrait être fait de façon à couvrir le mieux possible la gamme de débits anticipés.

Si un seul essai de traçage a été réalisé, l'efficacité hydraulique sera considérée constante pour tous les débits inférieurs au débit de l'essai de traçage. C'est pourquoi il est important qu'en cas de traçage unique, le débit utilisé se situe aux environs de 90% du débit maximal afin d'obtenir une évaluation de l'efficacité hydraulique conservatrice.

À l'intérieur des installations de traitement, le débit de production est relativement uniforme, de la prise d'eau jusqu'à l'entrée des réserves. Une variation du pompage à l'entrée entraînera un changement proportionnel du débit dans les différentes étapes du procédé. Par conséquent, le débit de conception de l'installation de traitement peut alors être utilisé comme débit maximal anticipé dans les différentes unités de traitement (décantation, filtration, ozonation, etc.). Par contre, les réserves localisées à l'installation de traitement sont opérées à un débit différent du débit de production de l'installation de traitement, selon la demande en eau exercée par les

consommateurs sur le réseau. Le débit de conception à la sortie des réserves est généralement beaucoup plus important que le débit de conception de l'installation de traitement. Par conséquent, il peut s'avérer impossible dans certains cas de procéder à un essai de traçage à un débit équivalent à 90% du débit de pointe horaire à la sortie, et ce, pour une durée de plusieurs heures.

Il est préférable de choisir un débit plus faible qui pourra être maintenu quasi-constant durant l'essai plutôt que de viser un débit élevé mais très variable. Les résultats les plus précis sont en effet obtenus lorsque le débit et le niveau sont maintenus constants durant le traçage. Pour les chaînes de traitement constituées de plusieurs filières en parallèle, il est pratique de maintenir un débit constant pour un segment et de laisser les autres segments absorber les variations de débit. Pour les installations de traitement possédant des procédés de traitement parallèles identiques, il n'est pas nécessaire de tester chaque segment individuel. Dans tous les cas, le débit moyen mesuré durant l'essai doit être retenu comme débit de référence pour l'évaluation de l'efficacité hydraulique ( $T_{10}/T$ ), et non le débit théorique prévu.

En plus des conditions de débit, les temps de contact dépendent du niveau d'eau dans les bassins durant l'essai de traçage. Cette particularité est très importante dans le cas des essais de traçage pour les réserves. En effet, celles-ci sont généralement conçues comme bassins d'égalisation afin de répondre aux variations de la demande en eau sur le réseau de distribution. Le niveau d'eau varie donc selon que le réservoir est en mode de remplissage ou de vidange. Dans le but de fournir une évaluation conservatrice :

- S'il est possible de maintenir le niveau constant, l'ajuster au débit minimum;
- S'il est impossible de maintenir un niveau constant pendant l'essai, les traçages devraient être réalisés lorsque le niveau du réservoir est à la baisse.

Pour les réserves opérées avec d'importantes variations journalières extrêmes du niveau d'eau, le maintien d'un temps de contact sécuritaire peut s'avérer difficile. Sous de telles conditions, il peut s'avérer préférable, selon les cas, de prévoir lors de la conception un déversoir afin d'assurer un niveau minimum dans le réservoir.

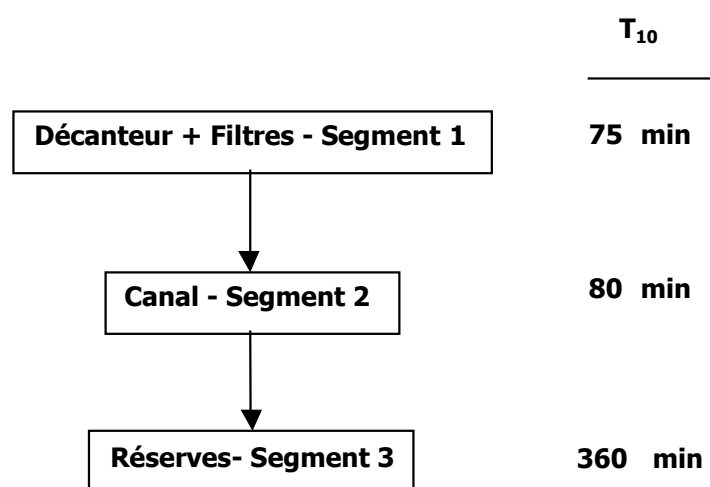
Le temps de contact effectif peut également être influencé par des différences de température dans le procédé. Pour les installations de traitement présentant un potentiel de stratification thermique, il peut s'avérer intéressant de procéder à des essais additionnels afin de détecter des variations saisonnières d'efficacité hydraulique.

### **Procédés avec plusieurs segments en série**

Lorsque plusieurs étapes de traitement avec désinfection sont opérées en série, il est recommandé que chacune des étapes soit testée individuellement. Cependant, pour des considérations économiques, il peut être envisagé d'utiliser un seul essai de traçage pour l'ensemble du procédé. Dans de tels cas, le traceur est appliqué au point de désinfection le plus en amont. Le traceur est mesuré à la sortie de chacun des segments. Le  $T_{10}$  d'un segment individuel est alors égal au  $T_{10}$  total moins la somme des  $T_{10}$  des segments en amont d'un segment donné.

Dans l'exemple de la figure 10-1, le procédé est subdivisé en trois étapes de traitement. Une pré-désinfection au bioxyde de chlore est effectuée de façon à maintenir une concentration résiduelle de bioxyde de chlore ( $C_1$ ) à la sortie du segment 1. Par la suite, une post-chloration est effectuée à l'entrée du segment 3 de façon à maintenir une concentration résiduelle de chlore ( $C_3$ ). Un essai de traçage a été réalisé simultanément sur les segments 1, 2 et 3. Les  $T_{10}$  mesurés furent de 75 min pour le segment 1, 80 min pour les segments 1 et 2 et 360 min pour les segments 1, 2 et 3. Le  $T_{10}$  du segment 1 est donc de 75 min, celui du segment 2, de 5 min ( $80-75$ ) et enfin celui du segment 3, de 280 min ( $360-75-5$ ). Le calcul du CT pour ce système serait alors effectué en deux étapes correspondant à l'inactivation du segment 1 (grâce au CT du bioxyde de chlore) + l'inactivation du segment 3 (grâce au CT du chlore). Le segment 2 serait négligé pour le calcul du CT, à moins qu'une concentration de désinfectant résiduel y soit maintenue et qu'un appareil de lecture du désinfectant résiduel soit installé à la sortie afin de le contrôler.

**Figure 10-1 : Exemple d'application du principe d'évaluation des  $T_{10}$  pour des segments consécutifs**



### Considérations additionnelles

Pour de plus amples informations concernant les essais de traçage, le lecteur est prié de se référer à l'annexe D du document de l'USEPA (1999) intitulé : *Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual*.

### Exploitation des résultats de traçage

L'analyse des données des essais de traçage diffère selon que la méthode par injection continue ou celle par injection instantanée a été utilisée.

Pour la méthode par injection en continu, les données devraient être transcrites dans un tableau similaire au tableau 10-1. La concentration réelle est la concentration mesurée et corrigée pour le bruit de fond du traceur naturellement présent dans l'eau. La concentration normalisée est la concentration réelle divisée par la concentration de traceur appliquée (obtenue à la fin du traçage en période de stabilité).

Le  $T_{10}$  est obtenu à partir du moment où la concentration normalisée atteint une valeur de 0,10. Ainsi, dans l'exemple présent, le  $T_{10}$  se situe entre 15 et 18 min. Par interpolation, on obtient une valeur de 15,8 min. Prenons pour hypothèse que cet essai a été réalisé pour un temps de séjour théorique (T) de 45 min. Pour un tel cas, l'efficacité hydraulique serait :

$$Efficacité\ hydraulique = \frac{T_{10}}{T} = \frac{15,8}{45} = 0,35 \quad \text{Éq. 10-1}$$

**Tableau 10-1 : Exemple de résultats d'essais de traçage par injection en continu**

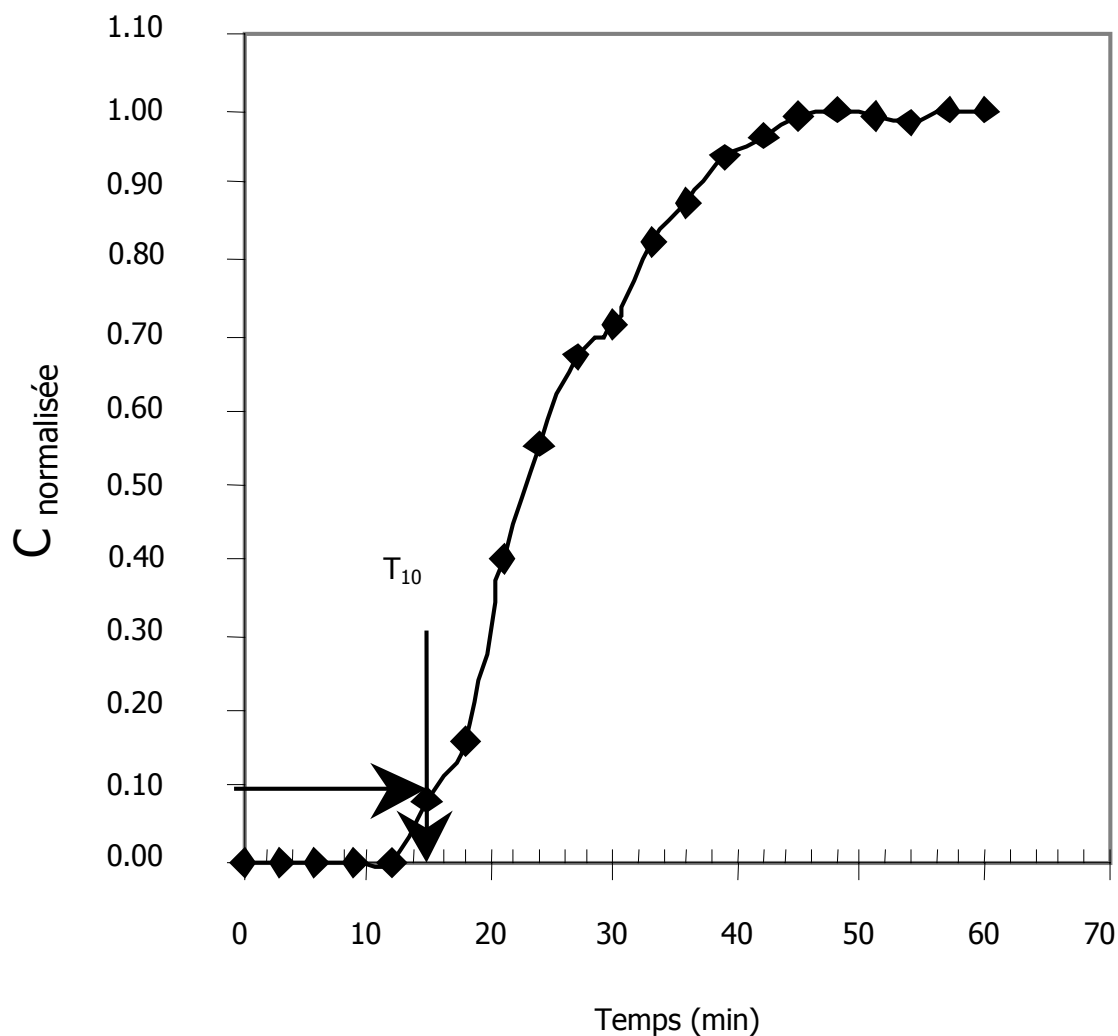
| <b>Temps<br/>(min)</b> | <b>C<sub>mesurée</sub><br/>(mg/L)</b> | <b>C<sub>réelle</sub><sup>1</sup><br/>(mg/L)</b> | <b>C<sub>normalisée</sub><sup>2</sup></b> |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 0                      | 0.20                                  | 0.00                                             | 0.00                                      |
| 3                      | 0.20                                  | 0.00                                             | 0.00                                      |
| 6                      | 0.20                                  | 0.00                                             | 0.00                                      |
| 9                      | 0.20                                  | 0.00                                             | 0.00                                      |
| 12                     | 0.20                                  | 0.00                                             | 0.00                                      |
| 15                     | 0.29                                  | 0.09                                             | 0.08                                      |
| 18                     | 0.38                                  | 0.18                                             | 0.16                                      |
| 21                     | 0.65                                  | 0.45                                             | 0.40                                      |
| 24                     | 0.82                                  | 0.62                                             | 0.55                                      |
| 27                     | 0.95                                  | 0.75                                             | 0.67                                      |
| 30                     | 1.00                                  | 0.80                                             | 0.71                                      |
| 33                     | 1.12                                  | 0.92                                             | 0.82                                      |
| 36                     | 1.18                                  | 0.98                                             | 0.88                                      |
| 39                     | 1.25                                  | 1.05                                             | 0.94                                      |
| 42                     | 1.28                                  | 1.08                                             | 0.96                                      |
| 45                     | 1.31                                  | 1.11                                             | 0.99                                      |
| 48                     | 1.32                                  | 1.12                                             | 1.00                                      |
| 51                     | 1.31                                  | 1.11                                             | 0.99                                      |
| 54                     | 1.30                                  | 1.10                                             | 0.98                                      |
| 57                     | 1.32                                  | 1.12                                             | 1.00                                      |
| 60                     | 1.32                                  | 1.12                                             | 1.00                                      |

1 :  $C_{réelle} = C_{mesurée} - \text{bruit de fond} = C_{mesurée} - 0,20 \text{ mg/L}$

2 :  $C_{normalisée} = C_{réelle}/C_{appliquée} = C_{réelle}/1,12 \text{ mg/L}$

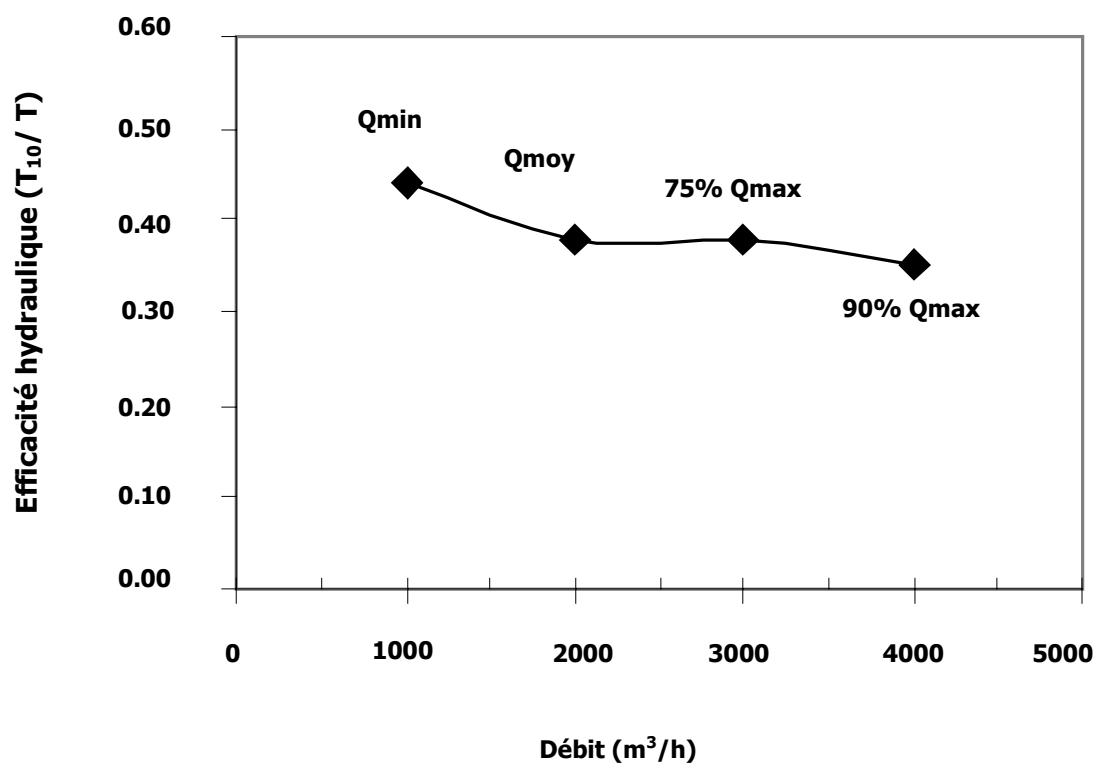
Alternativement, il est également possible de tracer la figure mettant en relation le temps et la concentration normalisée, tel qu'indiqué à la figure 10-2, puis de tracer manuellement une droite interceptant  $C_{normalisée} = 0,10$  et la courbe de traçage. Pour obtenir une bonne précision, il est souhaitable d'éclater l'échelle de façon à ne voir que la portion de la courbe comprise entre 0 et 0,20 (contrairement à la figure 10-2 qui présente l'ensemble de la courbe).

**Figure 10-2 : Exemple de résultat par essai de traçage avec injection en continu**



Une fois que les résultats de plusieurs essais de traçage obtenus à différents débits sont disponibles, il est alors possible de tracer un graphique tel qu'indiqué à la figure 10-3. Dans ce cas, quatre essais successifs ont été réalisés pour  $Q_{\min}$ ,  $Q_{\text{moy}}$ ,  $75\% Q_{\max}$  et  $90\% Q_{\max}$ . Les résultats indiquent que l'efficacité hydraulique du système augmente légèrement lorsque le débit diminue. Pour les besoins du calcul du  $CT_{10}$ , l'efficacité hydraulique à un débit donné peut être obtenue par interpolation.

**Figure 10-3 : Exemple d'un graphique décrivant l'efficacité hydraulique d'un bassin en fonction du débit y circulant**



Pour l'exploitation des résultats de la méthode par injection instantanée, il s'agit, dans un premier temps, de corriger la concentration mesurée pour la présence d'un bruit de fond ( $C_{réelle} = C_{mesurée} - \text{bruit de fond}$ ). Dans un deuxième temps, il est nécessaire de calculer l'aire sous la courbe  $C_{réelle}$  vs temps. En effet, le  $T_{10}$  est équivalent au temps requis pour récupérer 10% du traceur (en masse). Le tableau 10-2 indique que le  $T_{10}$  se situe entre 12 et 15 min. Par interpolation, on estime la valeur du  $T_{10}$  à 13,9 min.

Dans un dernier temps, il est nécessaire de vérifier le bilan de masse afin de s'assurer de la validité de l'essai. Le pourcentage de récupération du traceur est obtenu selon les équations 10-2 à 10-4 :

$$\text{Récupération (\%)} = \frac{\text{Masse récupérée}}{\text{Masse injectée}} \quad \text{Éq. 10-2}$$

$$\text{Masse récupérée} = \text{Aire totale} \times Q = 0,0591 \frac{\text{mg} \times \text{min}}{\text{L}} \times 6570 \text{Lpm} = 388,3 \text{ g} \quad \text{Éq. 10-3}$$

Où :

Aire totale est l'aire totale sous la courbe  $C_{réelle}$  vs temps et Q est le débit durant l'essai.

$$\text{Masse injectée} = Q_{\text{injection}} \times d \times C = 7,5 \text{ Lpm} \times 0,5 \text{ min} \times 108 \frac{\text{g}}{\text{L}} \quad \text{Éq. 10-4}$$

$$\text{Masse injectée} = 405 \text{ grammes}$$

Où :

$Q_{\text{injection}}$  est le débit de la pompe d'injection, d est la durée d'injection et C est la concentration de la solution mère de traceur à injecter.

Dans le cas présent, le pourcentage de récupération est de 95,9%. Le pourcentage de récupération devrait dépasser 90%. Une récupération trop faible peut être le signe de problèmes lors de la réalisation du traçage : échantillonnage trop peu fréquent, ou d'une durée insuffisante, etc.

**Tableau 10-2 : Exemple de résultats d'essais de traçage par injection instantanée**

| Temps<br>(min) | C <sub>mesurée</sub><br>(mg/L) | C <sub>réelle</sub> <sup>1</sup><br>(mg/L) | Aire<br>cumulative <sup>2</sup><br>(mg·min/L) | Aire<br>normalisée <sup>3</sup> |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| 0              | 0,20                           | 0,00                                       | 0,0                                           | 0,00                            |
| 3              | 0,20                           | 0,00                                       | 0,0                                           | 0,00                            |
| 6              | 0,20                           | 0,00                                       | 0,0                                           | 0,00                            |
| 9              | 0,20                           | 0,00                                       | 0,0                                           | 0,00                            |
| 12             | 1,20                           | 1,00                                       | 1,5                                           | 0,03                            |
| 15             | 3,60                           | 3,40                                       | 8,1                                           | 0,14                            |
| 18             | 3,80                           | 3,60                                       | 18,6                                          | 0,31                            |
| 21             | 2,00                           | 1,80                                       | 26,7                                          | 0,45                            |
| 24             | 2,10                           | 1,90                                       | 32,3                                          | 0,55                            |
| 27             | 1,40                           | 1,20                                       | 36,9                                          | 0,62                            |
| 30             | 1,30                           | 1,10                                       | 40,4                                          | 0,68                            |
| 33             | 1,50                           | 1,30                                       | 44,0                                          | 0,74                            |
| 36             | 1,00                           | 0,80                                       | 47,1                                          | 0,80                            |
| 39             | 0,60                           | 0,40                                       | 48,9                                          | 0,83                            |
| 42             | 1,00                           | 0,80                                       | 50,7                                          | 0,86                            |
| 45             | 0,60                           | 0,40                                       | 52,5                                          | 0,89                            |
| 48             | 0,80                           | 0,60                                       | 54,0                                          | 0,91                            |
| 51             | 0,60                           | 0,40                                       | 55,5                                          | 0,94                            |
| 54             | 0,40                           | 0,20                                       | 56,4                                          | 0,95                            |
| 57             | 0,50                           | 0,30                                       | 57,2                                          | 0,97                            |
| 60             | 0,60                           | 0,40                                       | 58,2                                          | 0,98                            |
| 63             | 0,4                            | 0,20                                       | 59,1                                          | 1,00                            |

1 :  $C_{réelle} = C_{mesurée} - \text{bruit de fond} = C_{mesurée} - 0,20 \text{ mg/L}$

2 :  $A_{n+1} = [(t_{n+1} - t_n) \times (C_{n+1} + C_n)/2] + A_n$

3 : Aire normalisée = Aire cumulative/A<sub>totale</sub> = Aire cumulative/59,1

### 10.3.2.3 Détermination du T<sub>10</sub> selon les critères de conception des bassins

À l'étape de la conception, il est nécessaire d'estimer l'efficacité hydraulique afin de concevoir les différents procédés de désinfection. La présente section vise à fournir des informations aux concepteurs afin de leur permettre d'estimer l'efficacité hydraulique de leurs ouvrages.

Tel que discuté à la section précédente, la conception des procédés de désinfection vise à maximiser un écoulement de type piston. Pour y arriver, le concepteur doit prévoir un nombre de chicanes suffisant de manière à éviter les courts-circuits. L'USEPA (1999) a publié un tableau décrivant les performances hydrauliques approximatives de différents types de bassins de désinfection. Cette description est présentée au tableau 10-3.

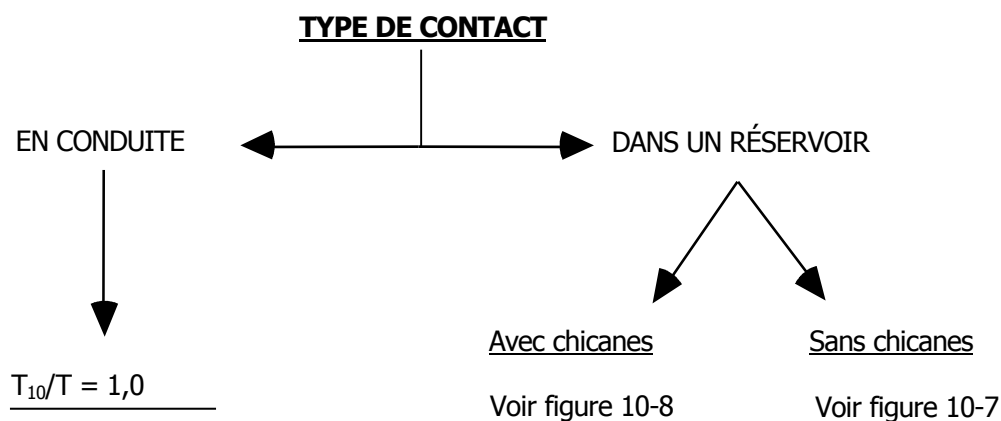
**Tableau 10-3 : Classification des bassins selon leur efficacité hydraulique**

| Efficacité hydraulique         | $T_{10}/T$ | Description des chicanes                                                                                                              |
|--------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sans chicanes (bassin mélangé) | 0,1        | Aucune chicane, bassin agité, ratio L/D faible <sup>1</sup> et vitesses d'entrée et/ou de sortie élevées.<br>(ex. : mélangeur rapide) |
| Faible                         | 0,3        | Aucune chicane dans le bassin, une ou des entrées/sorties sans chicanes<br>(ex. : décanteurs statiques sans chicanes)                 |
| Moyenne                        | 0,5        | Présence de quelques chicanes<br>(ex. : réserves d'eau potable)                                                                       |
| Supérieure                     | 0,7        | Présence de plusieurs chicanes dans le bassin et au niveau des entrées/sorties<br>(ex. : filtres rapides)                             |
| Idéale (écoulement piston)     | 1,0        | Ratio L/D très élevé <sup>1</sup><br>(ex. : écoulement en conduite)                                                                   |

1 : Ratio de la longueur caractéristique de l'écoulement divisée par la largeur.

Il importe de demeurer prudent avec les valeurs proposées par l'USEPA, lesquelles sont fournies à titre indicatif. Elles sont pratiques dans le cas d'une évaluation de l'efficacité hydraulique de décanteurs, flocculateurs, filtres ou mélangeurs rapides. En ce qui concerne les réserves en fin d'installation de traitement, il est plutôt recommandé d'évaluer le ratio  $T_{10}/T$  selon la méthode décrite à la figure 10-4.

**Figure 10-4 : Processus de sélection du  $T_{10}/T$  selon la conception des réserves**



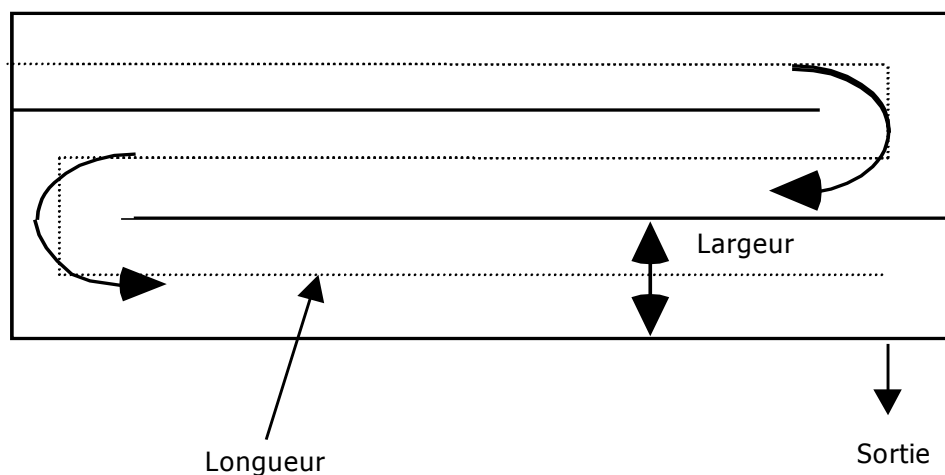
Dans un premier temps, le concepteur doit vérifier si la désinfection se réalise en conduite ou dans un bassin. Dans le premier cas, une efficacité hydraulique de 1,0 (ou 100%) est accordée. Si le contact a lieu dans un réservoir, il faut tout d'abord déterminer si des chicanes sont présentes.

- Dans l'affirmative, vérifier le rapport entre la longueur et la largeur de l'écoulement. La figure 10-5 explicite ce qu'on entend par longueur et largeur (selon une vue en plan d'une réserve d'eau traitée). Pour cet exemple, avec trois couloirs d'une largeur de 3,50 m chacun et une longueur totale (en pointillé) de 84 m, on calcule un ratio L/D de 24. En utilisant cette valeur en combinaison avec la figure 10.7, on obtient un  $T_{10}/T$  de 0,50. Pour les bassins avec une géométrie variable, faire le calcul du L/D partiel de chaque section de réservoir homogène et assigner à ces sections une valeur  $T_{10}/T$  selon la figure 10.7. Par la suite, faire la somme pondérée, selon l'équation 10-5, des efficacités hydrauliques pour chacun des  $n$  éléments constitutifs :

$$\frac{T_{10}}{T} global = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_{10}}{T} \right)_i \times \left( \frac{V_i}{V_{total}} \right) \quad \text{Éq. 10-5}$$

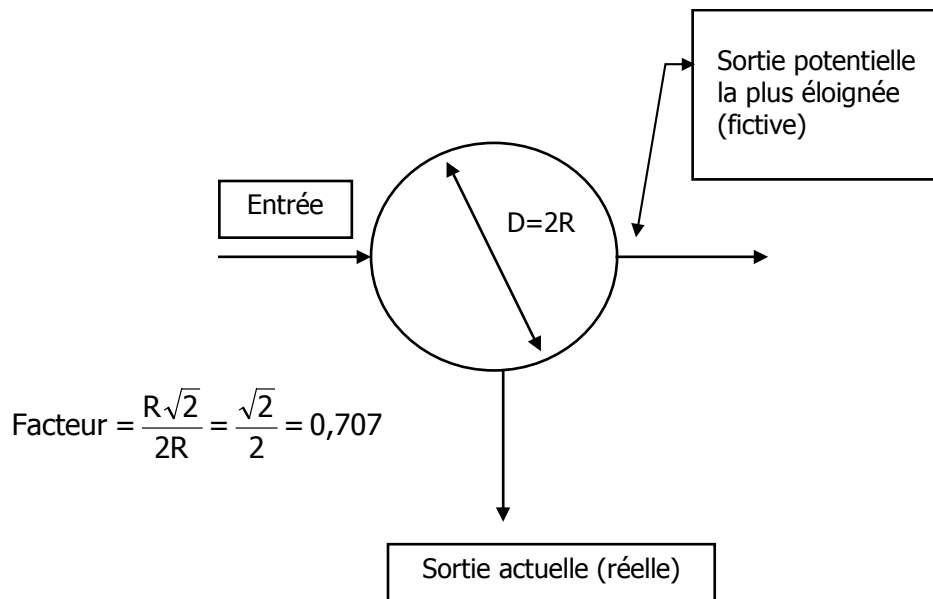
La pondération s'effectue en tenant compte du volume utile relatif ( $V_i/V_{total}$ ) de l'élément  $i$  considéré. Par exemple, si on ajoute au réservoir de la figure 10-5 une deuxième section avec une efficacité hydraulique de 0,20 et un volume utile représentant 25% du volume utile total, on peut affirmer selon l'équation 10-5 que le  $T_{10}/T$  est égal à 0,425 ( $25\% \times 0,20 + 75\% \times 0,50$ ).

**Figure 10-5 : Définition de la largeur et de la longueur d'écoulement (vue en plan)**

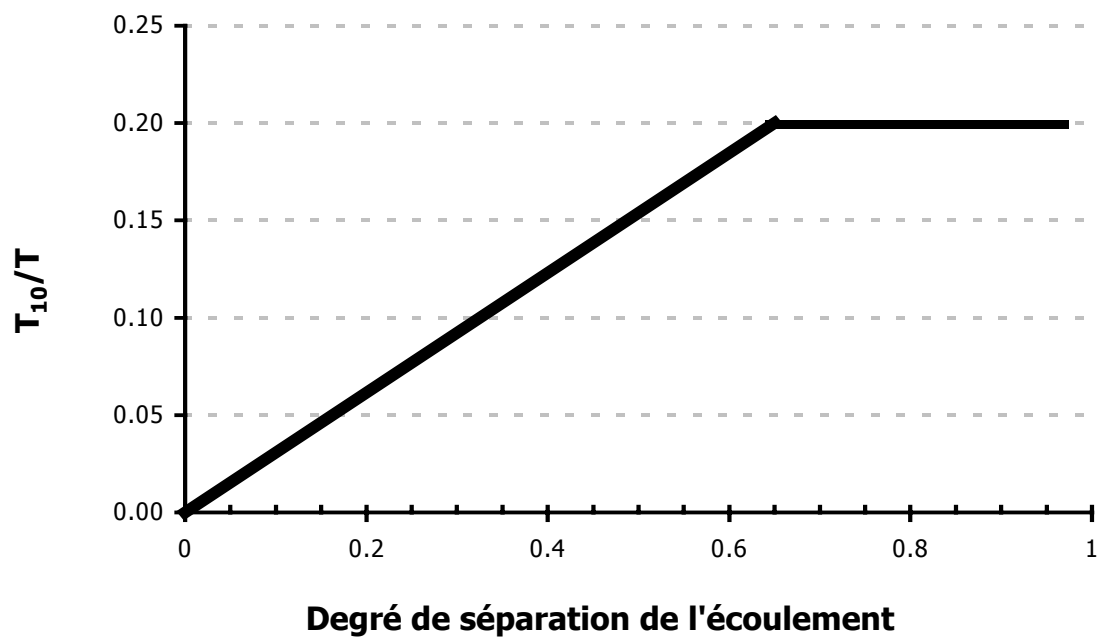


- Dans la négative (absence de chicanes), vérifier le degré de séparation entre l'entrée et la sortie du réservoir. Le degré de séparation est défini comme étant le ratio entre le chemin existant le plus court vers la sortie et le chemin fictif potentiellement le plus long vers la sortie pour une géométrie de réservoir donnée. Ainsi, dans la figure 10-6, le chemin le plus court est la ligne droite entrée-sortie ( $R\sqrt{2}$ ) et le chemin potentiel le plus long est le diamètre ( $2R$ ). Par conséquent, le degré de séparation est équivalent à  $R\sqrt{2}/2R = \sqrt{2}/2 = 0,707$ . Avec ce facteur on peut estimer un ratio  $T_{10}/T$  de 0,20 grâce à la figure 10-7.

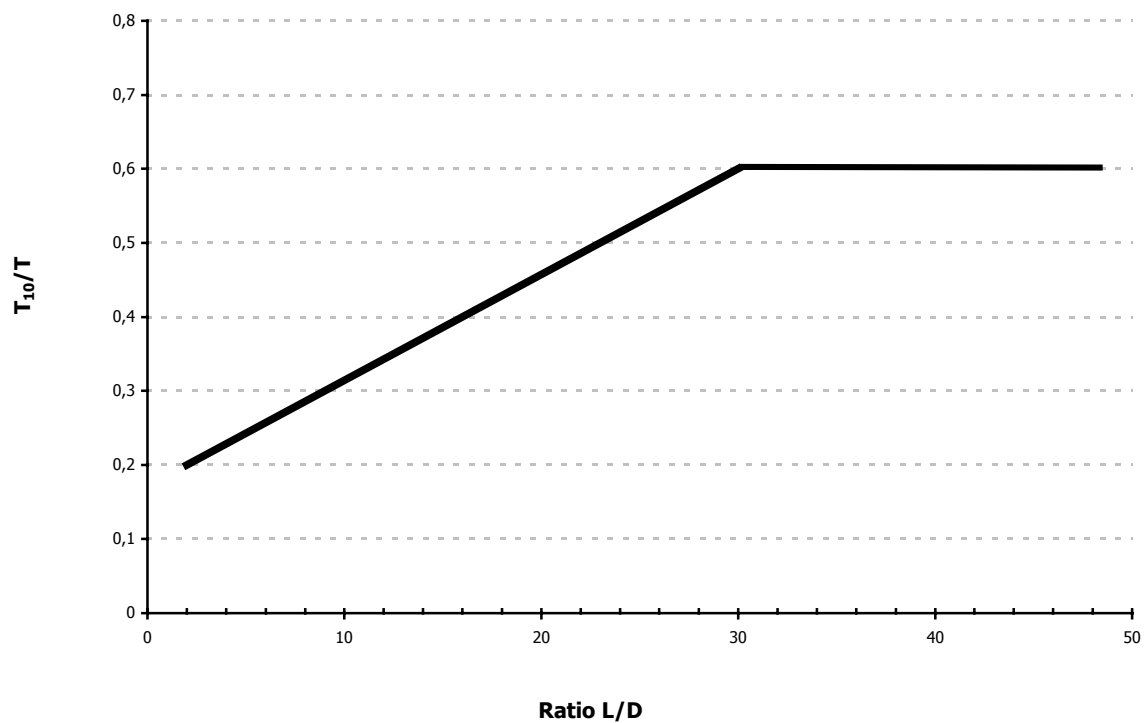
**Figure 10-6 : Exemple de calcul du degré de séparation de l'écoulement**



**Figure 10-7 : Valeurs de  $T_{10}/T$  pour des bassins sans chicanes**



**Figure 10-8 : Valeurs de  $T_{10}/T$  pour des bassins avec chicanes**



#### 10.3.2.4 Autres méthodes de détermination du $T_{10}$

##### **Méthode de traçage avec un modèle réduit**

La méthode de traçage en modèle réduit n'est pas encore officiellement acceptée par l'USEPA pour le calcul du CT sur une installation existante. Cependant, les modèles réduits peuvent être utilisés pour comparer différents scénarios à l'étape de conception. La modélisation à plus petite échelle est utilisée depuis plus de 100 ans dans le domaine du génie civil pour la conception d'infrastructures avec des résultats fiables et satisfaisants. Dans le domaine de l'eau potable, l'utilisation de tels modèles est encore en développement.

La construction de modèles réduits est régie par les lois de similitude. La construction de modèles réduits de réservoirs, qui sont affectés par la force gravitationnelle, peut être réalisée en utilisant la similitude de Froude, qui consiste à égaliser le nombre de Froude aux deux échelles. Plusieurs chercheurs (Bishop *et al.*, 1993) ont reproduit des réservoirs réels sous forme de modèles réduits en appliquant cette similitude avec des échelles variant de 1/15 à 1/42. Grayman *et al.*, (1996) ont construit trois bassins à des échelles de 1/160, 1/80 et 1/42. Les deux premiers modèles ont été abandonnés parce qu'ils se sont avérés trop petits pour la visualisation.

Le traçage en modèle réduit comporte plusieurs avantages : 1) il n'interfère pas avec les opérations courantes de l'installation de traitement; 2) la période de traçage est relativement courte; 3) le coût d'expérimentation est moins élevé; 4) il permet de tester plusieurs configurations et/ou modes d'opération. Selon des vérifications réalisées à l'échelle réelle, la distribution des temps de séjour en modèle réduit est généralement très bien simulée. Hagstrom *et al.*, (1997) ont construit un modèle de bassin de contact à une échelle de 1/16 résultant en un modèle de dimensions de 2,44 m par 2,44 m avec un temps de séjour de 23 min. La comparaison des résultats obtenus avec le modèle et celui à l'échelle réelle indique un écart type de 14% pour la valeur de  $T_{10}/T$  et un écart type de seulement 8% pour la distribution des temps de séjour lorsque tous les points sont considérés.

##### **Modèle de traçage numérique (CFD - *Computational Fluid Dynamics*)**

Le modèle numérique CFD simule mathématiquement l'évolution de traceur en bassin. Le bassin modélisé peut être représenté soit en deux (2-D) ou trois dimensions (3-D) et doit d'abord être divisé en éléments. Suite à cette division, à la définition des paramètres de simulation, des conditions frontières et des conditions initiales, les équations de mécanique des fluides et de diffusion peuvent être résolues à l'aide de deux méthodes, soit par éléments finis (résolution des équations par la méthode exacte) ou par différence finie (résolution par une méthode approximative).

Plusieurs chercheurs ont récemment utilisé des modèles hydrauliques numériques afin d'évaluer l'efficacité des bassins de contact d'ozone ou de chlore. Hannoun *et al.* (1998) ont utilisé un modèle en trois dimensions, écrit en FORTRAN 77, afin d'améliorer la performance de trois bassins de contact ayant des caractéristiques géométriques différentes. Le maillage choisi est plus dense pour les régions où le gradient de vitesse est élevé, pour les régions de turbulence à la paroi ainsi qu'à l'entrée et à la sortie du bassin. Après avoir défini la condition de turbulence avec une viscosité et plusieurs paramètres, les équations d'hydrodynamiques sont résolues par la

méthode d'éléments finis. La solution du champ de vitesses est obtenue lorsque le régime permanent est atteint. Pour l'évaluation du temps de séjour, le traçage des particules d'eau est basé sur le champ de vitesses obtenu.

Reddy *et al.* (1998) ont utilisé un modèle numérique d'éléments finis afin d'optimiser l'efficacité hydraulique et évaluer l'impact du jet d'eau à l'entrée de deux réservoirs rectangulaires, d'une capacité de 154,000 m<sup>3</sup>, appartenant à la ville de Phoenix (AZ). Pour ce faire, des chicanes et des diffuseurs ont été ajoutés aux réservoirs modélisés et une injection de type instantané a été utilisée comme méthode de traçage. Une validation du modèle numérique avec l'essai de traçage a été réalisée pour deux configurations de réservoirs, le premier contenant deux chicanes et le second, aucune. Les valeurs de T<sub>10</sub>/T mesurées étaient de 0,31 (±3%) et 0,12 (± 15%) respectivement. Évidemment, le développement d'un modèle numérique, en raison des coûts impliqués, est rentable surtout pour les projets de moyenne à grande envergure.

## 10.4 Revue et choix du mode de désinfection

### 10.4.1 Chlore

#### 10.4.1.1 Chimie du chlore

Le chlore destiné à la désinfection se retrouve normalement sous l'une des trois formes suivantes : gazeux, hypochlorite de sodium ou hypochlorite de calcium. Les sections qui suivent décrivent brièvement chacun de ces produits.

#### **Chlore gazeux**

Le chlore gazeux est rapidement hydrolysé dans l'eau pour donner de l'acide hypochloreux (HOCl) selon la réaction suivante :



On prendra note que l'addition de chlore gazeux dans l'eau en réduit le pH, car cela entraîne la formation d'un ion hydrogène.

L'acide hypochloreux est un acide faible (un pK<sub>a</sub> d'environ 7,5), ce qui signifie qu'il se dissocie légèrement en ions hydrogène et hypochlorite, tel que le montre l'équation 10-7 :



Quand le pH se situe entre 6,5 et 8,5, la dissociation demeure incomplète et les deux espèces (HOCl et OCl<sup>-</sup>) sont présentes jusqu'à un certain point (White, 1992). À un pH inférieur à 6,5 le HOCl ne se dissocie pas, alors qu'à un pH de 8,5 la dissociation en OCl<sup>-</sup> est complète. Comme l'effet germicide de HOCl est beaucoup plus important que celui d'OCl<sup>-</sup>, il est préférable d'effectuer la chloration à un pH plus bas.

## Hypochlorite

En plus du chlore gazeux, on peut se procurer le chlore sous forme d'hypochlorite aqueux ou solide. L'hypochlorite de sodium représente la forme aqueuse la plus courante. Pour ce qui est de la forme solide, c'est l'hypochlorite de calcium qu'on utilise le plus souvent (White, 1992).

### *Hypochlorite de sodium*

On produit l'hypochlorite de sodium en dissolvant du chlore gazeux dans une solution d'hydroxyde de sodium. De manière générale, une solution d'hypochlorite de sodium contient 12,5% de chlore disponible (White, 1992) et un gallon de solution renferme l'équivalent d'une livre de chlore.

L'équation suivante illustre la réaction qui se produit entre l'hypochlorite de sodium et l'eau :



L'équation 10-8 montre que l'ajout d'hypochlorite de sodium dans l'eau entraîne la formation d'acide hypochloreux, un peu comme dans le cas de l'hydrolyse du chlore gazeux (voir équation 10-6). Toutefois, contrairement à l'hydrolyse du chlore, l'ajout d'hypochlorite de sodium dans l'eau produit un ion hydroxyle qui fait grimper le pH. De plus, comme on utilise de l'hydroxyde de sodium en excès pour fabriquer l'hypochlorite de sodium, cela fait encore davantage augmenter le pH.

### *Hypochlorite de calcium*

On fabrique l'hypochlorite de calcium à partir du précipité issu de la dissolution de chlore gazeux dans une solution d'oxyde de calcium (chaux vive) et d'hydroxyde de sodium. L'hypochlorite de calcium granulaire du commerce contient habituellement 65% de chlore disponible. Cela signifie que 1,5 g de ce produit renferme l'équivalent d'un g de chlore. L'équation 10-9 illustre la réaction qui a lieu entre l'hypochlorite de calcium et l'eau :



D'après cette équation, on voit que l'addition d'hypochlorite de calcium dans l'eau produit elle aussi de l'acide hypochloreux, de manière similaire à l'hydrolyse du chlore gazeux (équation 10-6). Comme dans le cas de la solution d'hypochlorite, cet ajout entraîne la formation d'ions hydroxyles, qui font augmenter le pH de l'eau.

#### 10.4.1.2 Fabrication du chlore

Il est possible depuis peu de fabriquer sur place le chlore utilisé pour le traitement. Ces générateurs, qui ne nécessitent que du sel et de l'électricité, permettent au fournisseur d'eau de respecter les normes relatives à la désinfection et aux concentrations résiduelles. Ils sont de plus capables de fonctionner sans surveillance dans des endroits isolés. Parmi les facteurs à considérer pour cette option, il y a le coût, la concentration de la saumure produite, la facilité de se procurer les matières premières et la fiabilité du procédé (AWWA et ASCE, 1997).

### **Chlore gazeux**

On peut produire du chlore gazeux de plusieurs façons, y compris par l'électrolyse d'une saumure alcaline ou d'acide chlorhydrique, par une réaction entre du chlorure de sodium et de l'acide nitrique ou encore par l'oxydation de l'acide chlorhydrique. Environ 70% du chlore fabriqué aux États-Unis l'est par électrolyse d'une eau salée et de solutions caustiques à l'intérieur d'une cellule à diaphragme (White, 1992). Comme le chlore est un composé stable, il est généralement fait à l'extérieur par un fabricant de produits chimiques. Une fois produit, le chlore est liquéfié et mis sous pression pour son transport vers les lieux de traitement, dans des wagons-citernes, des camions-citernes ou des bouteilles.

### **Hypochlorite de sodium**

Il est possible de produire sur place des solutions diluées (moins de 1%) d'hypochlorite de sodium par un procédé de traitement électrochimique qui utilise une solution salée.

Habituellement, on désigne l'hypochlorite de sodium sous le nom d'eau de Javel ou de blanchisseur liquide. Les solutions d'hypochlorite de sodium de qualité commerciale ou industrielle titrent généralement entre 10 et 16%. La stabilité de la solution dépend de la concentration en hypochlorite, de la température d'entreposage, de la durée de l'entreposage, des impuretés contenues dans la solution et de son exposition à la lumière. La décomposition de l'hypochlorite dans le temps peut avoir une incidence sur le dosage effectué, de même qu'il peut engendrer des sous-produits indésirables tels que les ions chlorite et chlorate (Gordon *et al.*, 1995). De nombreux fournisseurs d'eau potable, en raison des difficultés liées à l'entreposage de l'hypochlorite, évaluent la possibilité de le produire sur place plutôt que de l'acheter du fabricant ou d'un distributeur (USEPA, 1998b).

### **Hypochlorite de calcium**

Pour produire de l'hypochlorite de calcium, on doit d'abord faire de l'acide hypochloreux en ajoutant de l'oxyde de carbone à l'eau, puis le neutraliser à l'aide d'un lait de chaux, ce qui donne une solution d'hypochlorite de calcium. On retire ensuite l'eau de la solution pour obtenir de l'hypochlorite de calcium granulaire. Le produit final contient normalement jusqu'à 70% de chlore disponible et de 4 à 6% de chaux. L'entreposage d'hypochlorite de sodium représente un danger considérable. En aucun cas, il ne faut l'entreposer près de sources possibles de chaleur, ni permettre qu'il entre en contact avec une substance organique facilement oxydable (USEPA, 1998b).

#### **10.4.1.3 Doses typiques de chlore**

Au tableau 10-4, on retrouve les doses typiques employées pour chaque type de chlore. La grande variabilité dans les doses de chlore gazeux résulte fort probablement de ce qu'il sert à la fois d'oxydant et de désinfectant. Bien que l'hypochlorite de sodium et l'hypochlorite de calcium puissent aussi remplir les deux rôles, leur coût plus élevé décourage parfois le choix de cette option.

**Tableau 10-4 : Doses typiques de chlore utilisées dans des installations de traitement d'eau potable**

| Composé chloré          | Échelle de doses |
|-------------------------|------------------|
| Hypochlorite de calcium | 0,5–5 mg/L       |
| Hypochlorite de sodium  | 0,2–2 mg/L       |
| Chlore gazeux           | 1–16 mg/L        |

Source : SAIC (1998) tel qu'adapté de l'examen par l'USEPA des *Initial Sampling Plans* des systèmes publics d'approvisionnement en eau, préparés dans le cadre de l'Information Collection Rule (ICR).

#### 10.4.1.4 Diminution des précurseurs de THM

Les études ont montré que, de manière générale, l'enlèvement des précurseurs des THM diminue le risque de formation des autres sous-produits de désinfection. D'habitude, la quantité totale de sous-produits formés diminue proportionnellement au degré d'enlèvement du COT. Selon de récents travaux de recherche, le déplacement du point de chloration vers l'aval du processus de traitement réduit parfois la quantité de sous-produits de désinfection.

Récemment, Summers *et al.* (1997) ont repris les résultats de quatre études qui évaluaient l'effet du prétraitement sur la formation des sous-produits de désinfection. Des essais de floculation (*jar Test*) ont reproduit le traitement de l'eau par mélange rapide, coagulation, floculation et décantation. Du chlore y était ajouté à différentes étapes afin de simuler l'effet que produirait ce dosage en différents points sur la formation de sous-produits. Les résultats ont clairement démontré les avantages de reporter les points de chloration en aval de la chaîne de traitement et de profiter ainsi de l'enlèvement des précurseurs par la floculation et la décantation. Le tableau 10-5 présente un résumé des résultats de cette étude.

**Tableau 10-5 : Pourcentage de réduction des sous-produits de désinfection obtenu grâce au déplacement de la chloration en aval du traitement**

| Point de chloration         | THM standard * (%)  | THM Accrue ** (%) | HAA5 Standard * (%) | HAA5 Accrue ** (%) |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| Avant le mélange rapide     | Donnée de référence | 17                | Donnée de référence | 4,7                |
| Après le mélange rapide     | 1,6                 | 21                | 5,3                 | 21                 |
| Au milieu de la floculation | 8,7                 | 36                | 14                  | 36                 |
| Après la décantation        | 21                  | 48                | 35                  | 61                 |

Source : USEPA (1997b), d'après Summers *et al.*, 1997.

Standard : dose standard de coagulant (alun) pour un enlèvement optimal de la turbidité (~30 mg/L).

\* Accrue : surdosage de coagulant (alun) pour un enlèvement optimal du COT (~52 mg/L).

Le tableau 10-5 montre également l'utilité de la coagulation avancée pour réduire la quantité de sous-produits de désinfection : la réduction de 21% des trihalométhane observée pour un déplacement de la chloration après la décantation se trouve plus que doublée (48%) par le surdosage de coagulant. Elle fait de plus passer l'enlèvement des acides haloacétiques (AHA) de

45% à 61% lorsque la chloration s'effectue après la décantation. On peut donc freiner de manière importante la formation de sous-produits de désinfection, à faible coût, en choisissant des conditions de chloration optimales, dont celui de l'emplacement.

White (1992) suggère que les objectifs du prétraitement comportent :

- Un enlèvement maximal des précurseurs des trihalométhanes;
- Une réduction de la concentration d'azote ammoniacal à 0,10 mg/L;
- Une baisse de la concentration d'azote organique à 0,05 mg/L;
- Une limitation de la demande en chlore (15 min) à 0,5 mg/L.

En se fiant à ces guides, on devrait pouvoir améliorer suffisamment la qualité de l'eau brute pour permettre l'usage de chlore résiduel libre sans excéder les limites fixées par l'USEPA concernant les THM.

#### 10.4.1.5 Effet des conditions environnementales sur l'efficacité de la chloration

Plusieurs facteurs environnementaux influencent l'efficacité avec laquelle le chlore désinfecte l'eau, y compris la température de l'eau, le pH, le temps de contact, le degré de mélange, la turbidité, les substances indésirables et la concentration de chlore disponible. On obtient normalement les meilleurs résultats avec des concentrations élevées de chlore résiduel, de longs temps de contact, une température élevée de l'eau et un bon mélange, combinés avec un faible pH, peu de turbidité et l'absence de substances nuisibles. De tous ces facteurs, ce sont le pH et la température qui produisent le plus d'effet sur l'inactivation des agents pathogènes par le chlore.

##### **pH**

Les propriétés germicides de l'acide hypochloreux (HOCl) sont de beaucoup supérieures à celles de l'ion hypochlorite (OCl<sup>-</sup>). Tel que mentionné précédemment, le pH détermine la distribution des espèces chlorées entre HOCl et OCl<sup>-</sup>. Comme le HOCl domine à un pH faible, la chloration s'y avère donc plus efficace. Au contraire, à des pH élevés, c'est le OCl<sup>-</sup> qui domine, ce qui nuit à l'efficacité de la désinfection.

Quant à l'efficacité de désinfection du chlore gazeux et celle de l'hypochlorite, elles sont les mêmes pour un pH identique après l'ajout du chlore dans l'eau. Il faut cependant remarquer ici que l'addition de chlore gazeux cause une diminution du pH (voir équation 10-6) alors que l'hypochlorite le fait augmenter (voir équations 10-8 et 10-9). En conséquence, si on n'ajuste pas le pH de l'eau traitée, le chlore gazeux exhibe une plus grande efficacité que l'hypochlorite.

Des études sur le terrain ont montré l'effet du pH sur la désinfection par le chlore. À titre d'exemple, des études portant sur l'inactivation des virus sont arrivées à la conclusion qu'il faut 50% plus de temps de contact à un pH de 7,0 qu'à un pH de 6,0 pour atteindre des niveaux d'inactivation comparables. Ces travaux ont aussi permis d'observer que, suite à une élévation de pH de 7,0 à 8,8 ou 9,0, il faut multiplier par six le temps de contact pour obtenir le même niveau d'inactivation des virus (Culp et Culp, 1974). Bien que ces études aient associé une baisse de l'inactivation à une hausse du pH, d'autres ont rapporté un effet contraire. En effet, on a trouvé

en 1972 que les virus étaient plus sensibles au chlore libre à des pH élevés qu'à des pH faibles (Scarpino *et al.*, 1972).

### **Température**

L'inactivation des agents pathogènes augmente avec la température, du moins en ce qui concerne les températures caractéristiques de la production d'eau potable. Des études portant sur l'inactivation des virus indiquent que, pour une baisse de température de 10°C de l'eau, il faut accroître de deux à trois fois le temps de contact si on veut conserver un degré d'inactivation comparable (Clarke *et al.*, 1962). Par contre, le chlore est plus stable en eau froide et le résiduel persiste plus longtemps. Ces effets peuvent partiellement compenser la baisse de température de l'eau pour assurer une désinfection adéquate.

### **Matières en suspension et solides dissous**

Parmi les substances présentes dans l'eau, les solides en suspension interviennent grandement dans le processus de désinfection. Les microbes et les micro-organismes peuvent se loger à l'intérieur de ces particules, restant ainsi insensibles au chlore.

Les solides dissous comme le fer et les matières organiques peuvent aussi affecter l'efficacité de la désinfection. Dans le processus de chloration, le chlore libre (HOCl et OCl<sup>-</sup>) réagit en premier lieu avec les composés inorganiques comme le fer et le soufre pour ensuite oxyder l'ammoniaque et les matières organiques. Une fois que toutes ces demandes sont satisfaites, le chlore libre restant réagit alors sur les microbes et les micro-organismes.

#### *10.4.2 Ozone*

##### 10.4.2.1 Applications de l'ozonation

### **Désinfection**

L'ozone est un agent oxydant puissant, capable de désinfecter l'eau à une concentration et un temps de contact moindres que ceux de désinfectants plus faibles comme le chlore, le bioxyde de chlore et la monochloramine (Demers et Renner, 1992). Malgré cela, l'ozone ne sert que de désinfectant primaire puisqu'il ne peut demeurer en concentration résiduelle suffisante dans le réseau de distribution. Pour obtenir une désinfection complète, il faut donc associer au traitement à l'ozone une désinfection secondaire à l'aide de chlore, de chloramine ou de bioxyde de chlore.

### **Oxydation du fer et du manganèse**

L'ozone oxyde le fer et le manganèse, transformant le fer ferreux (Fe<sup>2+</sup>) en fer ferrique (Fe<sup>3+</sup>) et le manganèse<sup>2+</sup> en manganèse<sup>4+</sup>. Ces métaux oxydés précipitent ensuite sous forme d'hydroxyde ferrique et d'hydroxyde de manganèse (AWWA, 1990). La formule chimique précise du précipité dépend de la nature de l'eau, de sa température et de son pH. L'oxydation requiert une quantité d'ozone de 0,43 mg/mg de fer et de 0,88 mg/mg de manganèse (Langlais *et al.*, 1991). Le fer s'oxyde à un pH variant entre 6 et 9 tandis que l'oxydation du manganèse est optimale à un pH d'environ 8. De plus, une ozonation excessive n'a aucun effet sur le fer, mais rend à nouveau soluble le manganèse qu'il faudra alors réduire en bioxyde de manganèse plus loin dans le procédé.

### **Oxydation des composés responsables de l'odeur et du goût**

On utilise l'ozone pour oxyder (détruire) les composés responsables de l'odeur et du goût dans l'eau car plusieurs d'entre eux sont très résistants à l'oxydation. Suffet *et al.* (1986) ont découvert que des concentrations de 2,5 et 2,7 mg/L pendant un temps de contact de 10 min (concentration résiduelle d'ozone de 0,2 mg/L) réduisaient de façon notable le goût et l'odeur des eaux qu'ils ont étudiées. La plupart des premières installations de production d'eau potable des États-Unis (c.-à-d. construites entre 1940 et 1986) ont intégré l'ozonation à leur traitement tout spécialement pour l'élimination du goût et de l'odeur.

### **Contrôle des précurseurs des sous-produits de désinfection**

Les premiers travaux portant sur l'oxydation des précurseurs des sous-produits de désinfection semblaient indiquer que les effets de l'ozonation, effectuée avant la chloration, variaient selon les cas et étaient imprévisibles (Umphries *et al.*, 1979). Les variables clés qui gouverneraient les effets de l'ozone seraient la dose, le pH, l'alcalinité et surtout la composition de la matière organique. À des pH faibles, l'ozone détruit assez efficacement les précurseurs. Mais au-dessus d'un certain pH critique, l'ozone s'avère en fait moins efficace et cause parfois même une augmentation des précurseurs de sous-produits de chloration. Pour la plupart des substances humiques, ce pH critique se situe à 7,5 et correspond approximativement au niveau où la décomposition de l'ozone en radicaux libres hydroxyles s'accélère, entraînant un accroissement du taux d'oxydation de la matière organique. Cela implique donc qu'à un faible pH (environ 6-7), quand l'ozone moléculaire prédomine sur le radical libre hydroxyle, les premiers précurseurs des trihalométhanes sont différents en nature de ceux formés par les radicaux libres hydroxyles oxydés à des pH plus élevés. Cela est logique si l'on considère que le radical libre hydroxyle présente un potentiel d'oxydation plus grand que celui de l'ozone.

L'augmentation de l'alcalinité a un effet bénéfique sur le potentiel de formation des trihalométhanes (pTTHM) (Langlais *et al.*, 1991). Cela est dû au fait que l'alcalinité accapare tous les radicaux libres hydroxyles formés durant l'ozonation, laissant l'ozone moléculaire comme seul agent oxydant. Ce dernier est seulement capable d'oxyder des précurseurs organiques selon une séquence d'oxydation plus basse que le ferait le radical libre hydroxyle. On a observé des réductions de 3 à 20% du pTTHM pour des concentrations d'ozone allant de 0,2 à 1,6 mg d'ozone par mg de carbone et à des conditions de pH neutre et d'alcalinité bicarbonatée moyenne (Singer *et al.*, 1989; Georgeson et Karimi, 1988).

### **Intensification de la biodégradation**

L'ozone peut s'avérer efficace pour oxyder partiellement la matière organique de l'eau, produisant ainsi des composés biodégradables que la biofiltration est ensuite en mesure d'éliminer (Demers et Renner, 1992). Cette oxydation partielle produit en effet des composés organiques de moindre poids moléculaire et donc plus aisément biodégradables. Une ozonation de modérée à forte (correspondant aux doses d'ozone couramment employées pour la désinfection) entraîne ainsi une augmentation de la fraction biodégradable du carbone organique.

### **Amélioration de l'efficacité de la floculation et de la filtration**

Certaines études ont montré que l'ozone accroissait l'efficacité de la floculation et de la filtration (Gurol et Pidotella, 1993; Farvardin et Collins, 1990; Reckhow *et al.*, 1993; Stolarik et Christie,

1997). D'autres n'ont cependant observé aucune amélioration de la turbidité de l'eau filtrée (Tobiason *et al.*, 1992; Hildebrand *et al.*, 1986). Prendiville (1986) a rassemblé des données provenant d'une grande installation de production d'eau potable et qui montraient qu'une pré-ozonation était plus efficace qu'une pré-chloration dans la réduction de la turbidité de l'eau filtrée. La cause de cette amélioration demeure incertaine, mais on en a tiré plusieurs explications (Reckhow *et al.*, 1986), dont :

- Les composés organiques s'oxyderaient en une forme présentant une plus grande polarité;
- Les ions métalliques s'oxyderaient pour donner des complexes insolubles tels que les complexes de fer ferrique.

L'ozonation peut prévenir la formation de l'ion bromate à des valeurs de pH acide pour lesquelles l'acide hypobromeux prévaut sur l'ion hypobromite, absent à ce moment (Haag et Hoigné, 1984; Amy et Siddiqui, 1991; Krasner *et al.*, 1993). Inversement, à un pH alcalin, l'ozone peut oxyder davantage l'acide hypobromeux pour produire l'ion bromate. Les faibles valeurs de pH favorisent la formation de sous-produits organiques bromés, tandis que des pH plus élevés encouragent la production d'ions bromates. Il existe donc certaines limites à l'ozonation pour le traitement d'eaux contenant des ions bromures. Il est possible de minimiser la formation d'ions bromates en abaissant la concentration d'ions bromures, la concentration résiduelle d'ozone et le pH. Le fait d'ajouter de l'ammoniaque en même temps que l'ozone entraîne la formation de bromamines et réduit ainsi la quantité d'ions bromates et de sous-produits organiques engendrés (Amy et Siddiqui, 1991; Metropolitan Water District of Southern California (MWDSC) et JMM, 1992). L'ammoniaque risque cependant de servir de nutriment à des bactéries nitrifiantes.

#### 10.4.2.2 Production d'ozone à partir d'oxygène

L'oxygène peut avantageusement remplacer l'air comme source d'approvisionnement pour produire l'ozone. Deux alternatives se posent alors à l'exploitant. La première consiste à produire l'oxygène sur place, ce qui n'est viable que pour des installations de très grande importance. La seconde, s'adressant à une gamme plus étendue de capacités de production, consiste à s'approvisionner en oxygène liquide auprès d'un fournisseur. Le produit est alors livré au besoin par camion-citerne et entreposé sur le site dans un réservoir à cet effet. Il est évaporé suivant la demande du procédé. Les systèmes d'ozonation alimentés à partir d'oxygène atteignent des performances plusieurs fois supérieures à leurs équivalents approvisionnés par de l'air comprimé. En outre, l'emploi de ce gaz très pur élimine le recours à la traditionnelle filière de compression et de préparation de l'air de procédé qui exige beaucoup d'entretien, surtout lorsque sa conception est imparfaite.

La production d'oxygène par cryogénie est un processus complexe et faisable seulement dans le cas des grandes installations de traitement. Dans l'adsorption modulée en pression, un tamis moléculaire spécial mis sous pression enlève de manière sélective l'azote, le gaz carbonique, la vapeur d'eau et les hydrocarbures de l'air pour produire un gaz riche en oxygène (de 80 à 95% d'O<sub>2</sub>). Les appareils utilisés dans ce procédé ressemblent à ceux des unités d'alimentation en air à haute pression : les deux procédés utilisent du matériel d'adsorption moléculaire modulée en pression. Quant aux unités d'alimentation en air à basse pression, on y retrouve un dessiccateur activé par la chaleur.

#### 10.4.2.3 Particularités du système d'alimentation en gaz

Les particules supérieures à 1  $\mu\text{m}$  et les gouttelettes d'huile de plus de 0,05  $\mu\text{m}$  doivent être retirées à l'aide d'un filtre (Langlais *et al.*, 1991). S'il y a des hydrocarbures dans le gaz d'alimentation, il faut faire suivre la première filtration d'une seconde, dans des filtres de charbon activé granulaire. On peut enlever l'humidité de l'air soit par compression ou refroidissement (pour les grandes unités), ce qui diminue la capacité de rétention de l'air, soit par l'utilisation d'un dessiccateur, qui élimine l'humidité de l'air à l'aide d'un matériau spécial. Toutes les unités de conditionnement doivent comprendre des dessiccateurs. Les particules, grandes ou petites, ainsi que l'humidité entraînent la formation d'arcs électriques (ou étincelles) qui endommagent les diélectriques du générateur.

De façon générale, les dessiccateurs comportent deux tours, ce qui permet la régénération de la tour saturée pendant que l'autre fonctionne. L'humidité est chassée du dessiccateur par une source de chaleur externe ou par le passage à pression réduite d'une partie (10 à 30%) de l'air sec dans la tour saturée.

Aux États-Unis, et notamment dans les petites installations, on trouve surtout des compresseurs alternatifs et des compresseurs à anneau liquide : les premiers parce que cette technologie est très répandue, les deuxièmes parce qu'ils ne requièrent pas d'étape de refroidissement subséquente. On utilise fréquemment des réservoirs d'air afin de pouvoir fournir un débit d'air variable à partir de compresseurs à volume constant. Les unités récentes sont munies de compresseurs non lubrifiés, ce qui permet de prévenir la présence d'hydrocarbures dans le gaz d'alimentation (Dimitriou, 1990).

#### 10.4.2.4 Particularités des générateurs d'ozone

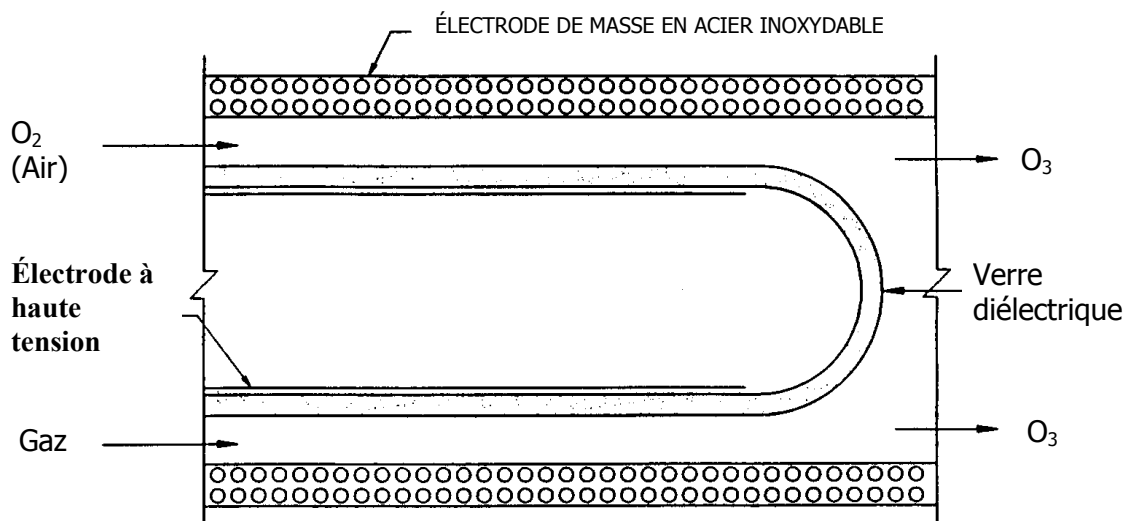
La tension nécessaire pour produire de l'ozone en utilisant les propriétés de la décharge par effluve est proportionnelle à la pression du gaz entrant dans le générateur et à la distance entre les électrodes. En théorie, une tension, une fréquence et une constante diélectrique élevées ainsi qu'une diélectrique mince offriraient le meilleur rendement (quantité d'ozone produit par unité de surface de diélectrique). Il y a cependant des limites pratiques à ces paramètres. Au fur et à mesure que la tension augmente, les électrodes et le matériau diélectrique deviennent de plus en plus fragiles. Travailler à de hautes fréquences produit de plus grandes concentrations d'ozone, mais aussi plus de chaleur : il faut alors avoir recours à davantage de refroidissement pour éviter la décomposition de l'ozone. Finalement, les travaux d'entretien ont plus de chance de causer la perforation de diélectriques minces. Ainsi, la conception de tout générateur commercial doit parvenir à un équilibre raisonnable entre le taux de production d'ozone, la fiabilité des appareils et l'entretien qu'ils requièrent.

Il existe dans le commerce deux configurations différentes pour les électrodes des générateurs d'ozone : les cylindres concentriques et les lames parallèles. Ces dernières se retrouvent couramment dans les petits générateurs et il est possible de les refroidir à l'air. La figure 10-9 montre la configuration de base des électrodes cylindriques concentriques. L'électrode de verre

diélectrique à haute tension des générateurs du commerce ressemble à un tube fluorescent et on la désigne communément sous le nom de «tube diélectrique».

La plus grande partie de l'énergie électrique (environ 85 %) consommée par un générateur d'ozone est perdue sous forme de chaleur (Rice, 1996). Comme la chaleur nuit à la production d'ozone, il faut, pour assurer le bon fonctionnement du générateur, effectuer un refroidissement suffisant. On évacue généralement l'excès de chaleur en faisant circuler de l'eau autour des électrodes de masse en acier inoxydable. Les tubes sont placés à l'horizontale ou à la verticale, selon les cas, dans un corps en acier inoxydable, et l'eau de refroidissement s'écoule à l'intérieur de ce dernier.

**Figure 10-9 : Représentation d'une électrode cylindrique**



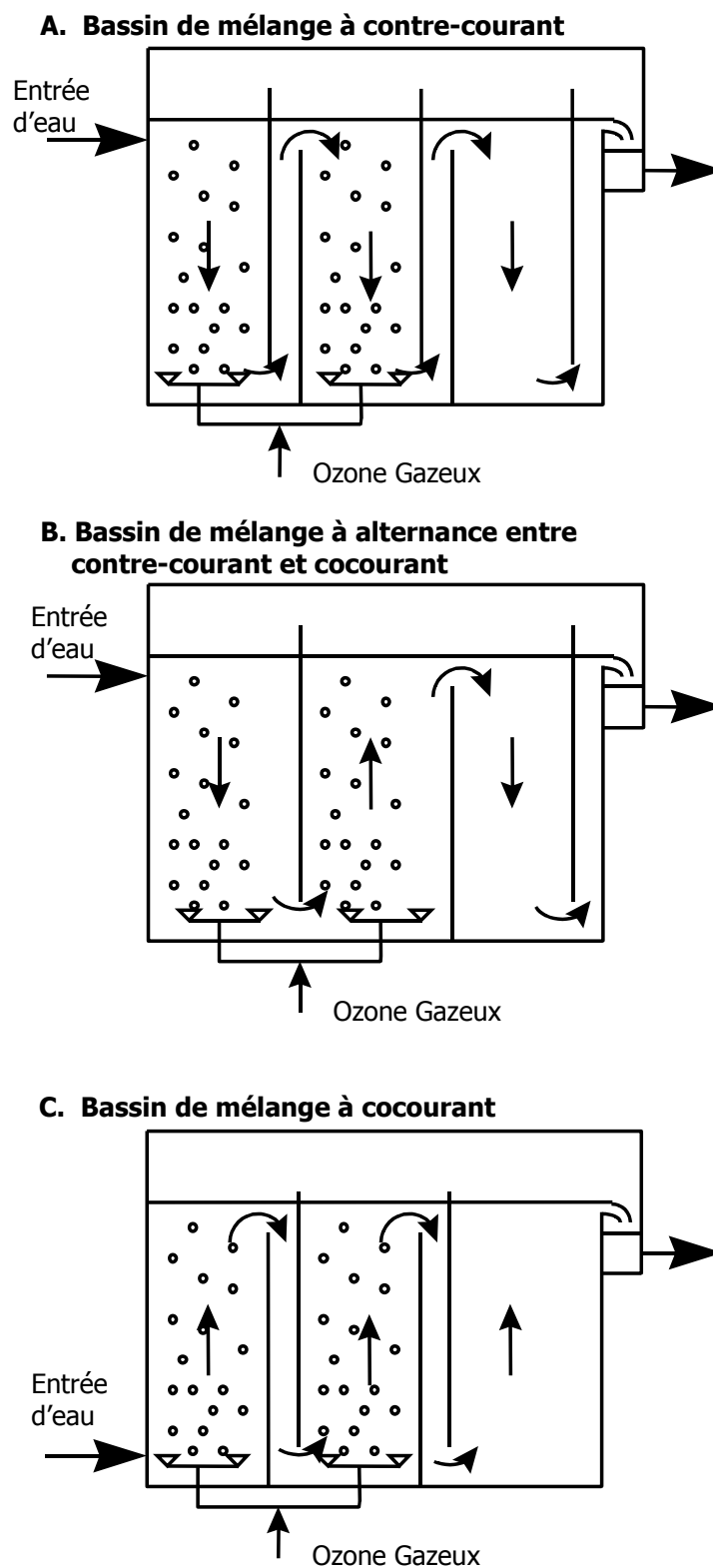
#### 10.4.2.5 Particularités des bassins de mélange

##### **Bassins de mélange à diffusion**

Les bassins de mélange à diffusion sont couramment employés, aux États-Unis et dans le monde entier, pour faire réagir l’ozone avec l’eau (Langlais *et al.*, 1991). Cette méthode présente l’avantage de ne nécessiter aucune énergie supplémentaire, elle procure de plus un taux élevé de transfert de l’ozone, elle offre un procédé flexible, facile à faire fonctionner et elle ne comprend aucune pièce mobile. La figure 10-10 illustre bien les trois configurations types de bassins de mélange à diffusion : à contre-courant (l’ozone et l’eau circulant en sens opposés), à alternance entre contre-courant et co-courant et finalement à co-courant (l’ozone et l’eau circulant dans le même sens). De plus, le nombre de phases varie de deux à six pour la désinfection, la majorité des installations utilisant deux ou trois compartiments les uns à la suite des autres pour le mélange et les réactions (Langlais *et al.*, 1991).

Les bassins de mélange à diffusion sont généralement conçus de façon à accueillir de 5,5 m à 6,6 m de profondeur d’eau et à atteindre un taux de transfert d’ozone variant entre 85 et 95%. Étant donné que l’ozone ne se dissout pas au complet dans l’eau, les compartiments du bassin de mélange sont recouverts afin de contenir le gaz excédentaire. L’effluent gazeux est ensuite dirigé vers une unité qui détruit l’ozone par un traitement le plus souvent catalytique, thermique, ou une combinaison des deux. Le catalyseur a une durée de vie utile d’environ huit ans.

Figure 10-10 : Bassin de mélange à diffusion d'ozone



Les bassins de mélange à diffusion produisent des bulles de gaz à l'aide de diffuseurs en céramique ou en acier inoxydable, en forme de tiges ou de disques. Ces diffuseurs sont conçus, entre autres (Renner *et al.*, 1988), de manière à :

- Permettre un débit de gaz variant entre 10 à 100 L/min;
- Ne pas occasionner de perte de pression supérieure à 3.5 kPa;
- Offrir une perméabilité de 1,5 à 11 m<sup>3</sup>/min/mi<sup>2</sup>/cm d'épaisseur du diffuseur et une porosité de 35 à 45%.

Idéalement, la conception du bassin de mélange devrait être faite dans le but d'obtenir un écoulement en piston. Une telle configuration minimise le volume total du bassin de mélange tout en permettant de satisfaire aux exigences de CT du système global. On détermine la capacité du bassin en combinaison avec les doses d'ozone appliquées et en faisant une estimation de la concentration résiduelle permettant de se conformer aux normes de désinfection (CT). Le lecteur est prié de se référer à la section 11.1 pour de plus amples informations sur le calcul du CT.

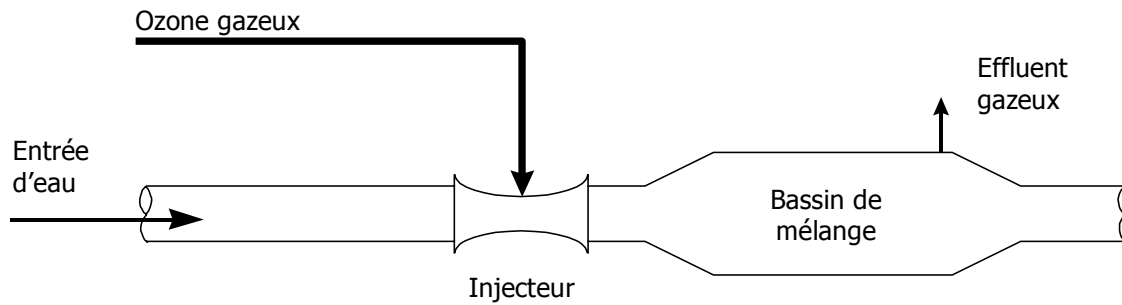
En outre, lorsque le dosage de l'ozone est irrégulier ou qu'il faut procéder à une oxydation du fer et du manganèse, il peut se produire une obstruction des pores des diffuseurs. Le cheminement préférentiel des bulles de gaz dépend du type de diffuseur utilisé et de l'espace entre les diffuseurs.

### **Dissolution par injection**

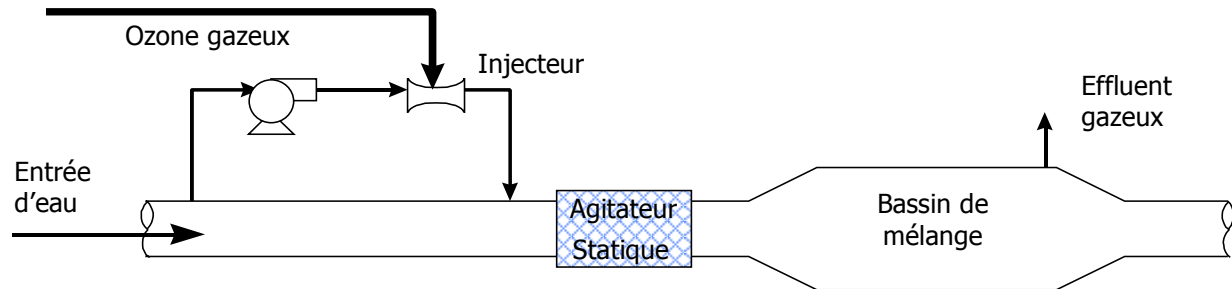
Le mélange à l'aide d'injecteurs est courant en Europe et aux États-Unis (Langlais *et al.*, 1991), mais cette méthode n'est pas très répandue au Canada. L'ozone est injecté dans l'eau sous une pression négative produite par un tube de Venturi, qui aspire ainsi l'ozone dans la conduite d'eau. Dans plusieurs cas, on pompe de l'eau à une plus grande pression dans une conduite latérale afin d'accroître la pression négative nécessaire à l'injection de l'ozone. Une fois le gaz injecté dans la conduite secondaire, cette dernière rejoint la conduite principale où un flot turbulent vient renforcer la dispersion du gaz dans l'eau. La figure 10-11 montre des exemples caractéristiques de systèmes d'injection directe et par conduite latérale.

**Figure 10-11 : Systèmes d'injection d'ozone**

**A. Système d'injection directe**



**B. Système d'injection pour une conduite secondaire**



Le rapport de la quantité de gaz avec celle du liquide constitue un paramètre clé dans la conception des systèmes de mélange par injection. Pour un taux de transfert optimal, ce ratio devrait se situer sous 0,5 L/L (Langlais *et al.*, 1991). Pour satisfaire à ce critère, il faut généralement de faibles doses d'ozone à des concentrations supérieures à 6% en poids (DeMers et Renner, 1992). Il est possible de produire un gaz riche en ozone en se servant d'un générateur à fréquence moyenne : on peut aussi utiliser de l'oxygène liquide comme gaz d'alimentation.

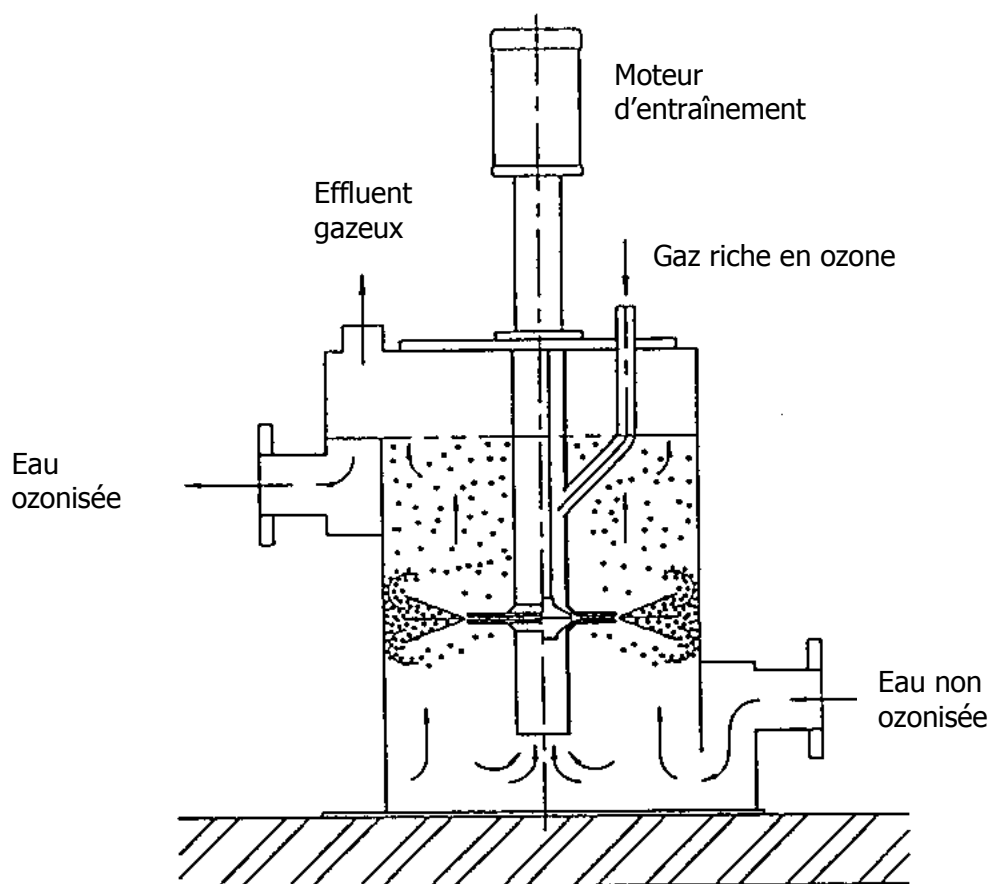
Le respect des normes de désinfection exige un certain temps de contact supplémentaire après l'injection, normalement dans un réacteur piston. Le volume requis pour ce temps de contact est déterminé en combinaison avec les doses d'ozone et l'estimation des concentrations résiduelles nécessaires pour satisfaire aux exigences de désinfection (CT).

### **Agitateurs à axe vertical**

On utilise les agitateurs à axe vertical pour introduire l'ozone dans le bassin et le mélanger à l'eau. La figure 10-12 illustre un exemple typique d'un bassin de mélange avec agitateur. Sur la configuration particulière montrée sur cette figure, le moteur se trouve à l'extérieur du bassin, ce qui permet d'y avoir accès pour l'entretien. Mais on retrouve aussi des unités où la turbine est immergée. Ce genre d'unité augmente cependant les coûts d'entretien. Cette méthode obtient parfois un transfert d'ozone de plus de 90%. Pour atteindre ce rendement, toutefois, il faut de 2,2 à 2,7 kWh d'électricité pour chaque livre d'ozone transférée (Dimitriou, 1990).

Les bassins munis d'agitateurs à axe vertical ont une profondeur allant de 2 m à 5 m et la zone de dispersion de l'ozone varie entre 1,5 m et 5 m (Dimitriou, 1990). Comme pour le mélange par injection, il est possible que le temps de contact ne soit pas suffisant pour répondre aux exigences en matière de désinfection (produit CT) puisque ce genre de bassin s'apparente à un réacteur parfaitement mélangé et possède donc une faible efficacité hydraulique ( $T_{10}/T$ ). Il peut donc s'avérer nécessaire d'ajouter un (des) bassin(s) de contact supplémentaire(s).

**Figure 10-12 : Bassin de mélange avec agitateur à axe vertical**



#### 10.4.2.6 Influence sur les autres traitements

L'ozonation a une influence certaine sur les autres traitements effectués dans une installation de production d'eau potable. Parmi ces effets, on retrouve entre autres les suivants :

- L'utilisation d'ozone produit des matières organiques biodégradables (CODB ou COA), ce qui risque d'entraîner la croissance d'organismes vivants et par là même (s'ils ne sont pas enlevés par une biofiltration) une accélération de la corrosion du réseau de distribution. Lorsque l'ozonation a lieu avant les biofiltres, l'augmentation de la croissance d'organismes risque également de demander des lavages à contre-courant plus fréquents;
- L'ozone est un agent oxydant puissant qui réagit avec les autres oxydants tels que le chlore, le bioxyde de chlore et la monochloramine;
- L'oxydation du fer et du manganèse par l'ozone produit des oxydes insolubles qui doivent ensuite être retirés par décantation ou filtration. Ces oxydes insolubles produisent également un effet sur les filtres puisqu'ils augmentent la charge à filtrer et il devient ainsi nécessaire d'effectuer de plus fréquents lavages à contre-courant;
- L'ozonation ou la pré-ozonation de la plupart des eaux brutes permet de réduire la demande subséquente de l'eau filtrée en chlore, bioxyde de chlore ou monochloramine. Il est ainsi possible de maintenir une concentration résiduelle stable de composés de chlore à un niveau beaucoup plus faible.

#### 10.4.2.7 Filtration biologique

L'ozonation permet généralement d'améliorer la biodégradabilité des matières organiques naturelles (MON) dans l'eau parce qu'elle transforme de nombreuses grosses molécules organiques en plus petites molécules, plus faciles à biodégrader. Cette augmentation du carbone organique dissous biodégradable (CODB) risque, s'il n'est pas enlevé en cours de traitement, d'entraîner une accélération de la croissance bactérienne ou sa recroissance dans le réseau de distribution. LeChevallier *et al.* (1992) ont découvert qu'il pourrait s'avérer nécessaire de maintenir des niveaux de carbone organique assimilable (COA) inférieurs à 100 ppb, si le traitement ne les enlève pas, afin de prévenir une trop grande recroissance bactérienne dans le réseau de distribution.

La filtration biologique (Price, 1994) comporte notamment les avantages suivants et qui ont été observés dans la plupart des installations américaines de production d'eau potable utilisant l'ozone :

- Elle produit une eau stable au point de vue biologique, ne favorisant pas de croissance bactérienne ou de recroissance excessive dans le réseau de distribution;
- Elle enlève la matière organique naturelle (MON) pouvant servir de précurseur à la formation de sous-produits de désinfection au chlore;
- L'ozonation utilisée comme désinfection primaire avant la filtration biologique réduit la concentration de CODB dans l'eau filtrée, réduisant ainsi la probabilité de recroissance bactérienne dans le réseau de distribution;

- Elle réduit la concentration résiduelle de désinfectant dans l'eau traitée, ce qui aidera les installations à se conformer à d'éventuelles réglementations limitant cette concentration;
- Elle enlève les sous-produits de l'ozonation ou prévient leur formation.

Les filtres à sable (lents ou rapides) et les filtres au charbon actif granulaire (CAG) peuvent supporter une activité biologique car ils présentent une surface de contact permettant aux bactéries de se fixer. Divers facteurs tels que la surface disponible, la vitesse de filtration, le temps de contact, la présence de nutriments, la température, et plusieurs autres, déterminent le rendement du filtre et sa capacité à enlever le CODB. La biomasse se développe davantage sur le CAG car il possède une surface plus poreuse que l'anthracite et le sable. Au Québec, la filtration biologique a été appliquée avec succès et ce, même en eaux froides. Mentionnons que les municipalités de Terrebonne, St-Jovite et Laval (Ste-Rose) utilisent ce type de procédé.

#### *Filtres lents à sable*

L'addition d'ozone avant la filtration lente sur sable peut améliorer d'environ 35% le taux d'enlèvement du COT (Rachwal et al., 1988; Zabel, 1985). Il est également possible d'accroître de cette manière l'efficacité de l'enlèvement du CODB (Eighmy et al., 1991; Malley et al., 1993).

#### *Filtres rapides à sable*

La recherche dans le domaine des filtres rapides à sable actifs biologiquement a porté sur la réduction du carbone organique assimilable (COA) au lieu du CODB. Bien que les études ont démontré que la filtration rapide sur lit de sable ou sur lit bicouche réduit la quantité de COA suite à une ozonation, le COA ne mesure pas tout le CODB. En fait le COA comprend seulement la portion du CODB qui est plus facilement assimilable ou biodégradable par deux micro-organismes en particulier, en laboratoire et dans des conditions spécifiques. Les résultats de recherche démontrent qu'il peut se produire une biodégradation du COA dans les filtres rapides. Il faut cependant considérer ces résultats avec prudence puisque le COD qui se dégrade plus lentement, et qui n'est pas pris en compte dans la mesure de COA, passe peut-être à travers les filtres rapides.

#### *Charbon actif granulaire*

On rend le CAG biologiquement actif en introduisant délibérément une quantité suffisante d'oxygène dissous à l'eau juste avant son passage dans les colonnes de CAG (Katz, 1980). La surface spécifique élevée du CAG et le long temps de rétention dans la colonne forment un environnement idéal pour la croissance bactérienne.

Bien que l'ozone fasse augmenter dans les faits la quantité de CODB, l'efficacité de la biodégradation subséquente sur CAG est parfois telle, que le CODB à la sortie du filtre de CAG est inférieur au CODB présent avant l'ajout d'ozone (Langlais *et al.*, 1991). Jusqu'à quel point l'ozonation et le CAG enlèvent-ils le COD biodégradable? Cela dépend des conditions dans lesquelles se déroule le procédé : la température, la quantité de CODB et la vitesse de filtration de la colonne de CAG telle que mesurée par le temps de contact en fût vide (TCFV). Par exemple, si l'on considère une eau contenant initialement 0,65 mg C/L avec un TCFV de 10 min, on peut s'attendre à une concentration de CODB dans l'effluent de 0,25 mg C/L. Il serait encore possible de réduire le contenu en CODB en ajoutant du CAG ou en freinant la vitesse de

filtration, ce qui allongerait le TCFV et diminuerait la teneur en CODB de l'effluent (Billen *et al.*, 1985, tel que cité dans Langlais *et al.*, 1991).

#### 10.4.2.8 Effet des conditions environnementales sur l'efficacité de l'ozonation

Hoigné et Bader ont démontré que le taux de décomposition de l'ozone varie de manière complexe en fonction de la température, du pH et de la concentration en substances organiques dissoutes et en constituants inorganiques (Hoigné et Bader, 1975 et 1976). Les sections qui suivent décrivent les effets qu'ont le pH, la température et les matières en suspension sur le taux de réaction de l'ozone et l'inactivation des agents pathogènes.

Du point de vue du respect de la réglementation en matière de désinfection, il est critique de pouvoir maintenir une concentration élevée d'ozone en solution aqueuse. Cela signifie qu'il n'est pas souhaitable, en ce qui a trait à l'inactivation, d'entretenir des conditions favorisant la décomposition de l'ozone. En effet, les concentrations résiduelles d'ozone se dissipent alors plus rapidement et réduisent en conséquence le crédit CT (puisque le calcul est basé sur la concentration résiduelle à la sortie de la cuve), ce qui cause une augmentation correspondante de la quantité d'ozone utilisée et une hausse du coût de traitement. Le lecteur est prié de se référer au chapitre 11 pour connaître la méthode de calcul du CT pour les cuves d'ozonation.

##### **pH**

Le pH n'influence pas l'efficacité de la désinfection de l'ozone (Morris, 1975). Mais à des pH plus élevés, et bien que l'efficacité demeure, il faut cependant ajouter davantage d'ozone si on veut maintenir le « C ». Cela est dû à la présence de radicaux libres hydroxyles et à une décomposition rapide.

##### **Température**

À mesure que la température augmente, l'ozone devient moins soluble et moins stable dans l'eau (Katzenelson *et al.*, 1974). À l'opposé, une réduction de température a pour effet de rendre la désinfection moins efficace. Ainsi, une baisse de 10 °C entraîne généralement une diminution d'efficacité de 200 à 400%, selon le micro-organisme visé.

##### **Matières en suspension**

Selon Walsh *et al.* (1980), des turbidités de 1 à 5 UTN n'ont pas eu d'effet sur la capacité d'inactivation par l'ozone des virus et bactéries (de dimensions comparables à ceux capables normalement d'échapper à la filtration) contenues dans le floc alumineux. Cette étude a donc démontré que le floc alumineux n'offrait aucune protection aux micro-organismes. D'autres études sont parvenues à des résultats semblables pour le poliovirus 1, le virus Coxsackie A9 et *E. coli* associés à de la bentonite (Boyce *et al.*, 1981). On a cependant découvert que l'adsorption de bactériophages f2 sur de la bentonite à une turbidité de 1 à 5 UTN a causé un retard dans l'inactivation faite par l'ozone (Boyce *et al.*, 1981).

#### 10.4.2.9 Niveaux d'exposition maximum à l'ozone

Les organismes de réglementation en santé et sécurité au travail ont établi des niveaux maximums d'exposition à l'ozone dans l'air ambiant. Ils sont résumés ci-dessous :

##### **Règlement québécois sur la qualité du milieu de travail**

La valeur d'exposition moyenne pondérée est de 0,1 mg/L (0,2 mg/m<sup>3</sup>). Cette valeur est une valeur plafond, ce qui veut dire que la concentration indiquée ne doit jamais être dépassée pour quelque durée que ce soit. Au Québec, cette valeur doit être respectée, même si d'autres organismes (cf. ANSI/ASTM ou ACGIH) tolèrent des niveaux d'exposition plus élevée pour des courtes périodes d'exposition.

##### **US Occupational Safety and Health Administration**

La plus grande exposition acceptable est une moyenne de 0,1 mg/L (en volume) d'ozone atmosphérique, calculée sur une période de travail de huit heures.

##### **American National Standards Institute/American Society for Testing Materials (ANSI/ASTM)**

Il faut veiller à ce que le travailleur ne soit pas exposé à des concentrations supérieures à une moyenne pondérée dans le temps de 0,1 mg/L d'ozone en volume pendant une journée de travail de 8 heures ou plus. La valeur plafond à laquelle un travailleur peut être exposé est de 0,3 mg/L (en volume) pendant un maximum de 10 min.

##### **American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH)**

La concentration maximale d'ozone pour une exposition s'étendant sur 8 heures de travail par jour ou 40 heures par semaine se situe à 0,1 mg/L (en volume) avec une concentration plafond admissible de 0,3 mg/L pour une période de 15 min maximum.

##### **American Industrial Hygiene Association.**

La teneur en ozone pour une exposition de huit heures ne doit pas dépasser 0,1 mg/L en volume.

Il est aussi question qu'une exposition prolongée à l'ozone puisse affaiblir la capacité du travailleur à sentir la présence du gaz à des niveaux inférieurs aux concentrations critiques. Il ne faut donc pas se fier sur son odorat pour détecter l'ozone.

#### *10.4.3 Monochloramines*

##### 10.4.3.1 Généralités

Le potentiel de désinfection des composés chlore-ammoniaque ou chloramines a été identifié dans les années 1900. L'usage potentiel des chloramines a été considéré après que l'on eu observé que la désinfection par le chlore se produisait selon deux phases distinctes. Pendant la phase initiale, la présence de composés responsables de la demande en chlore cause la disparition rapide du chlore libre disponible. Néanmoins, quand l'ammoniaque est présent, une action

bactéricide est observée même s'il n'y a plus de chlore libre. En fait, la phase subséquente de désinfection est due à l'action des chloramines organiques.

Les chloramines sont issues de la réaction entre l'acide hypochloreux (HOCl) et l'ammoniaque. Initialement, les chloramines ont été utilisées pour le contrôle des goûts et odeurs (Hazen et Sawyer, 1992). Cependant, il a été reconnu que les chloramines sont plus stables que le chlore libre dans le réseau de distribution et ont donc été utilisées pour le contrôle de la recroissance bactérienne. L'intérêt des chloramines provient également du fait qu'elles forment très peu de sous-produits de désinfection. Pour désinfecter l'eau potable, on accorde la préférence à la monochloramine, et cela en raison des problèmes de goût et d'odeur associés à la dichloramine et à la trichloramine. En raison de ses propriétés désinfectantes relativement faibles face aux virus et aux protozoaires pathogènes, on l'utilise rarement comme désinfectant primaire, ou alors seulement avec de longues périodes de contact. Enfin, il est important de savoir que les chloramines résiduelles peuvent avoir un effet néfaste sur la faune.

Il est possible de changer de procédé de désinfection pour passer de la chloration à la chloramination (en cas d'une trop grande quantité de sous-produits formés par exemple). Dans ce cas, il est nécessaire de suivre une procédure rigoureuse décrite plus loin.

#### 10.4.3.2 Principales applications

On utilise surtout la monochloramine comme désinfectant secondaire pour la désinfection et l'élimination des organismes nuisibles ainsi que pour maintenir une concentration résiduelle de désinfectant dans le système de distribution. Les monochloramines constituent une solution intéressante pour la désinfection secondaire en raison des avantages suivants :

- Les monochloramines ne réagissent pas autant que le chlore libre avec les substances organiques pour former des trihalométhanes;
- La monochloramine résiduelle est plus stable et dure plus longtemps que le chlore libre ou le bioxyde de chlore. Cela assure une meilleure protection contre la recroissance bactérienne dans les réseaux où on retrouve de grands réservoirs d'entreposage ou des conduites maîtresses qui se terminent en impasses;
- On a démontré que la monochloramine résiduelle est plus efficace pour l'élimination des films biologiques à cause de sa grande capacité à les pénétrer. Cette capacité contribue également à réduire la corrosion associée aux films biologiques et à abaisser les concentrations en coliformes. Il a été démontré que changer le chlore libre pour la monochloramine comme désinfectant résiduel avait causé une diminution importante des concentrations en coliformes dans deux réseaux de distribution (Norton et LeChevallier, 1997);
- Comme les chloramines n'ont pas tendance à réagir avec les composés organiques, leur usage entraîne, dans plusieurs cas, une réduction des plaintes touchant au goût ou à l'odeur de l'eau.

#### 10.4.3.3 Points d'injection

On détermine les points d'injection en fonction des objectifs de traitement et du temps de contact nécessaire à la désinfection. Il est possible de produire de la monochloramine en introduisant d'abord l'ammoniaque, puis le chlore, ou vice versa. On ajoute premièrement l'ammoniaque dans les cas où la réaction entre le chlore et la matière organique produit des composés qui donnent un goût et une odeur désagréables à l'eau. Cependant, dans la plupart des cas, on ajoute en premier lieu le chlore à l'installation de production d'eau potable afin de pouvoir respecter les exigences de concentration et de temps de contact (CT) en matière de désinfection. Puis, règle générale, on choisit ensuite le point d'injection d'ammoniaque de manière à « absorber » le chlore libre résiduel après un laps de temps déterminé, dans le but d'optimiser la désinfection et de limiter la formation de sous-produits de désinfection.

Parce que l'efficacité germicide de la monochloramine est au moins 200 fois inférieure à celle du chlore libre, il faut des temps de contact extrêmement longs pour parvenir aux exigences de l'USEPA en matière de désinfection (produit CT). En conséquence, si on introduit l'ammoniaque avant le chlore, il faut trouver un moyen de s'assurer que les exigences seront respectées relativement au produit CT.

Le choix du point d'injection doit également être fait en considérant que la chloramination peut avoir une influence sur les traitements subséquents puisqu'elle peut entraîner une nitrification ou des goûts et odeurs indésirables. Le concepteur devrait prévoir d'effectuer une chloramination dans une eau dont le pH est supérieur à 7,2 afin de diminuer la formation des di- et tri-chloramines indésirables. De plus, l'injection doit être contrôlée en ce qui concerne la concentration d'azote organique en présence, le brassage des produits chimiques et le mélange avec l'eau à traiter.

#### 10.4.3.4 Sous-produits de désinfection

L'efficacité des chloramines pour restreindre la formation de sous-produits de désinfection dépend de divers facteurs, notamment du ratio chlore/ammoniaque, du point d'injection de l'ammoniaque relativement à celui du chlore et de la qualité du brassage et du pH.

La monochloramine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) ne cause pas la formation d'une quantité significative de sous-produits de désinfection, bien qu'elle puisse produire de l'acide dichloroacétique, et que la production de chlorure de cyanogène soit plus importante avec la monochloramine qu'avec le chlore libre (Jacangelo *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1993; Cowman et Singer, 1994). L'impossibilité de mélanger instantanément du chlore et de l'ammoniaque, fait que le chlore libre réagit avant la formation complète des chloramines. De plus, la monochloramine en solution aqueuse s'hydrolyse lentement en chlore libre. En conséquence, il se produit des réactions d'halogénéation même quand la monochloramine est produite avant son ajout au circuit de traitement (Rice et Gomez-Taylor, 1986). Plus le ratio chlore/ammoniaque est proche du point de remontée, plus importante est la formation de sous-produits de désinfection (Speed *et al.*, 1987).

L'addition de chloramines entraîne la formation de composés organochlorés, bien que cela se produise à un degré moindre que pour une dose équivalente de chlore. On connaît peu de chose

au sujet de ces sous-produits, sauf qu'ils sont plus hydrophiles et possèdent une plus grosse molécule que les halogénures produits par la présence de chlore libre dans l'eau (Jensen *et al.*, 1985; Singer, 1993).

#### 10.4.3.5 Paramètres de conception

##### Dosage du chlore et de l'ammoniaque

Le tableau 10-6 résume les doses théoriques de chlore et d'ammoniaque requises pour les différentes réactions. Dans le but d'éviter la formation de ces composés, il était d'usage courant de limiter le ratio massique chlore/ammoniaque à 3 pour 1. Cependant, en raison de difficultés telles que la nitrification et la croissance de biofilms, attribuables à un excès d'ammoniaque, on utilise maintenant couramment un ratio  $\text{Cl}_2/\text{N}$  variant entre 3 pour 1 et 5 pour 1, avec une valeur type de 4 pour 1.

Les doses normales de monochloramine varient généralement entre 1,0 et 4,0 mg/L. Aux États-Unis, la norme de monochloramine résiduelle minimale à respecter dans le réseau de distribution se situe d'ordinaire à 0,5 mg/L (Texas Natural Resource Conservation Commission). Pour la prévention de la nitrification dans le réseau de distribution, on recommande une concentration minimale de 2,0 mg/L de monochloramine (Norton et LeChevallier, 1997). Au Québec, la concentration maximale permise de chloramines totaux est de 3,0 mg/L en tout point du réseau.

**Tableau 10-6 : Doses typiques de chlore nécessaires à la réaction  $\text{NH}_3 - \text{Cl}_2$**

| Réaction                                  | mg $\text{Cl}_2$ /mg $\text{NH}_3$ |
|-------------------------------------------|------------------------------------|
| Monochloramine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) | 4,2                                |
| Dichloramine ( $\text{NHCl}_2$ )          | 8,4                                |
| Trichloramine ( $\text{NCl}_3$ )          | 12,5                               |
| Azote ( $\text{N}_2$ )                    | 6,3                                |
| Nitrate ( $\text{NO}_3$ )                 | 16,7                               |
| Réaction résiduelle libre                 | 9                                  |

Source : AWWA et American Society of Civil Engineers (ASCE), 1990.

La vitesse de formation de la monochloramine varie selon le pH. Le tableau 10-7 présente les temps de réaction nécessaires pour une température de 25°C et un ratio chlore/ammoniaque de 3 pour 1 (White, 1992).

**Tableau 10-7 : Temps de transformation de 99% du chlore en monochloramine**

| pH  | Temps (secondes) |
|-----|------------------|
| 2   | 421              |
| 4   | 147              |
| 7   | 0,2              |
| 8,3 | 0,069            |
| 12  | 33,2             |

## Méthodes de dosage du chlore pour la formation de monochloramines

Les méthodes appliquées sont identiques à celles présentées pour la chloration.

### Entreposage et dosage de l'ammoniaque

Les équipements de dosage de l'ammoniaque peuvent être installés à l'usine de production d'eau potable ou ailleurs le long du système de distribution. Toutes les installations d'entreposage et le matériel utilisé pour la manipulation doivent être conservés au sec, dans une salle séparée du reste de l'installation de traitement. L'espace de stockage des produits chimiques doit être prévu pour que ceux-ci aient une autonomie de 30 jours.

### Ammoniaque anhydre

#### *Entreposage*

On entrepose l'ammoniaque anhydre dans des bouteilles portatives ou dans des réservoirs fixes. Les bouteilles (ou cylindres) portatives ressemblent aux bouteilles de chlore : on peut se les procurer en différentes tailles de 45, 67 ou 360 kg (Dennis et al., 1991). La pression de service nominale minimum de ces bouteilles est de 3400 kPa. On peut utiliser sur place, à l'intérieur ou à l'extérieur, des réservoirs d'entreposage fixes, généralement d'une capacité de 3850 L. Ces derniers sont alimentés périodiquement par camion-citerne. Étant donné que chaque réservoir est sollicité par une pression de fonctionnement d'au moins 1750 kPa (la pression nominale de la robinetterie et des raccords des réservoirs est de 2100 kPa), il faut protéger des températures extrêmes (supérieures à 50°C ou inférieures à - 2°C) les réservoirs situés à l'extérieur (Dennis et al., 1991). Dans les régions chaudes, il faut peindre en blanc et protéger du soleil les réservoirs extérieurs. Dans les régions froides, on doit les recouvrir de ruban chauffant afin de ne pas entraver le processus de vaporisation de l'ammoniaque.

#### *Alimentation*

On se sert d'un ammoniateur pour ajouter l'ammoniaque anhydre au procédé. Les ammoniateurs peuvent être opérés par alimentation de solution sous vide, ou par alimentation de gaz sous pression. L'ammoniateur est un module indépendant qui comprend un détendeur, un compteur d'écoulement gazeux, une vanne de régulation du dosage et divers accessoires de plomberie permettant de réguler l'écoulement d'ammoniaque. Il existe sur le marché des ammoniateurs qui s'ajustent automatiquement à la demande. On utilise un évaporateur lorsqu'on a besoin de grandes quantités de gaz ammoniaque. Il faut installer une soupape anti-siphonnement ou un clapet de non-retour afin d'empêcher que l'eau ne pénètre dans l'ammoniateur.

#### *Tuyauterie et robinetterie*

En règle générale, la tuyauterie des systèmes de dosage d'ammoniaque (direct ou en solution) est en acier inoxydable, en PVC ou en fer noir (Dennis *et al.*, 1991). On se sert d'acier inoxydable ou de fer noir dans les portions à haute pression (c.-à-d. supérieure à 15 psi) du système, tandis que le PVC se retrouve seulement dans les portions à faible pression, après les ammoniateurs.

L'ammoniaque est très réactive avec le cuivre et le zinc ainsi que leurs alliages. La plupart des alimenteurs en gaz ammoniaque sont fabriqués en ABS avec des diaphragmes Kel-F®, mais les composants métalliques (ressorts et vannes de contrôles) sont généralement faits d'acier

inoxydable. Les joints d'étanchéité sont en néoprène. Les connecteurs flexibles d'ammoniaque et les valves sont faits en acier.

#### *Ajout direct*

De façon générale, l'ammoniaque anhydre est ajouté directement au procédé, mais l'ajout peut aussi être effectué sous forme de solution. On pratique l'ajout direct quand l'eau traitée circule sous faible pression et quand le dosage d'ammoniaque est inférieur à 450 kg. Le gaz ammoniaque est alors retiré du réservoir à haute pression (p. ex. 1400 kPa) et injecté directement dans l'eau à traiter à une pression de 105 kPa. Pour ce faire, un détendeur placé à la sortie du réservoir réduit d'abord la pression à 280 kPa, puis un autre détendeur, dans l'ammoniateur, la réduit encore. Les points d'injection se situent la plupart du temps dans les canalisations à écoulement libre et dans les bassins.

Un changement de pH se produit au point d'addition et des sels de calcium peuvent être formés sur le diffuseur au point de formation des bulles de gaz dans l'eau. Pour éviter de bloquer le diffuseur, plusieurs mesures peuvent être prises : (1) on peut utiliser une vésicule de néoprène fixée autour du diffuseur et comprenant de très fines fentes qui agissent comme des valves pour l'addition du gaz ammoniaque. Ces fentes demeurent fermées quand le diffuseur n'est pas utilisé. Dans le cas contraire, les sels de calcium et de magnésium se forment sur les fentes et bloquent le passage du gaz. La pression qui augmente dans la vésicule force l'ouverture des fentes et brise les sels précipités; (2) on peut également procéder à des lavages occasionnels à l'acide.

#### *Ajout en solution*

On applique la seconde méthode, l'ajout à l'aide d'une solution, lorsque les conditions ne se prêtent pas à un ajout direct (p. ex. lorsque le dosage d'ammoniaque excède 450 kg/jour ou lorsque la pression du circuit de traitement est élevée) (Dennis *et al.*, 1991). Cette méthode s'apparente à celle du dosage du chlore sous vide. On réduit d'abord la pression du réservoir d'alimentation à l'aide d'un détendeur afin de créer un vide. Un éjecteur prélève l'ammoniaque de l'ammoniateur et le dissout dans un circuit secondaire qui rejoint ensuite le circuit de traitement principal. On retrouve des ammoniateurs à dosage en solution de capacités allant jusqu'à 1800 kg/jour et pouvant fonctionner à des pressions de refoulement allant jusqu'à 700 kPa (Dennis *et al.*, 1991). L'eau porteuse doit être une eau adoucie (c.-à-d. d'une dureté inférieure à 30 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), sans quoi la solution d'ammoniaque formée, laquelle est très alcaline, entraînera le dépôt de tartre, ce qui risque de bloquer l'éjecteur et les dispositifs d'addition. On peut également ajouter un agent permettant un pontage chimique juste avant le point d'ajout de l'ammoniaque, ou encore ajouter un acide à fréquence régulière.

### **Ammoniaque**

On produit l'ammoniaque (ammoniaque gazeuse en solution aqueuse) en dissolvant de l'ammoniaque anhydre dans une eau dé-ionisée ou adoucie. Cette forme d'ammoniaque est livrée par camion-citerne ou dans des fûts d'acier doublés en polyéthylène. Il n'est pas recommandé de se servir de fûts en plastique car ils ont tendance à se déformer. On entrepose l'ammoniaque dans des réservoirs à basse pression, généralement faits d'acier ou de fibres de verre. Comme des températures excessives entraînent la vaporisation du gaz ammoniaque, on doit équiper chaque réservoir d'entreposage d'un pot de purge ou d'un épurateur d'ammoniaque afin de prévenir les fuites de vapeurs.

Les équipements de dosage d'ammoniaque ressemblent à ceux utilisés pour d'autres produits chimiques liquides. Ils comprennent :

- Un réservoir d'entreposage;
- Des pompes doseuses;
- Une soupape de décharge;
- Un amortisseur de pulsations;
- Un débitmètre et une soupape de sûreté.

De façon générale, les pompes doseuses sont des pompes à piston ou à rotor hélicoïdal excentré. Il faut placer les pompes doseuses relativement près du réservoir d'entreposage afin de limiter les chances que l'ammoniaque ne se vaporise dans la tuyauterie (Dennis *et al.*, 1991). La pompe devrait être conçue de manière à équilibrer les effets reliés aux variations de température ambiante, aux différentes solutions d'ammoniaque et aux changements dans le ratio chlore/ammoniaque (Skadsen, 1993). Il faut effectuer un mélange précis lorsqu'on introduit l'ammoniaque à l'eau chlorée pour que la réaction entre le chlore et l'ammoniaque ait lieu, limitant ainsi la formation de dichloramines et de trichloramines.

Le Metropolitan Water District of Southern California (MWDSC) utilise de l'ammoniaque à ses installations de chloramination. L'ammoniaque est entreposée dans des réservoirs non chemisés, puis pompée vers l'ammoniateur à l'aide de pompes à rotor hélicoïdal excentré. Au moment du démarrage de son système de dosage d'ammoniaque, le MWDSC a vu ses pompes tomber en panne. En se basant sur cette expérience, on recommande maintenant, pour ce type de pompe, des rotors en EPDM et des stators chromés de bonne qualité. On conseille également d'employer un joint mécanique au lieu d'une boîte à garniture afin de réduire la possibilité de fuite d'ammoniaque (Skadsen, 1993). Par la suite, le MWDSC a également muni la conduite d'aspiration de la pompe doseuse de purgeurs et de filtres spéciaux afin de réduire le colmatage à l'endroit des compteurs électromagnétiques. Les difficultés rencontrées au moment du démarrage ont amené le MWDSC à mettre en place un second système de dosage, en parallèle. Fonctionnant sous pression, il est conçu pour distribuer l'ammoniaque en mettant les réservoirs sous pression et en court-circuitant la pompe.

#### 10.4.3.6 Effets des conditions environnementales sur l'efficacité de la chloramination

Plusieurs études ont été menées en vue de déterminer les effets du pH, de la température et de la présence de composés organiques et inorganiques sur l'efficacité de désinfection des chloramines. Les sections qui suivent expliquent sommairement de quelle manière ces paramètres influencent le taux d'inactivation des agents pathogènes.

##### **pH**

L'effet du pH sur la désinfection se rapporte davantage à l'organisme qu'au désinfectant : le pH influence cependant l'efficacité de la désinfection en gouvernant la distribution des différentes espèces chimiques de chloramines. Les études ont démontré que les efficacités de désinfection de la monochloramine et de la dichloramine diffèrent. Une de ces études arrive à la conclusion que

les propriétés bactéricides de la dichloramine sont supérieures à celles de la monochloramine (Esposito, 1974). L'effet du pH peut cependant se combiner à celui du désinfectant puisque les variations de pH modifient parfois la réaction physiologique de l'organisme visé (Hoff et Geldreich, 1981). D'autres travaux sur le sujet ont démontré que la capacité virulicide de la monochloramine dépasse celle de la dichloramine (Dorn, 1974; Esposito, 1974; Olivieri *et al.*, 1980). Certains autres résultats semblent indiquer que des solutions contenant des concentrations à peu près égales de monochloramine et de dichloramine seraient plus efficaces que celles ne renfermant que l'un ou l'autre de ces produits (Weber et Levine, 1944).

### **Température**

Comme pour la plupart des désinfectants, l'efficacité de l'inactivation des virus par les chloramines et leurs propriétés bactéricides augmentent en fonction de la température. Qui plus est, cette efficacité chute dramatiquement en présence de pH élevés et de faibles températures. À titre d'exemple, l'inactivation de *E. coli* prend environ 60 fois plus de temps à un pH de 9,5 et à des températures comprises entre 2 et 6°C qu'à un pH de 7 et à des températures comprises entre 20 et 25°C (Wolfe *et al.*, 1984).

### **Chloramines organiques et autres**

En plus de réagir avec l'ammoniaque, le chlore libre se combine avec d'autres composés organiques d'azote pour former toute une variété de chloramines organiques. Il s'agit là de sous-produits indésirables puisqu'ils ne présentent aucune propriété désinfectante ou très peu (Feng, 1966). Des études ont montré que le chlore se lie plus rapidement avec des composés aminés qu'avec l'ammoniaque (Weil et Morris, 1949; Morris, 1967; Margerum *et al.*, 1978) et que le chlore passe parfois des chloramines inorganiques aux composés aminés (Margerum *et al.*, 1978; Isaac et Morris, 1980). Il peut aussi se produire plusieurs autres réactions qui détournent le chlore au détriment de la formation de chloramines. Parmi celles-ci, mentionnons l'oxydation du fer, du manganèse et d'autres substances inorganiques telles que le sulfure d'hydrogène (Hazen et Sawyer, 1992).

#### **10.4.3.7 Passage de la chloration à la chloramination**

### **Planification**

On doit tenir compte des aspects suivants :

- La composition de l'eau brute et la pertinence de la chloramination pour une telle eau;
- Les caractéristiques de l'installation de production d'eau potable, du réseau de distribution et du programme de suivi;
- La formation du personnel;
- L'information du public;
- L'impact environnemental de l'eau traitée aux chloramines.

### **Analyse préliminaire**

White (1992) décrit les variables à prendre en considération. Le temps nécessaire à la formation de chloramine résiduelle libre varie selon la source d'eau, puisque la vitesse de la réaction entre le chlore et l'azote ammoniacal dépend de la température de l'eau et de son pH. Cette vitesse est également fonction des concentrations de chlore et d'azote en présence. Afin de bien circonscrire

le temps de réaction entre le chlore et l'ammoniaque, l'étude devrait prévoir différents scénarios en faisant varier les facteurs suivants : ratio chlore/azote ammoniacal, dosage de l'ammoniaque et temps de contact.

La quantité d'ammoniaque nécessaire à une désinfection par les chloramines résiduelles dépend des facteurs suivants (Dennis *et al.*, 1991) :

- L'azote organique présent dans l'eau;
- La quantité d'ammoniaque résiduel que l'on veut avoir dans le réseau de distribution;
- La concentration et le type de chloramine résiduelle qu'il faut maintenir dans le réseau de distribution.

S'il y a de l'azote organique dans l'eau brute, il faut établir la quantité supplémentaire d'ammoniaque à ajouter en soustrayant l'ammoniaque déjà présent de la dose totale requise. La détermination de cette dose doit également tenir compte de la quantité d'ammoniaque résiduel que l'on désire conserver dans le réseau de distribution. Pour une désinfection résiduelle, il faut environ 1 à 2 mg/L d'ammoniaque (Dennis *et al.*, 1991).

On doit également établir la courbe de chloration pour chaque eau brute à traiter afin de connaître le point de remontée et de déterminer le type de chloramine résiduelle nécessaire. La plupart des exploitants de réseaux de distribution optent pour la monochloramine résiduelle. Les concentrations résiduelles de dichloramine et de trichloramine, lorsqu'elles excèdent 0,8 mg/L et 0,02 mg/L respectivement, risquent de créer des odeurs et des goûts désagréables. Les monochloramines se forment principalement lorsque le ratio (en poids) chlore/ammoniaque est inférieur à 5 pour 1 et le pH est supérieur à 7,0 (Dennis *et al.*, 1991). La concentration résiduelle de chloramine dans l'eau potable qui quitte l'installation de production varie selon la taille du réseau de distribution et la demande en chloramines qu'il induit. Cette concentration se situe généralement entre 1 et 4 mg/L (Dennis *et al.*, 1991).

#### 10.4.3.8 Effets possibles de la chloramination sur l'ensemble du traitement

L'addition de monochloramine entraîne des effets sur les autres procédés :

- L'ammoniaque du procédé de chloramination risque de servir de nutriment aux bactéries nitrifiantes et de causer leur multiplication dans le réseau de distribution. Cela entraîne parfois une augmentation de la concentration en nitrates de l'eau traitée dans les réseaux où on n'en retrouvait pas normalement;
- Lorsqu'il y a déséquilibre dans le réseau entre les concentrations de chlore et d'ammoniaque (dans des ratios supérieurs à 8 pour 1), il risque de se produire des réactions de chloration au point critique;
- L'ajout de monochloramine en amont des filtres réduit la croissance bactérienne sur ces derniers. Cela a l'avantage de les garder propres et de diminuer la fréquence des lavages à contre-courant. Mais il en résulte aussi des effets indésirables dans les cas où les filtres sont utilisés comme filtres biologiques, car l'enlèvement des bactéries qui y résident nuit alors à l'élimination du carbone organique dissous biodégradable (CODB) de l'eau.

## Prétraitement

L'ammoniaque produite en excès en fonction du chlore nécessaire favorise parfois la croissance de bactéries nitrifiantes dans les filtres rapides à sable (White, 1992). L'excédent d'ammoniaque sert de nutriment aux bactéries nitrifiantes, encourageant leur multiplication, et en retour, ces bactéries le transforment en nitrates et en nitrites. On sait que des concentrations très élevées de nitrates dans l'eau peuvent causer de sérieux problèmes de santé et ce, surtout chez des bébés de moins de six mois. Les symptômes de malaises consistent en une respiration courte et le bleuissement de la peau. Avant de dresser les plans d'une installation de chloramination, il importe de déterminer la quantité d'ammoniaque présente naturellement dans l'eau brute. La dose d'ammoniaque requise sera donc établie par la suite en fonction de la concentration escomptée dans l'eau brute selon les saisons.

Il importe de maintenir une concentration résiduelle en chloramines à la sortie des filtres. Cette concentration devrait se situer entre 0,5 et 1 mg/L (White, 1992).

### 10.4.3.9 Nitrification

La nitrification qui a lieu dans les eaux potables traitées aux chloramines est généralement partielle. Cette nitrification partielle se produit lorsque l'eau chloraminée du réseau de distribution contient de l'ammoniaque en excès (Skadsen, 1993). Elle peut nuire de différentes façons à la qualité de l'eau, parce qu'elle occasionne, entre autres, une perte de chlore et d'ammoniaque résiduels ainsi qu'une augmentation du nombre de bactéries hétérotrophes (tel que déterminé par une numération sur plaque). L'ammoniaque en excès favorise la croissance des bactéries nitrifiantes, qui le transforment en nitrates. Une faible quantité de nitrites est formée au cours d'une étape intermédiaire de cette transformation. Des travaux de recherche ont démontré que chaque mg/L de nitrite exerce une demande de 5 mg/L en chlore (Cowman et Singer, 1994). Les nitrites consomment donc rapidement le chlore libre, ce qui accélère la décomposition des chloramines et cela risque d'interférer avec la mesure du chlore libre (Skadsen, 1993). Selon Valentine (1998), la présence de 0,5 mg/L de nitrite intensifie la décomposition des chloramines. Si on permet aux épisodes de nitrification de se poursuivre, il se pourrait qu'on se retrouve avec de très faibles concentrations (même égales à zéro) de chlore résiduel total. Une perte de chlore résiduel entraîne une prolifération des bactéries hétérotrophes, et parfois une augmentation du nombre de coliformes totaux, et il peut en résulter un test positif (Cowman et Singer, 1994). L'ouvrage de Kirmeyer *et al.*, 1995, *Nitrification Occurrence and Control in Chloraminated Water Systems* contient de l'information supplémentaire au sujet de la nitrification.

On a trouvé plusieurs facteurs qui contribueraient à la nitrification, dont un faible ratio chlore/ammoniaque, de longs temps de séjour et la température (Cowman et Singer, 1994). Bien que certains articles mentionnent que de faibles doses de monochloramines mèneraient à de la nitrification, d'autres travaux rapportent une nitrification se produisant en présence de concentrations de monochloramine supérieures à 5,0 mg/L (Cowman et Singer, 1994). Les bactéries nitrifiantes sont relativement plus résistantes à la désinfection par les monochloramines qu'à la désinfection par le chlore libre (Cowman et Singer, 1994). Un réseau de distribution qui contiendrait de l'ammoniaque libre et dont le pH de l'eau varierait entre 7,5 à 8,5 et sa

température entre 25 et 30°C présenterait des conditions optimales pour la nitrification. Il est à noter que les bactéries nitrifiantes se développent lentement (Cowman and Singer, 1994).

Tout exploitant utilisant la monochloramine comme désinfectant risque de se retrouver confronté à de la nitrification (Cowman et Singer, 1994). Il faut donc évaluer avec soin la présence de ce phénomène et le contrer. On peut y arriver grâce à une surveillance des monochloramines et des dichloramines résiduelles en des points stratégiques situés dans tout le réseau (White, 1992).

On réussit à accroître la stabilité des chloramines résiduelles libres dans tout le système en prévenant la prolifération des contaminants microbiens et en utilisant une eau brute qui contient une quantité réduite de bactéries : il s'agit de maintenir ces concentrations à des niveaux acceptables. Voici quelques méthodes pour prévenir la nitrification, ou du moins la restreindre, à l'intérieur des systèmes de distribution (Cowman and Singer, 1994) :

- Raccourcir le temps de séjour;
- Augmenter le pH;
- Abaisser la température;
- Faire diminuer la quantité de COT;
- Prévoir des plus grandes concentrations de chloramines résiduelles;
- Augmenter le ratio chlore/ammoniaque;
- Réduire la quantité d'ammoniaque en excès.

Quant au réseau de distribution, il faut le passer en revue et repérer les sections qui se terminent en impasse ou les endroits où l'eau circule peu. Il faut réduire au minimum les temps de séjour dans le réseau (Skadsen, 1993). On devrait porter une attention particulière, autant en ce qui a trait à leur surveillance qu'à leur exploitation, aux réservoirs qui possèdent une seule admission d'eau et une seule sortie (Skadsen, 1993).

On doit également mettre en place une stratégie de prévention de la nitrification, et plus particulièrement un programme de surveillance complet ayant pour fonction d'alerter l'exploitant en cas de besoin. Le personnel peut ainsi prendre les mesures nécessaires. Le MWDSC, par exemple, a mis sur pied une stratégie qui prévoyait dans un premier temps un échantillonnage du réseau de distribution et des réservoirs dans le but de mesurer les nitrites présents (Skadsen, 1993). Il a aussi écourté le temps de séjour dans les réservoirs et le réseau, surtout par temps chaud, ce qui a contribué à garder les concentrations de nitrites à un faible niveau.

De plus, chaque année le MWDSC ajoutait du chlore au-delà du point de remontée afin d'assurer la présence de chlore libre résiduel pendant 30 jours. Les réservoirs de distribution et les interconnexions du réseau sont les meilleurs endroits pour effectuer cette chloration au point de remontée. La quantité supplémentaire de chlore oxyde alors tout nitrite et toute bactérie nitrifiante et élimine l'ammoniaque en excès dans le réseau de distribution. Selon le MWDSC, les grands réseaux de distribution devraient comprendre des stations de chloration sur toute leur longueur. Il est possible d'utiliser des chlorateurs fixes ou mobiles. Les chlorateurs mobiles sont des unités autonomes montées sur remorque et se composent d'évaporateurs, de chlorateurs, d'une génératrice, d'une pompe d'appoint pour l'eau de transport et d'injecteurs de chlore. Ils

sont conçus pour soutirer directement le chlore liquide d'une citerne de chlore de 17 tonnes et l'injecter ensuite en solution à l'intérieur du réseau de distribution ou du réservoir.

#### 10.3.4.10 Goût et odeur

Si les ratios chlore/azote ammoniacal se situent entre 3 pour 1 et 5,5 pour 1, il faut évaluer le goût et l'odeur de l'eau du robinet chez le consommateur (White, 1992). On peut éliminer l'odeur et le goût de poisson (dus p. ex. aux eaux brutes ou aux eaux de lavage du système de lavage à contre-courant) en laissant réagir l'eau pendant une heure avec 2 mg/L de chlore libre résiduel avant d'introduire l'ammoniaque (Dennis *et al.*, 1991). Cette chloration préliminaire enlève le goût et l'odeur de poisson, mais risque d'entraîner une augmentation de la quantité de trihalométhanes à la sortie de l'installation.

#### Mesures en cas de formation de trichloramines

Si l'on veut prévenir la formation de trichloramine et la vaporisation de l'ammoniaque à température ambiante dans les installations de chloramination, il faut prendre certaines précautions. De plus, au moment de choisir l'emplacement des systèmes d'entreposage d'ammoniaque et de chlore, on doit tenir compte du risque que se forme de la trichloramine. Pour cela les critères de conception suivants doivent être respectés :

- Le chlore gazeux et le gaz ammoniacal ne devraient jamais être entreposés dans la même salle (Dennis *et al.* (1991);
- Les points d'injection d'ammoniaque doivent se trouver à un minimum de cinq pieds des conduites contenant la solution de chlore;
- L'ammoniaque anhydre est plus léger que l'air : toute fuite va donc s'élever rapidement. Pressurisé, l'ammoniaque anhydre devient liquide. Une grande quantité de chaleur est absorbée lorsque le liquide sous pression retourne à l'état gazeux. Dans les cas où les réservoirs d'entreposage ou les équipements de dosage se trouvent à l'intérieur, il faut installer des dispositifs de ventilation et de détection de vapeurs dans le haut des murs ou au plafond. Le taux de renouvellement d'air requis varie en fonction des exigences de l'autorité compétente à cet endroit. On recommande d'ordinaire un minimum de six renouvellements à l'heure. Il y aurait également lieu de prévoir des systèmes de ventilation d'urgence permettant de 30 à 60 changements d'air à l'heure et asservis aux détecteurs d'ammoniaque;
- Il faut protéger d'une exposition directe au soleil ou à une autre source de chaleur (supérieure à 125°F) les réservoirs contenant du gaz ammoniacal afin d'éviter une hausse de pression (Dennis *et al.*, 1991);
- Autrement, il est possible de libérer du gaz dans l'atmosphère à l'aide d'une soupape de décharge. Dans les régions chaudes, il faut abriter les réservoirs extérieurs ou les équiper d'un système de régulation de la température (par gicleurs);
- Aux endroits où les émissions fugitives d'ammoniaque constituent une préoccupation, on peut installer un dispositif de contrôle des émanations;
- De même, si une fuite accidentelle risque de poser problème, on doit envisager la mise en place d'épurateurs d'urgence semblables aux épurateurs de chlore gazeux;
- Si l'eau du réseau de distribution a tendance à produire du trichloramine, l'eau traitée devrait alors subir une aération subséquente, ce qui permet d'enlever facilement le trichloramine (White, 1992). Une exposition aux rayons du soleil a les mêmes résultats (White, 1992).

#### 10.4.3.11 Corrosion

La chloramination et les mesures de prévention de la corrosion contribuent à limiter le développement des films bactériens dans le système de distribution. Si on ne combat pas la corrosion des tuyaux de fer de manière optimale, l'efficacité de la chloramination risque d'en souffrir.

#### 10.4.3.12 Considérations pour le dosage et l'injection des chloramines

##### **Azote organique**

Des concentrations en azote organique ou en azote ammoniacal aussi basses que 0,3 mg/L risquent de nuire à la chloramination. La monochloramine résiduelle est en effet hydrolysée en présence d'azote organique pour former des organo-chloramines, qui ne possèdent pas de propriétés germicides. Cette réaction prend environ de 30 à 40 min. Une fois la monochloramine résiduelle disparue, l'azote ammoniacal libre réapparaît. Cette substance constitue un excellent nutriment et sa présence provoque une instabilité biologique dans la portion du réseau touchée. Il en résulte généralement une eau de mauvaise qualité au robinet du consommateur : une eau qui goûte ou sente mauvais et qui a un aspect sale ou coloré (White, 1992). On peut nettoyer un secteur qui présente une instabilité biologique à l'aide de l'ajout de concentrations résiduelles de chlore ou de chloramines. Des deux méthodes, celle employant le chlore s'avère supérieure (White, 1992). Le chlore libre résiduel rétablit en effet plus rapidement la stabilité du réseau (c.-à-d. quelques jours pour le chlore contre des semaines dans le cas des chloramines) et permet un meilleur contrôle du processus de nettoyage. Le nettoyage est terminé lorsque la concentration de chlore libre résiduel atteint 85% de la concentration de chlore libre.

Aux endroits où l'on se sert des chloramines pour la désinfection, il faut surveiller les concentrations en azote organique total. Lorsqu'on observe une augmentation de cette substance, il risque d'en être de même des acides aminés. Si cette hausse de l'azote organique passe inaperçue, elle peut compromettre l'action désinfectante de la chloramination.

##### **Brassage**

La qualité du brassage au point d'injection a beaucoup d'incidence sur l'efficacité bactéricide de la chloramination. À un pH se situant entre 7 et 8,5, la réaction entre l'ammoniaque et le chlore est pratiquement instantanée. Si on mélange le chlore à l'eau ammoniacale avec trop peu de vigueur, la matière organique, particulièrement celle qui est sujette au blanchiment en présence d'une solution de chlore, risque de réagir avec le chlore et de nuire ainsi à la formation des chloramines (White, 1992).

##### **Mélange des eaux**

Lorsque de l'eau chlorée se mélange avec de l'eau chloraminée, les concentrations résiduelles de chloramines vont décroître après que l'excédent d'ammoniaque aura réagi et que la monochloramine ait été transformée en dichloramine et en trichloramine. Toutes les chloramines résiduelles risquent ainsi de disparaître. Il est donc important de connaître quelle quantité d'eau chlorée on peut ajouter à une eau chloraminée en particulier sans créer une trop grande baisse de

la monochloramine résiduelle. Il faut pour chaque cas établir les courbes des concentrations résiduelles du mélange.

### **Santé et environnement**

Les personnes qui ont à subir la dialyse représentent le groupe critique le plus concerné par les effets des chloramines. Les chloramines peuvent causer la méthémoglobinémie et entraîner des problèmes de santé chez les dialysés si elles ne sont pas enlevées de l'eau qui entre dans la fabrication du dialysât. De plus, les chloramines résiduelles sont parfois mortelles pour les poissons : elles endommagent les tissus des branchies, pénètrent dans les globules rouges et provoquent des troubles sanguins aigus. À cause de cela, il faut avertir les aquariophiles et les propriétaires d'animaleries ou de magasins spécialisés en aquariums d'enlever les chloramines résiduelles de l'eau avant d'y mettre des poissons.

#### *10.4.4. Bioxyde de chlore*

##### 10.4.4.1 Généralités

Le bioxyde de chlore est un gaz de couleur jaune et d'odeur piquante. C'est un puissant oxydant et son action désinfectante est égale à celle du chlore. On l'utilise de préférence au chlore lorsque l'eau à traiter contient des traces de phénols susceptibles de se combiner au chlore et de créer un goût désagréable. Il a l'avantage de maintenir son pouvoir désinfectant à des pH élevés ou en présence d'ammoniacale. Cependant, l'efficacité du bioxyde de chlore est influencée par les conditions de pH, de température et de teneurs en solides de l'eau à traiter.

L'une des plus importantes propriétés physiques du bioxyde de chlore est sa grande solubilité dans l'eau, particulièrement dans l'eau froide. Contrairement au chlore gazeux, le bioxyde de chlore ne subit pas d'hydrolyse importante dans l'eau : il demeure plutôt en solution sous la forme d'un gaz dissous (Aieta et Berg, 1986). Il est environ 10 fois plus soluble que le chlore (au-dessus de 11°C) et extrêmement volatile : on peut facilement le retirer d'une solution aqueuse avec un minimum d'aération ou de recarbonatation à l'aide de gaz carbonique (comme p. ex. dans les unités d'adoucissement).

On ne peut comprimer le bioxyde de chlore, ni l'entreposer en grande quantité pour le commerce, car il est explosif sous pression. Il ne fait donc jamais l'objet de transport et doit être produit sur place par réaction en solution du chlore ou de l'acide chlorhydrique avec le chlorite de sodium.

Le bioxyde de chlore est considéré explosif à des concentrations supérieures à 10% en volume dans l'air et son point d'inflammation se situe à environ 130°C à pression partielle (fiche signalétique 525 - ClO<sub>2</sub> du National Safety Council, 1967). Lorsque des solutions aqueuses à haute teneur en bioxyde de chlore sont entreposées en espace clos, elles libèrent du ClO<sub>2</sub> gazeux qui s'accumule dans l'espace libre au-dessus du liquide, à des concentrations pouvant excéder les niveaux critiques. Certains générateurs récents, plutôt qu'une solution aqueuse, produisent en continu du bioxyde de chlore dilué, sous forme gazeuse, à des pressions variant entre 100 et 300 mm Hg (absolu) (National Safety Council, 1997).

#### 10.4.4.2 Principales applications

##### **Désinfection**

L'utilisation du bioxyde de chlore peut permettre d'obtenir des crédits de désinfection supplémentaires. La méthode de calcul du produit CT pour le bioxyde de chlore s'apparente à celle qui s'applique aux autres désinfectants et la détermination précise des concentrations résiduelles constitue une condition préalable pour parvenir à une désinfection efficace. On obtient le crédit de désinfection principal par la concentration résiduelle et le temps de contact effectif. Le lecteur est prié de se référer à la section 11.2 pour les informations sur le calcul du CT.

Il faut considérer qu'on ne doit pas espérer gagner beaucoup de crédits CT par l'ajout du  $\text{ClO}_2$  avant la filtration car il est possible qu'aucune concentration résiduelle ne subsiste dans l'eau filtrée (DeMers et Renner, 1992). Quant aux crédits CT de post-désinfection, on peut en obtenir en ajoutant du bioxyde de chlore juste avant les réserves de distribution ou les conduites de transfert. Similairement à l'ozone, le bioxyde ne permet cependant pas d'inactiver significativement les oocystes de *Cryptosporidium* en eaux froides (voir section 11.2).

Avant de choisir le bioxyde de chlore comme désinfectant principal, il faut d'abord déterminer la demande en oxydant. Idéalement, cette étude devrait tenir compte des variations saisonnières de la qualité de l'eau brute, de sa température et des différents points d'injection possibles. Aux États-Unis, la concentration résiduelle maximale permise pour le bioxyde de chlore s'élève à 0,8 mg/L. Cela veut dire que si la demande en oxydant est supérieure à environ<sup>1</sup> 1,4 mg/L, on ne peut utiliser le bioxyde de chlore comme désinfectant parce que les sous-produits (ions chlorite et chlorate) risquent d'excéder les valeurs maximales permises. On pourrait le faire, mais à la condition d'enlever par la suite les sous-produits inorganiques (p. ex., le chlorite). Dans les installations classiques de production d'eau potable, il existe de nombreuses façons de réduire les concentrations excessives en chlorite avant la chloration.

##### **Élimination des goûts et odeurs**

Aux États-Unis, le bioxyde de chlore a souvent servi, dans la production d'eau potable, à l'élimination des odeurs et des goûts associés aux algues et à la décomposition de matières végétales. Le bioxyde de chlore est aussi efficace pour détruire les composés phénoliques responsables du goût et de l'odeur. Le moment recommandé pour ajouter le bioxyde de chlore dans ce but dépend de la qualité de l'eau brute, du type d'installation de production d'eau potable en cause et des autres applications de bioxyde de chlore qu'on y fait.

Le bioxyde de chlore présent à plus de 0,4 à 0,5 mg/L peut contribuer aux goûts et odeurs désagréables (AWWA, 1990). Pour cette raison, l'usage du bioxyde de chlore en tant que désinfectant résiduel demeure limité dans les eaux dont le COT va de modéré à élevé. Dans le cas d'eaux à faible demande en oxydant cependant, le  $\text{ClO}_2$  résiduel peut perdurer plusieurs jours.

---

<sup>1</sup> Cette valeur pourrait être supérieure pour certaines eaux.

### Oxydation du fer et du manganèse

On se sert parfois du bioxyde de chlore pour oxyder le fer et le manganèse. Cette pratique s'avère très efficace, en particulier pour les eaux très froides où la cinétique de réaction est beaucoup plus rapide qu'avec le chlore. Le bioxyde de chlore réagit avec le fer et le manganèse en solution pour former des précipités, qu'on enlève ensuite par décantation et filtration. Au cours de cette réaction, le bioxyde de chlore est réduit en ion chlorite (Knocke *et al.*, 1993). Il faut environ 1,2 mg/L de bioxyde de chlore pour enlever 1,0 mg/L de fer et 2,5 mg/L pour 1,0 mg/L de manganèse. En cas de fortes concentrations de fer et de manganèse, l'utilisation du bioxyde de chlore est limitée par la norme de 1,0 mg/L de sous-produits chlorite et chlorate, tel que décrit plus haut. Il est possible d'introduire du fer ferreux avant la coagulation classique afin de réduire l'ion chlorite en ion chlorure et d'améliorer ainsi l'ensemble du processus de floculation.

#### 10.4.4.3 Points d'injection

Pour la désinfection, il n'est pas avantageux d'injecter le bioxyde de chlore avant la filtration car il est possible qu'il ne reste aucun résiduel à l'eau filtrée. Par contre, on peut obtenir une désinfection en l'injectant au post-traitement et plus précisément avant les réserves de distribution ou les conduites de transfert.

De plus, il a été démontré qu'en pratique, à cause de son caractère volatile, le bioxyde de chlore offre un très bon rendement dans les réacteurs pistons tels que les canalisations.

Dans les installations classiques, on recommande d'ajouter le bioxyde de chlore vers la fin de la décantation (pour éliminer le fer et manganèse), ou après la filtration (pour la désinfection). Dans le cas d'une eau brute de faible turbidité (p. ex., moins de 10 UTN), il est possible d'ajouter le bioxyde de chlore au début du traitement. À certains endroits, on applique cette méthode parce que le bioxyde de chlore prévient efficacement la croissance d'algues dans les bassins de floculation et de décantation exposés au soleil (DeMers et Renner, 1992). Dans de pareils cas, il est possible que l'on parvienne à de meilleurs résultats en procédant à l'ajout dans des périodes d'obscurité.

Les doses typiques de bioxyde de chlore employées comme désinfectant pour la production d'eau potable se situent entre 0,07 et 2,0 mg/L. Une étude de l'USEPA (1998), menée dans des installations qui utilisent le bioxyde de chlore, a montré que les valeurs médianes des concentrations de chlorite et de chlorate étaient de 0,24 et de 0,20 mg/L, respectivement. La norme est de 1,0 mg/L.

#### 10.4.4.4 Sous-produits

Les sous-produits issus de la désinfection par le bioxyde de chlore incluent les chlorites, les chlorates et des sous-produits de désinfection organiques. La présente section traite de la formation de ces produits et des méthodes permettant de les éliminer ou de limiter leur présence. L'usage de bioxyde de chlore contribue à restreindre la production de THM et d'acides haloacétiques en oxydant les précurseurs et en permettant de placer le point de chloration plus en

aval du traitement, après que la coagulation, la décantation et la filtration auront réduit la quantité de matière organique naturelle (MON).

### **Production de chlorite et de chlorate**

Le traitement au bioxyde de chlore et la dégradation qui s'ensuit engendrent du chlorite et du chlorate comme produits terminaux. Les principaux facteurs qui influencent la concentration en bioxyde de chlore, en chlorite et en chlorate dans l'eau potable sont les suivants :

- Le rapport entre la dose ajoutée et la demande en oxydant;
- La concentration en matières organiques;
- Le ratio de mélange entre le chlorite de sodium et le chlore au cours du processus de génération du bioxyde de chlore;
- Le pH;
- L'exposition au soleil de l'eau contenant du bioxyde de chlore;
- Les réactions entre le chlore et le chlorite lorsque le chlore libre est maintenu en concentration résiduelle dans le réseau de distribution;
- La teneur en chlorate dans la solution de chlorite de sodium de base.

Il n'y a pas de normes spécifiques dans le *RQEP* sur les chlorites et les chlorates. Cependant, il est prudent de retenir les critères américains de la USEPA. Une concentration maximale de 1,0 mg/L a été fixée pour les chlorites et une concentration maximale de 0,8 mg/L a été fixée pour le bioxyde de chlore résiduel. Aucune norme n'a été fixée pour les chlorates en raison de l'absence de données toxicologiques concluantes. Cependant, il a été recommandé pour les exploitants de maintenir une concentration maximale de 1 mg/L pour la somme des concentrations de bioxyde de chlore, de chlorites et de chlorates. Cette approche sécuritaire leur permet de s'assurer du respect de l'exigence concernant les chlorites en considérant qu'une certaine fraction du bioxyde de chlore sera transformée en chlorites durant la distribution.

### **Sous-produits organiques de désinfection par le bioxyde de chlore**

Normalement, le bioxyde de chlore ne produit que très peu de sous-produits organiques de désinfection. Singer (1992) a cependant remarqué que la formation de sous-produits organiques non halogénés issue de la désinfection au bioxyde de chlore n'a pas suffisamment fait l'objet de recherches. Il pense que le traitement au bioxyde de chlore engendre le même type de sous-produits d'oxydation que l'ozonation. L'ajout de bioxyde de chlore ne produit pas de trihalométhanes et seulement une faible quantité d'halogènes organiques totaux (TOX) (Werdehoff et Singer, 1987).

#### **10.4.4.5 Les différents procédés de génération du bioxyde de chlore**

Au tableau 10-8, on trouve quelques catégories de générateurs offerts sur le marché ainsi que leurs principales caractéristiques. Les générateurs classiques font réagir le chlorite de sodium avec de l'acide, du chlore en solution aqueuse ou du chlore gazeux. Quant aux technologies émergentes, le tableau présente un procédé électrochimique, un deuxième qui repose sur une matrice inerte de chlorite solide (dans laquelle circule du chlore gazeux) et une nouvelle technique qui utilise du peroxyde d'hydrogène et de l'acide sulfurique concentrés.

**Tableau 10-8 : Générateurs de bioxyde de chlore offerts sur le marché**

| CATÉGORIE DE GÉNÉRATEUR                                                                                                                                                               | PRINCIPALES RÉACTIONS<br>Réactifs, sous-produits, réactions clés et commentaires                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PARTICULARITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACIDE – CHLORITE<br>(Système d'acidification directe)                                                                                                                                 | $4\text{HCl} + 5\text{NaClO}_2 \rightarrow 4\text{ClO}_{2(\text{aq})} + \text{ClO}_3^-$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Faible pH</li> <li><math>\text{ClO}_3^-</math> possible</li> <li>Vitesses de réaction peu élevées</li> </ul>                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Les pompes doseuses doivent être asservies</li> <li>La limite de production est d'environ 11-14 kg/jour</li> <li>Le rendement maximal tourne autour de 80%</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| CHLORE AQUEUX – CHLORITE<br>(Injecteurs de $\text{Cl}_2$ gazeux et pompes à produits chimiques pour les liquides ou pompe d'appoint pour l'eau d'éjection)                            | $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{HOCl} / \text{HCl}]$<br><br>$[\text{HOCl}/\text{HCl}] + \text{NaClO}_2 \rightarrow \text{ClO}_{2(\text{g})} + \text{H}/\text{OCl}^- + \text{NaOH} + \text{ClO}_3^-$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Faible pH</li> <li><math>\text{ClO}_3^-</math> possible</li> <li>Réactions relativement lentes</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Il faut un excédent de <math>\text{Cl}_2</math> ou de l'acide pour neutraliser le NaOH</li> <li>La production est limitée à environ 450 kg/jour</li> <li>Le taux de transformation est élevé mais le rendement n'est que de 80-92%</li> <li>Le faible pH (environ 2,8–3,5) rend l'effluent plus corrosif</li> <li>Trois circuits de pompage de produits chimiques acheminent le HCl, l'hypochlorite, les chlorites et l'eau de dilution vers le réservoir de réaction</li> </ul> |
| CHLORE AQUEUX RECIRCULÉ OU <i>FRENCH LOOP</i><br>(Saturation en $\text{Cl}_2$ d'une solution par passage dans une boucle de recirculation, puis mélange avec la solution de chlorite) | $2\text{HOCl} + 2\text{NaClO}_2 \rightarrow 2\text{ClO}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Besoin d'un excédent de <math>\text{Cl}_2</math> ou de HCl à cause du NaOH formé</li> </ul>                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pour une efficacité optimale il faut une concentration d'environ 3 g/L.</li> <li>La production est limitée à environ 450 kg/jour</li> <li>On rapporte un rendement de 92-98% avec environ 10% de <math>\text{Cl}_2</math> en excès</li> <li>Très corrosif pour les pompes. Ce mélange doit être suivi d'une maturation en réservoir</li> </ul>                                                                                                                                   |

| CATÉGORIE DE GÉNÉRATEUR                                                                                                                                                   | PRINCIPALES RÉACTIONS<br>Réactifs, sous-produits, réactions clés et commentaires                                                                                                                                                                                         | PARTICULARITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CHLORE GAZEUX – CHLORITE<br>(Un injecteur envoie du Cl <sub>2</sub> gazeux et une solution à 25% de chlorite de sodium dans la colonne de réaction)                       | $\text{Cl}_{2(g)} + \text{NaClO}_{2(aq)} \rightarrow \text{ClO}_{2(aq)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>pH neutre</li> <li>réaction rapide</li> <li>possible entartrage dans le réacteur sous vide à cause de la dureté des produits qui l'alimentent</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>La production varie entre 2200 et 55 000 kg/jour</li> <li>Fonctionne seulement avec des injecteurs, sans pompe. L'eau motrice est l'eau de dilution. Le pH de l'effluent est à peu près neutre. Il n'y a pas de Cl<sub>2</sub> en excès au moment de la réaction. La marge de réglage effective est évaluée à 5-10 X avec un rendement de 95-99%. L'excédent de Cl<sub>2</sub> en sortie est inférieur à 2%. Ce type de générateur requiert des débitmètres très précis et une pression minimale de 40 psig dans les conduites.</li> </ul> |
| CHLORE GAZEUX – MATRICE DE CHLORE SOLIDE<br>(Du Cl <sub>2</sub> gazeux humidifié est passé ou pompé à travers une matrice stable contenant du chlorite de sodium solide.) | $\text{Cl}_{2(g)} + \text{NaClO}_{2(s)} \rightarrow \text{ClO}_{2(g)} + \text{NaCl}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Réaction rapide</li> <li>Nouvelle technologie</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>On dilue le Cl<sub>2</sub> gazeux avec du N<sub>2</sub> ou de l'air filtré afin de produire un effluent gazeux à env. 8% de ClO<sub>2</sub>. Il est possible d'obtenir une marge de réglage effective infinie avec un rendement supérieur à 99%. La production maximale atteint environ 550 kg/jour par colonne et plus de 4500 kg/jour si on a plusieurs colonnes.</li> </ul>                                                                                                                                                             |
| ÉLECTROCHIMIQUE<br>(Production continue de ClO <sub>2</sub> à partir d'une solution de chlorite à 31% recirculée dans une cellule d'électrolyse)                          | $\text{NaClO}_{2(aq)} \rightarrow \text{ClO}_{2(aq)} + \text{e}^-$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Nouvelle technologie</li> </ul>                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>De l'eau refroidie circulant à contre-courant recueille le ClO<sub>2</sub> gazeux produit par la cellule et libéré par diffusion à travers une membrane perméable au gaz. Pour les petits systèmes à circulation unique, il faut que le passage du courant soit ajusté de manière précise (loi de Coulomb).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                     |
| ACIDE – PEROXYDE – CHLORURE                                                                                                                                               | $2\text{NaClO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{ClO}_2 + \text{O}_2 + \text{NaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ce procédé est alimenté par du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrés</li> <li>Version à échelle réduite</li> <li>pH faible</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Source : Adapté de Gates, 1998.

#### 10.4.4.6 Efficacité de la désinfection

Le bioxyde de chlore présente plusieurs avantages par rapport au chlore et aux autres désinfectants. Contrairement au chlore, il demeure sous sa forme moléculaire dans les limites de

pH typiques des eaux naturelles (Roberts *et al.*, 1980). Le bioxyde de chlore est un oxydant et un désinfectant puissant : on ne connaît pas bien les mécanismes qui gouvernent son action désinfectante, mais ils semblent différer selon le type de micro-organisme.

Des études ont permis d'évaluer l'effet du pH, de la température et des particules en suspension sur l'efficacité de désinfection du bioxyde de chlore. Les sections qui suivent résument l'influence de chacun de ces paramètres sur l'inactivation des agents pathogènes.

### **pH**

Les études ont démontré que le pH avait peu d'impact sur l'efficacité de la désinfection avec le bioxyde de chlore dans un intervalle de pH de 6,0 à 8,5, en comparaison au chlore. Les études ont aussi montré que, contrairement à l'inactivation par le chlore, l'inactivation par le bioxyde de chlore du poliovirus 1 (Scarpino *et al.*, 1979) et du kyste *Naegleria gruberi* (Chen *et al.*, 1984) s'accroît à mesure qu'augmente le pH.

Les résultats des études portant sur l'inactivation de *E. coli* sont peu concluantes. On a découvert que le degré d'inactivation par le bioxyde de chlore augmente avec le pH (Bernarde *et al.*, 1967a). Une étude précédente avait cependant souligné qu'un pH entre variant entre 6,0 et 10,0 n'avait pas d'effet sur l'activité bactéricide du bioxyde de chlore (Ridenour et Ingols, 1947). Selon une étude récente portant sur *Cryptosporidium*, l'inactivation d'oocystes par le bioxyde de chlore se produit plus rapidement à un pH de 8,0 qu'à un pH de 6,0. Pour une valeur de CT similaire, le degré d'inactivation à un pH de 8,0 s'est révélé environ le double de celui observé à un pH de 6,0 (LeChevallier *et al.*, 1997). Cependant, Ruffell *et al.* (2000) ont, pour leur part, montré l'absence d'effet du pH sur l'efficacité du ClO<sub>2</sub> à inactiver *Cryptosporidium* pour des pH variant de 6,0 à 8,0. Une autre étude a permis de découvrir que l'efficacité du bioxyde de chlore, relativement à l'inactivation de *Giardia*, augmente en fonction du pH et que cela pouvait être dû à des modifications chimiques ou physiques dans la structure du kyste de *Giardia* plutôt qu'à l'effet du pH sur la dismutation du bioxyde de chlore (Liyanage *et al.*, 1997).

### **Température**

Comme pour le chlore, l'efficacité de désinfection du bioxyde de chlore diminue en fonction de la température (Ridenour et Ingols, 1947). Au cours d'une étude récente, LeChevallier *et al.* (1997) ont découvert qu'une diminution de la température de 20°C à 10°C réduisait de 40% l'efficacité de la désinfection opérée sur *Cryptosporidium* par le bioxyde de chlore, ce qui s'apparente aux résultats obtenus précédemment pour *Giardia* et certains virus. Selon Gregory *et al.* (1998), même dans les conditions les plus favorables (c.-à-d. à un pH de 8,5), une inactivation de 2 log de *Cryptosporidium* par le bioxyde de chlore ne semble pas envisageable à cause des doses requises : plus de 3,0 mg/L pendant un temps de contact de 60 min. À un pH neutre, on pourrait avoir besoin de plus de 20 mg/L.

### **Matières en suspension**

Les matières en suspension et l'agglomération d'agents pathogènes nuisent à l'efficacité de désinfection du bioxyde de chlore. On a évalué la protection apportée par la bentonite contre l'inactivation par le bioxyde de chlore à environ 11% pour une turbidité inférieure à 5 UTN et à 25% dans le cas de turbidités variant entre 5 et 17 UTN (Chen *et al.*, 1984). En laboratoire, il a fallu 2,7 fois plus de temps pour inactiver des préparations de poliovirus 1 comportant surtout

des agglomérations de virus que pour inactiver des virus individuels (Brigano *et al.*, 1978). Chen *et al.* (1984) ont aussi découvert que les amas de kystes *Naegleria gruberi* résistaient davantage au bioxyde de chlore que les amas plus petits ou que les kystes non agglomérés.

#### 10.4.4.7 Stratégies pour prévenir la formation de sous-produits de désinfection

L'USEPA recommande de conserver sous 1,0 mg/L de  $\text{Cl}_2$  la concentration totale en bioxyde de chlore, chlorite et chlorate (USEPA, 1983). De plus, le bioxyde de chlore présent à plus de 0,4 à 0,5 mg/L peut contribuer aux goûts et odeurs désagréables (AWWA, 1990). Pour cette raison, l'usage du bioxyde de chlore en tant que désinfectant résiduel demeure limité dans les eaux dont le COT va de modéré à élevé. Dans le cas d'eaux à faible demande en oxydant, cependant, le  $\text{ClO}_2$  résiduel peut perdurer plusieurs jours.

Une fois formé, le chlorate demeure stable dans l'eau potable et il n'existe pas de traitement connu pour l'enlever. Selon Gallagher *et al.* (1994), trois méthodes se sont cependant révélées efficaces pour retirer le chlorite :

- Ajouter des composés réduits par le soufre tels que le bioxyde de soufre ou le sulfite de sodium (méthode non recommandée);
- Se servir de charbon actif granulaire (CAG) ou de charbon actif en poudre (CAP);
- Ajouter des sels de fer réduits tels que le chlorure ferreux et le sulfate ferreux.

Il a été démontré que l'enlèvement du chlorite dans l'eau potable à l'aide de bioxyde de soufre, ou d'autres agents réducteurs à base de soufre, est efficace mais non souhaitable. Une étude portant sur l'enlèvement du chlorite par le bioxyde de soufre indique qu'un pH plus faible favorise l'enlèvement du chlorite et que l'efficacité du traitement augmente en fonction de la dose de bioxyde de soufre. Malheureusement, l'utilisation de bioxyde de soufre et de métrasulfite entraîne la formation de quantités importantes de chlorate. Il a donc été conclu que l'enlèvement du chlorite par le bioxyde de soufre et le métrasulfite n'est pas désirable (Dixon et Lee, 1991). Quant au thiosulfate de sodium, il permet une réduction efficace des concentrations en chlorite, mais cela requiert des doses relativement élevées et dépend énormément du pH et du temps de contact. Cette méthode n'est donc pas recommandée parce qu'elle exige de trop fortes doses de thiosulfate de sodium. (Griese *et al.*, 1991).

L'ajout de fer ferreux à l'eau potable permet d'enlever le chlorite et produit généralement du chlorure. La réduction du chlorite se fait rapidement à des pH de 5 à 7 : elle est complétée en 3 à 5 secondes. Le fer réduit qui demeure en excès dans la solution réagit avec l'oxygène dissous en milieu neutre, mais en milieu acide ( $\text{pH} < 6,5$ ) la stabilité de l'ion soluble risque de causer des problèmes d'ordre esthétique (taches de rouille). Il faut donc porter une attention particulière au dosage du fer ferreux afin de ne pas excéder la concentration maximale de 0,3 mg/L recommandée pour le fer (Knocke et Iatrou, 1993).

Le charbon actif en poudre (CAP) peut éliminer les chlorites si on utilise des dosages relativement élevés (de 10 à 20 mg/L de CAP) et de faibles pH (5,5 à 6,5). Mais à moins que le CAP ne soit utilisé à d'autres fins, comme l'élimination des goûts et odeurs, cette option n'est

pas rentable car elle requiert une grande quantité de CAP. Les diverses marques de CAP diffèrent parfois dans leur capacité à réduire le chlorite.

Le charbon actif granulaire (CAG) enlève le chlorite, mais sa capacité utile risque de diminuer très rapidement. Il semble que l'enlèvement du chlorite résulte de processus d'adsorption et de réduction chimique (Dixon et Lee, 1991). On assiste initialement à un enlèvement très efficace du chlorite par adsorption. Puis, au fur et à mesure que les sites d'adsorption sont saturés, la réduction chimique sur les surfaces du CAG devient le principal mécanisme d'enlèvement. Bien qu'à la sortie des filtres au CAG les concentrations en chlorite soient faibles, les niveaux de chlorate sont élevés, fort probablement à cause de réactions ayant eu lieu dans les filtres entre le chlorite et le chlore libre. Selon les études, les filtres de CAG possèdent une capacité limitée d'élimination et des ions chlorate s'y formeront si l'eau à l'entrée des filtres contient du chlore libre et des ions chlorite. La meilleure façon d'utiliser le CAG pour réduire le chlorite et éviter la formation de chlorate consiste à diminuer le plus possible la durée des cycles de production et à s'assurer qu'il n'y aura pas de chlore libre dans le filtre.

#### 10.4.4.8 Paramètres de conception

Le lecteur peut se référer à la section 10.4.1 sur la conception des systèmes de chloration car plusieurs concepts décrits à cette section sont également applicables pour le bioxyde de chlore.

Parmi les composantes de base d'un système de fabrication de bioxyde de chlore, on retrouve les suivantes :

- Un système d'entreposage et d'alimentation pour la solution d'hypochlorite;
- Un système d'entreposage et d'alimentation pour le chlorite de sodium;
- Un système d'entreposage et d'alimentation pour l'acide (dans le cas des générateurs à acidification directe);
- Un système d'entreposage et d'alimentation pour le chlore;
- Un générateur de bioxyde de chlore;
- La tuyauterie et les appareils de dosage et de répartition du bioxyde de chlore.

#### **L'entreposage du chlorite de sodium**

Les systèmes d'entreposage et de dosage du chlorite de sodium, de façon générale, consistent en un (des) réservoirs(s) d'entreposage de liquide et des pompes doseuses.

##### *Réservoirs d'entreposage*

Pour l'entreposage en vrac de solutions de chlorite de sodium (25 à 38%), on recommande de se servir de réservoirs en plastique renforcé de fibres de verre (FRP) ou en polyéthylène linéaire haute densité (HDLPE) ne comprenant aucune isolation ni sonde de température. Les ajutages devraient être munis d'évents pour le déchargement des camions-citernes ainsi que d'indicateurs de niveau et de température.

On peut se procurer le chlorite de sodium en fûts de 208 L, en bacs à usage unique de 1040 L ou en vrac, selon la taille des installations. Pour la plupart des petits systèmes de génération, on devrait pouvoir se constituer une provision de 30 jours à l'aide de fûts de 208 L. Chacun de ces

fûts pèse environ 270 kg : il faut prévoir le matériel nécessaire pour qu'une personne seule puisse les manipuler facilement. Diverses précautions doivent être prises pour la manipulation et le stockage des solutions de chlorite de sodium.

De manière générale, il faut prévoir, pour la fabrication et l'entreposage du bioxyde de chlore :

- Des endroits réservés à l'entreposage et à l'alimentation (dont le dosage);
- L'utilisation de matériaux de construction incombustibles tels que le béton;
- L'entreposage dans des contenants opaques, propres et fermés;
- L'absence (ni entreposage, ni manipulation) de substances combustibles ou réactives, telles que les acides ou les matières organiques, au lieu d'entreposage du chlorite de sodium;
- Dans les endroits où l'on entrepose et manipule le produit, un confinement secondaire doit être prévu pour recueillir le pire déversement envisageable, y compris des puisards facilitant la récupération;
- Une source d'approvisionnement en eau près des lieux d'entreposage et de manipulation, pour fins de nettoyage;
- L'utilisation de matériaux inertes pour tout ce qui entre en contact avec les solutions fortement oxydantes ou celles faisant partie du procédé de fabrication;
- Des réservoirs d'entreposage munis d'évents;
- Une ventilation suffisante et un contrôle de la qualité de l'air;
- Des masques à gaz et des trousseaux de premiers soins placés juste à l'extérieur des zones abritant des produits chimiques;
- Un réacteur muni de regards vitrés, s'il n'est pas fait de matériel transparent;
- Des dispositifs de contrôle du débit sur toutes les conduites d'alimentation en produits chimiques, les conduites d'eau de dilution et celles transportant la solution de bioxyde de chlore;
- Une eau de dilution dont le pH est à peu près neutre et de faible dureté afin de prévenir les dépôts de calcium;
- Des essais fréquents sur place afin de connaître la concentration des solutions et de réaliser un contrôle efficace du procédé;
- Des mesures visant à limiter le contact des solutions de bioxyde de chlore avec l'air, afin de prévenir l'accumulation de vapeurs explosives dans l'espace vide à l'intérieur du générateur. Il faut éviter que le bioxyde de chlore dans l'air n'atteigne des concentrations supérieures à 8 à 10% en volume. Deux méthodes permettent cela : le fonctionnement sous vide ou l'entreposage sous haute pression (300 à 500 kPa). Les réservoirs d'entreposage (intermittent) contenant du  $\text{ClO}_2$  doivent être munis d'évents convenables;
- Les réservoirs systèmes de solution à 38% de chlorite de sodium devront donc être placés soit à l'intérieur d'une enceinte chauffée ou être isolés. Quant à la solution à 25%, elle ne requiert aucune protection particulière, hormis le cas des régions froides;
- Dans les régions froides, il n'est pas recommandé d'entreposer à l'extérieur les solutions de chlorite de sodium titrant 25% ou plus, car à des températures inférieures à 4°C, il peut se produire une stratification. De plus, toute formation de glace risquerait d'endommager les réservoirs. Dans certains cas, il est possible de diviser l'entreposage : de gros réservoirs pour le vrac et de plus petits qu'on remplit régulièrement en fonction des besoins d'exploitation;
- Dans les régions chaudes, il faut éviter de conserver des fûts de couleur sombre pendant de longues périodes, sinon le chlorite de sodium se décompose;

- Les luminaires, les interrupteurs, les fils et la tuyauterie doivent être situés de façon à ce qu'aucune fuite ou déversement de chlorite de sodium ne les atteigne.

#### Pompes doseuses

La conception de toute la tuyauterie destinée au chlore gazeux ou à des solutions d'hypochlorite doit respecter les directives du présent Guide de conception (voir section 10.4.1). De plus, la tuyauterie et les pompes des systèmes alimentés par la solution de 38% de chlorite de sodium devront être placés à l'intérieur d'une enceinte chauffée ou être isolés. Quant à la solution à 25%, elle ne requiert aucune protection particulière, si ce n'est dans les régions froides.

On doit prévoir des pompes de transfert centrifuges faites d'acier inoxydable de série 316, de fibres de verre, d'Hypalon, de Téflon ou de résines époxydes. Afin d'éviter les étincelles, les pompes centrifuges utilisées sont à entraînement magnétique. Elles ne doivent comporter aucun joint, sinon des joints mécaniques doubles. Le polychlorure de vinyle chloré (PVC-C) constitue le matériau de prédilection pour la tuyauterie, bien que le vinylester et le Téflon soient acceptables. Il n'est pas recommandé de concevoir la tuyauterie en acier au carbone ou en acier inoxydable.

Les pompes doseuses de chlorite de sodium sont généralement des pompes à compteur à diaphragme conçues pour le pompage de liquide et la régulation du dosage. Si on utilise des pompes centrifuges, le seul matériel de garniture acceptable est le Téflon. S'il faut lubrifier, on ne devrait utiliser qu'une quantité minimale de lubrifiant ininflammable. Les moteurs de pompes doivent être à l'épreuve des explosions, avec un ventilateur extérieur et des roulements étanches. Les raccords ne doivent comporter aucune graisse. Les conduites d'eau associées aux joints mécaniques doivent être munies d'un manomètre et d'un robinet d'étranglement à la sortie. Il faut pouvoir vérifier visuellement l'exactitude du débit. Chaque pompe doit posséder une colonne d'étalonnage.

Il faut assurer un support adéquat de la tuyauterie contenant du chlorite de sodium afin d'éviter le plus possible de la soumettre à un effort excessif. On doit également prévoir des raccords flexibles aux pompes afin de limiter les dommages dus aux vibrations. La tuyauterie doit posséder une pente descendante vers les points de vidange et des raccords de tuyaux flexibles munis de robinets en des points stratégiques permettant le rinçage et la vidange des conduites. L'eau de service servant au rinçage des conduites d'alimentation doit être amenée seulement par des tuyaux flexibles raccordés de manière temporaire et protégés par un dispositif anti-retour. Il faut que les conduites d'eau de service comprennent des clapets de non-retour. Les raccords des tuyaux flexibles amenant l'eau de service doivent être munis de purgeurs d'air, qui permettront de relâcher la pression dans le tuyau avant de le débrancher.

Le débit est mesuré de manière précise à l'aide de compteurs électromagnétiques, de compteurs de débit massique ou de débitmètres à flotteur. On doit prendre des mesures pour prévenir le refoulement. Le chlorite de sodium est extrêmement réactif, particulièrement sous sa forme solide, il faut donc prendre les précautions nécessaires pour se prémunir contre les risques d'explosion.

Les solutions de bioxyde de chlore titrant à moins d'environ 10 g/L n'engendreront pas suffisamment de pression de vapeur pour que cela représente un danger d'explosion dans des conditions normales de température et de pression ambiantes. La concentration des solutions de bioxyde de chlore utilisées pour le traitement de l'eau dépasse rarement 4 g/L pour des températures inférieures à 40°C : elles se situent généralement entre 0,1 et 5,0 mg/L. Si la température excède 50°C, il faut munir d'évents les réservoirs d'entreposage, car les concentrations de  $\text{ClO}_2$  risquent d'y être plus élevées. Mais il est rare de rencontrer de telles conditions, étant donné qu'on utilise normalement de l'eau de service ou de l'eau potable froide comme eau de dilution pour le générateur.

#### *10.4.5 Rayonnement ultraviolet*

##### 10.4.5.1 Photochimie du rayonnement U.V.

Les rayons U.V. se dissipent rapidement dans l'eau pour être absorbés ou réfléchis par les substances qui s'y trouvent. Ce phénomène ne génère aucun résidu ou sous-produit de désinfection : il est donc particulièrement intéressant pour ces raisons. Cela implique toutefois l'utilisation d'un désinfectant secondaire, tel que le chlore, pour maintenir une concentration résiduelle dans le réseau de distribution.

Les rayons ultraviolets sont des radiations électromagnétiques dont la longueur d'onde se situe entre 100 et 400 nm (soit entre celle de la lumière visible et celle des rayons X). Le rayonnement U.V. se divise en U.V. extrême (de 100 à 200 nm), en U.V.C. (de 200 à 280 nm), en U.V.B. (de 280 à 315 nm) et en U.V.A. (de 315 à 400 nm). L'effet germicide optimum correspond au spectre d'U.V. allant de 245 à 285 nm. Pour la désinfection aux rayons U.V., on utilise : (1) des lampes à basse pression dont le rendement énergétique maximal produit une longueur d'onde de 253,7 nm; (2) des lampes à moyenne pression qui émettent un rayonnement U.V. dont la longueur d'onde varie entre 180 et 1370 nm; (3) des lampes qui émettent à d'autres longueurs d'onde, par impulsions de haute intensité.

On peut calculer le taux de survie des micro-organismes, en fonction de la dose et du temps de contact, en se servant d'équations de cinétique du premier ordre (White, 1992; USEPA, 1996). Dans le cas d'enlèvement de grandes quantités d'organismes, les concentrations restantes semblent être dues uniquement à la dose employée et à la qualité de l'eau et ne pas dépendre de la densité initiale de micro-organismes.

Le rayonnement U.V. à ondes entretenues, aux doses et aux longueurs d'onde normalement employées pour la production d'eau potable, ne change pas de manière significative la composition chimique de l'eau et n'interagit pas de façon importante avec les substances présentes dans l'eau (USEPA, 1996). L'eau conserve donc ses caractéristiques physico-chimiques naturelles et aucun agent chimique ne s'y ajoute. Qui plus est, cette technique ne génère pas de résidus. La formation de trihalométhanes ou d'autres sous-produits de désinfection se trouve donc ainsi réduite au minimum.

#### 10.4.5.2 Variables importantes pour le procédé

Puisque le rayonnement U.V. est en fait de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques, les caractéristiques chimiques de l'eau à traiter ne limitent pas son efficacité. Il semble donc que le pH, la température, l'alcalinité et le carbone organique total n'influencent pas le rendement global de la désinfection par ultraviolet (AWWA et ASCE, 1990). La dureté, cependant, risque de nuire à la propreté et au bon fonctionnement des manchons des lampes. La présence ou l'ajout d'oxydants (comme l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène par ex.) améliore le rendement du traitement par U.V..

La demande en U.V. de l'eau se mesure à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 254 nm, sur un échantillon d'eau d'un centimètre d'épaisseur. La mesure qui en résulte représente l'absorption d'énergie par unité de profondeur, ou l'absorbance. Il est important de mesurer l'absorbance U.V. sur un échantillon sans traitement de filtration (contrairement à la procédure habituelle décrite dans *Standards Methods*).

On utilise couramment le pourcentage de transmittance pour déterminer si le rayonnement U.V. convient comme méthode de désinfection. L'équation suivante permet de le calculer à partir de l'absorbance (A).

$$\text{Pourcentage de transmittance} = 100 \times 10^{-A} \quad \text{Éq. 10-10}$$

Le tableau 10-9 présente quelques valeurs typiques d'absorbance ainsi que le pourcentage de transmittance qui lui correspond, et ceci pour des eaux brutes de différentes qualités.

**Tableau 10-9 : Qualité de l'eau et caractéristiques U.V. associées**

| Qualité de l'eau brute | Absorbance<br>(unités d'absorbance/cm) | Pourcentage de<br>transmittance |
|------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| Excellente             | 0,022                                  | 95%                             |
| Bonne                  | 0,071                                  | 85%                             |
| Passable               | 0,125                                  | 75%                             |

Source : DeMers et Renner, 1992

#### 10.4.5.3 Production des rayons ultraviolets

Le rayonnement U.V. est émis par des lampes qui fonctionnent à l'électricité. Les lampes utilisées habituellement pour la désinfection par U.V. sont en fait des tubes de quartz remplis d'un gaz inerte, tel que l'argon ainsi qu'une faible quantité de mercure. Des ballasts régularisent l'alimentation électrique des lampes.

##### **Lampes U.V.**

Le fonctionnement d'une lampe U.V. ressemble à celui d'une lampe fluorescente. Dans la plupart des cas, c'est un flux d'électron porté par de la vapeur de mercure ionisé qui cause l'émission du rayonnement U.V.. La différence entre les deux types de lampe réside dans le fait que le tube fluorescent est enduit de phosphore, qui transforme les ultraviolets en lumière visible,

tandis que la lampe U.V. ne possède pas cet enduit : elle transmet donc les rayons U.V. produits par l'arc (White, 1992).

Pour la production d'eau potable, on peut se procurer des lampes à basse pression et des lampes à pression moyenne. Les premières émettent une énergie maximale à une longueur d'onde de 253,7 nm alors que les secondes émettent à des longueurs d'onde variant entre 180 et 1370 nm. L'intensité des lampes à pression moyenne est de beaucoup supérieure à celle des lampes à basse pression. On a donc besoin de moins de lampes à pression moyenne que de lampes à basse pression pour obtenir une même dose d'U.V.. Dans les petites installations de production d'eau potable, le procédé de désinfection ne comporte parfois qu'une seule lampe à pression moyenne. Bien que les deux types de lampes fonctionnent aussi bien l'un que l'autre pour inactiver les micro-organismes, il est recommandé pour les installations et réseaux de petite taille d'utiliser plusieurs lampes U.V. à basse pression, et cela à cause de la fiabilité que leur confère leur nombre (DeMers et Renner, 1992), plutôt que de n'utiliser qu'une seule lampe à moyenne pression. Cela permet aussi un fonctionnement adéquat pendant les cycles de lavage des lampes.

Les lampes à basse pression devraient présenter les caractéristiques suivantes (DeMers et Renner, 1992), entre autres :

- Être faites avec du quartz de type L, sans ozone;
- Pouvoir s'allumer instantanément (délai d'allumage minimal);
- Résister aux chocs et à la vibration.

Normalement, les lampes à basse pression sont contenues dans un manchon de quartz qui protège de l'eau la surface de la lampe. Cela permet de maintenir la surface de la lampe près de sa température de fonctionnement optimale de 40°C. Bien qu'il existe aussi des manchons en Téflon, ces derniers absorbent 35% des rayons U.V., comparativement à 5% pour le quartz (Combs et McGuire, 1989). Il n'est donc pas recommandé d'utiliser des manchons en Téflon.

L'intensité du rayonnement émis par les lampes U.V. diminue avec le temps. Deux facteurs nuisent principalement à leur bon fonctionnement soit : (1) la solarisation, produite par les U.V. sur la lampe et qui la rend opaque; (2) la détérioration progressive des électrodes puis leur défaillance, causées par les allumages et extinctions successives de la lampe. Des cycles fréquents d'allumage et extinction entraînent en effet un vieillissement prématuré des lampes. L'espérance de vie des lampes U.V. à basse pression se situe à environ 8800 heures.

De plus, l'encrassement du manchon en quartz réduit la quantité de rayons U.V. qui atteignent l'eau. Neuf et propre, ce manchon transmet normalement plus de 90% des ultraviolets produits. À mesure que le temps passe, des débris organiques et inorganiques (p. ex. du fer, du calcium ou du silt) se fixent sur la surface de quartz en contact avec l'eau, ce qui freine la transmission des U.V. (USEPA, 1996).

### **Ballasts**

Les ballasts sont des transformateurs qui assurent la régulation du courant électrique alimentant les lampes U.V.. Si l'on veut éviter une défaillance prématurée des ballasts, ces derniers doivent fonctionner à une température inférieure à 60°C. Ils génèrent habituellement suffisamment de

chaleur pour justifier l'installation d'un ventilateur ou d'un appareil de conditionnement d'air (White, 1992).

On utilise couramment deux types de transformateurs pour les lampes U.V. : les transformateurs électroniques et les transformateurs électromagnétiques. Les ballasts électroniques fonctionnent à des fréquences beaucoup plus élevées que les ballasts électromagnétiques, entraînant une température de fonctionnement plus basse pour les lampes, une moindre consommation d'énergie, une libération de chaleur moins grande et une plus longue durée de vie des ballasts (DeMers et Renner, 1992).

Quelques critères de sélection pour les ballasts (DeMers et Renner, 1992) sont les suivants :

- Sceau d'approbation des Underwriter's Laboratories (ULC);
- Boîtier à l'épreuve de l'eau placé dans un endroit isolé.

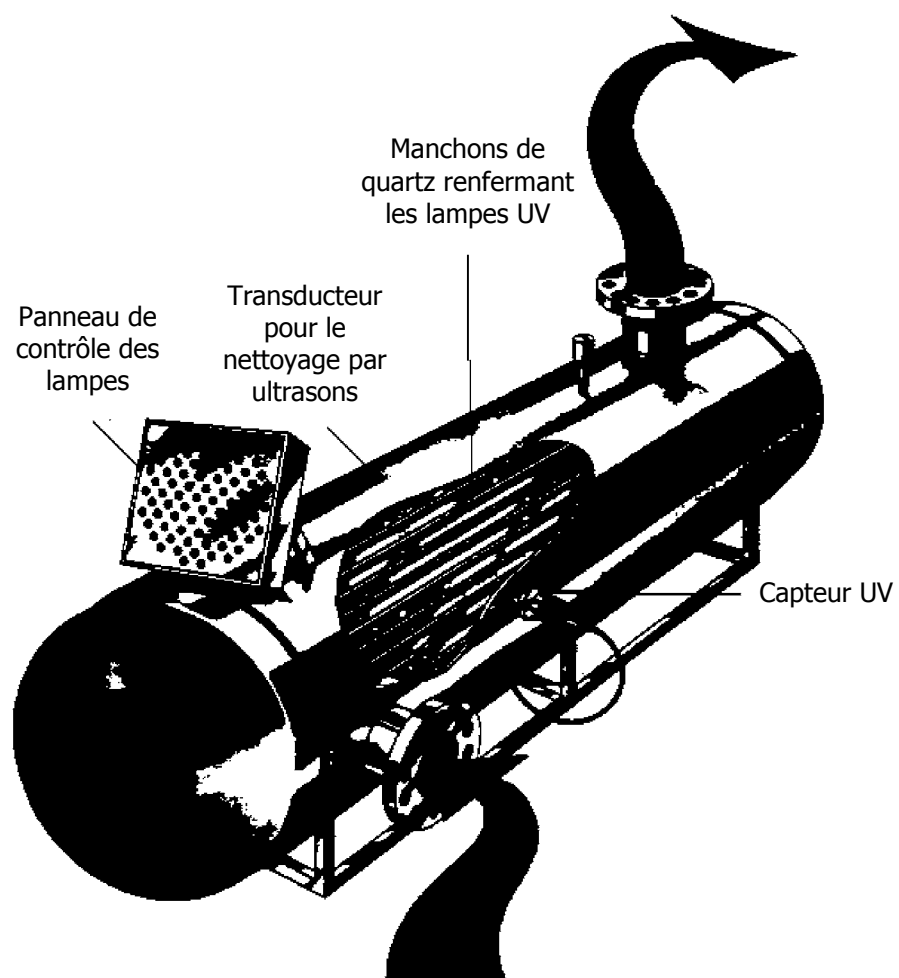
#### 10.4.5.4 Types de réacteur U.V.

La plupart des réacteurs U.V. classiques se répartissent en deux catégories : les réacteurs fermés (en vase clos) et les réacteurs à surface libre. Dans le domaine de la production d'eau potable, on préfère généralement les réacteurs fermés pour les raisons suivantes (USEPA, 1996) :

- Ils occupent une surface moins importante;
- Ils permettent d'éviter la pollution due aux particules en suspension dans l'air;
- Ils limitent l'exposition du personnel aux rayons U.V.;
- Leur conception modulaire en facilite l'installation.

La figure 10-13 illustre un réacteur fermé classique. Ce réacteur fournit des doses d'U.V. suffisantes pour des débits pouvant aller jusqu'à 400 L/s. Pour augmenter la dose, il suffit d'ajouter des lampes U.V. ou d'allonger le temps d'exposition.

**Figure 10-13 : Réacteur U.V. fermé**



Source : USEPA, 1996.

#### 10.4.5.5 Considérations relatives à l'hydraulique

La dispersion, la turbulence, le volume utile, la distribution des temps de séjour ainsi que le débit constituent les principaux éléments d'hydraulique à considérer dans la conception d'un réacteur U.V. fermé (USEPA, 1996).

##### **Dispersion**

La dispersion est la manière dont l'eau se dissémine dans l'espace. Dans le réacteur idéal s'effectue un écoulement en piston : on suppose alors que les particules d'eau sortent du réacteur dans l'ordre où elles y sont entrées et qu'elles demeurent toutes dans le réacteur pendant la même période de temps. De plus, il n'y aurait pas de dispersion dans un réacteur idéal. On s'en approche en se servant d'un long réservoir ayant un fort ratio longueur/largeur et dans lequel la dispersion demeure minimale (USEPA, 1996).

##### **Turbulence**

En plus d'assurer un écoulement en piston, le réacteur U.V. idéal produit une turbulence radiale qui a pour fonction d'éliminer les zones mortes. Ce schéma d'écoulement à turbulence radiale favorise un dosage uniforme du rayonnement U.V.. Il a cependant le désavantage de causer une certaine dispersion axiale, ce qui a pour effet de troubler l'écoulement en piston. On a utilisé par le passé des techniques telles que le désalignement (de l'admission et de la sortie d'eau) et l'installation de tranquillisateurs perforés pour composer avec les caractéristiques contradictoires de l'écoulement en piston et de la turbulence (USEPA, 1996).

#### 10.4.5.6 Inactivation des agents pathogènes et efficacité de la désinfection

Contrairement à la plupart des autres méthodes de désinfection, le rayonnement U.V. est un procédé physique qui ne demande qu'un temps de contact de l'ordre des secondes pour inactiver les agents pathogènes (Sobotka, 1993). Il a cependant, comme les autres procédés de désinfection, ses propres limites.

##### **Effet des conditions environnementales**

Pour qu'il y ait inactivation, il faut que le micro-organisme absorbe les rayons ultraviolets. Conséquemment, tout ce qui empêche les rayons U.V. de réagir avec le micro-organisme en question cause une diminution de l'efficacité de désinfection. Sheible et Bassell (1981), de même que Yip et Konasewich (1972) ont rapporté que le pH n'avait pas d'effet sur la désinfection par U.V.. On connaît cependant plusieurs facteurs qui nuisent à une désinfection U.V. efficace :

- Les films chimiques et biologiques qui se développent à la surface des lampes U.V.;
- Les matières organiques et inorganiques dissoutes ;
- L'agglutination des micro-organismes;
- La turbidité;
- La couleur;
- Le court-circuitage dans le réacteur U.V..

### **Films chimiques et matières organiques et inorganiques dissoutes**

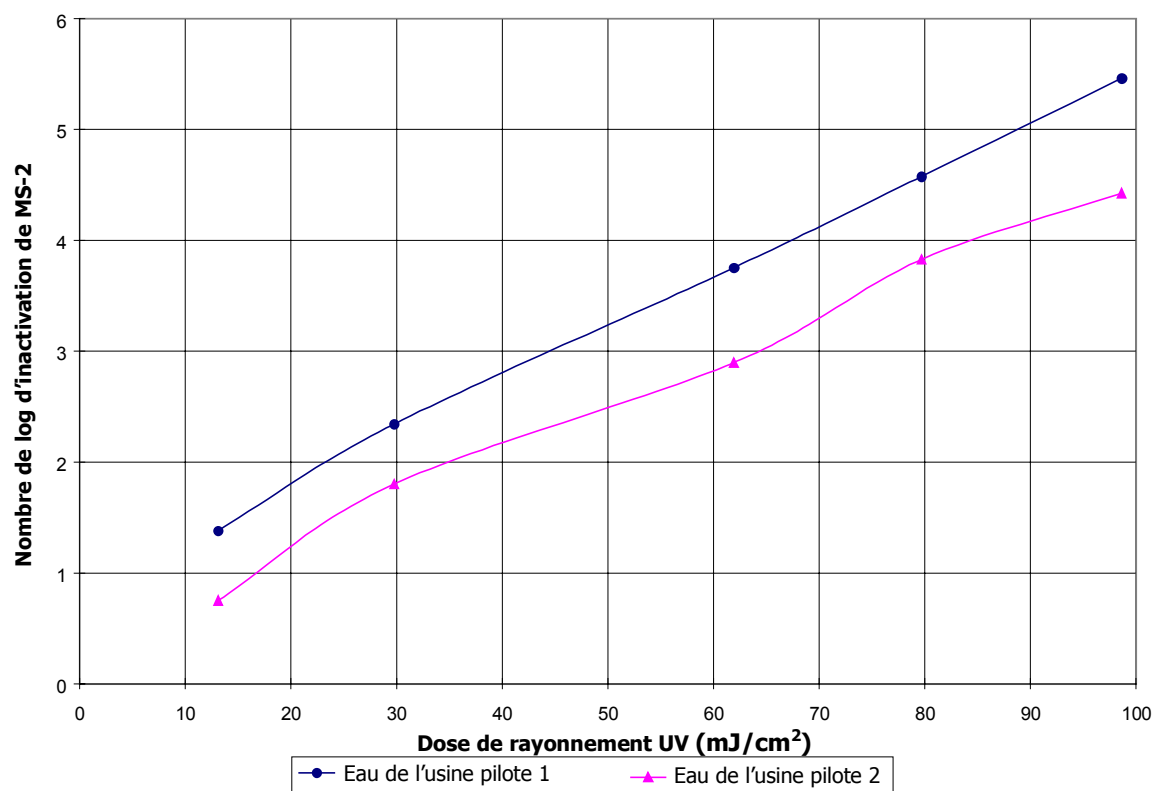
L'accumulation de solides sur la surface des manchons des lampes U.V. réduit l'intensité du rayonnement et, en conséquence, entrave le processus de désinfection. En plus des films biologiques dus à la matière organique, on rapporte des incrustations de calcium, de magnésium et de fer. Les eaux dures contenant de fortes concentrations de fer, de sulfure d'hydrogène et de matière organique sont plus susceptibles que d'autres de causer des incrustations ou du placage (formation d'une couche mince sur une surface), qui diminuent l'intensité du rayonnement U.V.. Il est probable qu'il y aura incrustation en présence de substances organiques dissoutes et lorsque les concentrations de matières inorganiques excèdent les limites suivantes (DeMers et Renner, 1992) :

- 0,1 mg/L pour le fer;
- 140 mg/L pour la dureté;
- 0,2 mg/L pour le sulfure d'hydrogène.

La figure 10-14 montre la dose d'U.V. requise pour l'inactivation des coliphages MS-2 dans deux usines pilotes. Snicer *et al.* (1996) ont conclu que les incrustations causées par une concentration plus importante en fer constituaient une cause possible de la plus grande demande d'U.V. à l'usine 2 qu'à l'usine 1, pour le même degré d'inactivation. La concentration de fer dans l'eau à l'usine 2 variait en effet de 0,45 à 0,65 mg/L, ce qui excède les limites mentionnées ci-dessus.

Plusieurs substances chimiques ont le pouvoir d'affaiblir la transmission des rayons U.V. (Yip et Konasewich, 1972) dont les acides humiques, les composés phénoliques et les lignosulfonates (Snider *et al.*, 1991), de même que le chrome, le cobalt, le cuivre et le nickel. On rapporte également que les colorants, tels que l'Orzan S, le thé et les extraits de feuilles causent une diminution de l'intensité du rayonnement dans un réacteur U.V. (Huff, 1965). Le fer, l'ozone, les sulfites, les nitrites et les phénols ont aussi la propriété d'absorber les ultraviolets (DeMers et Renner, 1992).

Figure 10-14 : Dose d'U.V. nécessaire à l'inactivation du coliphage MS-2



Source : Snicer *et al.*, 1996.

### **Agglutination des micro-organismes et turbidité**

Les particules peuvent influencer l'efficacité de la désinfection par U.V. en abritant des bactéries ou d'autres agents pathogènes, les protégeant ainsi partiellement des rayons U.V. et causant la diffusion de ces derniers. Ces phénomènes influencent généralement peu la désinfection des eaux souterraines en raison de leur faible turbidité. Dans le cas des eaux de surface cependant, la turbidité, qui y est plus élevée, risque de nuire à l'efficacité de la désinfection.

Tout comme les particules responsables de la turbidité, l'agglutination de micro-organismes entrave parfois la désinfection en soustrayant à l'action des U.V. certains agents pathogènes qui, autrement, auraient été inactivés.

### **Géométrie du réacteur et court-circuitage**

Une géométrie déficiente du réacteur U.V. (qui détermine l'espace entre les lampes) crée parfois des zones mortes où la désinfection est insuffisante (Hazen et Sawyer, 1992). Un facteur clé de l'amélioration de la désinfection réside dans l'élimination de ces zones mortes où il ne se produit qu'une exposition limitée aux U.V.. Il importe de maintenir un écoulement en piston dans le réacteur, mais il faut aussi créer une certaine turbulence entre les lampes afin d'assurer un mélange radial de l'eau qui circule. Ainsi on distribue uniformément l'eau à traiter dans des régions d'intensité de rayonnement différentes, ce qui expose les micro-organismes à l'ensemble du spectre de rayonnement U.V. du réacteur (Hazen et Sawyer, 1992).

Tel que mentionné précédemment, les temps de contact des réacteurs U.V. sont de l'ordre des secondes. Il est donc extrêmement important que la configuration du système limite le court-circuitage.

#### **10.4.5.7 Remplacement des lampes U.V.**

Il faut laisser suffisamment d'espace autour des réacteurs pour pouvoir procéder à l'entretien et au remplacement des lampes U.V.. Avec les raccords électriques modulaires, il suffit pour remplacer une lampe de débrancher le raccord mâle de la vieille lampe et de brancher la nouvelle.

#### **10.4.5.8 Nettoyage des manchons de quartz**

On peut nettoyer les manchons de quartz par des moyens physiques ou chimiques. Les solutions physiques incluent :

- Des balais mécaniques automatiques;
- Des appareils à ultrasons;
- Le lavage à l'eau à haute pression;
- Le lavage à l'air.

Parmi les nettoyeurs chimiques, on retrouve entre autres l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique. Un réacteur U.V. peut contenir un ou plusieurs dispositifs de nettoyage physiques et quand même permettre un nettoyage chimique à l'occasion.

#### 10.4.5.9 Alimentation électrique d'urgence

La production de rayons U.V. demande de l'électricité pour alimenter les ballasts électroniques qui, à leur tour, alimentent les lampes U.V.. Puisque la désinfection est d'une importance capitale dans la production d'eau potable, il faut que l'unité de traitement aux U.V. demeure en fonction durant les coupures d'alimentation primaire. On utilise fréquemment, pour assurer la fiabilité du traitement, des systèmes d'alimentation électrique redondants ou des circuits consacrés aux besoins essentiels et alimentés par des génératrices de secours. Chaque lampe U.V. à basse pression consomme environ 100 watts. Une autre précaution consiste à ne pas alimenter le procédé de désinfection à partir du même panneau de contrôle que celui utilisé pour des moteurs à fréquence variable. Les ballasts produisent en effet des harmoniques qu'il faut parfois atténuer (par des filtres d'harmoniques) pour les commandes à fréquence variable. S'il est impossible de redémarrer l'unité de désinfection U.V. après une courte panne d'électricité, il faudrait alors penser à inclure une source d'alimentation indépendante et continue au système.

## VOLUME 2

### CHAPITRE 12

|             |                                            |
|-------------|--------------------------------------------|
| <b>12.</b>  | <b>TRAITEMENT DES GOÛTS ET ODEURS.....</b> |
| <b>12.1</b> | <b>Généralités.....</b>                    |
| <b>12.2</b> | <b>Traitement.....</b>                     |
| 12.2.1      | <i>Charbon actif.....</i>                  |
| 12.2.1.1    | Charbon actif granulaire.....              |
| 12.2.1.2    | Charbon actif en poudre .....              |
| 12.2.2      | <i>Les oxydants.....</i>                   |
| 12.2.2.1    | L'ozone .....                              |
| 12.2.2.2    | Le bioxyde de chlore.....                  |
| 12.2.2.3    | Le chlore .....                            |
| 12.2.2.4    | Permanganate de potassium.....             |
| 12.2.3      | <i>La biofiltration.....</i>               |
| <b>12.3</b> | <b>Sulfate de cuivre.....</b>              |
| <b>12.4</b> | <b>Autres méthodes.....</b>                |

## 12. TRAITEMENT DES GOÛTS ET ODEURS

### 12.1 Généralités

Les installations de traitement utilisant une eau de surface doivent prendre en considération le contrôle des goûts et des odeurs, et ce particulièrement lorsque le problème est déjà répertorié à une autre installation s'alimentant à partir de la même source d'approvisionnement.

Les goûts et odeurs ont diverses origines, mais, la plupart du temps, les substances qui provoquent un mauvais goût sont des composés inorganiques, alors que celles qui produisent des mauvaises odeurs sont associées à la présence de composés organiques dont une proportion importante est d'origine naturelle. Parmi les principales sources de goûts et odeurs, on note :

- Les substances inorganiques :  $H_2S$  (œufs pourris), fer (rouille), manganèse, etc.;
- Les bactéries telles que les *Actinomycètes* et les *Cyanobacter* génèrent des métabolites (2-méthyl-isoborneol (MIB) et géosmine) qui dégagent des goûts et odeurs de moisissure et de terre. Ils sont responsables des problèmes de goûts fréquemment répertoriés. La fin de l'été est une période propice à leur apparition;
- Les algues bleues, vertes, flagellées pigmentées, les diatomées, etc. dont les métabolites peuvent générer des goûts et odeurs d'herbe, de pourriture, de fosse septique, de poisson, de concombre, d'épices, etc. Les algues bleues, qui apparaissent également vers la fin de l'été, génèrent, même en très petite quantité, des problèmes importants de goûts et d'odeurs au Québec;
- Certaines municipalités qui s'alimentent à partir d'un cours d'eau pollué font face à une augmentation de l'azote ammoniacale, ce qui génère des problèmes d'odeurs.

Les problèmes de goûts et d'odeurs générés par les algues bleues et les *Actinomycètes* sont les plus difficiles à traiter par les méthodes conventionnelles.

L'intensité des odeurs peut se mesurer par la méthode du « seuil olfactif » décrite dans le *Standard Methods* ou par la méthode du profil de *flaveur* décrite dans le document de l'AWWA (1987).

### 12.2 Traitement

La meilleure défense possible contre les problèmes de goûts et d'odeurs demeure le choix d'une source d'eau souterraine ou de surface de grande qualité. L'élimination ou la réduction des contaminations d'origine anthropique représente habituellement la meilleure avenue de solution à long terme. Cependant, lorsque le problème se présente ou perdure, l'exploitant peut envisager l'un ou l'autre des scénarios suivants :

- L'adsorption sur charbon actif;
- L'oxydation chimique;
- Le traitement biologique.

L'aération est généralement peu efficace pour les composés rencontrés dans la nature (sauf H<sub>2</sub>S), mais son utilisation peut s'avérer intéressante pour les composés anthropiques qui sont volatils (constante de Henry supérieure à 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup> atm/mole).

Le procédé de coagulation/décantation/filtration ne réduit pas les goûts et odeurs, mais peut aider à prévenir leur apparition en enlevant les algues avant leur lyse par les désinfectants qui risquent de conduire à la libération de substances odorantes.

### 12.2.1 Charbon actif

#### 12.2.1.1 Charbon actif granulaire

Le charbon actif granulaire (CAG) est reconnu comme étant le procédé le plus efficace contre les goûts et les odeurs. Ce composé de faible poids moléculaire favorise une durée de vie prolongée. Son efficacité est cependant limitée pour les métabolites MIB et géosmine.

Il peut être utilisé en colonne d'adsorption ou dans un filtre. Le temps de contact en fût vide (*Empty Bed Contact Time* – EBCT) de conception pour l'élimination quasi-complète des goûts et des odeurs varie de 5 à 15 min et peut parfois atteindre 30 min dans certains cas.

Parfois, l'anthracite d'un filtre bicouche est remplacé par du charbon actif. Dans ce cas, le temps de contact en fût vide d'opération obtenu varie de 3 à 9 min, selon les taux de filtration usuels utilisés pour la filtration bicouche (5 à 10 m/h). Malgré le faible temps de contact atteint de cette façon, l'expérience montre que les filtres adsorbants ainsi obtenus (CAG-sable) donnent souvent des résultats acceptables. Le charbon actif, utilisé de cette façon, constitue une solution attrayante en raison de son faible coût. La durée de vie d'un lit de CAG varie généralement de 1 à 3 ans, et ce même si le charbon est complètement saturé en précurseurs de trihalométhanes (THM). Le choix de ce procédé ne doit pas nuire aux autres processus de traitement (élimination du manganèse par exemple).

La conception doit inclure les points suivants :

- Le média doit rencontrer les spécifications de base des médias utilisés pour la filtration bicouche et avoir une épaisseur totale de CAG qui varie entre 600 et 750 mm. Un média plus grossier peut être accepté par le ministère de l'Environnement pour les installations où des tests à grande échelle ont démontré que les objectifs de traitement peuvent être rencontrés dans toutes les conditions;
- Une concentration en chlore libre résiduel ainsi qu'un temps de contact adéquat doivent être assurés à la sortie des filtres et avant la distribution;
- Un traitement périodique du média filtrant doit être prévu afin de contrôler la croissance d'organismes non désirés (lavage après une période maximale de 96 h, etc.);
- Un remplacement périodique ou une régénération du média filtrant doit être prévu;
- Les filtres doivent être utilisés en continu pour éviter l'apparition de conditions anaérobiques dans le CAG;

- Le réajustement du débit de lavage (tenir compte de la viscosité de l'eau qui varie avec sa température) et, au besoin, du niveau des goulottes d'eau de lavage pour permettre une expansion de 40% du lit (le CAG est moins dense que l'anthracite).

#### 12.2.1.2 Charbon actif en poudre

Le charbon actif en poudre (CAP) utilise le même principe d'adsorption que le CAG, seule sa forme diffère. Il est reconnu pour être légèrement moins efficace que le CAG, mais a comme avantage de pouvoir être interrompu en absence de problèmes de goûts et d'odeurs.

Le dosage de charbon requis pour le traitement de l'eau dépend de l'origine des goûts et/ou des odeurs en cause. Le dosage de conception doit être compris entre 3 mg/L et 30 mg/L en absence d'essais prolongés. Au-delà de 30 mg/L sur une base continue, le CAG devrait être envisagé pour des raisons économiques.

Le charbon actif en poudre doit être ajouté au début de la chaîne de traitement afin d'assurer un temps de contact le plus long possible, mais après l'étape de coagulation afin d'éviter un colmatage des macropores du CAP par le coagulant. Une flexibilité au niveau de l'ajout du charbon en différents points est recommandée. Le charbon activé ne doit pas être ajouté près du point d'injection d'un agent oxydant. Le CAP doit être enlevé par des étapes de séparation solide-liquide conventionnelles (coagulation/décantation/filtration, filtration membranaire, etc.).

Le charbon peut être ajouté sous forme d'une suspension ou via un système de dosage volumétrique sec pour autant que le charbon soit adéquatement mouillé pour éviter sa flottaison.

Une agitation continue ou tout autre équipement de mise en suspension doit être incorporé dans le réservoir de stockage de la suspension afin d'empêcher le charbon de se déposer au fond.

Un système de contrôle de la poussière doit être considéré.

Le charbon activé en poudre doit être manipulé comme une substance potentiellement combustible. Les pièces d'entreposage et de dosage de CAP doivent être munies d'un système de ventilation indépendant afin d'éviter une accumulation de poussière de charbon. En quantité importante dans l'air, la poussière de charbon peut être explosive.

#### 12.2.2 Les oxydants

Les oxydants sont utilisés depuis longtemps pour gérer les goûts et les odeurs de l'eau potable. Dans certains cas, ils peuvent cependant être à leurs origines (goûts et odeurs de chlore de piscine, d'iode, de kérosène, etc.). Néanmoins, leur emploi est généralement simple et facile à valider à l'échelle pilote et parfois à l'échelle réelle.

Parmi les oxydants qui sont utilisés, citons : l'ozone, le bioxyde de chlore, le chlore libre et le permanganate de potassium.

Le ou les points d'injection d'oxydant sont d'une grande importance dans l'efficacité du procédé. À cette fin, le concepteur devrait prévoir des points d'injection à différents endroits dans la filière de traitement.

#### 12.2.2.1 L'ozone

L'ozone est de loin le meilleur oxydant pour le contrôle des goûts et des odeurs. Un temps de contact adéquat doit être assuré afin que les réactions chimiques soient complétées. L'ozone est généralement employé pour le traitement des eaux ayant un seuil d'odeur élevé. Il est relativement efficace pour le traitement des composés MIB et géosmine. Pour ces métabolites, on cite une efficacité de l'ordre de 50 à 95% pour un dosage d'ozone variant de 2 à 4 mg/L. Son emploi est habituellement suivi d'une biofiltration afin de réduire le carbone organique assimilable présent dans l'eau brute et celui résultant de l'ozonation. La pré-ozonation est possible, mais elle nécessite généralement un dosage plus élevé que l'inter-ozonation (eau décantée).

#### 12.2.2.2 Le bioxyde de chlore

Le bioxyde de chlore est généralement reconnu pour le traitement des goûts causés par des rejets industriels tels que les phénols. Toutefois, le bioxyde de chlore peut être utilisé pour le traitement de n'importe quels goûts et odeurs qui sont traitables par un composé oxydant. À un dosage excédant 1 mg/L, le bioxyde de chlore génère parfois une odeur de kérosène. Une attention particulière doit donc être portée au contrôle du dosage et à la formation des sous-produits (chlorite et chlorate).

Afin d'éliminer les dangers d'explosion, des précautions doivent être prises en ce qui a trait à l'entreposage et à la manipulation du chlorite de sodium. Les réactifs et leurs vapeurs, nécessaires à la fabrication du bioxyde, doivent être gérés de façon indépendante afin d'éviter tout contact entre eux.

#### 12.2.2.3 Le chlore

La chloration peut être utilisée pour l'enlèvement de certains goûts et odeurs désagréables. Un temps de contact adéquat (de plusieurs heures parfois) doit être assuré pour permettre aux réactions chimiques en cause d'être complétées. Une production excessive potentielle de THM doit être évitée et, de ce fait, le chlore ne devrait pas être employé dans l'eau brute. La chloration n'est pas efficace pour le traitement des composés MIB et géosmine.

En contrepartie, la chloration génère très souvent des goûts et des odeurs en usine. Les seuils d'odeur des différents types de chlore présents dans l'eau sont :

- $\text{HClO}$  : 0,28 mg/L;
- $\text{ClO}^-$  : 0,36 mg/L;
- Monochloramine : 0,65 mg/L;
- Dichloramine : 0,15 mg/L.

Les monochloramines se forment lorsqu'il y a présence d'azote ammoniacal dans l'eau. Lorsque le dosage en chlore est suffisamment élevé (ratio chlore/ammoniaque > 5), il y a formation de dichloramines, reconnus pour générer un goût et une odeur de chlore typiques des piscines. Les dichloramines sont à éviter : ils peuvent être détruits en augmentant le dosage de chlore pour obtenir un ratio stœchiométrique  $\text{Cl}_2/\text{NH}_3$  supérieur à 7,6 (en pratique, ce ratio peut varier de 8,5 à 11) et atteindre ainsi le point critique de chloration, au-delà duquel seul le chlore libre subsistera.

Lorsque l'eau brute contient de l'ammoniaque organique en concentration notable (0,3 mg/L), ce dernier peut réagir avec le chlore et former du  $\text{NCl}_3$ . Ce composé est très volatil et provoquera des goûts et des odeurs ainsi que le picotement des yeux à de très faibles concentrations.

Les phénols, souvent présents dans l'eau brute, sont reconnus pour réagir avec le chlore utilisé pour la désinfection et générer des chlorophénols ayant un goût et une odeur d'iode ou de médicament très importants.

En règle générale, on tentera de limiter la concentration en chlore libre de l'eau traitée sous une valeur cible de 1 mg/L pour limiter les goûts et odeurs de cet oxydant.

#### 12.2.2.4 Permanganate de potassium

L'utilisation du permanganate de potassium est considérée dans la mesure où le traitement est conçu de façon à ce que les produits de la réaction soient invisibles dans l'eau traitée. Le permanganate de potassium est d'une efficacité limitée pour le traitement des goûts et des odeurs. Il a cependant l'avantage d'être facile à mettre en œuvre et de ne pas générer de THM. Il n'est pas efficace pour le traitement des composés MIB et géosmine.

Le manganèse résiduel provenant de l'oxydation complète du permanganate peut réagir avec l'ozone, lorsqu'il est utilisé à dosage élevé (s'il est présent en aval de la filière de traitement), et reformer du permanganate. Une coloration rosée est donc susceptible d'apparaître.

#### 12.2.3 La biofiltration

La biofiltration fait intervenir l'activité microbienne présente à la surface du média filtrant de certains procédés. Les procédés les plus communs sont :

- La filtration sur charbon actif granulaire biologique;
- La filtration lente;
- L'infiltration dans le sol (par les berges d'un cours d'eau ou lors d'une recharge artificielle).

Bien que le nombre de ses applications soit encore limité, il semble que la biofiltration ait un avenir prometteur pour le traitement des goûts et des odeurs. Le traitement efficace des phénols a été observé à plusieurs endroits alors que le MIB et le géosmine étaient enlevés à 50%.

L'emploi d'une pré-ozonation vient habituellement renforcer l'efficacité de la biofiltration et permettrait l'atteinte de taux d'élimination très élevés du MIB et du géosmine (> 90%).

### **12.3 Sulfate de cuivre**

Le traitement en continu ou intermittent d'une source d'approvisionnement en eau à l'aide de composés cuivrés pour éliminer les algues a été pratiqué à certains endroits dans le passé. Le sulfate de cuivre est très toxique pour l'écosystème aquatique. Les concentrations tolérées dans un plan d'eau sont de 0,003 mg/L à une dureté de 20 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

Puisque son application se fait directement à la source d'approvisionnement, il est très difficile de contrôler le dosage et des zones de concentrations élevées sont donc susceptibles d'être observées. Pour ces raisons, l'usage du sulfate de cuivre ne représente pas un procédé acceptable pour le traitement des goûts et des odeurs.

### **12.4 Autres méthodes**

La décision d'utiliser toute autre méthode pour le contrôle des goûts et odeurs doit être prise seulement suite à la réalisation d'essais en laboratoire et/ou pilotes et suite à une consultation auprès du MENV.

## VOLUME 2

### CHAPITRE 13

|            |                                                                            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>13.</b> | <b>STABILISATION ET CONTRÔLE DE LA CORROSION .....</b>                     |
| 13.1       | Définitions .....                                                          |
| 13.2       | Problèmes associés à une eau corrosive ou entartrante.....                 |
| 13.3       | Facteurs qui influencent la corrosion ou l'entartrage .....                |
| 13.4       | Méthodes de mesure.....                                                    |
| 13.5       | Méthodologie pour choisir une stratégie de contrôle.....                   |
| 13.6       | Contrôle de la corrosion et de l'entartrage.....                           |
| 13.6.1     | <i>Choix des matériaux en contact avec l'eau et design du réseau .....</i> |
| 13.6.2     | <i>Modification des caractéristiques chimiques de l'eau .....</i>          |
| 13.6.2.1   | Ajustement du pH et de l'alcalinité .....                                  |
| 13.6.2.2   | Reminéralisation.....                                                      |
| 13.6.2.3   | Ajout d'inhibiteurs chimiques .....                                        |

### 13. STABILISATION ET CONTRÔLE DE LA CORROSION

Certains traitements impliquant l'ajout de produits chimiques, comme des coagulants, altèrent la stabilité de l'eau en modifiant l'équilibre calco-carbonique. En conséquence, dans certains cas, l'équilibre de l'eau doit être réajusté en cours ou en fin de traitement pour assurer sa stabilité durant la distribution. Le réajustement de l'équilibre calco-carbonique de l'eau peut aussi être requis pour des eaux naturelles, désinfectées ou non, car il suffit d'un pH un peu abaissé ou d'une minéralisation affaiblie pour créer un déséquilibre.

D'une façon générale, les ajustements requis dépendent : (1) de la qualité de l'eau brute; (2) du traitement appliqué; (3) des matériaux avec lesquels elle entre en contact; (4) des conditions hydrauliques du réseau de distribution. À cause de ces interactions souvent complexes, chaque cas doit être traité de façon individuelle et faire l'objet d'essais de traitabilité. Dans ce chapitre, les principaux facteurs qui influencent la corrosion ou l'entartrage sont définis brièvement, les méthodes de mesure disponibles sont répertoriées et plusieurs traitements sont décrits. Chaque cas étant unique, le concepteur devra bien évaluer et documenter le système proposé et, dans certains cas, effectuer des essais pilotes *in situ* avant de choisir la stratégie à appliquer.

#### 13.1 Définitions

La corrosion interne est la détérioration de la paroi ou du revêtement intérieur d'une conduite résultant de réactions chimiques ou physiques avec l'eau. Cette dégradation peut découler : (1) de l'érosion mécanique du revêtement (p. ex. un écoulement trop rapide provoque l'usure d'un coude); (2) de la mise en solution des matières composant le revêtement ou la paroi de la conduite ou encore de réactions électrochimiques érodant le métal des parois.

L'*agressivité* d'une eau peut être définie comme sa propension à dissoudre les métaux avec lesquels elle est en contact.

Par opposition, une eau *entartrante* est une eau qui a tendance à précipiter les carbonates de calcium pouvant ainsi laisser un dépôt sur les métaux avec lesquels elle est en contact.

La *protection cathodique* est une inhibition de l'échange électronique entre l'anode et la cathode (précipitation à la cathode).

La *protection anodique* vise la mise en place d'une couche de passivation résistante à la corrosion.

La *séquestration* est la formation, suite à l'ajout de réactifs chimiques, de complexes chimiques assez stables pour maintenir une certaine quantité de sous-produits de la corrosion en solution. En absence de séquestrants (silicates ou polyphosphates), le fer soluble issu de la corrosion précipite en milieu alcalin oxygéné et provoque l'apparition d'une couleur ocre.

### 13.2 Problèmes associés à une eau corrosive ou entartrante

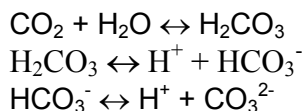
La corrosion se manifeste par : (1) la formation de tubercules sur les parois des conduites; (2) l'apparition d'une couche d'oxydes ou de piqûres; (3) l'amincissement de la paroi; (4) la mise en solution de métaux. Il en résulte une dégradation de la qualité de l'eau, une diminution des performances hydrauliques ainsi qu'une augmentation des coûts de distribution de l'eau attribuable :

- À l'augmentation du coût de pompage relié aux dépôts et à la friction hydraulique;
- Au relargage de particules de rouille;
- À l'augmentation des activités biologiques;
- À l'augmentation de la concentration en fer, en cuivre ou en plomb (effet sur la santé);
- Aux plaintes des consommateurs liées à la couleur de l'eau ou à son mauvais goût;
- À la perte d'eau ou de pression d'eau causée par des bris de conduites. La diminution de la pression causée par un bris ou pendant la réparation augmente le risque d'intrusion de contaminants dans le réseau;
- À l'augmentation de la demande en chlore, ce qui nécessite l'augmentation des dosages aux usines, voire même l'installation de points d'interchloration sur le réseau. Des dosages plus élevés de chlore augmentent le risque de formation de sous-produits de la chloration comme les trihalométhanes (THM);
- À la diminution de la protection des incendies reliée à la diminution potentielle du débit;
- À l'augmentation du coût de traitement des eaux usées : le dégagement de sous-produits de corrosion sur toute la longueur du réseau de distribution et de la tuyauterie privée ainsi que l'ajout d'inhibiteurs de corrosion contenant des phosphates ou des métaux (comme le zinc) constituent parfois des sources de contamination importantes pour les installations d'épuration des eaux usées. Cela peut aller jusqu'à les empêcher de respecter les normes de rejet ou d'élimination des boues;
- Aux réclamations des citoyens pour des souillures sur la lessive et pour des dégâts d'eau dans les domiciles exigeant le remplacement du réseau interne de distribution;
- Au remplacement des chauffe-eau.

Une eau entartrante est caractérisée par sa capacité à précipiter du carbonate de calcium. Le principal impact de ce type d'eau est l'augmentation du coût de pompage due aux dépôts et à la friction hydraulique. Certaines conduites peuvent être complètement obstruées, ce qui peut entraîner soit leur remplacement, soit un curage suivi d'une réhabilitation (application d'un revêtement (ciment ou époxy) sur les parois internes d'une conduite).

### 13.3 Facteurs qui influencent la corrosion ou l'entartrage

L'agressivité de l'eau est contrôlée par trois équations fondamentales :



Le caractère agressif ou incrustant d'une eau est régi par le pH de saturation (pH<sub>s</sub>). Si le pH de l'eau est inférieur à son pH<sub>s</sub>, l'eau dissout le calcaire : elle est alors dite « agressive ». Si le pH de l'eau est supérieur à son pH<sub>s</sub>, elle tend à précipiter le calcaire et est alors dite « incrustante ». Si le pH de l'eau est égal à son pH<sub>s</sub>, elle est alors dite « à l'équilibre ».

Il existe sur le marché divers logiciels de calcul du pH<sub>s</sub>. L'American Water Works Association (AWWA) a développé le modèle de Rothberg, Tamburini et Windsor. Il existe aussi des abaques qui permettent de déterminer le pH<sub>s</sub>, tels ceux de Langelier, Hallopeau-Dubin, Legrand-Poirier, etc.

La corrosivité de l'eau dépend de ses caractéristiques (voir tableau 13-1), des conditions hydrauliques (vitesse de l'eau, temps de séjour), de la température ainsi que de la nature des matériaux avec lesquels elle entre en contact (voir section 13.6.1). La croissance bactérienne dans un réseau de distribution contribue à la corrosion en fournissant un milieu propice aux réactions corrosives. Les mécanismes responsables de la corrosion sont souvent une combinaison complexe de procédés physiques, chimiques et biologiques.

Plusieurs substances présentes naturellement dans l'eau, comme la matière organique naturelle (MON), les silicates et les phosphates, peuvent réduire la corrosion. Les problèmes d'eau rouge ou jaune sont souvent observés dans des eaux ayant peu de matière organique.

Le traitement de l'eau peut augmenter sa corrosivité en : (1) enlevant ou en modifiant la MON; (2) diminuant l'alcalinité; (3) augmentant les concentrations de chlorure et de sulfate lorsque des sels d'aluminium ou de fer sont utilisés pour la coagulation ou lorsque des dosages de chlore élevés sont utilisés. La fluoration à l'aide d'acide hydrofluorosilicique peut diminuer l'alcalinité et le pH et ainsi augmenter la corrosivité de l'eau. L'adoucissement par échanges ioniques ou par séparation membranaire peut aussi augmenter le niveau de corrosivité de l'eau traitée. Enfin, l'ozonation peut aussi contribuer à augmenter la corrosivité de l'eau en transformant la matière organique en molécules de poids moléculaire plus faible et en la rendant plus acide.

**Tableau 13-1 : Facteurs qui influencent la corrosion\***

| <b>Facteurs</b>                                 | <b>Effet</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| pH                                              | Un faible pH risque de faire augmenter la vitesse de corrosion. Un pH élevé peut protéger la tuyauterie et ralentir la vitesse de corrosion, causer une dézincification du laiton ou des dépôts bleu clair (hydroxydes) dans les tuyaux de cuivre.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Alcalinité et Carbone inorganique dissous (CID) | Favorisent parfois la formation d'une couche protectrice et la stabilisation du pH. Une alcalinité de faible à modérée réduit la corrosion de la plupart des matériaux. Une forte alcalinité favorise la corrosion du cuivre, du plomb et du zinc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Oxygène dissous (OD)                            | Accélère de nombreuses réactions de corrosion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Chlore résiduel                                 | Entraîne une augmentation de la corrosion métallique, plus particulièrement du cuivre, du fer et de l'acier. Ralentit la corrosion d'origine microbienne.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Matières totales dissoutes (MTD)                | Un taux élevé de MTD tend à augmenter la conductivité et la vitesse de corrosion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Dureté calcique                                 | Le calcium précipite parfois sous forme de $\text{CaCO}_3$ , ce qui protège la tuyauterie et freine la corrosion. Mais ceci risque également de causer de la turbidité et un entartrage excessif.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Chlorures Sulfates                              | De fortes concentrations de chlorures et de sulfates favorisent la corrosion du fer, du cuivre et de l'acier galvanisé.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sulfures d'hydrogène                            | Caused un accroissement de la vitesse de corrosion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Ammoniaque                                      | Risque d'augmenter la solubilité de certains métaux tels que le cuivre et le plomb.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Polyphosphates                                  | Peuvent réduire la formation de tubercules sur les parois des tuyaux de fer et d'acier, ce qui les gardent lisses. En faibles concentrations, ils risquent toutefois de favoriser la corrosion du fer et de l'acier. Il est possible qu'ils attaquent et affaiblissent le revêtement de ciment de la tuyauterie en amiante-ciment. Ils font augmenter la solubilité du plomb et du cuivre et préviennent la formation et le dépôt de $\text{CaCO}_3$ . Les polyphosphates sont des agents séquestrants pour le fer ferreux, ce qui minimise l'apparition d'eaux rougeâtres. Ils peuvent aussi revenir à l'état d'orthophosphates pour former une pellicule protectrice. |
| Orthophosphates                                 | Peuvent former une pellicule protectrice.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Silicates                                       | Sont des agents séquestrants (pour les ions métalliques) et forment une pellicule protectrice. Les solutions de silicates augmentent le pH et l'alcalinité.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Couleur naturelle et matières organiques        | Peuvent freiner la corrosion en recouvrant la surface des tuyaux. Certaines substances organiques favorisent la formation de complexes métalliques et accélèrent la corrosion ou la mise en solution de métaux.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Fer ou manganèse                                | Réagissent parfois avec la surface interne des tuyaux en amiante-ciment, formant ainsi une couche protectrice. Dans les conduites métalliques, ils risquent de précipiter et de déposer un film sur les parois, ce qui les protégera ou, dans le cas du cuivre, y fera des piqûres de corrosion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Zinc                                            | Réagit parfois avec la surface interne des tuyaux en amiante-ciment et d'autres types de tuyaux pour former une couche protectrice. Il tend à précipiter aux endroits faisant office de cathodes et y laisse des dépôts protecteurs.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Cuivre                                          | Entraîne de la corrosion par piqûres dans la tuyauterie galvanisée.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Magnésium (et peut-être d'autres métaux traces) | Risque d'inhiber la précipitation du $\text{CaCO}_3$ sous forme de calcite sur les surfaces des conduites et d'y favoriser plutôt son dépôt sous forme d'aragonite, plus soluble que la calcite.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

\* Tiré de l'AWWA, DVW-Technologiezentrum Wasser. *Internal corrosion of Water Distribution Systems*, 2e édition, 1996

### 13.4 Méthodes de mesure

La corrosion a plusieurs causes et ses effets sont multiples. En conséquence, il n'existe aucune méthode fournissant toutes les réponses. Cependant, une combinaison de plusieurs méthodes permet de mieux cerner les problèmes et d'identifier les solutions.

On peut séparer les méthodes en deux catégories : les méthodes directes et les méthodes indirectes qui s'appuient sur certaines informations relatives à la qualité de l'eau.

Méthodes directes :

- **Inspection visuelle macroscopique (œil nu) et microscopique.** L'observation de l'intérieur des conduites est très utile et peu coûteuse. Elle permet de déterminer le type et l'étendue de la corrosion;
- **Mesure du taux de corrosion (perte de poids, méthode électrochimique, consommation d'oxygène, dissolution de métaux).** Le tableau 13-2 décrit brièvement ces quatre méthodes et donne leur utilité et leur limite;
- **Analyse chimique des dépôts.** Donne des informations sur la composition des dépôts de corrosion (carbonate, phosphate, sulfate, chlorure, silicate, oxygène, fer, plomb, cuivre, zinc, etc.);
- **Analyses microscopiques plus sophistiquées (Rayon-X, infrarouge).** Ces analyses permettent d'examiner la structure des dépôts de corrosion ou de la couche protectrice.

Méthodes indirectes :

- **Indices** (indice de Langelier, d'agressivité, de Larson, de saturation du carbonate de calcium, de Ryznar, etc.). En général, ces indices aident à avoir une meilleure compréhension du problème de corrosion. Ils ne permettent toutefois pas de prédire les réactions qui se produiront. Il existe des logiciels ou diagrammes (RTW (Scuras *et al.*, 1999) et CORRODE (AWWA, 1997)) permettant de calculer rapidement ces indices, de tracer les diagrammes et d'estimer l'impact de plusieurs scénarios d'ajout de produits chimiques sur les caractéristiques finales de l'eau;
- **Essais hydrauliques.** Ils sont utiles pour déterminer le coefficient de Hazen-Williams (C). Le coefficient de friction est une propriété intrinsèque de la conduite qui est directement reliée à la rugosité de la surface interne de la conduite. Une modification de la rugosité de la surface intérieure de la conduite, telle que l'enlèvement ou l'accumulation de dépôts corrosifs dans la conduite, engendre une variation du coefficient de friction (Rompré, A., 1999);
- **Plaintes des consommateurs.** Les plaintes des consommateurs mettent souvent en évidence les problèmes de corrosion.

**Tableau 13-2 : Méthodes de mesure du taux de corrosion\***

| Méthode                                   | Principes sous-jacents                                                                                                                                                                                                                                                                       | Applications                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Limitations                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Exposition de coupons<br>(perte de poids) | La mesure cumulative de la perte de métal d'une surface définie pendant une période d'exposition prolongée donne un taux de perte de poids par unité de surface.                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>On convertit généralement les taux de perte de métal en taux de pénétration de la corrosion.</li> <li>Cette méthode fournit une indication visuelle concernant la morphologie de la corrosion et de l'entartrage.</li> <li>Les résultats sont considérés comme la mesure de corrosion; cette technique sert souvent de référence aux autres mesures de corrosion.</li> <li>On peut l'utiliser pour évaluer la tendance à la corrosion par piqûres et les taux de pénétration.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Requiert une exposition prolongée (&lt; 90 jours).</li> <li>Il y a beaucoup de variabilité entre les mesures effectuées sur différents coupons (échantillons).</li> <li>Il faut effectuer plusieurs expositions afin de déterminer l'intervalle de confiance statistique.</li> <li>Ces essais sont assez dispendieux.</li> <li>La préparation des coupons demande une main-d'œuvre importante.</li> </ul> |
| Méthode électrochimique                   | La plupart des méthodes électrochimiques donnent une estimation ponctuelle de la densité de courant de corrosion (taux d'échange électronique par unité de surface). À partir de la densité de courant, et en se servant de la loi de Faraday, on peut obtenir un taux d'oxydation du métal. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cette mesure quasi instantanée convient bien aux méthodes directes (ou en ligne) de contrôle des procédés.</li> <li>Elle est utile pour évaluer l'efficacité relative de différentes stratégies de prévention de la corrosion et pouvoir ainsi choisir parmi un vaste éventail.</li> <li>Elle permet de réaliser une expertise sur des surfaces corrodées.</li> <li>On peut s'en servir pour construire un modèle électrochimique des surfaces corrodées.</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>La préparation de l'échantillon est critique.</li> <li>La méthode ne s'applique généralement qu'aux surfaces qui se corrodent uniformément.</li> <li>La corrélation absolue avec la méthode de référence du coupon risque d'être faible (mesures de polarisation linéaire).</li> </ul>                                                                                                                    |
| Consommation d'oxygène                    | On suppose que la consommation d'oxygène dissous réducteur est proportionnelle au taux d'oxydation du métal qui lui est associé.                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cette méthode fournit une mesure ponctuelle rudimentaire, à court terme, du taux de corrosion.</li> <li>L'analyse s'effectue en circuit fermé (avec recirculation) sur une portion assez grande de tuyauterie.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se limite généralement aux surfaces qui se corrodent rapidement (c.-à-d. le fer et l'acier).</li> <li>Il s'agit d'un outil de recherche en laboratoire.</li> <li>Les couples réducteurs en concurrence (c.-à-d. le chlore) brouillent la mesure.</li> </ul>                                                                                                                                               |
| Dissolution de métaux                     | La surface qui se corrode transmet des métaux à l'eau avec laquelle elle est en contact et dont le volume est connu. On suppose que le taux d'accumulation des métaux en solution équivaut au taux de corrosion.                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>On peut monter en laboratoire un circuit similaire à la plomberie de distribution (concentration en métaux de l'eau du robinet).</li> <li>On effectue normalement les mesures après une période de stagnation de l'eau dans les conduites.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Le matériel d'essai requiert un conditionnement prolongé dans l'eau qu'on désire étudier.</li> <li>Les particules (issues des dépôts de corrosion) qui se détachent causent une grande variabilité dans les taux de libération des métaux.</li> <li>Cette méthode est dispendieuse et prend beaucoup de temps.</li> <li>La présence de dépôts de corrosion risque de brouiller les résultats.</li> </ul>  |

\* Tiré de AWWA, DVW-Technologiezentrum Wasser. *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*, 2<sup>e</sup> édition, 1996.

### 13.5 Méthodologie pour choisir une stratégie de contrôle

La corrosion dépend à la fois des caractéristiques de l'eau et de son interaction avec les matériaux du réseau de distribution. Une méthode de contrôle peut avoir du succès dans un réseau et ne pas en avoir dans un autre ou même avoir différents résultats dans différentes parties d'un même réseau de distribution. Ainsi, le choix de la stratégie doit être fait en fonction des particularités de chaque système et des objectifs à atteindre.

- Documenter le problème (faire un diagnostic);
- Déterminer les objectifs (diminuer les plaintes, gérer les dépôts, diminuer la dissolution du cuivre et du plomb, etc.);
- Caractérisation du système :
  - Qualité de l'eau produite en fonction des saisons;
  - Connaissance du réseau (matériau et hydraulique (débit, pression, temps de séjour, sens d'écoulement, impasse, etc.).
- Choisir la stratégie à appliquer :
  - Élaborer un protocole expérimental qui comprend des essais à l'échelle de laboratoire (permet de tester une grande quantité de stratégies) et à l'échelle pilote (permet de comparer plusieurs stratégies dans des conditions plus représentatives des conditions réelles).
- **Implantation de la stratégie :**
- Application de la stratégie retenue à l'ensemble du réseau de distribution ou à un secteur isolé pour débiter;
- Préparation du réseau à recevoir un changement;
- Élaboration d'un plan pour minimiser les inconvénients pour la population;
- Vérification de l'efficacité de la stratégie en fonction des objectifs visés.

### 13.6 Contrôle de la corrosion et de l'entartrage

Dans la majorité des cas, la corrosion ne peut être totalement éliminée. Elle doit cependant être réduite à un degré acceptable (n'entraînant pas de souillures ou de plaintes et qui ne réduit pas la vie utile des conduites). La corrosion par piqûres doit aussi être réduite au minimum.

#### 13.6.1 Choix des matériaux en contact avec l'eau et design du réseau

Dans certains cas, surtout pour de nouveaux réseaux, la corrosion des conduites peut être réduite en faisant un choix de matériaux adéquat et en optimisant le design du réseau. Lorsque cela est possible, le choix du matériau doit tenir compte des caractéristiques de l'eau et de la compatibilité des matériaux. Il est possible que des tuyaux de métal présentant des propriétés électrochimiques différentes, comme par exemple le cuivre et le fer galvanisé, forment une cellule galvanique en entrant en contact les uns avec les autres et entraînent ainsi de la corrosion. Le tableau 13-3 résume la résistance à la corrosion des principaux matériaux qui composent un réseau de distribution.

Voici plusieurs recommandations concernant le design d'un réseau de distribution :

- Éviter les impasses et les endroits stagnants;
- Choisir des matériaux qui ne corrodent pas;
- Installer des équipements permettant le drainage;
- Choisir la vitesse d'écoulement appropriée;

- Choisir le diamètre de conduite approprié;
- Choisir l'épaisseur de métal appropriée;
- Diminuer le stress mécanique;
- Éviter les coudes et les changements de direction brusques;
- Configurer le réseau selon une géométrie appropriée;
- S'assurer que les infrastructures seront faciles d'accès en vue des inspections, de l'entretien périodique et du remplacement des pièces endommagées;
- Éviter que le réseau ne serve de mise à la terre pour les circuits électriques.

À grande échelle, un réseau de distribution mal conçu risque de créer des secteurs où l'eau sera de mauvaise qualité et où la désinfection ne sera pas efficace. De même, un réseau mal conçu risque d'entraîner une turbidité élevée ainsi que des goûts et des odeurs désagréables. Dans certains cas, il s'avère plus efficace de résoudre les problèmes de qualité de l'eau par la rénovation de certaines conduites plutôt que par un traitement.

**Tableau 13-3 : Résistance des matériaux à la corrosion\***

| Matériaux                                    | Résistance à la corrosion                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Principaux contaminants associés                                                                                                                       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuivre                                       | Le cuivre présente une bonne résistance générale à la corrosion. Il est sujet aux attaques des éléments corrosifs suivants : vitesses d'écoulement élevées, eau douce, chlore, oxygène dissous, pH faible et fortes concentrations de carbone inorganique (alcalinité). Il est susceptible d'être endommagé par des piqûres de corrosion.                                                                                            | Le cuivre et possiblement le fer, le zinc, l'étain, l'antimoine, l'arsenic, le cadmium et le plomb à cause de la tuyauterie et des brasures associées. |
| Plomb                                        | Il est sujet à la corrosion dans les eaux douces de pH < 8 et dans les eaux dures présentant un niveau élevé de carbone inorganique (alcalinité) et un pH inférieur à 7,5 ou supérieur à 8,5.                                                                                                                                                                                                                                        | Le plomb.                                                                                                                                              |
| Acier doux                                   | Il est sujet à une corrosion uniforme, principalement due à de fortes concentrations en oxygène dissous et en chlore et à des eaux peu tamponnées.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Le fer, ce qui amène des plaintes relativement à la turbidité de l'eau et à sa coloration rouge.                                                       |
| Fonte ou fonte ductile (sans revêtement)     | Les tuyaux en fonte risquent de subir une érosion de surface en présence d'eaux agressives et une tuberculisation en présence d'eaux peu tamponnées.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Le fer, ce qui amène des plaintes relativement à la turbidité de l'eau et à sa coloration rouge.                                                       |
| Fer ou acier galvanisé                       | Il est sujet à la corrosion galvanique du zinc en présence d'eaux agressives, surtout lorsqu'elles ne sont pas dures. Le contact avec des éléments faits de cuivre accélère la corrosion, de même que les températures élevées (comme dans les tuyaux d'eau chaude). La qualité de fabrication de la tuyauterie et du revêtement galvanisé a aussi une influence sur la résistance à la corrosion.                                   | Le zinc et le fer, le cadmium et le plomb (impuretés associées au procédé de galvanisation).                                                           |
| Amiante-ciment, béton, revêtements de ciment | Ces matériaux offrent une bonne résistance à la corrosion. Les réactions électrolytiques n'ont pas d'effet sur eux. Les eaux agressives (douces) attaquent parfois le ciment et libèrent ainsi du calcium. Les polyphosphates, qui sont des agents séquestrants, peuvent réduire la quantité de calcium et ramollir la tuyauterie de manière importante.                                                                             | Les fibres d'amiante, une augmentation du pH, l'aluminium et le calcium.                                                                               |
| Plastique                                    | Le plastique résiste à la corrosion.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Les plastifiants utilisés dans la fabrication de certains tuyaux contiennent des métaux, notamment du plomb.                                           |
| Laiton                                       | Il présente une bonne résistance globale à la corrosion. Les différents types de laiton réagissent différemment à la composition chimique de l'eau. Il est sujet à la dézincification en présence d'eaux de pH supérieur à 8,3 caractérisées par un ratio chlorures/dureté carbonatée élevé. Les conditions amenant une défaillance mécanique ne correspondent pas nécessairement à celles favorisant la libération de contaminants. | Le plomb, le cuivre et le zinc.                                                                                                                        |

\* Tiré de AWWA Water Quality & Treatment. *A Handbook of Community Water Supplies*, 5<sup>e</sup> édition, 1999.

### 13.6.2 Modification des caractéristiques chimiques de l'eau

En général, les caractéristiques chimiques de l'eau modifiées pour diminuer les problèmes de corrosion sont le pH et l'alcalinité. Dans ce qui suit, les méthodes pouvant être utilisées ont été séparées en deux groupes : celles qui permettent un ajustement du pH et/ou de l'alcalinité et celles qui permettent la reminéralisation d'une eau (pour des eaux trop douces). La dernière partie de cette section traite de l'ajout d'inhibiteurs de corrosion.

#### 13.6.2.1 Ajustement du pH et de l'alcalinité

L'ajustement du pH et de l'alcalinité est la méthode de contrôle de la corrosion la plus courante puisqu'elle agit à la fois sur les phénomènes électrochimiques de la corrosion et sur la solubilité du carbonate de calcium, qui peut servir de couche de protection. Cette méthode est aussi souvent la plus économique.

Selon un rapport de l'AWWA (1997), basé sur l'expérience de plusieurs installations, la dissolution du plomb et du cuivre peut être contrôlée en augmentant l'alcalinité et le pH :

- Pour le plomb, une alcalinité élevée diminue la dissolution du plomb (jusqu'à un maximum de 100 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ). Lorsque le pH est inférieur à 8,5, la gamme d'alcalinité la meilleure se situe entre 15 et 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ;
- Pour le cuivre, un pH élevé contribue à diminuer la dissolution du cuivre et une gamme de pH plus élevée est nécessaire lorsque l'alcalinité est faible.

Plusieurs procédés de neutralisation, du point de vue physico-chimique, sont applicables pour ajuster une eau naturelle, dont :

- L'élimination du  $\text{CO}_2$  libre par aération;
- La neutralisation par une base (soude caustique, chaux);
- La neutralisation par un carbonate alcalin ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou alcalino-terreux ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### Élimination du $\text{CO}_2$ par aération

Lorsqu'on met en contact avec l'atmosphère des eaux riches en gaz carbonique, elles laissent échapper une partie du  $\text{CO}_2$  dissous. Plusieurs techniques sont applicables et sont décrites au chapitre 11.

Un pH-mètre doté d'un signal d'alarme doit être prévu à la sortie de l'équipement. Le procédé est donc une désorption du gaz carbonique et est régi par la loi de Henry.

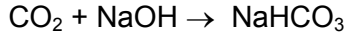
La densité du  $\text{CO}_2$  est de 1,98 g/L à 0°C et pression atmosphérique.

La constante de Henry entre 0 et 30°C est :

| Température (°C)           | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\text{MH} \times 10^{-2}$ | 7,28 | 8,76 | 10,4 | 12,2 | 14,2 | 16,4 | 18,6 |

#### Neutralisation par l'ajout de soude caustique

La réaction de neutralisation du  $\text{CO}_2$  libre est :



L'addition de soude caustique (NaOH) permet de neutraliser le CO<sub>2</sub> agressif en formant du carbonate de soude soluble.

Il faut ajouter 0,91 g de NaOH pur par gramme de CO<sub>2</sub> agressif. L'ajout de 1 mg/L de NaOH pur augmente l'alcalinité de l'eau de 1,25 mg CaCO<sub>3</sub>/L et de 0,58 mg/L de Na<sup>+</sup>.

La solution commerciale est à 50%.

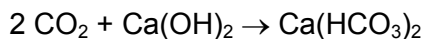
La solution est en général diluée à 10% avant son injection. Un bon contrôle du dosage est essentiel puisqu'un léger surdosage peut faire augmenter le pH de façon excessive, surtout dans les eaux douces.

Le bac de préparation et de dosage doit permettre une production pour au moins 24 heures. Si le produit est dosé à l'état pur, à partir d'un réservoir d'entreposage, il faut prévoir un té de mélange sur la ligne.

La réaction est rapide et la soude doit être ajoutée avant le coagulant lorsqu'elle est utilisée pour ajuster le pH de coagulation. Ce produit étant très basique et dangereux, plusieurs précautions doivent être prises lors de la conception (voir chapitre 16).

#### **Neutralisation par l'ajout de chaux**

La réaction de neutralisation du CO<sub>2</sub> libre est :



La chaux [Ca(OH)<sub>2</sub>] est le produit le plus utilisé soit pour neutraliser le CO<sub>2</sub> libre ou rehausser l'alcalinité afin d'ajuster l'eau au pH de floculation approprié.

Il faut ajouter 0,84 g de Ca(OH)<sub>2</sub> pur par gramme de CO<sub>2</sub> agressif. L'ajout de 1 mg/L de Ca(OH)<sub>2</sub> à 93% de pureté augmente la dureté et l'alcalinité de 1,26 mg/L exprimée en CaCO<sub>3</sub>.

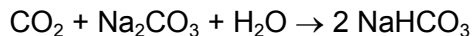
La chaux peut être dosée soit en lait de chaux à une concentration de 5 à 10% ou en eau de chaux (solution saturée à environ 1,6 g/L). Le lait de chaux est préparé à partir du produit en poudre (chaux éteinte) au moyen d'un doseur volumétrique qui alimente un bac parfaitement agité.

La distribution de la suspension est réalisée soit par pompes volumétriques (pompes doseuses à tête spécialement conçue pour la chaux ou pompes à cavités progressives) ou par pompes centrifuges qui alimentent une boucle fermée de distribution munie de vannes automatiques d'injection.

La chaux éteinte ne présente pratiquement aucun danger. Toutefois, il faudra se munir lors de la préparation des solutions d'un masque, de lunettes protectrices et de gants (voir chapitre 16).

### Neutralisation par l'ajout de carbonate de sodium

La réaction de neutralisation du CO<sub>2</sub> libre est :



Contrairement aux deux produits précédents, le carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> et *soda ash* en anglais) est un sel neutre. Son utilisation est donc très aisée.

Il faut utiliser 2,4 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pour neutraliser 1 gramme de CO<sub>2</sub>.

1 mg/L de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> augmente l'alcalinité de l'eau de 0,94 mg/L exprimée en CaCO<sub>3</sub> et de 0,43 mg/L de Na<sup>+</sup>.

Le produit est dosé en solution à 10% en général.

La préparation de la solution se fait dans un bac agité et le dosage est réalisé par pompes doseuses.

La solution est inerte et ne présente aucun danger. Le concepteur des équipements de manipulation, d'entreposage et de dosage de carbonate de sodium se référera aux recommandations du fournisseur du produit.

### Neutralisation par une filtration sur produits alcalino-terreux

Il s'agit de produits à base de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) éventuellement mélangés à du carbonate de magnésium (MgCO<sub>3</sub>) ou à de la magnésie [Mg(OH)<sub>2</sub>]. Au cours de la réaction avec le CO<sub>2</sub> agressif, il se formera des bicarbonates de calcium [Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] et éventuellement de magnésium [Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>].

La mise en œuvre de ces réactifs granulés se fait le plus souvent dans des filtres fermés, sous pression. On utilise parfois des filtres du type ouvert, dans le cas où l'on disposerait d'une charge suffisante.

Les deux sens de filtration sont théoriquement possibles. Lorsque l'écoulement se fait du haut vers le bas, le filtre permet non seulement une neutralisation, mais aussi un enlèvement physique des particules. Ainsi, en fonction de la qualité de l'eau à traiter, le filtre s'encrassera et nécessitera un lavage à contre-courant.

Lorsque la percolation se fait du bas vers le haut, le détassage et le lavage ne sont en principe pas nécessaires, mais il faut alors réserver ce type de traitement à une eau claire, dépourvue de matières en suspension.

Certains des produits disponibles sur le marché ont été calcinés lors de la préparation : ils contiennent une forte proportion d'oxydes alcalino-terreux et confèrent à l'eau traitée une très forte alcalinité au début du traitement, laquelle décroît ensuite progressivement.

Un des produits, commercialisé sous le nom de *Neutralite* (exempt de bases libres), ne présente pas ces défauts. Il est stable dans le temps et se présente sous forme de grains

calibrés de diverses granulométries. Il est composé de carbonate de calcium et de magnésium; sa structure particulière lui confère une solubilité rapide et constante, toujours proportionnelle à la quantité de  $\text{CO}_2$  à neutraliser.

Un mètre cube de *Neutralite* permet de traiter, suivant la teneur en  $\text{CO}_2$ , de 3 à 10 m<sup>3</sup> d'eau par heure.

Ce produit est utilisé en couche filtrante, d'une épaisseur de 0,8 m à 1,5 m. La perte de charge de la *Neutralite* propre varie, selon la vitesse de filtration et l'épaisseur de produit, de 0,2 à 0,5 m. Cependant, il faut tenir compte de l'encrassement et se réserver une chute de 1 m de hauteur d'eau à travers les filtres.

La consommation varie selon le cas de 1,6 à 2,2 g par gramme d'acide carbonique neutralisé et il suffit d'effectuer occasionnellement une recharge partielle du filtre pour compenser la quantité qui pourrait disparaître par dissolution dans l'eau.

La filtration sur produits alcalino-terreux est très souvent appliquée aux eaux profondes qui ne demandent pas d'autres traitements, alors que l'addition de produits en suspension ou en solution est en général intégrée à une chaîne de traitement complet (déferrisation/démanganisation des eaux profondes, clarification des eaux de surface, etc.).

#### **Augmentation de l'alcalinité et du pH par l'ajout de bicarbonate de sodium**

L'ajout de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) est utile pour augmenter l'alcalinité d'une eau qui ne le serait pas suffisamment et/ou pour relever le pH (s'il doit être ajusté au pH de floculation lors d'une coagulation/floculation).

Le bicarbonate de soude est peu soluble dans l'eau (69 g/L à 0°C et 96 g/L à 20°C). La solution à injecter sera donc de 5% dans un réservoir parfaitement agité. Le dosage de la solution se fera par pompes doseuses.

Ce produit n'est applicable que pour de petites installations ou lorsque le dosage de chaux est problématique.

1 mg/L de bicarbonate de sodium augmente l'alcalinité de 0,6 mg/L exprimée en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

#### **Diminution du pH par l'ajout d'acide sulfurique**

L'acide sulfurique est utilisé pour abaisser le pH de l'eau, tout en corrigeant l'équilibre calco-carbonique, dans le cas d'eaux entartrantes (possibilité de dépôt de carbonate de calcium dans les équipements et tuyauteries).

L'acide sulfurique est un acide fort et dangereux. S'il est concentré à plus 90%, il doit être entreposé dans des réservoirs en acier nu, tandis que dilué (10%), il doit être entreposé dans des réservoirs en acier ébonité (résine polyester armée de fibre de verre ou de certains plastiques).

Lors de la dilution, il ne faut jamais verser l'eau dans l'acide, mais l'acide dans l'eau, sinon il y a risque de projections qui peuvent causer des brûlures sévères.

Les espaces d'entreposage doivent être bien ventilés et à l'abri de toute source de chaleur ou de lumière directe.

L'acide sulfurique concentré dégage des vapeurs nocives et peut réagir violemment avec de nombreuses matières organiques.

L'injection se fait au moyen de pompes doseuses munies de têtes de dosage en matériau résistant.

Le réservoir d'entreposage doit être placé dans une enceinte en béton protégé pouvant recueillir tout le contenu du réservoir en cas de fuites.

Le concepteur devra suivre attentivement les recommandations du fournisseur du produit, lors de la conception de l'installation d'entreposage et de dosage de l'acide sulfurique (voir chapitre 16).

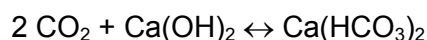
1 mg/L d'acide sulfurique à 98% réduit l'alcalinité de 1 mg/L exprimée en  $\text{Ca CO}_3$ .

#### 13.6.2.2 Reminéralisation

La reminéralisation d'une eau s'applique aux eaux trop douces de façon à augmenter l'alcalinité et/ou la dureté. La reminéralisation s'effectue généralement en début de filière de traitement pour améliorer les traitements subséquents (p. ex. la coagulation).

Plusieurs méthodes peuvent être appliquées pour la reminéralisation; elles sont présentées dans les sections suivantes.

##### **Méthode de gaz carbonique et chaux**



Le plus souvent, on utilise du gaz carbonique et de la chaux préparée dans un saturateur à chaux (eau de chaux) lorsque la minéralisation se pratique dans une eau claire.

Par gramme d'alcalinité, il faut ajouter par  $\text{m}^3$  d'eau :

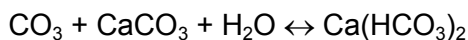
0,88 g de  $\text{CO}_2$  + 0,56 g exprimé en  $\text{CaO}$  ou 0,74 g exprimé en  $\text{Ca(OH)}_2$

Le gaz carbonique est introduit dans l'eau au moyen d'une tour de contact à travers des diffuseurs appropriés (poreux, fines bulles, etc.) sous une charge de plusieurs mètres de hauteur d'eau. Le temps de résidence de l'eau dans la tour sera de 1 à 2 min suivant la température de l'eau.

Seules les préparations commerciales de  $\text{CO}_2$  liquide permettent d'assurer une meilleure pureté du produit.

Le concepteur devra suivre les recommandations des fournisseurs de produits chimiques.

### Méthode de gaz carbonique et carbonate de calcium



Une injection de  $\text{CO}_2$  suivie d'une filtration sur produit alcalino-ferreux granulaire *Neutralite* ( $\text{CaCO}_3$ ) permet de réduire considérablement la consommation de  $\text{CO}_2$  (environ 0,5 mg par g/L de reminéralisation).

Par contre, ce procédé ne permet pas de dépasser le pH d'équilibre, contrairement au procédé à la chaux et  $\text{CO}_2$ .

L'injection du  $\text{CO}_2$  se fait tel que décrit à la section 13.6.2.2 et le filtre de matériau alcalino-terreux a été décrit à la section 13.6.2.1.

### Méthode de bicarbonate de sodium et sel de calcium

On introduit simultanément dans l'eau des ions bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  (sous forme de bicarbonate de sodium) et des ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  (généralement sous forme de chlorure de calcium, parfois de sulfate de calcium).

Pour reminéraliser 1 m<sup>3</sup> d'eau de 1 g exprimé en  $\text{CaCO}_3$ , il faut employer 1,7 g de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) et 1,2 g de chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) ou 1,4 g de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ).

Le chlorure de calcium présente l'avantage d'être plus facile à mettre en œuvre grâce à sa grande solubilité. Par contre, il introduit dans l'eau des ions chlorures qui, s'ils s'ajoutent à une teneur déjà notable, peuvent contrarier les effets du traitement de reminéralisation par leur influence sur les phénomènes de corrosion.

### Méthode de bicarbonate de sodium et chaux

Dans les cas traités à la section précédente, il peut aussi être nécessaire d'ajouter de la chaux pour adapter le pH à la valeur d'équilibre qui correspond à la nouvelle minéralisation de l'eau.

Dans le cas où l'alcalinité devrait être augmentée (et non le pH), on ajoutera dans l'eau du bicarbonate de sodium et de la chaux pour maintenir le pH.

### Méthode de carbonate de sodium et gaz carbonique

Suivant la disponibilité des produits locaux, on peut aussi augmenter l'alcalinité en utilisant une combinaison  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$ . Dans ce cas, le débit de  $\text{CO}_2$  peut être asservi au pH voulu et si la dureté est adéquate, aucun autre réactif ne devra être ajouté (dans le cas contraire, on ajoute un sel de calcium, tel qu'indiqué à la section 13.6.2.2).

### Méthode d'acide sulfurique et carbonate de calcium

On ajoute dans l'eau du décanteur ou d'une cuve de contact de la craie broyée en ajoutant une quantité d'acide sulfurique équivalente à la quantité de bicarbonate. On peut aussi filtrer l'eau sur une couche de marbre, de calcaire ou de *Neutralite* après lui avoir ajouté cette même quantité d'acide sulfurique.

Pour enrichir 1 m<sup>3</sup> d'eau à traiter de 1 g exprimé en CaCO<sub>3</sub>, il faut 1 g de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et un minimum de 2 g de CaCO<sub>3</sub>. Il est indispensable de rajouter ensuite de la chaux, car le calcaire (CaCO<sub>3</sub>) ne suffit pas à amener l'eau à la valeur du pH d'équilibre.

### 13.6.2.3 Ajout d'inhibiteurs chimiques

Dans certains cas, l'ajustement du pH, ou du pH et de l'alcalinité, ne suffit pas à éliminer les problèmes de corrosion; il faut alors recourir à l'ajout d'inhibiteurs de corrosion en plus, la plupart du temps, d'un ajustement préalable du pH.

Les inhibiteurs de corrosion sont ajoutés à la fin de la filière de traitement. Ils sont généralement dosés directement à l'usine. Dans certains cas, des phosphates pourraient être appliqués dans le réseau à partir des installations intermédiaires. Il faut toutefois tenir compte du nombre de secteurs problématiques avant de choisir un site d'application ainsi que de tous les coûts associés à la mise sur pied de plusieurs installations d'injection d'inhibiteurs. Dans le cas des inhibiteurs à base de silicates, il faut savoir qu'ils augmentent le pH des eaux faiblement tamponnées. Ils ne peuvent donc pas être dosés dans le réseau si une correction du pH est effectuée à l'installation (le pH pourrait être trop élevé après l'injection de silicates).

Les inhibiteurs de corrosion permettent de diminuer la dissolution des métaux. Toutefois, ils ne permettent pas nécessairement d'éliminer la corrosion par piqûre ou la corrosion localisée induite par l'hétérogénéité des matériaux ou par une mauvaise installation. De plus, les taux de corrosion des principaux métaux dont sont constitués les réseaux de distribution (acier, fonte grise, fonte ductile) ne seront probablement pas suffisamment réduits pour permettre de prolonger la durée de vie des conduites au-delà de 75 à 100 ans.

L'ajout d'inhibiteurs de corrosion peut avoir des effets bénéfiques sur la qualité de l'eau. Le choix du meilleur inhibiteur et de la concentration optimale dépend principalement de la qualité de l'eau distribuée, du réseau de distribution, de ses conditions d'opération, du type de dépôt accumulé et des problèmes de qualité qui doivent être résolus.

### **Produits à base de phosphates**

Les trois principales formes de phosphates utilisées comme inhibiteurs de corrosion sont les orthophosphates, les polyphosphates moléculaires déshydratés et les phosphates bimétalliques à base de zinc. Il faut noter que le phosphate est un nutriment. Cependant, peu d'études ont mis en évidence des problèmes de recroissance dans le réseau de distribution causés par l'utilisation de phosphates.

#### **1. Les orthophosphates**

Les orthophosphates se trouvent sous plusieurs formes : l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), le phosphate de sodium monobasique (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), le phosphate de sodium dibasique (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) et le phosphate de sodium tribasique (Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Contrairement aux autres types de phosphates, les orthophosphates peuvent réduire la solubilisation du plomb.

Dans certaines conditions, les orthophosphates inhibent les réactions de corrosion en offrant une protection cathodique. Les concentrations varient généralement entre 1 et 5 mg/L en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

## 2. Les polyphosphates

Les formes les plus courantes sont : le tripolyphosphate de sodium ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ), le pyrophosphate de sodium ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), l'hexamétaphosphate de sodium (mélange de polyphosphates) ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> et le trimétaphosphate de sodium ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>3</sub>.

Les polyphosphates ne sont pas des inhibiteurs de corrosion, excepté la faible partie qui s'hydrolyse en orthophosphates. La principale utilité des produits à base de phosphates est de séquestrer les métaux (fer, manganèse) et de prévenir l'eau rouge ou la précipitation de carbonate de calcium. Il faut noter que les polyphosphates sont de puissants séquestrants du calcium. Cette propriété accélérera le lessivage du calcium des parois des conduites à base de ciment (telles que les conduites de ciment-amiante), provoquant une détérioration rapide de la surface des conduites et un relargage de fibres dans l'eau. De plus, ils augmentent la solubilité du plomb et du cuivre.

Les pyrophosphates ont des propriétés dispersantes. Ainsi, dans certaines conditions, ils pourraient favoriser une diminution des dépôts de corrosion. Dans un tel cas, une attention particulière devrait être portée pour éviter une dégradation de la qualité de l'eau (augmentation de particules, décrochage de dépôts lors de manipulations de bornes fontaine, etc.) lors de la phase de mise en œuvre.

Pour déterminer quel séquestrant offre la meilleure performance, il faut comparer la masse de fer séquestré pour une dose identique de séquestrant (les séquestrants étant vendus au poids, plus un produit séquestre une masse élevée de fer, plus la dose requise est faible).

Les polyphosphates peuvent être achetés sous plusieurs formes : en paillettes, en flocons, en grumeaux, en billes, en poudre et en grains fins ou grossiers. Ils sont solubles dans l'eau (10°C) à raison d'une partie de polyphosphate pour quatre parties d'eau. Le pH d'une solution de 1% se situe entre 5,8 et 7,5. Plusieurs types de polyphosphates sont très hygroscopiques. Par conséquent, ils doivent être entreposés dans un environnement sec afin d'éviter des problèmes de manipulation et de dosage.

L'hexaméthaphosphate est disponible sous forme cristalline en solution. Il est aussi possible de se le procurer sous forme vitreuse, très lentement soluble, pour un usage dans les petites installations de production d'eau potable.

## 3. Les phosphates de zinc

Les phosphates bimétalliques se composent généralement de zinc (de 10 à 30%) combiné à des orthophosphates ou à des polyphosphates. Ils sont en général moins solubles que les ortho- ou polyphosphates de sodium. Ils sont livrés dans une solution d'acide sulfurique ou hydrochlorique pour maintenir le zinc en solution, ce qui implique l'utilisation de réservoirs, de pompes et de vannes en acier inoxydable ou en plastique.

La combinaison de zinc avec des phosphates est souvent plus efficace que chaque alternative prise séparément, plus particulièrement dans des eaux plus dures et plus minéralisées. Il existe des produits avec différents ratios phosphate/zinc. En général, plus la proportion de zinc est élevée, plus la formation de la couche protectrice est rapide. Cependant, le zinc ajouté peut causer des problèmes environnementaux soit en se retrouvant dans l'effluent des usines d'épuration ou en s'accumulant dans les boues. Il faut

donc limiter les dosages de zinc à moins de 0,25 mg/L et se conformer à la norme de rejet dans les réseaux d'égout ou les cours d'eau en tout temps (même pendant la période de préconditionnement des dosages, lorsque ceux-ci peuvent être jusqu'à 10 fois plus élevés).

Les orthophosphates de zinc sont souvent disponibles sous forme liquide de pH 0,8. Ils peuvent être livrés en vrac par camion-citerne ou en fûts.

#### **4. Les mélanges de phosphates**

Plusieurs produits commerciaux contiennent des mélanges d'orthophosphates de sodium ou de polyphosphates de sodium. Typiquement, la proportion d'orthophosphates varie entre 5 et 40%. Une plus grande proportion d'orthophosphates offre une meilleure protection contre la corrosion. Par ailleurs, une plus grande proportion de polyphosphates favorise la séquestration. Les dosages requis dépendent principalement du pH et de la concentration de calcium dans l'eau. Un dosage insuffisant peut causer de la corrosion par piqûre.

Les mélanges d'ortho-polyphosphates ont un pH variant entre 5,8 et 7,5 et peuvent être livrés en vrac ou en barils.

#### **Produits à base de silicates**

Il existe plusieurs formes de silicate de sodium utilisées comme inhibiteurs de corrosion et comme agents séquestrants. Ils se présentent en produits secs ou en solutions de silicate liquide. Sous forme sèche, on retrouve le  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , le  $\text{Na}_6\text{SiO}_7$  et le  $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$  avec différents taux d'hydratation (*variable waters of hydration*). Ils sont produits en fusionnant du carbonate de sodium avec du sable de silice (*silica sand*). Ils sont généralement peu solubles en eau froide. Les silicates liquides varient en fonction de leur proportion d'oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) et de silicate ( $\text{SiO}_2$ ).

Les silicates peuvent être efficaces pour différentes qualités d'eau. Cependant, ils sont communément appliqués aux eaux douces à faible pH dont le taux d'oxygène est élevé.

*Les concentrations varient entre 4 et 30 mg/L. Les concentrations les plus élevées sont en général requises pour des eaux ayant une concentration de chlorure, de solides dissous et une dureté élevées ainsi que pour des températures élevées. Comme pour les phosphates, si la concentration de silicates est insuffisante, ceux-ci peuvent favoriser la corrosion par piqûre. Pour des eaux de faible pH, les concentrations de silicate requises peuvent être élevées. Dans ce cas, il est souvent plus économique d'augmenter le pH entre 7,5 et 8 par l'ajout de soude caustique, de chaux ou de carbonate de sodium avant l'ajout de l'inhibiteur.*

La protection contre la corrosion qu'offrent les silicates est principalement due à l'augmentation du pH et à la formation d'une couche protectrice (pour qu'une couche protectrice puisse se former, il doit y avoir des réactions de corrosion). Par ailleurs, les silicates sont de bons agents séquestrants : ils peuvent donc diminuer les problèmes d'eau rouge. Un dosage trop faible peut toutefois induire de la corrosion par piqûre.

**Mélange de produits**

Des mélanges de produits à base de phosphates (ortho- et poly-) et de silicates, avec différents ratios phosphate/silicate, peuvent aussi être utilisés. De cette façon, il est possible d'augmenter l'effet positif de l'ajout de silicates avec une plus petite quantité de phosphates.

## **TABLE DES MATIÈRES, VOLUME 2**

|            |                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------|
| <b>14.</b> | <b>TRAITEMENT DES BOUES ET DES EAUX DE PROCÉDÉ .....</b> |
| 14.4       | Traitement des eaux de procédés.....                     |

## VOLUME 2

### CHAPITRE 14

## 14. TRAITEMENT DES BOUES ET DES EAUX DE PROCÉDÉ

### 14.4 Traitement des eaux de procédé

#### 14.4.3 Autres eaux de procédé

##### 14.4.3.2 Procédés membranaires

#### Traitement des eaux souterraines par nanofiltration et osmose inverse

Le tableau 14-1 montre les caractéristiques de l'eau brute, du perméat et du concentrat d'un système d'osmose inverse utilisé pour enlever les nitrates avec des membranes d'acétate de cellulose en configuration spiralée. Le pourcentage de rejet de ces membranes était de 25,6% et la pression d'opération de 2800 kPa.

Ce pourcentage de rejet est plutôt faible pour un système d'osmose inverse. Certains systèmes sont conçus pour un pourcentage de rejet atteignant 75%.

**Tableau 14-1 : Enlèvement des nitrates par osmose inverse**

| Paramètres                    | Eau brute<br>prétraitée<br>mg/L | Perméat (eau<br>traitée)<br>mg/L | Concentrat (rejet)<br>mg/L |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Ca                            | 154                             | 7,0                              | 590                        |
| Mg                            | 3,8                             | 0,17                             | 15                         |
| Na                            | 92                              | 11                               | 345                        |
| K                             | 3,6                             | 0,5                              | 12,8                       |
| CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | 0                               | 0                                | 0                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 7,8                             | 5,2                              | 45,9                       |
| Cl <sup>-</sup>               | 92,8                            | 6,0                              | 346,9                      |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 380                             | 5,0                              | 1500                       |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 93,0                            | 31,9                             | 270,2                      |
| F <sup>-</sup>                | 0,06                            | 0,03                             | 0,13                       |
| Fe                            | <0,05                           | 0,05                             | 0,08                       |
| Mn                            | <0,01                           | <0,01                            | 0,01                       |
| As                            | <0,01                           | <0,01                            | <0,01                      |
| Cu                            | <0,01                           | <0,01                            | 0,02                       |
| Zn                            | 0,01                            | 0,07                             | 0,2                        |
| Dureté (CaCO <sub>3</sub> )   | 401,0                           | 18,2                             | 1538                       |
| Solides totaux                | 823                             | 64                               | 3120                       |
| pH                            | 5,2                             | 5,6                              | 5,9                        |

Le tableau 14-2 illustre les caractéristiques de l'eau brute, du perméat et du concentrat estimé d'un système de nanofiltration utilisé pour enlever les chlorures et de la dureté avec des membranes spiralées, lors d'essais pilotes au Québec. Le pourcentage de rejet de ces membranes était de 26,5% et la pression d'opération de 1260 kPa.

**Tableau 14-2 : Enlèvement des chlorures et de la dureté par nanofiltration**

| Paramètres                    | Eau brute<br>mg/L | Perméat (eau<br>traitée)<br>mg/L | Concentrat<br>estimé (rejet)<br>mg/L |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Ca                            | 38-51             | 0,2-0,3                          | 143-192                              |
| Mg                            | 37-42             | 0,2-0,3                          | 139-158                              |
| Na                            | 240-280           | 15-22                            | 863-995                              |
| Baryum                        | 0,07-0,08         | <0,02                            |                                      |
| Strontium                     | 1,6-1,80          | <0,05                            | 6-6,8                                |
| Cl <sup>-</sup>               | 320-360           | 16-27                            | 1283                                 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 75-83             | 0,7-0,8                          | 283-313                              |
| F <sup>-</sup>                | 0,7-0,9           | 0,1                              |                                      |
| Fe                            | 0,1               | <0,1                             |                                      |
| Mn                            | 0,18-0,19         | <0,01                            |                                      |
| Dureté (CaCO <sub>3</sub> )   | 250-280           | 1,4-1,9                          | 943-1056                             |
| Solides dissous<br>totaux     | 860-890           | 41-59                            | 3080-3244                            |
| pH                            | 7,7-8,4           | 6,2-7,3                          |                                      |

## VOLUME 2

### CHAPITRE 15

|                                                                                           |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>15. CRITÈRES GÉNÉRAUX POUR LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT.....</b>                    |  |
| <b>15.3 Autres éléments généraux de conception .....</b>                                  |  |
| 15.3.1 Localisation de l'installation de traitement .....                                 |  |
| 15.3.2 Aménagement de l'installation de traitement .....                                  |  |
| 15.3.3 Bâtiment .....                                                                     |  |
| 15.3.4 Équipements électriques .....                                                      |  |
| 15.3.4.1 Alimentation .....                                                               |  |
| 15.3.4.2 Moteurs électriques .....                                                        |  |
| 15.3.5 Ventilation .....                                                                  |  |
| <b>15.4 La prévention associée à l'utilisation spécifique d'un produit chimique .....</b> |  |
| 15.4.1 Les principaux floculants .....                                                    |  |
| 15.4.1.1 L'alun liquide .....                                                             |  |
| 15.4.1.2 L'alun sec .....                                                                 |  |
| 15.4.1.3 Les aluns basiques .....                                                         |  |
| 15.4.2 Les aides coagulants .....                                                         |  |
| 15.4.2.1 Les polymères .....                                                              |  |
| 15.4.3 Les principaux agents basiques .....                                               |  |
| 15.4.3.1 La chaux éteinte .....                                                           |  |
| 15.4.3.2 La chaux vive .....                                                              |  |
| 15.4.3.3 Le carbonate de sodium .....                                                     |  |
| 15.4.3.4 La soude caustique .....                                                         |  |
| 15.4.4 Le chlore et ses dérivés .....                                                     |  |
| 15.4.4.1 Le chlore gazeux .....                                                           |  |
| 15.4.4.2 L'hypochlorite de sodium .....                                                   |  |
| 15.4.4.3 L'hypochlorite de calcium .....                                                  |  |
| 15.4.5 L'ozone .....                                                                      |  |
| 15.4.6 Le bioxyde de chlore .....                                                         |  |
| 15.4.6.1 Le chlorite de sodium en solution .....                                          |  |
| 15.4.6.2 Le chlorite de sodium sec .....                                                  |  |
| 15.4.6.3 L'acide chlorhydrique .....                                                      |  |
| 15.4.7 Les inhibiteurs de corrosion et agents séquestrants .....                          |  |
| 15.4.7.1 Le silicate de sodium .....                                                      |  |
| 15.4.7.2 Le polyphosphate de sodium .....                                                 |  |
| 15.4.7.3 Les hexamétaphosphates .....                                                     |  |
| 15.4.8 La silice activée .....                                                            |  |
| 15.4.8.1 L'aluminate de sodium .....                                                      |  |
| 15.4.9 Le charbon actif .....                                                             |  |

|                                                                     |  |
|---------------------------------------------------------------------|--|
| <i>15.4.10 La fluoruration</i> .....                                |  |
| 15.4.10.1 L'acide hydrofluosilicique.....                           |  |
| 15.4.10.2 Le fluorure de sodium et le silicofluorure de sodium..... |  |
| <i>15.4.11 Les oxydants secondaires</i> .....                       |  |
| 15.4.11.1 Le permanganate de potassium.....                         |  |

## **15. CRITÈRES GÉNÉRAUX POUR LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT**

### **15.3 Autres éléments généraux de conception**

#### *15.3.1 Localisation de l'installation de traitement*

La localisation de l'installation de traitement doit tenir compte des éléments suivants :

- L'installation de traitement doit être facilement accessible en toutes saisons;
- Tous les équipements doivent être situés dans un endroit à l'abri de toute pollution où ils ne risquent pas d'être endommagés par les inondations;
- Les autorités concernées devraient être consultées relativement à tout ouvrage qui pourrait entraver l'écoulement naturel d'un cours d'eau, tel un barrage, ou un projet impliquant le remplissage de berges;
- La localisation de l'installation de traitement doit être à l'extérieur des zones inondables;
- Les facilités d'élimination des eaux de lavage et des boues doivent privilégier le rejet à l'égout.

#### *15.3.2 Aménagement de l'installation de traitement*

L'aménagement d'une installation de traitement doit tenir compte des éléments suivants :

- L'aspect fonctionnel de l'installation de traitement;
- L'espace de laboratoire requis (incluant un comptoir avec lavabo, des prises d'analyse pour l'eau brute, l'eau traitée, l'eau désinfectée ainsi que des eaux des différentes étapes de traitement et l'espace nécessaire pour les équipements d'analyse);
- L'espace pour le bureau du ou des opérateurs;
- Les utilités sanitaires telles que toilettes et lavabo;
- La possibilité d'agrandissement futur de l'installation de traitement;
- La possibilité d'améliorer la filière de traitement dans l'éventualité d'un raffermissement des normes;
- L'espace pour le traitement et l'élimination des boues;
- Les facilités d'accès;
- La protection du site (clôture et barrière cadenassée) contre les intrus, les vols, les sabotages et le vandalisme;
- La nature du sol et de la topographie;
- Le drainage du site et du remblayage requis pour prévenir toute entrée d'eau de surface et prévoir l'élimination de ces eaux;
- La facilité de livraison des produits chimiques dans les endroits réservés à cette fin;

- La sécurité et l'hygiène du personnel.

### *15.3.3 Bâtiment*

La conception du bâtiment devra être faite en conformité avec le Code du bâtiment et inclure les éléments suivants :

- Une ventilation adéquate, particulièrement dans les pièces abritant de l'équipement mécanique qui pourraient produire des vapeurs nocives et des produits pulvérulents (charbon en poudre, chaux, carbonate, etc.). La ventilation sera adaptée à chacun de ces produits;
- Un éclairage adéquat qui peut fonctionner à basse température ( $< 10^{\circ}\text{C.}$ ) et qui tient compte des besoins spécifiques à certains endroits (p. ex. lecture de cadrans ou autres tâches d'opération);
- Un chauffage adéquat et la protection des bassins contre le gel;
- Un drainage adéquat et une disposition en cas de trop-pleins des unités;
- Des planchers suffisamment lisses pour éviter l'accumulation de saleté et faciliter le nettoyage;
- Une déshumidification de l'air ambiant, si nécessaire, pour contrôler la condensation sur les équipements et ouvrages métalliques;
- La flexibilité d'opération et l'accessibilité à l'équipement en vue de l'opération, de l'entretien ou du remplacement;
- Des commodités d'opération comprenant l'installation d'escaliers, de passerelles ou de rampes partout où l'opération et l'entretien courant le requièrent;
- La sécurité de l'opérateur, c.-à-d. l'installation de dispositifs pour protéger le personnel des contacts dangereux avec l'équipement mécanique ou électrique ainsi que la disposition des tuyaux de façon à éviter les risques de s'y frapper;
- La protection contre le gel si des conduites doivent être exposées à de basses températures tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des murs;
- L'entreposage des produits chimiques et de l'équipement de dosage dans des pièces séparées, au besoin, pour réduire les risques d'accidents et les problèmes de poussières ou de fuites de gaz;
- La prévision lors de la construction des murs de béton des ouvertures requises pour permettre le passage futur des tuyaux.

### *15.3.4 Équipements électriques*

Tout équipement électrique devra être conforme aux exigences du Bureau des examinateurs des électriciens.

#### *15.3.4.1 Alimentation*

L'alimentation extérieure devrait se faire de préférence à l'aide de câbles souterrains pour réduire les risques de dommages. L'alimentation intérieure devrait être disposée

dans des conduites rigides par mesure de sécurité. L'interrupteur principal du courant électrique doit être situé de façon à toujours être à l'abri de l'eau.

#### 15.3.4.2 Moteurs électriques

Certains facteurs doivent être considérés dans le choix des moteurs tels :

- Les exigences de la machine;
- La puissance disponible;
- Les conditions d'opération, tant au point de vue de la vitesse (c.-à-d. vitesse constante, plusieurs vitesses, vitesse variable et l'ordre de variation) que du point de vue du fonctionnement continu ou intermittent en rapport avec la fréquence des démarrages;
- Les exigences du système d'alimentation comme facteur de puissance, d'efficacité requise, etc.;
- Les conditions extérieures telles que la température, l'humidité et l'isolation requise, au besoin;
- L'équilibre entre la puissance et la charge;
- Un système de mise en marche manuelle ou automatique ou les deux, selon les besoins;
- La protection requise lorsque le moteur est susceptible d'être arrosé ou est en présence de gaz explosifs.

#### 15.3.5 Ventilation

Une ventilation devra être prévue dans les pièces où des moteurs exigent des refroidissements. Elle sera également nécessaire pour chasser les gaz, s'il y a lieu, et ce à fonctionnement périodique pour prévenir l'accumulation et éviter ainsi les risques d'explosion.

### **15.4 La prévention associée à l'utilisation spécifique d'un produit chimique**

Cette section aborde les propriétés spécifiques des principaux produits chimiques en ce qui a trait à leur manutention et dosage sécuritaires. Si plus de renseignements s'avéraient nécessaires, consulter les fiches techniques et signalétiques des réactifs fournies par le manufacturier ainsi que la réglementation à cet égard. Tel que

mentionné précédemment, le *Guide* n'aborde pas en détail la conception d'un poste de travail en particulier.

#### 15.4.1 Les principaux flocculants

En général, les principaux flocculants qui sont utilisés pour le traitement de l'eau potable sont des sels d'aluminium. On distingue dans ce groupe l'alun ainsi que les aluns basiques, tels que les PAC (polychlorures d'aluminium) et les PASS (poly-silico-sulfates-d'aluminium). On préfère employer l'alun sous sa forme liquide à cause de sa facilité de manutention et de sa simplicité de dosage. Néanmoins, il est aussi disponible sous forme granulaire pour les petites installations. Les PAC et les PASS sont uniquement disponibles sous forme liquide. Leur popularité croissante est due à leurs performances supérieures à celles de l'alun, particulièrement lorsque les eaux sont froides et peu alcalines.

##### 15.4.1.1 L'alun liquide

L'alun est le nom communément employé pour désigner du sulfate d'aluminium commercial sous forme sèche, ou en solution, dans le domaine du traitement de l'eau. Comme en témoigne sa fiche signalétique, l'alun liquide est à la fois un produit toxique et corrosif. L'inhalation de ses émanations peut irriter les muqueuses du nez, de la gorge et les poumons. L'action tampon de l'acide peut irriter les muqueuses. L'ingestion d'alun peut causer une irritation des voies digestives, des nausées, des vomissements et des actions laxatives. Les solutions concentrées peuvent provoquer des brûlures des voies digestives. Le contact répété ou prolongé avec la peau peut en causer l'irritation et une surexposition chronique peut produire une dermatite. L'alun liquide peut induire des irritations ou des brûlures graves aux yeux. Un déversement d'alun sur un plancher est susceptible de le rendre glissant. En outre, l'alun a tendance à précipiter lorsque sa température baisse. En guise de prévention, il y a donc lieu de :

- Éviter la dispersion d'émissions brumeuses à l'intérieur de la salle d'entreposage en dirigeant la conduite de mise à l'atmosphère du réservoir à l'extérieur et en munissant ce dernier d'une trappe d'accès étanche;
- Garder dans un endroit tempéré (entre 15 et 35°C) et à l'abri des bases pour éviter l'évaporation excessive du produit ou sa précipitation;
- Utiliser pour l'entreposage et la tuyauterie des matériaux résistants aux acides;
- Installer un système de ventilation dans les endroits où les conditions brumeuses peuvent contaminer l'air ambiant;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique;

- L'alun liquide a la propriété de traverser aisément les joints et accouplements. Des précautions à cet effet doivent être prises lors de l'installation de la tuyauterie et des équipements qui y sont raccordés.

#### 15.4.1.2 L'alun sec

L'alun sec requiert sensiblement les mêmes précautions que l'alun liquide, puisqu'à la base il s'agit du même produit et que sa mise en solution est requise pour fins de dosage. Néanmoins, il y a lieu de tenir compte des points suivants :

- L'alun sec est un produit hygroscopique, donc qui absorbe facilement l'humidité. Cette propriété peut induire des problèmes de manutention et de dissolution si les granules s'agglutinent. Il faut donc entreposer les contenants sur des palettes ou sur un faux plancher de bois dans un endroit bien ventilé;
- Le contact entre l'alun sec et les bases sèches est à éviter, car il peut en résulter une réaction exothermique et même une explosion s'il y a confinement. Des systèmes séparés de collecte de poussière sont donc requis.

#### 15.4.1.3 Les aluns basiques

Les PAC et les PASS sont des solutions de sels d'aluminium aux propriétés voisines de celles de l'alun liquide. Pour de plus amples renseignements sur les précautions à prendre, consulter leur fiche signalétique respective.

### 15.4.2 Les aides coagulants

Deux catégories d'aides coagulants sont utilisées dans le traitement des eaux potables : la silice activée et les polymères. Ces derniers sont employés pour parfaire la floculation des eaux destinées à la consommation.

#### 15.4.2.1 Les polymères

Les polymères sont manufacturés sous forme sèche et sous forme de solution. Néanmoins, la plupart des installations les achètent à l'état sec, puis les diluent sur place à cause du coût prohibitif de la forme liquide, constituée essentiellement d'eau. Les formats de livraison du produit sec ou liquide sont très variables. Pour la poudre à écoulement libre, les formats varient de la chaudière de quelques kilogrammes aux contenants d'une tonne et plus de produit, en passant par le sac de quelques dizaines de kilogrammes et la boîte d'une tonne. En ce qui concerne la solution, elle est surtout disponible en baril et en cubitainer, quoiqu'il soit possible de se procurer ce produit en vrac. L'utilisation sous forme de poudre exige donc une mise en solution préalable au traitement. Deux alternatives se présentent généralement à l'exploitant à cet égard.

Dans le cas de petites et moyennes installations, on aura recours à la fabrication de cuvées où la quantité exacte de produit sera ajoutée manuellement au système de mise en solution et de maturation. Dans le cas d'installations de plus grandes capacités, on procède à la mise en solution à l'aide de doseurs à sec qui assureront une production répétitive et automatique du produit. Généralement, ces systèmes sont munis de trémies de chargement qui évitent à l'opérateur tout contact direct avec le réactif. Qu'il soit manuel ou automatisé, le système de mise en solution et de maturation est généralement suivi d'une étape de pompage à déplacement positif qui permet d'amener la solution, proportionnellement à la demande, jusqu'au point d'addition.

Les polymères sont des produits organiques de toxicité faible, sinon nulle, selon le type utilisé. Néanmoins, il y a lieu de se prémunir d'un contact avec la poussière, principalement en ce qui concerne les yeux, les poumons et l'estomac, afin d'éviter les irritations. Le polymère à l'état sec ou dilué peut rendre les surfaces et les accessoires excessivement glissants, ce qui accroît considérablement les risques de glissade et de chute. Il faut éviter tout contact entre les polymères et les acides forts ainsi que les oxydants puissants, surtout lorsqu'il y a incompatibilité. Ces produits doivent donc être entreposés et manipulés séparément.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Prévoir un endroit sec et bien aéré pour l'entreposage des produits en poudre;
- Utiliser une trémie de chargement et/ou une aspiration à la source sur la trémie du doseur du polymère;
- La ventilation de la pièce devra être suffisante pour tenir la poussière en suspension dans l'air sous le seuil de  $10 \text{ mg/m}^3$ ;
- Munir le plancher et/ou l'accès à l'équipement de gratte-pieds et d'un drain qui facilite l'évacuation du produit advenant une fuite;
- Installer près du système de dilution et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique;
- Prévoir à proximité un apport d'eau de procédé à l'aide d'un boyau d'arrosage.

##### *15.4.3 Les principaux agents basiques*

Les bases fortes sont utilisées en grandes quantités pour le traitement des eaux de consommation. L'application la plus courante consiste au redressement et à l'ajustement du pH des eaux traitées avant la distribution. En effet, l'emploi de substances telles que l'alun ou le chlore, qui acidifient l'eau en cours de procédé, rend nécessaire l'addition d'un produit permettant d'atteindre un pH neutre, voire légèrement basique (entre 6,5 et 8,5). Les agents basiques sont aussi utilisés pour rendre une eau brute plus alcaline afin de satisfaire la demande d'un floculant comme l'alun. Enfin, l'addition d'un agent alcalin dans une eau dure contribue à son adoucissement par précipitation des minéraux polyvalents qu'elle contient.

#### 15.4.3.1 La chaux éteinte

La chaux éteinte est disponible en vrac et en sacs de 25 kg. Dans le premier cas, on aura recours à un silo pour procéder à la manutention suite à la livraison par camion semi-remorque. En ce qui concerne les sacs, ils sont normalement livrés sur des palettes ou à l'unité et entreposés dans un espace réservé à cette fin. Le dosage de grandes quantités de chaux éteinte se fait normalement à partir de doseurs volumétriques ou gravimétriques qui fabriquent des solutions de lait de chaux. L'écoulement au point de dosage peut se faire par gravité, éjection ou par pompage. Une solution concentrée en chaux a la fâcheuse propriété de s'incruster dans les conduites qui la véhiculent et d'ainsi les bloquer rapidement.

La chaux éteinte ou hydroxyde de calcium est une poudre blanche corrosive qui réagit violemment avec les acides forts et, dans une moindre mesure, avec les autres acides. Elle peut aussi réagir avec diverses substances pour former des composés chimiques à base de calcium. Une exposition aiguë provoque la corrosion de la peau et des muqueuses ainsi que l'enlèvement des huiles naturelles de la peau. L'ingestion peut provoquer des douleurs, des vomissements de sang, la diarrhée et une chute de pression sanguine. Un contact oculaire aigu peut causer de l'irritation, entraîner des lésions et même la cécité lors d'une exposition prolongée. La chaux éteinte peut entraîner des lésions pulmonaires si elle est inhalée.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Dans le cas d'une installation utilisant le produit en vrac, munir le silo d'un dépoussiéreur approprié pour éviter la dispersion de poussière de chaux dans l'air ambiant lors du déchargement;
- Pour approvisionner un doseur avec des sacs, recourir à une trémie de chargement pouvant confiner les poussières émises ou recourir à une aspiration à la source. Limiter la concentration dans l'air ambiant à  $5 \text{ mg/m}^3$ ;
- Manutentionner la chaux dans un endroit bien ventilé, car ce produit a la propriété d'absorber l'humidité et de s'agglutiner, ce qui peut compliquer les manipulations qui s'ensuivent;
- Prévoir l'entreposage de la chaux dans un endroit séparé des réactifs acides, avec lesquels elle pourrait réagir violemment;
- Recourir à des conduites flexibles facilement démontables, ou encore à des canaux ouverts, pour véhiculer la solution de lait de chaux afin de minimiser les risques liés à leur entretien répété;
- Installer près du silo et du doseur à sec une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique;
- Lors de la livraison de la chaux éteinte, recourir à une aide mécanique telle qu'un chariot à fourches pour véhiculer les palettes ou un diable pour transporter les sacs.

#### 15.4.3.2 La chaux vive

La chaux vive se révèle être un produit très corrosif aux propriétés voisines de celles de la chaux éteinte. Néanmoins, le fait de ne pas avoir été hydratée rend la manipulation de la chaux et sa mise en solution plus risquées. Consulter la fiche signalétique du produit pour plus de renseignements à ce sujet.

#### 15.4.3.3 Le carbonate de sodium

Le carbonate de sodium est une poudre blanche disponible en sacs de 25 à 45 kg ainsi qu'en vrac. Ses propriétés s'apparentent beaucoup à celles de la chaux éteinte (voir section 16.6.3.1). Pour obtenir plus de précisions sur les précautions à prendre lors de son utilisation, se référer à la fiche signalétique.

#### 15.4.3.4 La soude caustique

La soude caustique (hydroxyde de sodium) est surtout utilisée pour le redressement du pH et/ou ses propriétés alcalifiantes. Bien que disponible sous forme sèche, la solution à 50% de concentration est la plus populaire, car la dilution de cette base forte entraîne une réaction exothermique pouvant être très violente. Entre autres, la poussière de ce réactif très corrosif peut induire des difficultés de manutention importantes. L'approvisionnement des installations se fait généralement en baril ou en vrac. Bien qu'il soit dispendieux à l'achat, les exploitants apprécient l'hydroxyde de sodium dilué car il est facile à doser et stable lorsque qu'il est entreposé. Toutefois, une exposition à la soude caustique peut être dangereuse :

- **Inhalation**
  - Le produit peut irriter gravement le nez, la gorge et les voies respiratoires. Une exposition répétée ou prolongée peut entraîner la toux, un écoulement nasal, une broncho-pneumonie, un œdème pulmonaire ainsi qu'une diminution de la fonction respiratoire.
- **Contact cutané**
  - Les solutions concentrées peuvent entraîner des douleurs cutanées ainsi que de graves brûlures en profondeur. Une exposition prolongée et répétée à des solutions diluées entraîne souvent une irritation, des rougeurs, des douleurs, un assèchement de la peau et la formation de crevasses. L'action corrosive sur la peau et les yeux peut se manifester tardivement et des lésions peuvent apparaître sans sensation de douleur.
- **Contact avec les yeux**
  - Très corrosif, ce produit entraîne des taches sur la cornée ainsi que l'opacification de cette dernière. Il y a risque de glaucome, de cataracte et de cécité permanente.
- **Ingestion**

- Le produit cause des douleurs et de graves brûlures dans la bouche, la gorge et l'abdomen. Il y a risque de vomissement, de diarrhée et de perforation de l'œsophage ainsi que de la muqueuse gastrique. L'hydroxyde de sodium a été reconnu comme facteur causal de cancer chez des gens l'ayant ingéré. Ces cancers peuvent néanmoins résulter de la réaction de destruction des tissus plutôt que du produit lui-même.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

La livraison de petites quantités de soude caustique diluée se fait habituellement en baril, tandis que la livraison de quantités importantes s'effectuera en vrac. Pour son dosage, on utilise principalement la pompe à déplacement positif. Les points suivants sont également à considérer :

- Les endroits où peuvent se trouver des vapeurs ou des poussières du produit doivent être équipés de ventilateurs constitués de matériaux à l'épreuve de la corrosion. On fournira de l'air d'appoint afin d'équilibrer l'air qui provient des ventilateurs locaux ou généraux. Assurer une concentration inférieure à  $2 \text{ mg/m}^3$  d'hydroxyde de sodium dans l'air ambiant;
- Prévoir l'entreposage de ce produit à l'écart des acides puissants et éviter les contacts avec les substances incompatibles. Le produit peut réagir en présence de certains caoutchoucs, plastiques ou revêtements;
- Entreposer dans un lieu frais et bien ventilé, à l'abri de la chaleur, des étincelles et des flammes. Tenir les contenants fermés et la température ambiante sous le seuil de  $40^\circ\text{C}$ . Soumis au froid, l'hydroxyde de sodium peut précipiter. Il y a donc lieu de concevoir une installation d'entreposage chauffée adéquatement;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

### *15.4.4 Le chlore et ses dérivés*

Le chlore gazeux est le réactif le plus utilisé pour la désinfection de l'eau potable. Le chlore compressé à l'état liquide est livrable dans des contenants pressurisés de 68 et 907 kg. Dans les deux cas, le soutirage du réactif a lieu à l'état gazeux par détente de pression. L'utilisation d'un dérivé du chlore comme l'hypochlorite de sodium en solution commerciale de 5% à 12% (eau de Javel) est courante pour la désinfection à petite échelle des eaux de consommation.

#### 15.4.4.1 Le chlore gazeux

Le chlore gazeux est un comburant puissant et ses propriétés oxydantes en font un produit extrêmement corrosif. La manipulation des cylindres de chlore peut engendrer des risques de coincement et même d'écrasement si la place disponible en périphérie des contenants n'est pas suffisante. Malgré la pression interne élevée des

cylindres, les risques d'explosion sont à peu près nuls, puisque ceux-ci sont conçus pour résister à d'importants chocs. Une fuite de chlore gazeux ou liquide peut se produire selon la position du cylindre au moment de l'incident. Évidemment, une fuite de chlore liquide entraînera l'évaporation d'une grande quantité de ce produit. L'inhalation de chlore peut irriter gravement le nez, la gorge et les voies respiratoires. Une exposition répétée peut provoquer les symptômes suivants : toux, écoulement nasal, broncho-pneumonie, œdème pulmonaire et une diminution sensible de la fonction respiratoire.

Le chlore peut entraîner des symptômes d'irritations cutanées tels que des rougeurs, de l'enflure, l'éruption et la formation d'ampoules et de brûlures. Très corrosif, ce réactif entraîne des taches sur la cornée de l'œil et l'opacification de cette dernière. Il y a risque de glaucome, de cataracte et même de cécité permanente. L'ingestion de chlore gazeux peut entraîner des douleurs et des brûlures graves à la bouche, à la gorge et à l'abdomen pouvant provoquer des vomissements, de la diarrhée et la perforation de l'œsophage et de la muqueuse gastrique. Il peut causer une commotion et la mort. Une exposition des voies respiratoires peut occasionner une oppression thoracique, une respiration sifflante, des spasmes bronchiques ainsi qu'un essoufflement caractéristique. Les différentes mesures de prévention à la source s'imposent lors de la manipulation du chlore.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Afin d'éviter une condensation du gaz dans les conduites d'approvisionnement ainsi que dans les équipements de dosage, maintenir la pièce à une température ambiante minimale de 15°C en tout temps, alors que la température de la salle de dosage ne devra pas descendre sous le seuil de 21°C;
- En aucun cas, les cylindres de chlore gazeux ne doivent être exposés à des températures dépassant 40°C pour éviter les risques associés à la surpression. Les cylindres de chlore doivent donc être éloignés des sources de chaleur;
- La température à l'intérieur de la salle d'entreposage doit être inférieure à celle de la salle des doseurs afin de favoriser l'évaporation du chlore et prévenir sa condensation dans les conduites. En période froide, il est recommandé dans la mesure du possible de maintenir un écart de 3°C entre les salles d'entreposage et de dosage;
- Les salles d'entreposage et de dosage de chlore gazeux doivent être construites en matériaux ignifuges pour éviter qu'un incendie entraîne la fonte des bouchons fusibles des cylindres;
- L'accès à la salle d'entreposage des cylindres de chlore ne doit se faire que par l'extérieur du bâtiment, à moins que la conduite d'amenée soit sous pression négative. Il en est de même pour la salle qui abrite les systèmes de dosage de chlore;
- La salle d'entreposage des cylindres de chlore est identifiée de l'extérieur par les inscriptions : « Danger, entreposage de chlore »;

- Les portes d'accès aux salles de chloration doivent être dotées d'une fenêtre d'inspection et être équipées d'une barre panique, facilitant l'évacuation de la chambre, ainsi que d'un fermoir de porte;
- Si la distance pour atteindre la sortie est supérieure à cinq mètres dans la salle d'entreposage, il doit y avoir au moins deux sorties;
- L'aire d'entreposage des cylindres de chlore doit être construite en béton lisse et munie d'un drain de plancher allant directement à l'extérieur du bâtiment dans un puisard sur lit de sable. Ceci afin d'éviter qu'une fuite ne se propage vers l'intérieur par celui-ci;
- La salle d'entreposage doit être étanche pour éviter la dispersion du gaz à l'intérieur du bâtiment en cas de fuite. Elle ne doit pas être située sous le niveau du sol pour éviter l'accumulation du chlore qui est plus lourd que l'air;
- L'entreposage des cylindres de chlore de 68 kg doit se faire en position verticale. Ils doivent être attachés aux deux tiers de leur hauteur par une chaîne ou un collier de retenue préféablement au mur ou à une structure fixe, et ce même lorsqu'ils sont sur la balance;
- L'entreposage des cylindres de chlore de 907 kg doit se faire en position horizontale. Ils reposent alors sur des rails en acier munis de butoirs pour éviter qu'ils ne s'échappent ou s'entrechoquent;
  - Les cylindres vides ou pleins de 68 et 907 kg doivent être placés à des endroits distincts et clairement identifiés. Les cylindres de 68 kg doivent être retenus individuellement, ou par groupes de quatre, au moyen d'une chaîne fixée à environ 37 cm du col, et ce que les cylindres soient pleins ou vides;
  - Le soutirage maximal quotidien d'un cylindre de 68 kg est d'environ 16 kg. En ce qui a trait aux cylindres de 907 kg, il est de 181 kg par jour. Néanmoins, ces valeurs peuvent varier selon la température ambiante de la salle d'entreposage;
- Toutes les conduites de chlore sous pression doivent être en métal fabriquée spécifiquement à cette fin;
- La manipulation des bouteilles de 68 kg s'effectue à l'aide d'un diable léger, muni de roues pneumatiques et d'un mécanisme de retenue aux deux tiers de sa hauteur;
- La manipulation des contenants de 907 kg s'effectue à l'aide d'une pince spécialement conçue à cet effet et dont le levage est assuré par un treuil sur monorail;
- La balance doit être installée de façon à ce que le tablier soit au niveau du plancher (cylindres de 68 kilogrammes). Elle doit permettre de peser deux cylindres en même temps, avec tare automatique. Il est donc préférable de se procurer une deuxième balance si le traitement requiert deux points d'injection (pré- et post-traitement);
- Dans les installations existantes où les balances sont placées sur le plancher, il faut prévoir un accès en pente douce. Ceci facilitera le déplacement de charges importantes. Dans le cas des cylindres de 907 kg, la balance doit être inclinée et permettre une lecture facile de la fenêtre;

- Les balances doivent être facilement accessibles et laisser suffisamment de place au personnel pour manœuvrer les cylindres en toute sécurité, sans courir de risques de coincement;
- La conduite de chlore ne doit pas être installée directement dans un mur extérieur à cause de la variation de température transmise par le mur. Il est recommandé d'installer la conduite sur des supports et à une distance de 15 cm du mur. De plus, les dispositions suivantes doivent aussi être respectées :
  - La vitesse du chlore gazeux à l'intérieur des conduites ne doit pas dépasser 10,7 m/s;
  - On doit ajouter un système de transfert automatique des cylindres de chlore qui fonctionne à l'aide d'un régulateur de pression;
  - L'approvisionnement d'un chlorateur doit se faire au-dessus du niveau des cylindres par le biais d'un collecteur qui s'approvisionne à au moins deux contenants;
  - Le dispositif de raccordement d'un cylindre au collecteur doit comprendre : (1) une conduite flexible qui doit avoir une boucle inversée vers le haut d'au moins 25 cm de diamètre; (2) une vanne auxiliaire; (3) un adaptateur; (4) un étrier.
- La tuyauterie rigide en acier et ses accessoires doivent être peints en jaune. Ceci permet de localiser facilement la conduite, alors qu'une partie corrodée deviendra rapidement brunâtre par le développement de rouille;
- Les chlorateurs doivent être localisés : (1) de façon à pouvoir lire le rotamètre de la fenêtre d'inspection; (2) à une distance minimale d'un mètre de tout mur dans le cas de cabinet au plancher;
- Chaque chlorateur doit avoir un évent individuel muni d'une grille contre les insectes. La conduite d'évent doit être légèrement inclinée vers l'extérieur. La conduite d'eau alimentant l'injecteur devrait être munie d'un grillage (*strainer*) et d'un régulateur de pression;
- Les pompes de surpression, lorsqu'elles sont raccordées à l'éjecteur, doivent être doublées et installées dans la chambre de mécanique;
- Les pompes de surpression, qui approvisionnent en eau de procédé les dispositifs de chloration, doivent avoir une capacité suffisante pour assurer en tout temps le fonctionnement de la désinfection;
- Une valve de soulagement doit être prévue entre la pompe de surpression et le chlorateur pour éviter des pressions excessives;
- Le point d'injection du chlore situé sur la conduite doit être du côté le plus rapproché de l'éjecteur. De plus, un diffuseur est requis pour assurer un mélange optimal. Il y aurait lieu de placer un dispositif à la sortie du diffuseur pour assurer l'homogénéité du mélange;
- Les événements des vannes régulatrices de chlore et des chlorateurs doivent être dirigés vers l'extérieur;
- Fournir une trousse d'urgence du Chlorine Institute adaptée pour le format des cylindres entreposés. La trousse A est requise pour les cylindres de 68 kg et la trousse B pour ceux de 907 kg;
- Installer près des salles d'entreposage et de dosage une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique;

- Munir les salles de chloration d'un détecteur de gaz dont la sonde, située à 30 cm du plancher, déclenche le ventilateur d'urgence ainsi qu'une alarme générale lors de fuites;
- La limite d'exposition au chlore pour une période de huit heures est de 3 mg/m<sup>3</sup>;
- Installer deux respirateurs autonomes d'évacuation d'urgence de 5 min à proximité de la salle d'entreposage de chlore;
- Installer deux respirateurs autonomes d'intervention d'urgence de 30 min à proximité de la salle d'entreposage de chlore;
- Une trousse de premiers soins doit être disponible sur les lieux de travail;
- Ne jamais entreposer de produits incompatibles avec le chlore (huiles, graisses, solvants, substances réductrices, matériel oxydable et matériaux inflammables);
- Ne jamais empiler les cylindres de chlore;
- Prévoir à proximité des lieux d'entreposage un lien de communication avec l'extérieur accompagné des numéros de téléphone d'urgence suivants : police, pompiers, ambulance, service d'urgence pour le chlore, centres antipoison et médical.

#### LA VENTILATION NORMALE ET D'URGENCE

- Ventiler en continu les pièces d'entreposage et de dosage à un taux minimal de trois changements d'air à l'heure et actionner en cas de fuite un ventilateur d'urgence effectuant 30 changements d'air à l'heure;
- Dans les petites installations, un seul ventilateur d'urgence d'une capacité de 60 changements d'air à l'heure est toléré;
- Le soutirage de l'air ambiant doit se faire à un maximum de 45 cm du plancher, puisque le chlore est deux fois et demi plus lourd que l'air, tandis que les ventilateurs doivent être situés à au moins 1,5 m du plancher;
- La sortie d'air possiblement contaminé doit être placée à une hauteur minimale de deux mètres du sol et éloignée des entrées et prises d'air de l'installation;
- Les conduits et équipements de ventilation doivent être constitués de matériaux résistants à la corrosion;
- Les commutateurs d'éclairage et de ventilation d'urgence doivent être situés à l'extérieur des salles d'entreposage et de dosage.

##### 15.4.4.2 L'hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium en solution, communément appelé eau de Javel, est un des produits les plus utilisés à travers le monde. Dans les installations de production d'eau potable et les réseaux de distribution, il peut servir à la désinfection de l'eau. L'eau de Javel est disponible sur le marché à des concentrations en chlore variant de 5 à 15%. Néanmoins, la solution à 12% s'avère la plus populaire. Les formats les plus répandus sont les contenants de 3,6 à 4,5 litres, de 20 à 22,5 litres et de 100 à 220 litres. Ce produit est aussi disponible en vrac. La solution d'hypochlorite de sodium est à la fois corrosive et oxydante et ne doit pas être exposée à la lumière ou

à la chaleur excessive. Les contenants peuvent dans certaines conditions laisser échapper des émanations de chlore en concentration dangereuse. Ainsi, l'eau de Javel est incompatible avec les acides. Le contact entre l'eau de Javel et des substances organiques présente des risques d'incendie. Le contact avec la peau et les yeux peut causer des brûlures sévères alors que l'ingestion de la solution et l'inhalation de vapeurs causeront des irritations et des douleurs.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- L'eau de Javel doit être entreposée dans une salle sombre où la température ne dépasse pas un minimum et maximum de -10°C et 30°C respectivement. Elle doit être tenue à l'écart des acides, de l'ammoniac et de diverses substances organiques;
- L'entreposage en vrac se fait dans des réservoirs étanches en plastique, tels que le polyéthylène ou le PVC, ou renforcés de fibres de verre. Chaque réservoir est muni d'une conduite de mise à l'atmosphère indépendante;
- On doit prévoir pour la salle d'entreposage une ventilation minimale d'un taux de trois changements d'air à l'heure;
- L'équipement assurant la ventilation d'air devra être fabriqué de matériaux résistants à la corrosion. L'apport d'air doit provenir du haut, du côté diamétralement opposé au soutirage, lequel est effectué à un maximum de quelques dizaines de centimètres du sol;
- Les cuves d'entreposage seront munies d'un trop-plein et d'une alarme qui protégeront le personnel advenant un débordement;
- Lors de l'installation de conduites, une attention toute particulière doit être portée afin d'assurer l'étanchéité des raccords. Les solutions d'hypochlorite ont tendance à suinter à travers les raccords;
- Il faut éviter les contacts entre l'eau de Javel et les métaux, car l'oxygène qui se dégage augmente les risques d'incendie;
- De préférence, les équipements électriques (interrupteur, moteur, détecteur, etc.) doivent être placés à l'extérieur des salles d'entreposage afin d'éviter leur corrosion, un phénomène qui accroît les risques de courts-circuitages;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique;
- Installer deux respirateurs autonomes de 30 min à proximité de la salle d'entreposage de l'hypochlorite de sodium.

### 15.4.4.3 L'hypochlorite de calcium

L'hypochlorite de calcium (HTH) est un solide blanchâtre disponible à l'état granulaire ainsi qu'en tablettes d'une concentration en chlore disponible de 70%. Les propriétés d'une solution d'hypochlorite de calcium sont semblables à celles de l'eau de Javel : la manipulation requiert donc des précautions similaires. Néanmoins, la forme solide

du réactif se révèle être la plus dangereuse. Le HTH est très populaire pour le traitement de l'eau de baignade, où il est ajouté directement. Il l'est toutefois beaucoup moins pour le traitement de l'eau potable à cause de son coût élevé et de l'étape supplémentaire de mise en solution qui présente des risques. Il est tout de même employé dans les installations pour entretenir les goulottes et les bassins et désodoriser les lieux. Il est utilisé régulièrement pour désinfecter de nouvelles conduites ou des conduites remises en service. Pour plus de renseignements sur les précautions à prendre avec ce produit, consulter sa fiche signalétique.

#### *15.4.5 L'ozone*

L'ozone est un produit extrêmement corrosif incompatible avec toute matière oxydable. Ce réactif a des propriétés irritantes au niveau des voies respiratoires et peut entraîner des quintes de toux ainsi que des larmolements. La concentration permise dans l'air est de  $0,2 \text{ mg/m}^3$  pour une exposition quotidienne. La limite de détection olfactive se situe, selon les individus, entre  $0,01$  et  $0,05 \text{ mg/m}^3$ . La concentration maximale d'exposition est de  $0,6 \text{ mg/m}^3$ . Les fuites d'ozone peuvent provenir de multiples sources puisque les équipements de génération et de mise en solution sont souvent complexes et imposants.

Les émanations peuvent s'échapper des accessoires suivants : générateur, conduite, raccord, robinetterie, analyseur, rotamètre, trappe d'accès, évacuation, four de destruction, etc. Les parois des tours et des bassins de mise en contact peuvent aussi laisser fuir des vapeurs ou de l'eau ozonisée. En outre, il faut se méfier des prises d'air, ou encore des fenêtres ouvertes en été, situées près des ventilateurs qui expulsent de l'air contaminé vers l'extérieur du procédé. Plusieurs autres risques sont associés à la production et à la distribution de l'ozone. La présence de sources d'énergie mécaniques, pneumatiques, hydrauliques, électriques et calorifiques peut entraîner des risques :

- D'explosion en présence d'agents réducteurs et de réaction violente en présence de substances organiques ou inorganiques oxydables;
- De coincement par les mécanismes d'entraînement externes des soufflantes ou des compresseurs à air comme de réfrigération ou encore par le biais d'opérateurs de vannes aux composantes mobiles accessibles;
- D'exposition à des bruits intenses émis par les soufflantes ou les compresseurs d'air de procédé servant à alimenter les générateurs;
- De projection et même d'explosion suite à l'accumulation et au relâchement instantané d'air comprimé des conduites et accessoires pressurisés;
- D'éclaboussement avec dégagement de pression lors de l'intervention sur le circuit de refroidissement des équipements utilisant de l'eau de procédé : échangeur de chaleur, groupe frigorifique, compresseur, générateur d'ozone, pompe de circulation, etc.;
- D'électrocution au contact du courant alimentant les équipements utilisant cette source d'énergie dont principalement les générateurs qui s'alimentent sur haute

tension à partir de transformateurs et autres composantes électriques destinées à ce type d'application;

- De contact avec des substances acides lors du nettoyage des alvéoles du générateur d'ozone et des tubes diélectriques;
- D'inhalation de poussières d'alumine activée lors de la vidange des cylindres des assécheurs;
- D'engelures localisées lors d'interventions sur les groupes frigorifiques;
- De brûlures sur les assécheurs régénérés par la chaleur et ceux du four de destruction d'ozone résiduel.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Identifier et localiser adéquatement tout équipement utilisé pour produire, distribuer, mettre en contact et détruire l'ozone;
- Ne sélectionner que des matériaux pouvant résister à long terme à l'ozone lorsque ceux-ci sont destinés à cette application;
- Munir les salles contenant les équipements de production et de destruction ainsi que celles attenantes aux bassins de mise en contact de détecteurs d'ozone dans l'air ambiant afin de déceler immédiatement toute concentration significative;
- Initier par le biais du signal émis par le détecteur d'ozone une alarme générale ainsi que la mise hors service du générateur en production afin de stopper l'apport d'ozone dans l'air ambiant;
- Ventiler adéquatement et sur une base continue les lieux de production d'ozone et de destruction d'ozone résiduel;
- Éloigner toute prise d'air et fenêtre servant à ventiler le bâtiment des cheminées et bouches de ventilation pouvant laisser émaner de l'ozone concentré ou résiduel afin d'éviter une contamination de l'air ambiant en provenance de l'extérieur;
- Munir tout mécanisme d'entraînement et de transmission externe d'un garde de sécurité adéquat;
- Confiner les soufflantes ou les compresseurs bruyants dans des caissons acoustiques ou encore dans une pièce réservée à cette fin;
- Équiper les conduits d'air comprimé ainsi que les vaisseaux le requérant de vannes de relâche de pression précalibrée;
- Isoler adéquatement les équipements produisant une chaleur élevée tels que les assécheurs d'air comprimé régénérés de cette façon ainsi que le four de destruction d'ozone résiduel, ces équipements pouvant occasionner des brûlures à la peau;
- Isoler adéquatement les accessoires des groupes frigorifiques pouvant entraîner lors d'un contact des engelures localisées;
- Appliquer scrupuleusement les dispositions du Code canadien de l'électricité pour tout dispositif utilisant cette source d'énergie, principalement en ce qui concerne le confinement des accessoires générant, véhiculant et appliquant du courant haute tension;

- Munir les trappes d'accès aux chambres de mise en contact de couvercles étanches (la forme circulaire est très supérieure à toutes autres), alors que parfois même l'installation d'un sas doit être envisagée afin de rendre l'installation parfaitement sécuritaire;
- Prévoir de ne pas entreposer de produits combustibles ou acides à proximité des installations d'ozonation, car ceux-ci peuvent réagir violemment avec l'oxydant puissant que constitue l'ozone;
- Installer deux respirateurs autonomes de 30 min, en fonction de l'utilisation du chlore, à proximité de la salle de production d'ozone afin de faciliter une intervention d'urgence;
- Prévoir les dispositifs de cadenassage requis aux différentes sources d'énergie (électrique, pneumatique, mécanique et hydraulique) impliquées dans la production d'ozone, qui permettront d'isoler et de verrouiller ces équipements;
- Installer un dispositif de mise à la terre sur tout générateur le nécessitant qui permette de travailler ultérieurement sur ses composantes électriques de façon sécuritaire.

L'oxygène peut avantageusement remplacer l'air comme source d'approvisionnement pour produire l'ozone. Deux alternatives se posent alors à l'exploitant. La première consiste à générer l'oxygène sur place, ce qui n'est viable que pour des installations de très grande importance. La seconde, s'adressant à une gamme plus étendue d'installations de production, consiste à s'approvisionner en oxygène liquide auprès d'un fournisseur. Le produit est alors livré au besoin par camion-citerne et entreposé sur le site dans un réservoir prévu à cet effet. Il est évaporé suivant la demande du procédé. Les systèmes d'ozonation alimentés par de l'oxygène atteignent des performances plusieurs fois supérieures à leurs équivalents approvisionnés par de l'air comprimé.

En outre, l'emploi de ce gaz très pur élimine le recours à la traditionnelle filière de compression et de préparation de l'air de procédé qui exige beaucoup d'entretien, surtout lorsque sa conception recèle certaines lacunes. Pour de plus amples informations sur les risques associés à la manutention et à l'utilisation de l'oxygène, se rapporter à sa fiche signalétique. Néanmoins, mentionnons que : (1) le réservoir d'oxygène liquide ainsi que les équipements d'évaporation devront se situer dans un enclos à l'extérieur du bâtiment; (2) après l'évaporation, ce gaz sera acheminé directement à la salle de génération d'ozone; (3) cette pièce devra être munie d'un détecteur de fuites d'oxygène permettant de couper immédiatement l'apport de ce gaz suite à une alarme de haute concentration.

#### *15.4.6 Le bioxyde de chlore*

Le bioxyde de chlore est un oxydant puissant, doublé d'un désinfectant, qui doit être généré sur le site. Le bioxyde provient de l'acidification d'une solution de chlorite de sodium. Deux réactifs chimiques sont les plus communément utilisés pour parvenir à

cette fin : le chlore et l'acide chlorhydrique. Selon l'alternative retenue, la configuration du système de génération sera très différente. Le chlore gazeux est soutiré d'un cylindre par un chlorateur afin de préparer une solution aqueuse concentrée dudit réactif.

Le chlorite de sodium préalablement dilué est, quant à lui, pompé d'une cuve de mise en solution ou d'un réservoir. Les deux produits chimiques se mélangent intimement dans un réacteur qui génère une solution diluée de bioxyde de chlore. Le deuxième procédé, qui utilise l'acide chlorhydrique, est beaucoup moins répandu que le premier. La raison principale de cet état de fait est qu'il introduit un produit supplémentaire dans la chaîne du procédé, soit l'acide chlorhydrique, alors que la plupart des installations utilisent déjà le chlore.

L'inhalation du bioxyde de chlore peut irriter gravement le nez, la gorge et les voies respiratoires. Une exposition répétée peut causer les symptômes suivants : bronchite, bronchite chronique, œdème pulmonaire et une diminution sensible de la fonction respiratoire. Le bioxyde de chlore peut entraîner des symptômes d'irritation sévère des yeux. Les concentrations maximales permises dans l'air ambiant sont de  $0,83 \text{ mg/m}^3$  pour une exposition de courte durée et de  $0,28 \text{ mg/m}^3$  pour une exposition prolongée.

Par ses propriétés intrinsèques, tant physiques que chimiques, le bioxyde de chlore est considéré sur le plan de la prévention de la même façon que le chlore. Cet aspect revêt une importance capitale puisque l'équipement le plus souvent employé pour produire le bioxyde de chlore a pour intrant le chlore. De fait, un chlorateur équipe la plupart des générateurs de bioxyde de chlore.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

En guise de prévention à la source, se référer aux points présentés dans la section traitant du chlore. Un aspect inhérent au bioxyde de chlore est que ce réactif à l'état gazeux peut exploser s'il est comprimé. Cette propriété, qui le rapproche de l'ozone, peut être contrôlée assez aisément en ayant recours à une dilution suffisante dudit réactif après sa fabrication. On évitera tout dégazage anormal du produit, ce qui facilitera sa distribution, ainsi que son analyse pour fins d'évaluation du rendement du générateur.

### 15.4.6.1 Le chlorite de sodium en solution

Pour fabriquer du bioxyde de chlore, l'emploi du chlorite de sodium est requis. Tel que mentionné précédemment, c'est par le biais de son acidification dans des conditions contrôlées, à l'aide d'une solution de chlore ou d'acide chlorhydrique, que l'on obtient la solution finale. Le chlorite de sodium est disponible à l'état sec et granulaire en barillet pour les installations de capacité limitée. Il faut donc le dissoudre pour approvisionner un générateur de bioxyde. La forme diluée titrant de

20 à 40% de concentration est la plus répandue. Disponible en barils et en vrac, la solution de chlorite de sodium simplifie les opérations de manutention et sécurise la manipulation.

Le chlorite de sodium est un produit corrosif et alcalin dont le pH avoisine 12. Il est stable et ininflammable dans des conditions normales. Néanmoins, lorsqu'il est chauffé, il peut libérer des émanations toxiques, dont l'oxyde de chlore. Les substances incompatibles avec ce réactif sont : les comburants puissants, les acides minéraux et autres, les agents réducteurs, les substances basiques puissantes ainsi que les matières combustibles. Il y a lieu d'éviter les températures élevées, les étincelles, les flammes nues, les surfaces chauffées à blanc ainsi que les émissions ultraviolettes de forte intensité.

Lorsque l'eau est évaporée, le solide résiduel constitué essentiellement de chlorite de sodium peut exploser suite à un choc. Il peut aussi induire spontanément une ignition et même une déflagration au contact des substances incompatibles précitées. L'inhalation de ce réactif peut irriter gravement le nez, la gorge et les voies respiratoires. Une exposition répétée peut causer les symptômes suivants : toux, écoulement nasal, broncho-pneumonie, œdème pulmonaire et une diminution sensible de la fonction respiratoire.

Le chlorite de sodium peut entraîner des symptômes d'irritation cutanée tels que des rougeurs, de l'enflure ainsi que l'éruption et la formation de crevasses et de brûlures. Ce réactif étant très corrosif, il entraîne des taches sur la cornée de l'œil et son opacification. Il y a risque de glaucome, de cataracte et de cécité permanente. L'ingestion cause des douleurs et des brûlures graves à la bouche, à la gorge et à l'abdomen, ce qui peut entraîner des vomissements, de la diarrhée et la perforation de l'œsophage et de la muqueuse gastrique.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Les endroits où peuvent se retrouver des vapeurs ou des poussières du produit doivent être équipés de ventilateurs d'évacuation constitués de matériaux à l'épreuve de la corrosion. On fournira de l'air d'appoint afin d'équilibrer l'air qui provient des ventilateurs locaux ou généraux;
- Entreposer à l'écart des comburants puissants, d'acides minéraux et autres, des agents réducteurs, des substances basiques puissantes ainsi que des matières combustibles;
- Entreposer dans un lieu frais et bien ventilé, à l'abri de la chaleur, des étincelles et des flammes. Tenir les contenants fermés et la température ambiante en dessous de 40°C;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### 15.4.6.2 Le chlorite de sodium sec

Tel que mentionné précédemment, des systèmes de génération de bioxyde de chlore de capacité limitée utilisent une solution de chlorite de sodium fabriquée sur le site à partir du produit sec. L'utilisation de chlorite de sodium sec est à éviter à cause des risques d'ignition et même d'explosion élevés, comme en témoignent les accidents qui se sont produits dans plusieurs installations du Québec. Néanmoins, pour de plus amples renseignements sur ce produit, consulter la fiche signalétique du chlorite de sodium sec.

#### 15.4.6.3 L'acide chlorhydrique

Certains types de générateurs de bioxyde de chlore s'approvisionnent en acide chlorhydrique plutôt qu'en chlore pour produire l'acidification de la solution de chlorite de sodium. Au même titre que le chlore, l'acide chlorhydrique possède des propriétés qui lui sont propres dont découlent des consignes de sécurité particulières. L'emploi de l'acide chlorhydrique est à éviter, car c'est un produit à la fois volatil et extrêmement corrosif dont la manipulation est risquée. Pour plus de données pertinentes sur le sujet, consulter la fiche signalétique de l'acide chlorhydrique concentré.

#### 15.4.7 Les inhibiteurs de corrosion et les agents séquestrants

Les eaux de surface et parfois même souterraines qui approvisionnent en eau potable les réseaux de distribution du Québec sont souvent peu minéralisées. Cette propriété accroît leur propension à attaquer les matériaux formant les parois des conduites de distribution. On dit alors que l'eau est agressive et les tuyauteries métalliques qui la véhiculent peuvent souffrir de problèmes de rouille. Chez le consommateur, une eau agressive aura tendance à solubiliser les conduites de cuivre ainsi que les soudures de plomb, un métal toxique même à une faible concentration. Les produits utilisés pour ce type d'application sont principalement le silicate de sodium, le polyphosphate de sodium ainsi que les produits à base d'hexamétaphosphates de sodium et de zinc.

##### 15.4.7.1 Le silicate de sodium

Le silicate de sodium est apprécié comme inhibiteur de corrosion, sinon comme agent séquestrant, puisque son dosage contribue en outre à augmenter le pH de l'eau traitée, donc à en diminuer globalement le taux d'acidité. Le silicate est présent sur le marché sous forme sèche et en solution de différentes concentrations. Le produit sec n'est pas vraiment utilisé dans le domaine de la production de l'eau potable à cause de l'étape supplémentaire qu'impose la dissolution préalable à son application.

Le produit liquide peut être livré sous différents formats, mais le plus populaire demeure le baril, alors que l'approvisionnement en vrac simplifie sa manutention lorsque la demande le justifie. Parmi les grades de solution de silicate de sodium disponibles, le plus utilisé demeure sans contredit celui titrant 28,7% en  $\text{SiO}_2$ . Son appellation commerciale varie d'un fournisseur à l'autre, les plus utilisées étant le *Silicate de sodium N* ou encore le *Crystal 78*. Ce réactif a une consistance sirupeuse qui rend glissantes les surfaces où il est répandu. Une fois séché, il prend la texture du verre, ce qui complique passablement son nettoyage.

C'est un produit fortement alcalin d'un pH de 11,3 qui peut réagir avec certains métaux pour dégager de l'hydrogène, lequel est inflammable. Il devient gélatineux lorsqu'il est mélangé avec des acides, ce qui peut compliquer par la suite sa disposition. Le produit est corrosif s'il est avalé et peut provoquer des dommages à la bouche, à la gorge, à l'œsophage et à l'estomac. Il est aussi corrosif pour les muqueuses respiratoires lorsqu'il est inhalé. Le silicate de sodium est considéré comme un irritant sévère doublé de propriétés corrosives pour la peau et les yeux.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Les endroits où peuvent se retrouver des émanations du produit doivent être équipés de ventilateurs d'évacuation suffisants. On fournira alors de l'air d'appoint afin d'équilibrer l'air qui provient de ventilateurs généraux;
- Entreposer le silicate à l'abri des acides puisque, suite à un contact, il deviendra gélifique et cette dégradation sera accompagnée d'un dégagement de chaleur;
- Entreposer dans des contenants étanches dans un lieu frais;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### 15.4.7.2 Le polyphosphate de sodium

Le polyphosphate de sodium est un produit exclusivement disponible sous forme de solution. On peut se le procurer en baril ainsi qu'en vrac. Les principales marques de commerce se retrouvant au Québec se nomment *Aquamag* ainsi que *Calciquest*. D'un pH voisinant 6, ce réactif n'est pas considéré comme dangereux selon les organismes suivants : Occupational Safety and Health Association (OSHA), Department of Transport (DOT) et United States Environmental Protection Agency (USEPA). Il n'y a aucun risque connu à une surexposition par inhalation. L'ingestion peut causer des nausées mais ne présente aucun risque connu de surexposition. Les contacts cutanés et oculaires peuvent néanmoins entraîner des irritations localisées.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Une ventilation normale de la pièce est généralement suffisante;
- Conserver dans un endroit frais et sec;
- Entreposer à l'écart des oxydants et des réducteurs puissants;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### 15.4.7.3 Les hexamétaphosphates

Les hexamétaphosphates de sodium et de zinc sont aussi utilisés comme agents séquestrants et comme inhibiteurs de corrosion. Contrairement aux produits cités antérieurement, ils sont disponibles sous forme sèche exclusivement. Selon leur composition exacte et leur mode de fabrication, ils peuvent se présenter sous différents aspects : poudre, granules ou encore brisures ayant l'aspect de morceaux de verre concassés. Les formats de livraison varient aussi selon leur provenance : ils sont ainsi disponibles en chaudière, en boîte ou encore en sac. L'étape supplémentaire de la mise en solution préalable à la distribution a limité ces dernières années la part du marché occupée par les hexamétaphosphates par rapport aux produits dont il a été question précédemment. Pour de plus amples renseignements sur le sujet, se référer aux fiches signalétiques concernant les hexamétaphosphates.

#### 15.4.8 La silice activée

La silice activée est utilisée comme aide coagulant lors de la purification de l'eau potable. Contrairement aux polymères qui sont employés aux mêmes fins, c'est un produit qui est généré sur le site à partir de silicate de sodium et d'un agent activant. L'emploi de ce dernier a pour but de déstabiliser chimiquement la solution de silicate pour former une suspension d'acide silicique polymérisée. L'ajout d'eau au moment opportun procurera une dilution stabilisatrice qui permettra de fabriquer un gel aux propriétés agglomérantes.

Les principaux agents activants employés pour fabriquer la silice activée sont le sulfate d'ammonium, le chlore, le bicarbonate de sodium, le bioxyde de carbone, le silicofluorure de sodium, l'acide sulfurique et l'aluminate de sodium. C'est essentiellement ce dernier réactif qui est utilisé au Québec; il est présenté dans la section suivante. Pour plus de renseignements sur les autres activants, se rapporter à leur fiche signalétique propre. En ce qui a trait à l'ingrédient principal, soit le silicate de sodium, il y a lieu de consulter la section précédente.

##### 15.4.8.1 L'aluminate de sodium

L'aluminate de sodium est disponible à l'état sec ou en solution. Néanmoins, ce composé corrosif se révèle instable lorsqu'il est dilué. C'est pourquoi les exploitants qui l'utilisent ont recours à des solutions commerciales de concentrations déterminées préalablement stabilisées. Ces produits que l'on retrouve sous les dénominations de *HAN-FLOC 45* et de *WATA-FLOC 38* contiennent respectivement des concentrations de 45 et 38% d'aluminate de sodium. Ils peuvent être utilisés comme activants pour générer la silice activée ou encore plus simplement à titre de floculants lorsque l'alcalinité de l'eau est insuffisante.

L'inhalation d'aérosols peut endommager les voies respiratoires supérieures et les poumons selon la sévérité de l'exposition. Le produit se révèle très corrosif pour tous les tissus du corps avec lesquels il entre en contact et cause des brûlures graves. Les dommages aux yeux peuvent aller jusqu'à la cécité. Lorsqu'il est ingéré, il peut causer de graves brûlures ainsi qu'une perforation des membranes muqueuses des voies digestives. Un contact fréquent ou prolongé peut occasionner une dermatite ou encore une conjonctivite.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Les endroits où peuvent se retrouver des émanations du produit doivent être équipés de ventilateurs d'évacuation constitués de matériaux à l'épreuve de la corrosion. On amènera de l'air d'appoint afin d'équilibrer l'air qui provient des ventilateurs locaux ou généraux;
- Ne jamais entreposer ce produit à proximité d'acides puissants et éviter les contacts avec les substances incompatibles comme les aldéhydes et plusieurs

autres produits chimiques organiques : l'aluminate de sodium peut corroder l'aluminium, l'étain, le zinc ainsi que les alliages contenant ces métaux;

- Entreposer dans des contenants fermés en acier ou en plastique;
- Manutentionner dans un lieu frais et sec, bien ventilé, et garder à l'abri de la chaleur, des étincelles et des flammes;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### *15.4.9 Le charbon actif*

Le charbon actif en poudre (CAP) possède une consistance très fine qui rappelle la texture de la farine, ce qui lui confère une très grande facilité d'écoulement. Il est principalement employé pour éliminer par adsorption les pesticides toxiques, les essences d'algues causant des problèmes de goûts et d'odeurs, les tannins ainsi que d'autres substances organiques. Il est disponible en vrac alors que son entreposage sur le site se fait dans un silo. Pour une demande plus restreinte ou pour une utilisation sur une base saisonnière, il est possible de s'approvisionner par sac de quelques dizaines de kilogrammes chacun.

La livraison des sacs de CAP se fait sur des palettes dont la capacité maximale avoisine une tonne. Le CAP peut irriter légèrement le nez, la gorge et les voies respiratoires et peut faire tousser et éternuer. Un contact prolongé cause l'assèchement des membranes muqueuses et de la gorge. Le CAP peut entraîner une pneumoconiose, qui consiste en une réaction des tissus pulmonaires consécutive à une accumulation de CAP au niveau des poumons. Ainsi, dans les cas d'expositions intenses et/ou répétées, les mécanismes de défense du système respiratoire ne suffisent plus.

Une exposition cutanée prolongée ne devrait pas entraîner une absorption de quantités toxiques du produit. Néanmoins, il peut causer une détérioration des couches superficielles de la peau par abrasion ainsi que par destruction de la pellicule grasseuse naturelle. S'il entre en contact avec les yeux, le charbon actif en poudre peut occasionner une irritation, des rougeurs et des lésions résultant de son action abrasive. Une ingestion peut causer une légère irritation gastro-intestinale alors qu'une quantité élevée peut obstruer l'intestin.

À de fortes températures ou lors d'une combustion, le produit peut se décomposer pour produire des gaz toxiques principalement constitués d'oxydes de carbone. Les poussières de charbon humides réduisent la présence d'oxygène disponible pour la respiration, ce qui peut se révéler problématique lors d'interventions en espace clos ou lors d'un accès à un lieu restreint contaminé de la même façon. Les poussières contenant du CAP peuvent rendre les surfaces de contact glissantes et faciliter la propagation d'incendies.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Dans le cas d'une installation utilisant le produit en vrac, munir le silo d'un dépoussiéreur approprié pour éviter la dispersion de poussière de charbon actif dans l'atmosphère ambiante lors du déchargement;
- Pour ce qui est de l'approvisionnement d'un doseur par sacs, utiliser une trémie de chargement pouvant confiner les poussières émises ou recourir à une aspiration à la source. Il y a lieu de limiter la concentration de charbon actif dans l'air ambiant à  $3 \text{ mg/m}^3$ ;
- Entreposer le CAP dans un endroit frais et bien ventilé, car c'est un produit qui a la propriété de réagir avec l'humidité, ce qui a pour effet de limiter la présence d'oxygène dans l'air et peut provoquer le durcissement et l'agglutination du produit;
- Lorsqu'il n'y a pas de manipulation de sacs, un système de ventilation général est acceptable, bien que des ventilateurs locaux d'évacuation sont préférables alors que l'on fournira de l'air d'appoint pour compenser un soutirage déficient;
- Entreposer le charbon actif dans un endroit séparé des comburants puissants comme le chlore ou ses dérivés et de l'acétone avec lesquels il pourrait réagir violemment;
- Laisser une voie de circulation autour des palettes supportant les sacs de CAP afin de faciliter le travail des pompiers en cas d'incendie;
- Garder à l'abri de la chaleur (sous un seuil de  $40^\circ\text{C}$ ), des flammes et des étincelles en utilisant des composantes électriques antidéflagrantes, en l'éloignant des équipements de chauffage ainsi qu'en interdisant de fumer sur les lieux de manutention;
- Entreposer dans un endroit constitué de matériaux à l'épreuve du feu;
- Apporter une attention toute particulière aux facilités de nettoyage des lieux et des équipements de travail, puisque le charbon actif en poudre peut rendre les surfaces glissantes en plus d'entraîner les effets précités en cas d'exposition;
- Recourir à des conduites flexibles et facilement démontables ou à des canaux ouverts pour véhiculer la solution concentrée de charbon actif en poudre. Ceci afin de minimiser les risques liés à l'entretien;
- Lors de la livraison de sacs, recourir à une aide mécanique telle qu'un chariot à fourches pour véhiculer les palettes ou un diable pour transporter les sacs;
- Installer près du silo et des équipements de dosage une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique;
- Assurer un mécanisme de mise en solution complet du CAP avant sa distribution, sinon un mouillage déficient accélérera le blocage de la tuyauterie l'acheminant au point de dosage.

### 15.4.10 La fluoruration

La fluoruration consiste en l'ajout de composés à base de fluor au dernier stade du traitement de l'eau potable. Le composé le plus utilisé est généralement l'acide hydrofluosilicique, aussi appelé acide fluosilicique, disponible sous forme liquide et donc facilement dosable. Néanmoins, il est aussi possible de parvenir aux mêmes fins en recourant à des produits secs comme le fluorure de sodium ou le silicofluorure de sodium.

#### 15.4.10.1 L'acide hydrofluosilicique

L'acide hydrofluosilicique est disponible sur le marché dans des concentrations variant de 20% à 30%. C'est un liquide très corrosif dont il faut limiter la concentration dans l'air ambiant à  $2,5 \text{ mg/m}^3$ . Généralement, les installations qui utilisent ce réactif s'approvisionnent en vrac pour faciliter le plus possible la manutention qui devra s'ensuivre. Néanmoins, il est aussi disponible en baril. Il devra être tenu à l'écart des comburants puissants, des acides minéraux, des substances basiques fortes ainsi que des composés nitro-organiques.

Il faut aussi éviter de le mettre en présence des métaux, de leurs alcalis et de leurs hydroxydes. La silice présente dans le verre peut se dissoudre au contact de l'acide hydrofluosilicique, ce qui entraînera le dégagement d'un gaz toxique, le tétrafluorure de silice. Enfin, la décomposition dudit réactif à plus de  $105^\circ\text{C}$  générera des vapeurs de fluorure toxiques et corrosives. L'exposition de l'être humain à ce réactif chimique peut entraîner les symptômes suivants :

- Inhalation
  - Le produit peut irriter gravement le nez, la gorge et les voies respiratoires. Une exposition répétée ou prolongée peut entraîner la toux, un écoulement nasal, une broncho-pneumonie, un œdème pulmonaire ainsi qu'une diminution de la fonction respiratoire.
- Contact cutané
  - Des brûlures risquent d'apparaître si le produit n'est pas enlevé rapidement. Les solutions concentrées peuvent entraîner des douleurs cutanées ainsi que de graves brûlures en profondeur. Une exposition prolongée et répétée à des solutions diluées entraîne souvent une irritation, des rougeurs, des douleurs, un assèchement de la peau et l'apparition de crevasses. L'action corrosive sur la peau et les yeux peut se manifester tardivement et des lésions peuvent apparaître sans sensation de douleur.

- Contact avec les yeux
  - Étant très corrosif, ce produit entraîne des taches sur la cornée ainsi que l'opacification de cette dernière. Il y a risque de glaucome, de cataracte et de cécité permanente.
- Ingestion
  - Le produit cause des douleurs et de graves brûlures dans la bouche, la gorge et l'abdomen. Il y a risque de vomissement, de diarrhée et de perforation de l'œsophage ainsi que de la muqueuse gastrique.

Enfin, une exposition chronique peut causer chez l'homme une accumulation excessive de fluor dans l'organisme. Ceci peut se traduire par la fluorose de la dentition et des os. Une fluorose aiguë des dents attaque l'émail, tandis que la structure et la masse osseuses peuvent être modifiées suite à une exposition prolongée à des concentrations élevées dudit produit.

#### LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Les endroits où peuvent se retrouver des émanations du produit doivent être équipés de ventilateurs d'évacuation constitués de matériaux à l'épreuve de la corrosion;
- On fournira de l'air d'appoint afin d'équilibrer l'air qui provient des ventilateurs locaux ou généraux. Les espaces clos devront être adéquatement ventilés;
- Ne jamais entreposer ce réactif à proximité d'acides puissants, de bases fortes et de produits comburants;
- Éviter les contacts avec les substances incompatibles. L'acide hydrofluosilicique peut réagir en présence de matériaux métalliques et du verre;
- Entreposer dans un lieu frais et bien ventilé à l'abri de la chaleur, des étincelles et des flammes. Tenir les contenants fermés et la température ambiante sous le seuil de 40°C;
- Installer près du réservoir et des pompes doseuses une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

#### 15.4.10.2 Le fluorure de sodium et le silicofluorure de sodium

Tel que mentionné précédemment, le fluorure de sodium et le silicofluorure de sodium sont deux réactifs qui peuvent être utilisés, à l'instar de l'acide hydrofluosilicique, comme source de fluor pour la production d'eau potable. Disponibles à l'état sec et plus précisément sous forme de poudre, ces produits devront être préalablement dilués pour pouvoir être acheminés au point de dosage. Deux mécanismes principaux peuvent alors être employés, soit le doseur à sec et le saturateur. Le premier sera surtout employé lors de l'utilisation de quantités appréciables du produit alors que le second, accompagné d'une pompe doseuse, est

de mise pour fournir les installations de moindre importance. Pour de plus amples renseignements sur les propriétés desdites substances ainsi que sur les mesures préventives à adopter lors de leur manipulation, consulter leur fiche signalétique.

#### *15.4.11 Les oxydants secondaires*

Certaines substances chimiques possèdent des propriétés oxydantes puissantes mais, contrairement aux produits de ce type déjà présentés (chlore, bioxyde de chlore et ozone), elles ne sont pas reconnues comme ayant des propriétés désinfectantes. En fait, elles sont plutôt employées pour oxyder certains composés minéraux (fer, manganèse) ou organiques (essences d'algues) afin d'améliorer globalement la qualité de l'eau potable ou ses propriétés organoleptiques. Les substances les plus connues de ce groupe sont le permanganate de potassium ainsi que le peroxyde d'hydrogène que nous désignons dans la section suivante comme des oxydants secondaires.

##### *15.4.11.1 Le permanganate de potassium*

Le permanganate de potassium, plus couramment appelé permanganate, est un oxydant puissant aux propriétés corrosives. Il est principalement utilisé dans le cadre de la purification de l'eau potable pour précipiter le fer et le manganèse ainsi que pour contrôler certains goûts et odeurs désagréables. Le permanganate de potassium est vendu sous forme sèche uniquement. C'est un solide qui se présente sous l'aspect de cristaux pourpres foncés dégageant un reflet bleu métallique. Il est disponible en barillet ou en chaudière pesant de 25 à 50 kg ou encore en baril de 150 à 250 kg.

Les chaudières et barillets sont livrés sur des palettes pouvant atteindre une tonne. Lorsque le produit est chauffé à plus de 160°C, il dégage spontanément de l'oxygène, ce qui peut accroître dangereusement les risques de combustion. Les substances incompatibles avec le permanganate sont principalement : les agents réducteurs, les substances basiques puissantes, les acides minéraux, les combustibles, les matières organiques, le peroxyde d'hydrogène, l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique ainsi que l'acide sulfurique. La concentration dans l'air ambiant doit se limiter à 5 mg/m<sup>3</sup> en manganèse élémentaire. Les propriétés toxicologiques du permanganate de potassium sont :

- Inhalation
  - Le produit peut irriter gravement le nez, la gorge et les voies respiratoires. Une exposition répétée ou prolongée peut entraîner la toux, un écoulement nasal, une broncho-pneumonie, un œdème pulmonaire ainsi qu'une diminution de la fonction respiratoire. Les effets précités peuvent se manifester après un certain temps.
- Contact cutané

- Pour des solutions diluées, ce produit peut entraîner des irritations de la peau. Les solutions concentrées peuvent produire des douleurs cutanées ainsi que de graves brûlures en profondeur. Une exposition prolongée et répétée à des solutions diluées entraîne souvent une irritation, des rougeurs, des douleurs, un assèchement de la peau et l'apparition de crevasses.
- Contact avec les yeux
  - En solution diluée, ce produit peut causer des irritations aux yeux. Étant très corrosif, le produit concentré entraîne des douleurs immédiates accompagnées de brûlures et de lésions permanentes pouvant conduire à la cécité. Il peut endommager la cornée et peut induire une conjonctivite.
- Ingestion
  - Le produit cause des irritations accompagnées de sensations de brûlures dans la bouche, la gorge, les voies respiratoires et l'abdomen. Le produit peut porter atteinte aux reins et au foie ainsi qu'entraîner une respiration rapide et irrégulière.

## LA PRÉVENTION À LA SOURCE LORS DE LA CONCEPTION

- Les endroits où peuvent se retrouver des poussières ou des émanations du produit doivent être équipés de ventilateurs d'évacuation constitués de matériaux à l'épreuve de la corrosion. On fournira de l'air d'appoint afin d'équilibrer l'air qui provient des ventilateurs locaux ou généraux;
- Il y a lieu de réduire au maximum la dissémination des poussières;
- Ne jamais entreposer ce produit à proximité d'acides forts et de bases puissantes;
- Éviter les contacts avec les substances incompatibles. Le produit peut réagir en présence de matière organique;
- Recourir à des matériaux incombustibles comme le béton pour la construction de la salle d'entreposage et de dosage;
- Entreposer dans un lieu frais et bien ventilé (le permanganate est une substance hygroscopique pouvant s'agglutiner et durcir rapidement en présence d'humidité), à l'abri de la chaleur (sous un seuil de 40°C) ainsi que des étincelles et des flammes;
- Pour l'approvisionnement d'un doseur par chaudière ou barillet, recourir à une trémie de chargement pouvant confiner ou aspirer les poussières émises lors de l'opération de transbordement;
- L'installation d'un palan muni d'une attache ceinturant le contenant de livraison permettra de faciliter les manipulations liées au chargement de la trémie;
- Lors de la livraison des contenants, recourir à une aide mécanique telle qu'un chariot à fourches pour véhiculer les palettes ou un diable pour transporter les barils;
- Installer près des équipements de dosage une fontaine oculaire et une douche d'urgence alimentées en eau tempérée par l'utilisation d'un mitigeur thermostatique.

## VOLUME 2

### CHAPITRE 16

|             |                                                                               |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>16.</b>  | <b>INSTRUMENTATION ET CONTRÔLES .....</b>                                     |
| <b>16.1</b> | <b>Autres mesures et contrôles requis pour la maîtrise des procédés .....</b> |
| 16.1.1      | <i>Compteur de particules .....</i>                                           |
| 16.1.2      | <i>Analyseur de carbone organique total (COT) .....</i>                       |
| 16.1.3      | <i>Détecteur de courant (Streaming Current Detector – SCD) .....</i>          |

## 1. 16. Instrumentation et contrôles

### 16.1 Autres mesures et contrôles requis pour la maîtrise des procédés

Outre les mesures de paramètres prévues au *RQEP*, le suivi et l'ajustement des procédés font appel à la mesure d'autres paramètres. Ces paramètres sont cités dans les chapitres 8, 9 et 10 traitant des procédés. On décrit ci-après 3 équipements qui peuvent faciliter le contrôle de certains procédés.

#### 16.1.1 Compteur de particules

Le compteur de particules est un instrument facultatif et complémentaire au turbidimètre. Tandis que le turbidimètre mesure de façon relative la densité des particules en présence, le compteur les compte une à une et les classe selon leur taille. La détermination du nombre de particules dans l'eau filtrée peut permettre d'améliorer le suivi des procédés dans les très basses valeurs de turbidité.

Voici quelques applications du compteur de particules lors du traitement de l'eau :

- Optimiser la filtration en anticipant les ruptures et en récupérant de l'eau de lavage;
- Aider à la mesure indirecte des log d'enlèvement dans une gamme spécifique de taille de particules. Par exemple, la taille des kystes de *Giardia* varie entre 5 et 15  $\mu\text{m}$ , tandis que celle de oocystes de *Cryptosporidium* est de l'ordre de 4 à 7  $\mu\text{m}$ . Notons que la plupart des compteurs permettent un décompte des particules supérieures à 2  $\mu\text{m}$ ;
- Optimiser l'addition de coagulants et de polymères;
- Évaluer l'impact d'une augmentation de la vitesse de filtration;
- Établir des corrélations avec d'autres mesures telles que la turbidité, le pH, SCD (voir ci-après).

On le retrouve dans plusieurs installations membres du programme d'Excellence en eau potable. Il fait aussi partie des moyens de vérification d'intégrité des membranes.

#### 16.1.2 Analyseur de carbone organique total (COT)

La matière organique présente dans l'eau est susceptible d'être dégradée et halogénée afin de réagir avec le chlore pour former des trihalométhanes (THM). Le COT est une mesure qui traduit bien la présence de cette matière organique. L'analyseur de COT permet :

- De mesurer les précurseurs des sous-produits de désinfection;
- D'optimiser le dosage de produits chimiques visant à contrôler la matière organique (p. ex., permanganate de potassium et charbon activé en poudre).

La mesure de COT doit être faite en amont et en aval des étapes clés du traitement.

### *16.1.3 Détecteur de courant (Streaming Current Detector – SCD)*

Il s'avère généralement difficile de contrôler adéquatement la coagulation à l'aide de la seule mesure de la turbidité, surtout lors de fortes variations de la charge colloïdale des particules. Le détecteur de courant SCD pourrait combler cette lacune en mesurant le courant électrique des ions présents dans l'eau. Ce courant est directement relié à la charge résiduelle des particules colloïdales suite à l'ajout de coagulant. Les particules colloïdales contenues dans l'eau sont normalement chargées négativement en surface. L'ajout d'un coagulant d'une charge positive neutralise les charges négatives. Cette étape est en fait le début de la coagulation, qui favorise le rapprochement des particules. Le détecteur de courant pourra maintenir un état de coagulation jugé satisfaisant par l'opérateur et permettra de faire varier la dose de coagulant en fonction des variations ioniques de l'eau. Diverses expériences montrent que le détecteur de courant permet :

- Un contrôle plus précis du dosage des coagulants, surtout lors de variations importantes de la qualité de l'eau à traiter;
- De réduire la consommation de produits chimiques;
- D'allonger les cycles de lavage des filtres en aval;
- De réagir à des variations rapides de la qualité de l'eau brute.

## **VOLUME 2**

### **CHAPITRE 18**

#### **18. RÉFÉRENCES.....**

## 18. RÉFÉRENCES

Les références citées dans les 2 volumes sont présentées dans ce chapitre. De façon générale, elles ont été regroupées par chapitre et, dans certains cas, par section afin de faciliter la tâche du lecteur.

### Références du chapitre 1

Alberta Environmental Protection. *Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems*, décembre 1997.

American Water Works Association, Water Environment Federation et American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1998.

Great Lakes – Upper Mississippi River Board of State Sanitary Engineers. *Recommended Standards for Water Works*, (mieux connu sous le nom de *Ten-State Standards*), 1997.

MENV. *Directive 001, Captage et distribution de l'eau*, 1984.

MENV. *Directive 002, Traitement de l'eau*, 1985.

MENV. *Règlement sur le captages des eaux souterraines*, tel que publié dans la *Gazette officielle du Québec*, 13 juin 2001.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants*, avril 1999;

### Références du chapitre 4

Chapuis. R. *Guide des essais de pompage et leurs interprétations*, Les Publications du Québec, 1999.

American Water Works Association. *Water Quality and Treatment*, 1999.

RÉSEAU environnement. *Le contrôle des fuites*, 1999.

### Références du chapitre 5

Brière, François G. *Distribution et collecte des eaux*, Presses internationales Polytechnique, deuxième édition, 2000.

Environnement Canada, bases de données électroniques MUD96 et MUP96 :  
[www.ec.gc.ca/water/fr/manage/use/f\\_datab.htm](http://www.ec.gc.ca/water/fr/manage/use/f_datab.htm)

RÉSEAU environnement. *Le contrôle des fuites*, mai 1999.

RÉSEAU environnement. *L'économie d'eau potable et les municipalités*, juin 2000.

### Référence du chapitre 6

Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, 6ème édition, 1997.

### Références des sections 8-2 et 8-3

Bradbury, K. R. and Muldoon, M.A. *Effects of Fracture Density and Anisotropy on Delineation on Wellhead Protection Areas in Fractures-Rock Aquifers*. *Applied Hydrogeology*, 3/94. pp 17-23.

Champagne, L. et Chapuis, R. *Évaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des formations aquifères de la MRC de Montcalm selon la méthode DRASTIC*. *Sciences et techniques de l'eau*, volume 26, no 3, août 1993.

Chapuis. R. *Guide des essais de pompage et leurs interprétations*, Les Publications du Québec, 1999.

Grubb, S. *Analytical Model for Estimation of Steady-State Capture Zones of Pumping Wells in Confined and Unconfined Aquifers*. *Groundwater*, volume 31, no.1, January-February 1993.

Rasmussen, H., Verreault, M. et Rouleau, A. Centre d'études sur les ressources minérales de l'UQAC. *Détermination pratique d'aire d'alimentation et de zone de protection de captage en aquifère anisotrope et hétérogène*, premier rapport d'étape du projet de recherche effectué dans le cadre du Programme d'aide à la recherche et au développement en environnement (PARDE) octroyé par le ministère de l'Environnement du Québec, février 2001.

Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, 6<sup>e</sup> édition, 1997.

Todd, D.K. *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons, Second Edition, 1980.

#### Références de la section 8.4

Jones, H. K., Williams, A.T., Shand P., Gale I.N. *Aquifer Storage Recovery (ASR). A Review of the Status of Research and Investigations*, Technical Report WD/99/54, British Geological Survey, UK, 1999.

Pyne, R., David, G. *Groundwater recharge and Wells : A Guide to Aquifer Storage recovery*, Lewis Publishers, 1995.

Ray, C., T. Grischek, P. Literathy and T. Speth. *Bank Filtration for water supply : Concept through performance*, AWWA, 2001.

Scijven, J., Berger, P. *Removal of Pathogens, Surrogates, Indicators and Toxins Using Bank Filtration*, Document non publié, chapitre 3.1, 2000.

USEPA. *Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Area*. EPA-440/5-93-001, Office of Groundwater Protection, Washington, DC, 1987.

#### Références des sections 8-5 à 8-12

AWWA. *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill inc., 1999.

Degrémont, *Mémento technique de l'eau*, 1989.

Droste, R. L. *Theory and practice of water and wastewater treatment*, Wiley, 1997.

Filtronics Inc. *Fiche descriptive du procédé Electromédia I*, 1992.

General Filter Company. *Manganese ANTHRA/SAND*, Ames, Iowa, 50010.

Knocke, R.W., Occiano, S., Hungate, R. *Removal of Soluble Manganese from Water by Oxide-Coated Filter Media*, AWWARF, mars 1990.

Mouchet, P. *Développement de la déferrisation biologique en France*, Techniques et Sciences Municipales, 84<sup>e</sup> année N° 7-8, 1989.

Mouchet, P. *From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France*, Jour. AWWA, 84 (4) :158-167.

Mouchet, P., Bergel, J.-Y. *Elimination du fer et du manganèse par voie biologique : études de cas concrets*, Symposium de l'eau, 1999.

Sommerfeld, E. O. *Iron Manganese removal handbook*, American Water Works Association (AWWA), 1999.

Stumm, W., Morgan, James J. *Aquatic chemistry*, Wiley Intersciences, 1996.

Viraraghavan, T., Winchester, E.L., Brown, G.J., Wasson, G.P. et Landine, R. D. *Removing Manganese From Water at Fredericton, N.B., Canada*, Jour. AWWA, août 1987.

Santé Canada, *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, 6<sup>e</sup> édition, 1997.

#### Références des sections 9-5 à 9.9

Alberta Environmental Protection. *Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems*, décembre 1997.

- American Water Works Association (AWWA). *Water Quality and Treatment*, 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill inc., 1990.
- Anderson, R., Pierce, C., Tchobanoglous, G. *Evaluation of the Dynasand Continuous Backwash Upflow Filter for Water Supply Application*, Department of Civil Engineering, University of California, Davis, 1989.
- AWWA. *Manual of design for Precoat Filtration*, M30, 1988.
- AWWA Research foundation. *Manual of design for Slow Sand Filtration*, 1991.
- AWWA Committee Report. *The status of Direct Filtration*, Journal AWWA, 72(7), July 1980 : 405.
- AWWA. *Water Quality & Treatment : A Handbook of Community Water Supplies*, McGraw-Hill ed. 5<sup>th</sup> Edition.
- AWWARF et Compagnie générale des eaux. *Ozone in water treatment –Application and engineering*, édité par Langlais *et al.*, Lewis publishers.
- Benjes, Henry H. Jr, Edlund, Craig E., Gilbert, Paul T. *Adsorption Applied to Low Turbidity Surface Supplies*, présenté à la conférence annuelle de l'AWWA, Washinton, D.C., 1985.
- Cleasby, J.L., A.H. Dharmarajah, G.L. Sindt, et B.E.R. *Design and Operation Guidelines for Optimization of the High Rate Filtration Process : Plan Survey Results*, AWWARF (90552), 1989.
- Cleasby, J.L., G.L. Sindt, D.A. Watson, et B.E.R. *Design and Operation Guidelines for Optimization of the High Rate Filtration Process : Plan Demonstration Studies*, AWWARF (90596), Denver, 1992.
- Conley, Walter R., Kelly, P. Labge-Haider, Thompson, Robert E. *THMFP and Powdered Activated Carbon Experiences with the contact adsorption Clarification/Filtration Process*, présenté à la conférence AWWA/WPCA Rocky Mountain, 1988.
- Coulombe, P. *Analyse du comportement et du rendement d'un système pilote de double-filtration lors du traitement d'une eau colorée à des fins de consommation*, mémoire présenté pour l'obtention du grade de M.Sc., Faculté des Sciences et Génie, Université Laval, 1994.
- Degrémont. *Mémento technique de l'eau*, 1989.
- Degrémont; brochures techniques.
- Droste, R.L. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1997.
- Edzwald James K., Walsh John P. *Dissolved Air Flotation : Laboratory and Pilot Plant Investigations*, AWWARF, 1992.
- Edzwald J.K. *et al. Integrating High-rate DAF Technology into Plant Design*, J. AWWA, 1999.
- Great Lakes Upper Mississippi River Board of State Public Health & Environmental Managers. *Recommended Standards for Water Works*, 1997.
- Helsinki. *Flotation in Water and Waste Water Treatment*, The 4<sup>th</sup> International Conference, Finland, 2000.
- Hendrics, David D., Hancock, Carrie et Hibler, Charles P. *Removal of Giardia Cysts by Parkson's Dynasand Filter, Final report*, Colorado State University – Parkson contract 29647, CSU Project No. 29-7830, 1989.
- Ives, K. J. *A New Concept of Filterability*, Wat.Sci.Tech., 10(5/6), 123-137, 1978.
- James, B. Horn, Hendricks, David W., Scalan, John M., Rozelle, Lee T., Trnka, Walter C. *Removing Giardia Cysts and Other Particles from Low Turbidity Waters Using Dual-Stage Filtration*.
- James M. Montgomery Consulting Engineers inc., John Wiley & Sons. *Water Treatment – Principes & Design*, 1985.
- James M. Montgomery Consulting Engineers, Inc., John Wiley & Sons. *Small system compliance technology list for the surface water treatment rule, Water Treatment – Principles and Design*, USEPA, 1985.
- John Meunier, brochures techniques.

Kawamura, Susumu. *Two-Stage Filtration*, Journal de l'AWWA, 1985.

Lange, P. Lange, Robin, T. Rice, Hemphill, Brian W. *Integration of Contact Clarifier and Filtration Processes*, présenté à la conférence de l'AWWA/WPCA de la division Rocky Mountain, Albuquerque, 1985.

Logsdon, G.C., G.D. Neden, A.M.D. Ferguson, et S.D. LaBonde. *Testing Direct Filtration for the Treatment of High-Turbidity Water*, Journal AWWA, 85(12), 39-46, 1993.

McCormick, R.F., et P.H. King. *Factors that Affect the Use of Direct Filtration in Treating Surface Waters*, Journal AWWA, 74(5), 234-242, 1982.

Microflocs product, *Bulletin d'information technique*.

Ministère de l'Environnement du Québec. *Directive 002*, 1985.

Parkson Corporation, Communication personnelle avec Monsieur Jean Grenier du bureau de Dorval, Qué.

USEPA. *Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule : Turbidity Provisions*, EPA-815-R-99-010, April 1999.

USEPA. *Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual*, EPA 815-R-99-012, may 1999.

USEPA. *Small system compliance technology list for the surface water treatment rule*.

#### Références de la section 9.10

Agence de l'Eau Seine-Normandie (1999). *Intégrité des membranes d'ultrafiltration par mesure acoustique*; résumé d'étude N° 99AEP13; référence documentation B19903; le résumé est disponible à l'adresse Internet suivante : <http://www.61.com/fiches/aep/99aep13.htm>

AWWA (1999A); *Water quality and treatment*, 5<sup>ème</sup> édition, American Water Works Association, McGraw-Hill, New York, NY.

AWWA (1999B); *Reverse Osmosis and Nanofiltration*; AWWA Manual M46; Édité par AWWA, Denver, CO.

Acker, C., Colvin, C.K., Marinas, B.J., Lozier, J.C. (2001); *Assessing the integrity of reverse osmosis spiral-wound membrane elements with biological and non-biological surrogate indicators*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Adam, S.S., Jacangelo, J.G., Laine, J-M. (1995); *Low-pressure membranes : assessing integrity*; Journal of American Water Works Association; 87:3:62-75.

Allgeier, S. (2001); *Overview of regulatory issues facing microfiltration and ultrafiltration*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Anselme et Jacob (1996); Chapitre sur l'ultrafiltration du livre "*Water Treatment Membrane Processes*" de American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa; McGraw-Hill, New York, NY.

Aptel, P., Buckley, C.A. (1996); Categories of membrane operations, chapitre 2 du livre "*Water Treatment Membrane Processes*", American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa, McGraw-Hill, New York, NY.

Best G., Mourato D. et Singh M. (2001); *Application of immersed ultrafiltration membranes on high turbidity and high TOC surface waters*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Bouchard, C., Kouadio, P., Ellis, D., Rahni, M., Lebrun, R.E. (2000); *Les procédés à membranes et leurs applications en production d'eau potable*; Vecteur Environnement; 33:4:28-38.

Buisson, H., Lebeau, T., Lelièvre, C., Herremans, L. (1998); *Les membranes : point sur les évolutions d'un outil incontournable en production d'eau potable*; L'eau, l'industrie, les nuisances, 210, pp 42-47.

Chellam, S., Serra, C.A., Wiesner, M.R.(1998) *Estimating costs for integrated membrane systems*, Journal of American Water Works Association, 90:11:96-104.

Cheryan, M. (1998); *Ultrafiltration and microfiltration handbook*; Technomic Publishing Co. Inc.; Lancaster, PA, USA, 527 p.

Colvin, C., Brauer, R., DiNatale, K., Scribner, T. (2001); *Comparing laser turbidimetry with conventionnal methods for monitoring MF and UF membrane integrity*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Côté, P., Mourato, D., Gungerich, C., Russel, J., Houghton, E. (1998); *Immersed Membrane Filtration for the Production of Drinking Water : Case Studies*; IWSA Conference "Membranes in Drinking and Industrial Water Production"; Amsterdam, Pays-Bas, 21-24 septembre 1998.

Côté, P., Simon, R., Mourato, D. (2001); *New developments in immersed membranes*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Doyen et al. (1992); L'eau, l'industrie et les nuisances, mai 1992 No155, p44-47.

Jacangelo, J.G., et Buckley, C.A. (1996); Microfiltration. Chapitre 11 du livre "*Water Treatment Membrane Processes*" de American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa; McGraw-Hill, New York, NY.

Kruithof, J., Kamp, P.C., Folmer, H.C. (2001); *Membrane integrity monitoring at the UF/RO Heemskerk plant*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Lozier, J.C., Jones, G., Bellamy, W.(1997); *Integrated membrane treatment in Alaska*; Journal of American Water Works Association; 89:10:50-64.

Schneider C., Johns P. et Huehmer R.P. (2001); *Removal of manganese by microfiltration in a water treatment plant*; Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA; 4 au 7 mars 2001.

Taylor, J.S., Wiesner, M. (1999); Membranes/ chapitre 11 du livre *Water Quality and Treatments* (5<sup>ème</sup> édition) de l'American Water Works Association; McGraw-Hill, NewYork, NY.

USEPA (1998) *Small system compliance technology list for the Surface Water Treatment Rule and Total Coliform Rule*, EPA-815-R-98-001.

USEPA (2001) *Low-pressure membrane filtration for pathogen removal : application, implementation and regulatory issues*, EPA-815-C-01-001, avril 2001.

Yoo, R.S., Brown, D.R., Pardini, R.J., Bentson, G.D.(1995); *Microfiltration : case study*; Journal of American Water Works Association; 87:3:38-49.

#### Références de la section 10.4.1

AWWA (American Water Works Association). *Water Quality and Treatment*, F.W. Pontius (editor). McGraw-Hill, New York, NY, 1990.

AWWA and ASCE (American Water Works Association and American Society of Civil Engineers). *Water Treatment Plant Design*, McGraw-Hill, New York, NY, 1997.

Clarke, N.A., et al. *Human Enteric Viruses in Water, Source, Survival, and Removability*, International Conference on Water Pollution Research, Landar, 1962.

Connell, G.F. *The Chlorination/Chloramination Handbook*, American Water Works Association, Denver, CO, 1996.

Culp, G.L. and R.L. Culp. *New Concepts in Water Purification*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, 1974.

Culp/Wesner/Culp. *Handbook of Public Water Systems*, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1986.

DeMers, L.D. and R.C. Renner, R.C. *Alternative Disinfection Technologies for Small Drinking Water Systems*, AWWA and AWWARF, Denver, CO, 1992.

Gordon, G., L. Adam, and B. Bubnis. *Minimizing Chlorate Ion Formation in Drinking Water when Hypochlorite Ion is the Chlorinating Agent*, AWWA-AWWARF, Denver, CO, 1995.

Hazen and Sawyer. *Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water*, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1992.

Hoigné J., and H. Bader. *The Formation of Trichloronitromethane (chloropicrin) and Chloroform in a Combined Ozonation/Chlorination Treatment of Drinking Water*, Water Resources. 22 (3):313, 1988.

Masschelein, W.J. *Unit Processes in Drinking Water Treatment*, Marcel Decker D.C., New York, Brussels, Hong Kong, 1992.

Pourmoghaddas, H., A.A. Stevens, R.N. Kinman, R.C. Dressman, L.A. Moore, J.C. Ireland. *Effect of Bromide Ion on Formation of HAAs During Chlorination*, J. AWWA. 85(1):82-87, 1993.

Sawyer, C.N., P.L. McCarty, L. Parkin, and G.F. Parkin. *Chemistry for Environmental Engineering*, McGraw Hill, Inc., New York, NY, 1994.

Scarpino P.V., et al. *A Comparative Study of the Inactivation of Viruses in Water by Chlorine*, Water Research. 6:959, 1972.

Singer, P.C. *Alternative Oxidant and Disinfectant Treatment Strategies for Controlling THM Formation*, USEPA 600/S2-88/044, October 1988.

Stevens, A.A., L.A. Moore, R.J. Miltner. *Formation and Control of Non-Trihalomethane Disinfection By-products*, J. AWWA. 81(8):54-60, 1989.

Summers, R.S., G. Solarik, V.A. Hatcher, R.S. Isabel, J.F. Stile. *Analyzing the Impacts of Predisinfection Through Jar Testing*, Conference proceedings, AWWA Water Quality Technology Conference, Denver, CO, 1997.

USEPA. *Technologies and Costs for Control of Disinfection Byproducts*. Prepared by Malcolm Pirnie, Inc for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water, PB93-162998, 1998b.

USEPA. *National Primary Drinking Water Regulations : Disinfectants and Disinfection Byproducts; Notice of Data Availability; Proposed Rule, Federal Register*. 62(212):59387-59484. November 3, 1997b.

USEPA. *Manual of Individual and Non-Public Works Supply Systems*, Office of Water, EPA 570/9-91-004, 1991.

USEPA. *Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants*, EPA 815-R-99-014, April 1999.

White, G.C. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1992.

#### Références de la section 10.4.2

Amy, G.L. et M.S. Siddiqui. *Ozone-Bromide Interactions in Water Treatment*, Comptes rendus de conférences de l'AWWA Annual Conference, Philadelphie, Pennsylvanie, 1991.

AWWA (American Water Works Association). *Water Quality and Treatment*, F.W. Pontius (éditeur), McGraw-Hill, New York, New York, 1990.

USEPA. *Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants*, EPA 815-R-99-014, April 1999.

Bablon, G.P., C. Ventresque, R.B. Aim. *Developing a Sand-GAC Filter to Achieve High Rate Biological Filtration*, J. AWWA, 80(12):47, 1988.

Billen, G. et al. *Action des populations bactériennes vis-à-vis des matières organiques dans les filtres biologiques*, Rapport à la Compagnie générale des eaux, Paris, 1985.

Boyce, D.S. et al. *The Effect of Bentonite Clay on Ozone Disinfection of Bacteria and Viruses in Water*, Water Res., 15:759-767, 1981.

Demers, L.D. et R.C. Renner. *Alternative Disinfection Technologies for Small Drinking Water Systems*, AWWARF et AWWA, Denver, Colorado, 1992.

Dimitriou, M.A. (éditeur). *Design Guidance Manual for Ozone Systems*, International Ozone Association, Norwalk, CN, 1990.

Eighmy, T.T., S.K. Spanos, J. Royce, M.R. Collins, J.P. Malley. *Microbial Activity in Slow Sand Filters*, Comptes rendus de conférences, Slow Sand Filtration Workshop, Timeless Technology for Modern Applications, Durham, New Hampshire, 1991.

Farvardin, M.R. et A.G. Collins. *Mechanism(s) of Ozone Induced Coagulation of Organic Colloids*, Comptes rendus de conférences, AWWA Annual Conference, Cincinnati, Ohio, 1990.

Georgeson, D.L. et A.A. Karimi. *Water Quality Improvements with the Use of Ozone at the Los Angeles Water Treatment Plant*, Ozone Sci. Engrg., 1988, 10(3):255-276.

Gurol, M.D. et M. Pidotella. *A Study of Ozone-Induced Coagulation*, Comptes rendus de conférences, ASCE Environmental Engineering Division Specialty Conference, Allen Medine and Michael Anderson (éditeurs), Boulder, Colorado, 1983.

Haag, W.R. et J. Hoigné. *Kinetics and Products of the Reactions of Ozone with Various Forms of Chlorine and Bromine in Water*, Ozone Sci. Engrg., 1984, 6(2):109-14.

Hiltebrand, D.J., A.F. Hess, P.B. Galant, et C.R. O'Melia. *Impact of Chlorine Dioxide and Ozone Preoxidation on Conventional Treatment and Direct Filtration Treatment Processes*, Comptes rendus de conférences, AWWA Seminar on Ozonation : Recent Advances and Research Needs, Denver, Colorado, 1986.

Hoigné J. et H. Bader. *Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solutions*, Water Res., 1976, 10: 377.

Hoigné, J. et Bader, H. *Ozonation of Water: Role of Hydroxyl Radicals as Oxidizing Intermediates*, Science, 1975, Vol. 190, p. 782.

Katz, J. *Ozone and Chlorine Dioxide Technology for Disinfection of Drinking Water*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1980.

Katzenelson, E. et al. *Inactivation Kinetics of Viruses and Bacteria in Water by Use of Ozone*, J. AWWA, 1974, 66:725-729.

Krasner, S.W., W.H. Glaze, H.S. Weinberg, et al. *Formation of Bromate During Ozonation of Water Containing Bromide*, J. AWWA, 1993, 85(5):62.

Langlais, B., D.A. Reckhow et D.R. Brink (éditeurs). *Ozone in Drinking Water Treatment : Application and Engineering*, AWWARF et Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 1991.

Lechevallier, M.W., W.C. Becker, P. Schorr et R.G. Lee. *Evaluating the Performance of Biologically Active Rapid Filters*, J. AWWA, 1992, 84(4):136-146.

Malley, J.P., T.T. Eighmy, M.R. Collins, J.A. Royce et D.F. Morgan. *The True Performance and Microbiology of Ozone - Enhanced Biological Filtration*, J. AWWA, 85(12):47-57, 1993.

MWDSC et JMM (Metropolitan Water District of Southern California et James M. Montgomery Consulting Engineers). *Pilot Scale Evaluation of Ozone and peroxone*, AWWARF et AWWA, Denver, Colorado, 1992.

Morris, J.C. *Aspects of the Quantitative Assessment of Germicidal Efficiency, Disinfection : Water and Wastewater*, J.D. Johnson (éditeur), Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, 1975.

Prendiville, D.A. *Ozonation at the 900 cfs Los Angeles Water Purification Plant*, Ozone Sci. Engrg., 8:77, 1986.

Price, M.L. *Ozone and Biological Treatment for DBP Control and Biological Stability*, AWWARF et AWWA, Denver, Colorado, 1994.

Rachwal, A.J. et al. *Advanced Techniques for Upgrading Large Scale Slow Sand Filters, Slow Sand Filtration- Recent Developments in Water Treatment Technology*, Ellis Horwood Ltd, Chichester, Royaume-Uni, 1988.

Reckhow, D.A., J.K. Edzwald et J.E. Tobiason. *Ozone as an Aid to Coagulation and Filtration*, AWWARF et AWWA, Denver, CO, 1993.

Reckhow, D.A., J.E. Tobiason, M.S. Switzenbaum, R. McEnroe, Y. XIE, X. ZHOU, P. MCLAUGHLIN et H.J. DUNN. *Control of Disinfection Byproducts and AOC by Pre-Ozonation and Biologically Active In-Line Direct Filtration*, Comptes rendus de conférences, AWWA Annual Conference, Vancouver, Colombie-Britannique, 1992.

Renner, R.C., M.C. Robson, G.W. Miller et A.G. Hill. *Ozone in Water Treatment - The Designer's Role*, Ozone Sci. Engrg., 10(1):55-87, 1988.

Rice, R.G. *Ozone Reference Guide*, Electric Power Research Institute, St. Louis, Missouri, 1996.

Rittman, B.E. *Analyzing Biofilm Processes Used in Biological Filtration*, J. AWWA, 82(12):62, 1990.

Singer P.C. *Formation and Characterization of Disinfection Byproducts*, présenté à la première conférence internationale sur the Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical and Microbial Risks, 1992.

Singer, P.C. *et al. Ozonation at Belle Glade, Florida: A Case History*, Comptes rendus de conférences, IOA Ninth Ozone World Conference, 1989.

Song, R. *et al. Bromate Minimization During Ozonation*, J. AWWA, 89(6):69, 1997.

Stolarik, G. F. et J.D. Christie. *A Decade of Ozonation in Los Angeles*, Comptes rendus de conférences, IOA Pan American Group Conference, Lake Tahoe, Nevada, 1997.

Suffet, I.H., C. Anselme, et J. Mallevialle. *Removal of Tastes and Odors by Ozonation*, Comptes rendus de conférences, AWWA Seminar on Ozonation : Recent Advances and Research Needs, Denver, Colorado, 1986.

Tobiason, J.E., J.K. Edzwald, O.D. Schneider, M.B. Fox et H.J. Dunn. *Pilot Study of the Effects of Ozone and Peroxone on In-Line Direct Filtration*, J. AWWA, 84(12) :72-84, 1992.

Umphries, M.D. *et al. The Effects of Pre-ozonation on the Formation of Trihalomethanes*, *Ozonews*, 6(3), 1979.

Walsh, D.S. *et al. Ozone Inactivation of Floc Associated Viruses and Bacteria*, *J. Environ. Eng. Div.*, ASCE, 106:711-726, 1980.

Zabel, T.F. *The Application of Ozone for Water Treatment in the United Kingdom - Current Practice and Recent Research*, Ozone Sci. Engrg., 7(1):11, 1985.

#### Références de la section 10.4.3

AWWA et ASCE (American Society of Civil Engineers). *Water Treatment Plant Design*, deuxième édition, McGraw-Hill Inc., New York, New York, 1990.

Cowman, G.A. et P.C. Singer. *Effect of Bromide Ion on Haloacetic Acid Speciation Resulting from Chlorination and Chloramination of Humic Extracts*, comptes rendus de conférences, AWWA Annual Conference, New York, New York, 1994.

Dennis, J.P., D.C. Rauscher et D.A. Foust. *Practical Aspects of Implementing Chloramines*, comptes rendus de conférences, AWWA Annual Conference, Philadelphia, Pennsylvanie, 1991.

Dorn, J. M. *A Comparative Study of Disinfection on Viruses and Bacteria by Monochloramine*, mémoire de maîtrise, Univ. de Cincinnati, Ohio, 1974.

Esposito, M.P. *The Inactivation of Viruses in Water by Dichloramine*, mémoire de maîtrise, Univ. Cincinnati, Ohio, 1974.

Feng, T.H. *Behavior of Organic Chloramines*, J. Water Pollution Control Fed., 38(4):614, 1966.

Hazen et Sawyer. *Disinfection Alternatives For Safe Drinking Water*, Van Nostrand Reinhold, New York, New York, 1992.

Hoff, J.C. et E.E. Geldreich. *Comparison of the Biocidal Efficiency of Alternative Disinfectants*, J. AWWA, 73(1):40, 1981.

- Isaac, R.A. et J.C. Morris. *Rates of Transfer of Active Chlorine Between Nitrogenous Substances, Water Chlorination : Environmental Impact and Health Affects*, Vol. 3, R.L. Jolley (éditeur), Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, 1980.
- Jacangelo, J.G., N.L. Patania, K.M. Reagan, E.M. Aieta, S.W. Kraner et M.J. McGuire. *Impact of Ozonation on the Formation and Control of Disinfection Byproducts in Drinking Water*, J. AWWA, 81(8):74, 1989.
- Jensen, J., J. Johnson, J. St-Aubin, R. Christman. *Effect of Monochloramine on Isolated Fulvic Acid*, Org. Geochem., 8(1):71, 1985.
- Kirmeyer, G. et al. *Optimizing Chloramine Treatment*, AWWARF, 1993.
- Kirmeyer, G. et al. *Nitrification Occurrence and Control in Chloraminated Water Systems*, AWWARF, 1995.
- Lyn, T.L., S.R. Lavinder, et R. Hungate. *Design Considerations for Ammoniation Facilities*, comptes rendus de conférences, AWWA Annual Conference, Anaheim, Californie, 1995.
- Margerum, D.W. et al. *Chlorination and the Formation of N-Chloro Compounds in Water Treatment, Organometals and Organometal-loids : Occurrence and Fate in the Environment*, R. F. Brinckman et J. M. Bellama (éditeurs), ACS (American Cancer Society), Washington D.C., 1978.
- Montgomery, J.M. *Water Treatment Principles and Design*, John Wiley & Sons Inc., New York, New York, 1985.
- Morris, J.C. *Kinetics of Reactions Between Aqueous Chlorine and Nitrogen Compounds, Principles and Applications of Water Chemistry*, S.D. Faust et J.V. Hunter (éditeur), John Wiley & Sons, New York, New York, 1967.
- Norton, C.D. et M.W. LeChevallier. *Chloramination : Its Effect on Distribution System Water Quality*, J. AWWA, 89(7):66, 1997.
- Olivieri, V.P. et al. *Reaction of Chlorine and Chloramines with Nucleic Acids Under Disinfection Conditions, Water Chlorination : Environmental Impact and Health Affects*, Vol. 3, R.J. Jolley (éditeur), Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, 1980.
- Rice, R. et M. Gomez-Taylor. *Occurrence of By-Products of Strong Oxidants Reacting with Drinking Water Contaminants - Scope of the Problem*, Environ. Health Perspectives, 69:31, 1986.
- Singer, P.C. *Trihalomethanes and Other By-products Formed From the Chlorination of Drinking Water*, National Academy of Engineering Symposium on Environmental Regulation : Accommodating Changes in Scientific, Technical, or Economic Information, Washington D.C., 1993.
- Skadsen, J. *Nitrification in a Distribution System*, J. AWWA, 95-103, 1993.
- Smith, M.E., Cowman, G.A., Singer, P.C. *The Impact of Ozonation and Coagulation on DBP Formation in Raw Waters*, comptes rendus de conférences, AWWA Annual Conference, San Antonio, Texas, 1993.
- Speed, M.A. et al. *Treatment Alternatives for Controlling Chlorinated Organic Contaminants in Drinking Water*, USEPA/60012-87/011, Washington D.C., 1987.
- USEPA. *Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants*, EPA 815-R-99-014, April 1999.
- Valentine, R.L. et al. *Chloramine Decomposition in Distribution System and Model Waters*, AWWA, Denver, Colorado, 1998.
- Weber, G.R. et M. Levine. *Factors Affecting the Germicidal Efficiency of Chlorine and Chloramine*, Amer. J. Public Health, 32:719, 1944.
- Weil, I. et J.C. Morris. *Kinetic Studies on the Chloramines. The Rates of Formation of Monochloramine, N-Chlormethylamine and N-Chlordimethylamine*, J. Amer. Chem. Soc., 71:1664, 1949.
- White, G.C. *Handbook Of Chlorination and Alternative Disinfectants*, volume 3, Van Nostrand Reinhold Co., New York, New York, 1992.

Wolfe, R.L., N.R. Ward et B.H. Olson. *Inorganic Chloramines as Drinking Water Disinfectant : A Review*, J. AWWA, 76(5):74-88, 1984.

#### Références de la section 10.4.4

Aieta, E., and J.D.Berg. *A Review of Chlorine Dioxide in Drinking Water Treatment*, J. AWWA, 78(6):62-72, 1986.

Aieta, E.M., P.V. Roberts, and M. Hernandez. *Determination of Chlorine Dioxide, Chlorine and Chlorate in Water*, J. AWWA. 76(1):64-70, 1984.

AWWA (American Water Works Association). *AWWA Standard B303-95 : Sodium Chlorite*, 1995.

AWWA. *Water Quality and Treatment*, fourth edition, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1990.

Bernarde, M.A., et al. *Kinetics and Mechanism of Bacterial Disinfection by Chlorine Dioxide*, J. Appl. Microbiol. 15(2):257, 1967a.

Chen, Y.S.R., O.J. Sproul, and A.J. Rubin. *Inactivation of Naegleria Gruberi cysts by Chlorine Dioxide*, EPA Grant R808150-02-0, Department of Civil Engineering, Ohio State University, 1984.

Demers, L.D., and R. Renner. *Alternative Disinfectant Technologies for Small Drinking Water Systems*, AWWARF, Denver, CO, 1992.

Dixon, K.L. and R.G. Lee. *Disinfection By-Products Control : A Survey of American System Treatment Plants*, Presented at AWWA Conference, Philadelphia, PA, 1991.

Emmenegger, F. and G. Gordon. *The Rapid Interaction Between Sodium Chlorite and Dissolved Chlorine*, Inorg. Chem. 6(3):633, 1967.

Gallagher, D.L., R.C. Hoehn, A.M. Dietrich. *Sources, Occurrence, and Control of Chlorine Dioxide By-Product Residuals in Drinking Water*, AWWARF, Denver, CO, 1994.

Gates, D.J. *The Chlorine Dioxide Handbook; Water Disinfection Series*, AWWA Publishing, Denver, CO, 1998.

Gates, D.J. *Chlorine Dioxide Generation Technology and Mythology*, Conference proceedings, Advances in Water Analysis and Treatment, AWWA, Philadelphia, PA, 1989.

Gordon, G., et al. *Minimizing Chlorite Ion and Chlorate Ion in Water Treated with Chlorine Dioxide*, J. AWWA. 82(4): 160-165, 1990.

Gordon, G., R.G. Kieffer, and D.H. Rosenblatt. *The Chemistry of Chlorine Dioxide, Progress in Organic Chemistry*, vol. 15. S.J. Lippaer (editor), Wiley Interscience, New York, NY, 1972.

Great Lakes Upper Mississippi River Board of State Public Health (GLUMRB) and Environmental Managers. *Recommended Standards for Water Works*, Health Research Inc., Albany, NY, 1992.

Gregory, D. and K. Carlson. *Applicability of Chlorine Dioxide for Cryptosporidium Inactivation*, Proceedings 1998 Water Quality Technology Conference, San Diego, CA, 1998.

Griese, M.H., K. Hauser, M. Berkemeier, and G. Gordon. *Using Reducing Agents to Eliminate Chlorine Dioxide and Chlorite Ion Residuals in Drinking Water*, J. AWWA. 83(5):56, 1991.

Knocke, W.R. and A. Iatrou. *Chlorite Ion Reduction by Ferrous Ion Addition*. AWWARF, Denver, CO, 1993.

LeChevallier, M.W., et al. *Chlorine Dioxide for Control of Cryptosporidium and Disinfection Byproducts*, Conference proceedings, 1996 AWWA Water Quality Technology Conference Part II, Boston, Massachusetts, 1997.

Liyanage, L.R.J., et al. *Effects of Aqueous Chlorine and Oxychlorine Compounds on Cryptosporidium Parvum Oocysts*, Environ. Sci. & Tech. 31(7): 1992-1994, 1997.

Masschelein, W.J. *Unit Processes in Drinking Water Treatment*, Marcel Decker D.C., New York, Brussels, Hong Kong, 1992.

Noack, M.G. and R.L. Doerr. *Reactions of Chlorine, Chlorine Dioxide and Mixtures of Humic Acid : An Interim Report*, Conference proceedings, Second Conference on the Environmental Impact of Water Chlorination, R.L. Jolley, H. Gorchev, and D. Heyward (editors), Gatlinburg, TN, 1977.

Pitochelli, A. *Chlorine Dioxide Generation Chemistry*, Conference proceedings, Third International Symposium, Chlorine Dioxide : Drinking Water, Process Water, and Wastewater Issues, New Orleans, LA, 1995.

Rav-Acha, C., A. Serri, E. Choshen, B. Limoni. *Disinfection of Drinking Water Rich in Bromide with Chlorine and Chlorine Dioxide, While Minimizing the Formation of Undesirable Byproducts*, Wat. Sci. Technol. 17:611, 1984.

Ridenour, G. M. and R.S. Ingols. *Bactericidal Properties of Chlorine Dioxide*, J. AWWA. 39, 1947.

Roberts, P.V., E.M. Aieta, J.D. Berg, and B.M. Chow. *Chlorine Dioxide for Wastewater Disinfection: A Feasibility Evaluation*, Stanford University Technical Report 251, 1980.

Singer, P.C. *Formation and Characterization of Disinfection Byproducts*, Presented at the First International Conference on the Safety of Water Disinfection : Balancing Chemical and Microbial Risks, 1992.

Singer, P.C., and W.K. O'Neil. *Technical Note : The Formation of Chlorate from the Reaction of Chlorine and Chlorite in Dilute Aqueous Solution*, J. AWWA. 79(11):75, 1987.

Thompson, A.L. *Practical Considerations for Application of Chlorine Dioxide in Municipal Water Systems*, Conference proceedings, Chlorine Dioxide Workshop. AWWARF, CMA, EPA. Denver, CO, 1989.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). *Trihalomethanes in Drinking Water : Sampling, Analysis, Monitoring, and Compliance*, EPA 570/9-83-002, August 1983.

USEPA. *Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants*, EPA 815-R-99-014, April 1999.

Werdehoff, K.S, and P.C. Singer. *Chlorine Dioxide Effects on THMFP, TOXFP and the Formation of Inorganic By-Products*, J. AWWA. 79(9):107, 1987.

#### Références de la section 10.4.5

AWWA (American Water Works Association). *Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources*, État-Unis, 1991.

AWWA, ASCE (American Society of Civil Engineers). *Water Treatment Plant Design*. Deuxième édition, McGraw-Hill Inc., New York, NY, 1990.

Campbell, A.T. *et al. Inactivation of Oocysts of Cryptosporidium parvum by Ultraviolet Radiation*, Water Res. 29(11):2583, 1995.

Carlson, D. A. *et al. Project Summary : Ultraviolet Disinfection of Water for Small Water Supplies*. Office of Research and Development, USEPA, Cincinnati, OH, USEPA/600/S2-85/092, 1982.

Clancy, J.L., T.M. Hargy, M.M. Marshall et J.E. Dyksen. *Inactivation of Cryptosporidium parvum Oocysts in Water Using Ultraviolet Light*. Conference proceedings, AWWA International Symposium on *Cryptosporidium* and Cryptosporidiosis, Newport Beach, CA, 1997.

Combs, R. et P. McGuire. *Back to Basics - The Use of Ultraviolet Light for Microbial Control*. Ultrapure Water Journal. 6(4):62-68, 1989.

DeMers, L.D. et R.C. Renner. *Alternative Disinfection Technologies For Small Drinking Water Systems*, AWWARF, 1992.

Ellis, C. et A.A. Wells. *The Chemical Action of Ultraviolet Rays*. Reinhold Publishing Co., New York, NY, 1941.

Hazen and Sawyer. *Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1992.

Huff, C. B. *Study of Ultraviolet Disinfection of Water and Factors in Treatment Efficiency*. Public Health Reports. 80(8):695-705, 1965.

- Jagger, J. *Introduction to Research in Ultraviolet Photobiology*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1967.
- Johnson, R.C. *Getting the Jump on Cryptosporidium with UV*. *Opflow*. 23(10):1, 1997.
- Karanis, P. *et al.* *UV Sensitivity of Protozoan Parasites*. *J. Water Supply Res. Technol. Aqua*. 41(2):95, 1992.
- Kruithof, J.C. *et al.* *Summaries, WASSER BERLIN '89*, International Ozone Association, European Committee, Paris, 1989.
- Malley Jr., J.P., J.P. Shaw et J.R. Ropp. *Evaluations of Byproducts by Treatment of Groundwaters With Ultraviolet Irradiation*. AWWARF et AWWA, Denver, CO, 1995.
- Murov, S.L. *Handbook of Photochemistry*. Marcel Dekker, New York, NY, 1973.
- National Water Research Institute et American Water Works Association Research Foundation. *Ultraviolet Disinfection Guidelines for Drinking Water and Water Reuse*, 2000.
- NSF (National Science Foundation). *NSF Standard 55 : Ultraviolet Water Treatment Systems*. National Sanitation Foundation, Ann Arbor, MI, 1991.
- Qualls, R., Flynn, M. et Johnson, J. *The Role of Suspended Particles in Ultraviolet Disinfection*. *J. Water Pollution Control Fed.* 55(10):1280-1285, 1983.
- Rice, E.W. et J.C. Hoff. *Inactivation of Giardia lamblia Cysts by Ultraviolet Irradiation*. *Appl. Environ. Microbiol.* 42:546-547, 1981.
- Scheible, O.K. et C.D. Bassell. *Ultraviolet Disinfection Of A Secondary Wastewater Treatment Plant Effluent*. USEPA-600/2-81-152, PB81-242125, U.S. USEPA, Cincinnati, OH, 1981.
- Scheible, O.K. *Design and Operation of UV Systems*. Presented at Water Pollution Control Federation Annual Conference, Cincinnati, OH, 1983.
- Slade, J. S., N.R. Harris et R.G. Chisholm. *Disinfection of Chlorine Resistant Enteroviruses in Ground Water by Ultraviolet Radiation*. *Water Sci. Technol.* 189(10):115-123, 1986.
- Snicer, G.A., J.P. Malley, A.B. Margolin et S.P. Hogan. *Evaluation of Ultraviolet Technology in Drinking Water Treatment*. Presented at AWWA Water Quality Technology Conference, Boston, MA, 1996.
- Snider, K.E., J.L. Darby et G. Tchobanoglous. *Evaluation of Ultraviolet Disinfection For Wastewater Reuse Applications In California*. Department of Civil Engineering, University of California, Davis, 1991.
- Sobotka, J. *The Efficiency of Water Treatment and Disinfection by Means of Ultraviolet Radiation*. *Water Sci. Technol.* 27(3-4):343-346, 1993.
- Tchobanoglous, G.T. *UV Disinfection : An Update*. Presented at Sacramento Municipal Utilities District Electrotechnology Seminar Series. Sacramento, CA, 1997.
- USEPA. *Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water Application - An Overview*. USEPA 811-R-96-002, Office of Ground Water and Drinking Water, 1996.
- USEPA. *Design Manual : Municipal Wastewater Disinfection*. USEPA/625/1-86/021, Office of Research and Development, Water Engineering Research Laboratory, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 1986.
- USEPA. *Technologies for Upgrading Existing and Designing New Drinking Water Treatment Facilities*, USEPA/625/4-89/023, Office Drinking Water, 1980.
- USEPA. *Guidance Manual – Alternative Disinfectants and Oxidants*, EPA 815-R-99-014, April 1999.
- Von Sonntag, C. et H. Schuchmann. *UV Disinfection of Drinking Water and By-Product Formation - Some Basic Considerations*. *J. Water SRT-Aqua*. 41(2):67-74, 1992.
- White, G.C. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1992.

Wolfe, R.L. *Ultraviolet Disinfection of Potable Water*. Environ. Sci. Tech. 24(6):768-773, 1990.

Yip, R.W. and D.E. Konasewich. *Ultraviolet Sterilization Of Water - Its Potential And Limitations*. Water Pollut. Control (Canada). 14:14-18, 1972.

## Références du chapitre 11

American Water Works Association-Research Fondation (AWWA-RF) , Lyonnaise des Eaux and Water Research Commision of South Africa. *Water Treatment membrane processes*, McGraw-Hill, New York, 1996.

Beaudeau, P., Payment, P., Bourderont, D., Mansotte, F., Boudhabay, O., Laubiès, B. et Verdière, J. *A time series study of anti-diarrheal drug sales and tap-water quality*, *International Journal of Environmental Health Research* 9, 293–311, 1999.

Bishop, M., Morgan, J., Cornwell, B., Jamison, D. *Improving the disinfection detention time of a water plant clearwell*, Jour. AWWA 85(3) p68-75, 1993.

Grayman, W., Deininger, R., Green, A., Boulos, P., Bowcock, R., Godwin, C. *Water quality and mixing models for tanks and reservoirs*, Jour. AWWA 88(7), 1996.

Hagstrom, J., Crozes, G. *Enhancement of disinfection contactor hydraulics for synergistic inactivation of Cryptosporidium*, Water Quality Technology Conference, San Diego, 1997.

Hannoun, I.A., Boulos, P.L., John List, E. *Using hydraulic modeling to optimize contact time*, Jour. AWWA 90(8) p77-87, 1998.

Langlais, B., Reckhow, D.A., Brink, D.R. *Ozone in Water Treatment : Application and Engineering*, Lewis Publishers & American Water Works Association Research Foundation, Denver, 1991.

Mays, L.W. *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2000.

Isaac-Renton, J., Blatherwick, J., Bowie, W.R., Fyfe, M., Khan, M., Li, A., King, A., McLean, M., Medd, L., Moorehead, W., Ong, C.S. and Robertson, W. *Epidemic and endemic seroprevalence of antibodies to Cryptosporidium and Giardia in residents of three communities with different drinking water supplies*, *Am. Journ. of Trop. Med. Hyg.*, 60:4, 578, 1999.

Owen, C., Taylor, J. S., Robert, C., Robert Reiss, C. *Microbial Challenge Of Integrated Membrane System Large Scale Pilot Plants Treating A Highly Organic Surface Water*, AWWA, Water Quality Technology Conference Proceedings, Tampa, Florida, 1999.

Payment, P., Ménard, B. et Prévost, M. *Enteric viruses, Giardia and Cryptosporidium levels in the raw water of water treatment plants along the Saint-Lawrence river*. AWWA, Water Quality Technology Conference Proceedings, Denver, Colorado, 1997.

Reddy, S., Russell, J., Narasimhan, R., Burns, C. *Improving clearwell design using computational fluid dynamics*, Proceedings of the annual AWWA Conference, Dallas, Communication personelle, 1998.

Rennecker, J.L., Marinas, B.J., Owens, J.H. and Rice, E.W. *Inactivation of Cryptosporidium parvum (oo)cysts with ozone*, Water Research, 33, 2481, 1999.

Ruffell, K. M., Rennecker, J.L. and Mariñas, B.J. *Inactivation of Cryptosporidium parvum oocysts with chlorine dioxide*, Water Research, 34, 868, 2000.

Santé Canada. *Les protozoaires dans l'eau potable*, 1997.

Schneider, O. D. *Trends in Acute Waterborne Disease (1976-1994)*. Compte-rendu de Water Quality Technology Conference de l'American Water Works Association, San Diego, Novembre, 1998.

Schwartz, J., Levin, R. and Hodge, K. *Drinking water turbidity and pediatric hospital use for gastrointestinal illness in Philadelphia*, *Epidemiology* 8(6), 615–20, 1997.

USEPA. National Primary Drinking Water Regulations : Long term 2 Safe Water Treatment Rule, 40 CFR Parts 9, 141,142, 2001.

USEPA. *Microbial/Disinfection By-Products Federal Advisory Committee*, Stage 2 M-DBP Agreement in principle, 2000.

USEPA. *Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual*, EPA-815-R-99-013, 1999.

USEPA. *Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources*, PB 93-222933 (NTIS), Washington, DC, U.S.A., March 1991.

## Références du chapitre 12

American Water Works Association-Research Foundation (AWWA-RF), Lyonnaise des Eaux-Dumez. *Identification and Treatment of Tastes and Odors in Drinking Water*, 1987.

AWWA. *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Water Environment Federation, 1998.

Dégremont, Technique & Documentation. *Mémento technique de l'eau*, 1989.

Santé Canada. *Principes et techniques de traitement de l'eau. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, 1994.

Langlais B., Rockhow David A., Brink Deborah R. *Ozone in water Treatment Application and Engineering*, Lewis Publishers, Inc., 1<sup>ère</sup> édition, 1991.

Nerenberg Robert, Rittman Bruce E., Soucie William J. *Ozone/Biofiltration for removing MIB and Geosmin*, Journal AWWA, 2000.

Van Nostrand Reinhold Company, Geo. *Handbook of Chlorination*, Clifford White, 2<sup>e</sup> édition, 1986.

## Références du chapitre 13

American Water Works Association (AWWA), DVW-Technologiezentrum Wasser. *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*, 2<sup>e</sup> édition, 1996.

AWWA. *Water Quality & Treatment. A Handbook of Community Water Supplies*, 5<sup>e</sup> édition, 1999.

AWWA. *A General Framework for Corrosion Control Based on Utility Experience*, AWWARF, 1997.

AWWA. *Control of Pb and Cu Corrosion By-Products Using CORRODE Software*, AWWARF, 1997.

Mays, L.W. *Water Distribution Systems Handbook*, 2000.

Rompré, A., Allard, D., Perron, S., Desautel, S., Prévost, M., Brisebois, P. et Lavoie, J. *Corrosion interne des réseaux de distribution d'eau : diagnostic et intervention – Étapes 1, 2, 3, 4*, projet de recherche effectué dans le cadre du programme travaux d'infrastructures Canada-Québec-Laval, août 1997 à juin 1998.

Rompré, A., Allard, D., Niquette, P., Prévost, M., Brisebois, P. et Lavoie, J. *Optimisation de l'implantation des stratégies de contrôle de la corrosion interne dans les réseaux de distribution – Étapes 1, 2, 3*, projet de recherche effectué dans le cadre du programme travaux d'infrastructures Canada-Québec-Laval, mars à juillet 1999.

Scuras, S., Rothberg, M.R., Jones, S.D. et Ahram, D.A. *The Rothberg, Tamburini & Winsor Model for Water Process and Corrosion Chemistry – User's Guide*, version 4.0, AWWA, 1999.

## Références du chapitre 14

American Water Works Association-Research Foundation (AWWA-RF). *Recycle Stream Effects on Water Treatment*, 1993.

American Water Works Association-Research Foundation (AWWA-RF). *Water Treatment Plant Waste Management*, 1987.

American Water Works Association-Research Foundation (AWWA-RF). *Sludge Shlamm sludge*, 1990.

American Society of Civil Engineers-American Water Works Association. *Water treatment Plant Design*, 1990.

## Références du chapitre 16

Great Lakes Upper Mississippi River Board State Public Health & Environmental Managers. *Recommended Standards for Water Works*, 1997.

## Références du chapitre 17

Société québécoise d'assainissement des eaux (SQAE). *Devis pour la mise en service et la participation à l'évaluation de la performance des ouvrages d'assainissement (Étangs aérés et interception)*, 1995.

Société québécoise d'assainissement des eaux (SQAE). *Manuel d'exploitation. Guide de rédaction (Étangs aérés)*, 1995.



## Guide de conception des installations de production d'eau potable

### Foire aux questions (FAQ)

#### Questions générales :

- [Quels sont les principaux changements existants entre la version préliminaire \(juin 2001\) et la version officielle \(juillet 2002\) du \*Guide de conception\*?](#)
- [Dois-je obligatoirement respecter intégralement les indications du \*Guide de conception\*?](#)
- [Quels chapitres ont été modifiés le 6 décembre 2002 \(mise à jour 1\)?](#)
- [Quelle est la version officielle du \*Guide de conception des installations de production d'eau potable\* et est-ce que la version éditée sur papier sera aussi mise à jour?](#)

#### Questions spécifiques :

- *Chapitre 10*
  - [Quelle est la relation entre l'absorbance UV à 254 nm et la transmittance UV à 254 nm?](#)
  - [Quelle est la taille des kystes de \*Giardia\* et des oocystes de \*Cryptosporidium\*?](#)

---

#### Questions générales :

**Q-1 : Quels sont les principaux changements existants entre la version préliminaire (juin 2001) et la version officielle (juillet 2002) du *Guide de conception*?**

R : Le changement le plus important se situe au niveau de la forme car le *Guide de conception* a maintenant été séparé en deux parties. Le chapitre 2 du volume 1 explique bien l'esprit dans lequel ce changement a été opéré. Malgré l'effort pour conserver les mêmes chapitres que ceux de la version préliminaire, il a malheureusement fallu remanier la division et le contenu de certains chapitres afin de mieux rassembler les informations qui étaient semblables.

Pour ce qui est du contenu, c'est surtout le volume 1 qui a été retravaillé. Tous les chapitres ont été révisés et réécrits, mais une bonne partie des informations de fond est restée inchangée. Il faut par contre souligner les modifications apportées aux tableaux 6-1 et 6-2 touchant la caractérisation des sources d'eau brute (chapitre 6), une meilleure détermination des critères de conception des systèmes de traitement (chapitres 8 et 9), une légère modification des crédits d'enlèvement selon la turbidité de l'eau filtrée, une modification des tableaux de CT et une mise

à jour des informations sur la désinfection par rayonnement UV (chapitre 10), une modification importante dans la conception concernant les réservoirs d'eau potable servant au respect des CT (chapitre 11), une mise à jour des critères opérationnels de rejet et des traitements possibles pour les résidus de traitement d'usine d'eau potable (chapitre 14), quelques changements au niveau de la redondance des équipements (chapitre 15) et finalement, une clarification des éléments à inscrire au registre obligatoire (chapitre 16).

**Q-2 : Dois-je obligatoirement respecter intégralement les indications du *Guide de conception*?**

R : Le *Guide de conception* est un outil qui a été développé par le MENV en collaboration avec le MAMM et il est destiné à aider les concepteurs pour des projets touchant les installations de traitement en eau potable. Il est donc important de bien suivre les indications du guide afin de s'assurer que la conception proposée sera acceptée par les autorités.

Par contre, le *Guide de conception* ne prétend pas répondre à tous les cas de figure et ne contient pas les réponses à toutes les questions. Il peut arriver que certains éléments ne soient pas couverts par le *Guide de conception* (nouvelles technologies par exemple) ou que certains projets nécessitent de déroger aux indications précisées dans le guide. Il est donc permis de déroger aux indications du *Guide de conception*, mais pour chacune de ces dérogations, il revient au concepteur de démontrer, à la satisfaction de l'analyste de la direction régionale du MENV où se situe le projet, que le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* sera toujours respecté et que la santé et la sécurité de la population ne seront pas mis en péril par cette dérogation.

**Q-3 : Quels chapitres ont été modifiés le 6 décembre 2002 (mise à jour 1)?**

R : Les chapitres modifiés sont énumérés plus bas. À l'intérieur de ceux-ci, les pages modifiées sont identifiées dans la note de bas de page. Vous pouvez donc ne faire imprimer que ces dernières. Voici donc la liste de ces chapitres modifiés :

Volume1 :

Chapitre 1 : - Liste des collaborateurs;

Chapitre 3 : - Section 3.1, 2<sup>e</sup> paragraphe;

Chapitre 6 : - Section 6.2.2.1, 1<sup>er</sup> paragraphe;  
- Tableau 6-2, changement dans la présentation et ajout de l'azote total Kjeldahl;

Chapitre 8 : - Section 8.3.1, 5<sup>e</sup> paragraphe;  
- Section 8.3.2, 2<sup>e</sup> paragraphe;  
- Section 8.3.2.3, 2<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> points;  
- Section 8.3.3, 1<sup>er</sup> paragraphe;  
- Section 8.3.3, 15<sup>e</sup> paragraphe;  
- Titre du tableau 8-2;  
- Tableau 8-4, dose d'ozone et note de bas de tableau;

Chapitre 9 : - Section 9.3.3, modification des références a, b, c, d, e;  
- Section 9.9.3.3, filtration sur charbon actif biologique;

Chapitre 10 : - Tableaux 10-5, 10-6 et 10-7, remplacer les notes de bas de tableau;

- Chapitre 11 : - Tableau 11-3, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> colonnes;  
- Tableau 11-11c, équation pour l'ozone;  
- Section 11.3.2.2, modification du texte sur la réserve incendie;
- Chapitre 15 : - Ajouter la section 15.5 « Services d'eau à la station ».

Volume2 :

- Chapitre 8 : - Figure 8.6, changement de la source de la figure;  
- Figures 8-1, 8-2, 8-3, 8-4 et 8-7, modification des figures.

**Q-4 : Quelle est la version officielle du *Guide de conception des installations de production d'eau potable* et est-ce que la version éditée sur papier sera aussi mise à jour?**

R : La version officielle du *Guide de conception des installations de production d'eau potable* (*Guide de conception*) est celle qui apparaît sur le site Internet du ministère de l'Environnement (MENV). Au fur et à mesure des modifications, seule la version du *Guide de conception* publiée sur ce site sera mise à jour. Les chapitres de la version éditée sur papier du *Guide de conception* pourront être utilisés tant qu'ils n'auront pas été modifiés. Ils devront être remplacés au fil des mises à jour.



## Questions spécifiques :

### **Chapitre 10**

**Q-1 : Quelle est la relation entre l'absorbance UV à 254 nm et la transmittance UV à 254 nm?**

R : Ce sont deux phénomènes inverses. L'absorbance UV à 254 nm décrit la capacité d'une eau à absorber un rayonnement à cette longueur d'onde tandis que la transmittance décrit la capacité de cette même eau à laisser passer un rayonnement de 254 nm de longueur d'onde. On retrouve la relation mathématique entre l'absorbance (cm-1) et la transmittance (%) à la section 10.4.5.2 du volume 2 du Guide de conception.

**Q-2 : Quelle est la taille des kystes de *Giardia* et des oocystes de *Cryptosporidium*?**

R : Les kystes de *Giardia* sont ovoïdes (8 à 14 µm de longueur sur 7 à 10 µm de largeur) et possèdent plusieurs noyaux. L'oocyste de *Cryptosporidium* est rond (4 à 6 µm de diamètre), a une paroi épaisse et est stable dans l'environnement. Vous pourrez trouver beaucoup plus d'information sur ces protozoaires et leurs effets sur la santé humaine en consultant le [site Internet de Santé Canada](#).



Dernière mise à jour : 2003-06-27

| [Accueil](#) | [Plan du site](#) | [Courrier](#) | [Quoi de neuf?](#) | [Sites d'intérêt](#) | [Recherche](#) | [Où trouver?](#) |

| [Politique de confidentialité](#) | [Réalisation du site](#) | [À propos du site](#) | [Votre opinion compte](#) |



© [Gouvernement du Québec, 2002](#)

Capturé par MemoWeb à  
partir de [http://www.menv.  
gouv.qc.ca/eau/potable/  
guide/faq.htm](http://www.menv.<br/>gouv.qc.ca/eau/potable/<br/>guide/faq.htm) le 2003-10-  
21