

Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales



Cahier 3

Échantillonnage des eaux souterraines

Pour de l'information complémentaire sur les activités du **Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec** ou pour vous procurer nos documents, veuillez consulter notre site Internet à l'adresse suivante : www.ceaeq.gouv.qc.ca ou communiquer avec nous :

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec

Complexe scientifique
2700, rue Einstein, bureau E.2.220
Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-1301
Télécopieur : 418 528-1091
Courriel : ceaeq@mddep.gouv.qc.ca

Référence bibliographique :

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, juin 2011 *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 62 p.

<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage.htm>

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2011

ISBN-978-2-550-62142-3 (PDF)

ISBN-978-2-550-55871-2 (PDF) (Édition : Avril 2009)

© Gouvernement du Québec, 2011

AVANT-PROPOS

Cette révision de l'édition d'avril 2009 du cahier 3, *Échantillonnage des eaux souterraines*, intègre une mise à jour des techniques d'échantillonnage et entérine leur reconnaissance par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), dans leurs limites d'application.

Ce cahier traite des techniques et des équipements utilisés depuis l'installation d'un puits d'observation jusqu'à l'échantillonnage de l'eau souterraine. D'autres guides du Ministère présentent les règles d'élaboration d'un protocole d'échantillonnage et le traitement des données (emplacement des puits, fréquence d'échantillonnage, [*Guide de caractérisation des terrains*](#) et [*Guide technique de suivi de la qualité des eaux souterraines*](#)). Également, les modes de conservation des échantillons d'eau souterraine sont détaillés dans un fascicule ([*Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines - DR-09-09*](#)) publié par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). De plus, certains principes généraux liés à la planification de la campagne, le lavage du matériel, le contrôle de la qualité et les procédures de sécurité, font l'objet du [*cahier 1, Généralités*](#). Sur ces points, le cahier 3 ne traite donc que des aspects propres à l'échantillonnage des eaux souterraines dans des puits d'observation.

La conception d'un programme de surveillance des eaux souterraines demeure l'entière responsabilité du responsable de la campagne d'échantillonnage. L'adhésion aux méthodes présentées ici ne garantit pas le succès de l'opération dans toutes les conditions hydrogéologiques possibles. Le responsable doit s'assurer que les méthodes d'échantillonnage choisies sont adéquates selon le contexte et appliquées de façon reconnue.

À propos du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*

Le *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* regroupe une série de cahiers traitant spécifiquement de l'échantillonnage de divers milieux environnementaux. Il décrit un ensemble de bonnes pratiques qui régissent la planification et la réalisation des travaux d'échantillonnage et vise ainsi à assurer la qualité des prélèvements ainsi que la validité des données scientifiques qui en découlent.

Le guide est un ouvrage de référence qui rassemble l'information générale sur les pratiques d'échantillonnage reconnues. Plusieurs règlements, directives, politiques ou autres documents relevant du MDDEP exigent que l'échantillonnage soit fait selon un ou plusieurs cahiers du guide (voir annexe). Tout prélèvement d'échantillons avec une méthode de travail autre que celles qui sont mentionnées dans les cahiers du guide d'échantillonnage doit être discuté avec le professionnel chargé de l'analyse de dossier au sein de la direction régionale concernée.

Le CEAEQ, comme responsable ministériel des méthodes d'échantillonnage, publie les cahiers du guide et coordonne leur révision. Il assure l'harmonisation des cahiers entre eux et leur conformité avec les exigences réglementaires.

Note au lecteur : Les renseignements relatifs aux marques déposées ou aux produits commerciaux ne sont donnés qu'à titre indicatif; des produits équivalents peuvent leur être substitués.

GROUPE DE TRAVAIL

Nous remercions sincèrement toutes les personnes suivantes d’avoir partagé leur expertise et fourni les efforts nécessaires à la révision de ce document :

Du ministère du Développement durable, de l’Environnement et des Parcs :

Yvan Bousquet, Bureau de coordination et d’expertise en enquêtes

Sylvie Chevalier, Direction des politiques de l’eau

Michel Drolet, Direction régionale de l’analyse et de l’expertise de la Capitale-Nationale et Chaudière-Appalaches, Pôle industriel

Michel Ouellet, Direction des politiques de l’eau

Nadine Roy, Direction des politiques de l’eau

De même que les nombreuses personnes du Service de l’aménagement et des eaux souterraines de la Direction des politiques de l’eau qui ont contribué à des sujets spécifiques.

Collaborateurs externes :

Nancy Berranger¹, Groupe Qualitas

Serge Delisle, Institut de recherche en biotechnologie du Conseil national de recherches Canada (CNRC)

Sonia Lacombe, DDH²

Daniel Larose-Charette¹, LVM

Robert Morin¹, Groupe Qualitas

Amr Rouchdy, Maxxam

Nous remercions les personnes suivantes d’avoir révisé le document :

Robert P. Chapuis, École polytechnique de Montréal

Jean-Marc Lauzon, Technorem

Martin Poulin, Golder Associés ltée

¹ Représentant de l’Association des consultants et des laboratoires experts.

² Maintenant chez Rio Tinto Alcan.

Au MDDEP, les groupes suivants ont commenté la version préliminaire de cet ouvrage : le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, le Centre de contrôle environnemental du Québec, la Direction du suivi de l'état de l'environnement, la Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés et les directions régionales par l'entremise du Pôle industriel.

Au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, les personnes suivantes ont participé à la réalisation du présent document :

Coordination de la mise à jour : Luc Levert, Mélanie Robitaille et Isabelle Forcier

Production de la page frontispice, des figures, de la création des liens hypertextes et mise en ligne : Renée Patenaude

Mise en page : Lise Potvin

GLOSSAIRE ET ACRONYMES

Analyte : Dans une procédure d'analyse, paramètre à mesurer.

Aquifère : Formation géologique suffisamment perméable pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

Aquitard : Formation géologique de faible perméabilité où le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible, mais à travers laquelle des transferts d'eau (drainance) sont possibles.

Bentonite : Argile composée principalement de montmorillonite le plus souvent utilisée pour sceller les piézomètres en raison de sa capacité de gonfler de 7 à 12 fois de volume en présence d'eau.

Blanc de lavage³ : Contenant rempli avec un prélèvement du dernier fluide de rinçage lors des opérations de lavage de l'équipement. Les agents de conservation doivent être inclus.

Blanc de terrain³ : Contenant préparé par le laboratoire, rempli avec de l'eau purifiée et avec les agents de conservation appropriés aux paramètres représentés par les blancs. Ces contenants doivent être apportés sur le terrain d'échantillonnage, ouverts et manipulés lors de l'échantillonnage et rapportés au laboratoire comme un échantillon.

Blanc de transport³ : Contenant préparé par le laboratoire, rempli avec de l'eau purifiée et avec les agents de conservation appropriés aux paramètres représentés par les blancs. Ces contenants doivent être apportés sur le terrain d'échantillonnage et rapportés au laboratoire comme un échantillon, sans avoir été ouverts.

Boue organique : Bentonite additionnée de polymères organiques pour modifier selon les besoins la consistance, la viscosité et la tension superficielle du liquide. Parmi ces polymères, on retrouve des polyacrylamides, de la carboxyméthylcellulose, de l'acrylate de sodium, des lignosulfonates et des lignines.

CEAEQ : Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

Charge hydraulique : Hauteur de la colonne d'eau au-dessus du point considéré (c'est-à-dire hauteur d'équilibre de l'eau avec la pression atmosphérique).

Contamination croisée : Contamination d'un échantillon par l'équipement qui a été contaminé lors de l'échantillonnage précédent ou entre chaque point d'échantillonnage.

Coulis ciment-bentonite : Mélange fait de ciment, de bentonite et d'eau dans les proportions de 70 à 75 litres d'eau, 3 à 5 kg de bentonite pour 100 kg de ciment.

COV : Composé organique volatil.

Diffusion moléculaire : Mouvement de particules dissoutes (ions, molécules, etc.) dans l'eau sous l'effet d'un gradient de concentrations.

³ Pour des définitions complètes, se référer au cahier 1.

Échantillonneur passif : Appareil d'échantillonnage ne nécessitant pas de purge du puits préalablement à son utilisation.

Équipement d'échantillonnage dédié : Équipement d'échantillonnage utilisé exclusivement pour un puits d'observation et généralement laissé en place.

Exogène : Qui est issu d'une cause externe.

FID : Détecteur à ionisation de flamme (de l'anglais : *flame ionization detector*).

Forme résiduelle : État des contaminants qui restent en place après que leurs constituants les plus solubles eurent été entraînés ou biodégradés.

Frang capillaire : Zone saturée ou quasi saturée au-dessus de la surface libre d'une nappe souterraine et en continuité avec elle, dans laquelle la pression de l'eau est inférieure à la pression atmosphérique.

HAP : Hydrocarbure aromatique polycyclique (de l'anglais : *polycyclic aromatic hydrocarbon – PAH*).

Immiscible : Qui ne peut se mêler avec un autre corps pour former un mélange homogène et stable.

Intégrité (de l'échantillon, du puits, etc.) : État d'un objet qui n'a subi aucune altération.

LID ou liquide immiscible dense (en anglais : *dense non aqueous phase liquid* ou DNAPL) : Liquide immiscible avec l'eau et plus dense que celle-ci (pénétrant la nappe).

LIL ou liquide immiscible léger (en anglais : *light non aqueous phase liquid* ou LNAPL) : Liquide immiscible avec l'eau et moins dense que celle-ci (flottant sur la nappe).

Massif filtrant : Matériau meuble, débarrassé des particules fines et de granulométrie uniforme, disposé dans l'espace annulaire entre la crépine et la paroi du forage. Terme équivalent à « lanterne de sable » ou « filtre de sable ».

Modèle hydrogéologique conceptuel : Synthèse des connaissances acquises et des données recueillies pour préparer un ensemble de figures et de textes permettant de décrire le contexte hydrogéologique, la cause (source) à l'origine de la contamination des eaux souterraines ainsi que le transport et l'atténuation (évolution) des contaminants dissous.

Niveau d'eau souterraine : Plan d'eau mesurable dans un puits d'observation ou un piézomètre, dont l'altitude a la signification d'une charge hydraulique.

Niveau piézométrique : Niveau supérieur de la colonne liquide statique qui équilibre la pression hydrostatique au point auquel elle se rapporte. Il est matérialisé par le niveau du liquide dans un tube ou puits d'observation ou piézomètre ouvert au point considéré.

OVA : Analyseur de vapeurs organiques (de l'anglais : *organic vapor analyser*).

PDB : Sac à diffusion en polyéthylène (de anglais : *polyethylene diffusion bag*).

PID : Détecteur à photoionisation (de l'anglais : *photoionization detector*).

PVC : Polychlorure de vinyle (de anglais : *polyvinylchloride*).

Représentativité des échantillons : Caractère de l'échantillon à avoir une qualité similaire à la qualité locale de la nappe dont il est extrait.

Responsable de la campagne d'échantillonnage : Personnel en charge soit du dossier, soit des travaux de terrain ou d'échantillonnage.

Tout venant : Remblai dont la granulométrie n'est pas précisée et qui est mis en place tel qu'il est extrait. Le plus souvent, il s'agit des matériaux qui remontent à la surface lors du forage.

Zone non saturée (en anglais : *vadose zone*) : Zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre où la pression de l'eau est inférieure à la pression atmosphérique. Terme équivalent à « zone vadose ».

Table des matières

AVANT-PROPOS	IV
GROUPE DE TRAVAIL	VI
GLOSSAIRE ET ACRONYMES	VIII
TABLE DES MATIÈRES	XI
LISTE DES FIGURES.....	XIV
LISTE DES PHOTOS.....	XIV
ANNEXE	XIV
1. INTRODUCTION.....	1
2. PLANIFICATION D'UNE CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE.....	2
2.1. Conception des puits d'observation	3
2.1.1. Types de puits utilisés à des fins d'échantillonnage	4
2.1.1.1 <i>Puits d'observation simple</i>	4
2.1.1.2 <i>Puits d'observation avec massifs filtrants préinstallés (prepacked wells)</i>	9
2.1.1.3 <i>Puits d'observation à niveaux multiples et nid de puits</i>	9
2.1.1.4 <i>Puits par enfouissement</i>	13
2.1.1.5 <i>Puits d'observation avec trou ouvert dans le roc</i>	13
2.1.1.6 <i>Puits d'exploration ou tranchée</i>	15
2.1.2. Considérations pour le forage	15
2.1.2.1 <i>Compatibilité des matériaux de l'équipement</i>	15
2.1.2.2 <i>Supervision rigoureuse</i>	15
2.1.2.3 <i>Propreté de l'équipement</i>	16
2.1.2.4 <i>Huiles lubrifiantes hydrauliques et produits pétroliers</i>	16
2.1.2.5 <i>Fluides de forage</i>	17
2.1.2.6 <i>Création de chemins d'écoulement préférentiel et transfert vertical de la contamination</i>	18
2.1.2.7 <i>Interception d'une couche de liquide immiscible</i>	18
2.1.2.8 <i>Résidus de forage</i>	19
2.1.3. Aménagement de surface	20
2.1.4. Développement d'un puits d'observation	20
2.1.4.1 <i>Pistonnage</i>	22
2.1.4.2 <i>Pompage</i>	22
2.1.4.3 <i>Combinaison de pompage et pistonnage</i>	22
2.1.4.4 <i>Émulseur à air</i>	22
2.1.4.5 <i>Méthode utilisant un jet d'eau</i>	23

2.1.5.	Abandon d'un puits	23
2.2.	Préparation de l'échantillonnage.....	23
2.2.1.	Lavage des équipements.....	24
2.2.2.	Agents de conservation dans les contenants d'échantillonnage.....	25
2.2.3.	Planification de la conservation et du transport des échantillons.....	25
2.2.4.	Considérations saisonnières	26
2.2.5.	Altérations possibles de l'échantillon	26
2.3.	Santé et sécurité.....	27
2.3.1.	Présence de gaz dans un puits d'observation	27
2.3.2.	Vapeurs organiques – gaz explosifs	28
2.4.	Planification de la documentation sur le terrain.....	28
2.4.1.	Programme de travail	28
2.4.2.	Notes de terrain	28
2.4.2.1	<i>Rapport journalier</i>	29
2.4.2.2	<i>Rapport de sondage et schéma d'aménagement d'un puits d'observation</i>	29
2.4.2.3	<i>Documentation du développement d'un puits d'observation</i>	29
2.4.2.4	<i>Documentation des tâches préparatoires</i>	29
3.	ÉCHANTILLONNAGE.....	29
3.1.	Inspection du puits	30
3.2.	Mesures du niveau d'eau.....	30
3.3.	Mesures des niveaux et des épaisseurs apparentes de LIL et LID	32
3.3.1.	LIL.....	32
3.3.2.	LID	32
3.4.	Équipements	33
3.4.1.	Pompes	33
3.4.1.1	<i>Pompe à soupape</i>	33
3.4.1.2	<i>Système à succion (pompe à vide manuelle ou péristaltique)</i>	34
3.4.1.3	<i>Pompe submersible à vitesse contrôlable</i>	34
3.4.1.4	<i>Système par déplacement positif</i>	37
3.4.2.	Échantillonneurs passifs	37
3.4.2.1	<i>Échantillonneurs passifs à prise directe</i>	37
3.4.2.2	<i>Échantillonneurs passifs par équilibre</i>	38
3.4.3.	Tube à clapet (écope à bille, <i>bailer</i>).....	38
3.4.4.	Système de prélèvement par seringue	39
3.5.	Méthodes avec purge.....	39
3.5.1.	Purge à volume prédéterminé.....	39
3.5.2.	Purge à faible débit et à faible rabattement	41
3.5.3.	Purge minimale	45
3.6.	Méthodes sans purge ou passives.....	46

3.7.	Filtration des échantillons	48
3.8.	Notes de terrain	49
3.8.1.	Mesures sur le terrain	49
3.8.2.	Échantillonnage des eaux souterraines.....	49
3.9.	Éléments de considération pour ne pas échantillonner ou pour le rejet d'échantillons	49
3.10.	Description des échantillons.....	50
3.11.	Identification des échantillons.....	50
3.12.	Conservation et transport des échantillons.....	50
3.13.	Chaîne de responsabilité.....	51
3.14.	Assurance et contrôle de la qualité sur le terrain	51
3.14.1.	Assurance de la qualité.....	51
3.14.2.	Contrôle de la qualité	52
4.	POST-ÉCHANTILLONNAGE	52
4.1.	Changement de méthode d'échantillonnage	52
4.2.	Assurance et contrôle de la qualité en laboratoire.....	53
4.3.	Rapport d'étude	53
5.	PARTICULARITÉS	54
5.1.	Échantillonnage des eaux souterraines dans un ouvrage de captage	54
5.2.	Échantillonnage d'eau dans la zone non saturée	55
5.3.	Échantillonnage lors d'un essai de traçage	55
5.3.1.	Colorants fluorescents	55
5.3.2.	Sels	56
5.4.	Échantillonnage des liquides immiscibles.....	56
5.5.	Méthodes par échantillonnage intact de l'aquitard	56
6.	RÉFÉRENCES.....	58
6.1.	Références générales	58
6.2.	Références spécifiques	59
6.2.1.	Prééchantillonnage	59
6.2.2.	Échantillonnage.....	59
6.2.3.	Assurance et contrôle qualité - terrain.....	60
6.2.4.	Post-échantillonnage	60
6.2.5.	Particularités.....	60

Liste des figures

Figure 1. Composantes et dimensions d'un puits d'observation simple	7
Figure 2. Puits d'observation simple avec structure protectrice sous le niveau du sol	8
Figure 3. Puits à niveaux multiples (niveaux d'échantillonnage séparés par des bouchons scellants de bentonite)	11
Figure 4. Nid de puits d'observation	12
Figure 5. Puits d'observation avec trou ouvert dans le roc	14

Liste des photos

Photo 1. Constat visuel de l'absence de particules en suspension (MDDEP, 2006)	21
Photo 2. Mesure initiale du niveau d'eau dans le puits d'observation (MDDEP, 2006)	31
Photo 3. Exemple de pompe péristaltique (MDDEP, 2010)	35
Photo 4. Exemple de pompe submersible (MDDEP, 2008)	36
Photo 5. Exemple de pompe submersible (MDDEP, 2007)	36
Photo 6. Vue de dessus d'un puits d'observation permettant de visualiser le tubage de protection, le tubage intérieur en PVC et la tubulure mise en place pour la purge. Notez que l'espace annulaire situé au-dessus du sol a été rempli de matériel granulaire pour supporter les tubulures (MDDEP, 2006)	40
Photo 7. Purge à volume déterminé du puits d'observation. Le rabattement (présence de la sonde piézométrique) et le débit pompé (contenant blanc) sont contrôlés tout au long de l'opération (MDDEP, 2006)	41
Photo 8. Mesure des paramètres physicochimiques. La cellule de mesure se trouve sur le toit de la voiture (MDDEP, 2010)	44
Photo 9. Exemple d'échantillonneurs passifs : sacs à diffusion (MDDEP, 2008)	47
Photo 10. Opération de récupération de l'échantillon dans un sac à diffusion : les gants et les ciseaux doivent être exempts de contaminants (MDDEP, 2008)	48

Annexe

Annexe	61
--------------	----

1. INTRODUCTION

Au cours des deux dernières décennies, une importance accrue a été accordée au Québec à la protection des eaux souterraines au sein du cadre légal et réglementaire, notamment sous la forme d'exigences concernant la caractérisation et le suivi des eaux souterraines dans différents contextes. Que ce soit pour caractériser l'état d'un site mis en vente, évaluer la qualité de la ressource, contrôler l'étanchéité d'une cellule d'enfouissement ou suivre un panache de contamination, le succès d'une campagne d'échantillonnage des eaux souterraines repose toujours sur la représentativité des échantillons prélevés et le maintien de leur intégrité jusqu'au laboratoire.

Toutes les étapes suivies pour mener à bien la collecte d'un échantillon, depuis le positionnement et la construction des équipements d'échantillonnage jusqu'à l'arrivée de l'échantillon au laboratoire, représentent des sources potentielles d'altération de l'échantillon. À tout moment, les responsables de la campagne d'échantillonnage et les préleveurs sont appelés à prendre des décisions pour mener à bien la campagne en fonction des objectifs poursuivis et du contexte hydrogéologique. Chacune de ces décisions peut mettre en péril le succès de la campagne de façon évidente ou subtile. Chaque campagne d'échantillonnage est unique et aucun document ne peut remplacer l'expérience, l'expertise, la rigueur et le souci de faire un travail minutieux. L'expertise et le jugement professionnel sont les meilleures garanties du succès d'une campagne d'échantillonnage.

Afin d'aiguiller le responsable dans l'élaboration d'une campagne d'échantillonnage et d'aider le préleveur dans l'accomplissement de ses tâches sur le terrain, ce cahier présente les étapes nécessaires au prélèvement d'échantillons d'eau souterraine et définit les grandes lignes directrices dans le choix des méthodes en fonction des conditions de terrain et des objectifs à atteindre. Des écarts par rapport aux règles de l'art reprises dans ce cahier peuvent être acceptables. Il revient au responsable de la campagne d'échantillonnage de s'assurer de leur bien-fondé et d'en justifier l'utilisation. Les principales méthodes de purge et d'échantillonnage utilisées, les équipements d'échantillonnage et d'observation usuels sont brièvement analysés en fonction de leur applicabilité dans différents contextes. Les opérations entourant le prélèvement des échantillons et leur transport jusqu'au laboratoire, de même que les précautions à prendre pour assurer la qualité des échantillons sont décrites. D'autres aspects liés à l'échantillonnage d'eau souterraine sont aussi abordés, comme la santé et la sécurité des préleveurs, les rapports quotidiens et final d'une campagne d'échantillonnage, l'installation d'instruments d'observation, l'échantillonnage d'eau, d'air et de gaz dans la zone non saturée et l'échantillonnage de liquides immiscibles.

2. PLANIFICATION D'UNE CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les responsables de la campagne d'échantillonnage sont appelés à prendre des décisions cruciales lors de son élaboration. L'emplacement des points de prélèvement, le choix des paramètres analysés, la fréquence de prélèvement, la conception des puits d'observation et les méthodes d'échantillonnage choisies sont autant de facteurs qui risquent de modifier la représentativité des échantillons.

Avant tout, les choix à faire dépendent des objectifs de la campagne. Ces objectifs peuvent être divers et nombreux : caractérisation de la qualité des eaux souterraines d'un aquifère, évaluation de la qualité de l'eau d'un ouvrage de captage, détection de fuites, suivi temporel ou spatial d'un panache de contamination, etc. Une bonne définition des buts va déterminer le degré de précision requis et l'effort à accorder à l'élaboration du modèle hydrogéologique conceptuel. On ne conçoit pas une campagne de caractérisation préliminaire comme une campagne de suivi à moyen ou long terme. La conception et la mise en œuvre d'un programme de suivi de la qualité des eaux souterraines passent nécessairement par la connaissance la plus détaillée possible des conditions hydrogéologiques, afin d'assurer notamment un choix représentatif des points de prélèvements.

Le choix des paramètres à analyser, l'emplacement des points d'échantillonnage ou d'observation, le nombre d'échantillons et la fréquence d'échantillonnage découlent directement des objectifs, du modèle hydrogéologique conceptuel et de la variabilité du phénomène (variabilité spatiale et temporelle des concentrations des différents paramètres).

Le choix des paramètres à analyser et la précision désirée doivent également s'effectuer en fonction des règlements, des directives ou des politiques. Le choix du nombre, de l'emplacement et de la profondeur des points d'échantillonnage doit aussi s'effectuer en considérant la nature et l'emplacement des sources de contamination (s'il est connu), les caractéristiques hydrogéologiques du milieu et les propriétés physicochimiques des contaminants (comme leur solubilité et leur densité). Dans certains cas, notamment lors des campagnes de caractérisation ou de suivis à long terme, le nombre de points d'observation ou d'échantillonnage requis et leur emplacement exact pourront être précisés à mesure que la campagne d'échantillonnage progressera.

Pour les campagnes récurrentes, la fréquence d'échantillonnage doit être appropriée au site, aux objectifs et aux résultats attendus. Pour les suivis qui s'échelonnent sur plus d'une année, il est préférable de réaliser des campagnes aux mêmes périodes de l'année pour tenter d'établir des comparaisons. La qualité des eaux souterraines peut être sujette à plus de variations pour certaines configurations de nappes libres que pour des nappes confinées ou semi-confinées. Des exigences ou des recommandations sur les conditions d'échantillonnage sont indiquées dans différents documents émis par le MDDEP. L'annexe présente plusieurs références vers des règlements, attestations d'assainissement, certificats d'autorisation ou guides qui peuvent être consultés. Cette liste de références n'est pas complète parce que le domaine est vaste et en constante évolution.

Enfin, une fois les objectifs de la campagne établis, les paramètres sélectionnés et les endroits visés, il ne reste plus qu'à choisir les méthodes d'échantillonnage et à définir le protocole.

2.1. Conception des puits d'observation

Un puits d'observation est un ouvrage permettant l'échantillonnage de l'eau souterraine afin d'en déterminer la qualité physicochimique ou microbiologique. Le prélèvement d'échantillons représentatifs d'eau souterraine requiert l'installation, dans les dépôts meubles ou dans le roc, de puits. Les caractéristiques d'aménagement du puits d'observation (emplacement, profondeur, portion crépinée, etc.) sont déterminantes pour assurer la représentativité de l'échantillon d'eau souterraine.

Des échantillons d'eau souterraine peuvent également être prélevés dans des puits de production (puits domestiques, agricoles, municipaux ou industriels, etc.) dont l'installation ne sera pas traitée ici. Toutefois, le prélèvement d'échantillons d'eau souterraine dans un ouvrage de captage est abordé à la section 5.1.

Le puits d'observation est aussi utilisé à d'autres fins telles que :

- mesure du niveau piézométrique;
- mesure des gradients hydrauliques horizontaux et verticaux;
- l'identification de la présence de liquide immiscible léger (LIL) ou dense (LID) et l'évaluation de leur épaisseur;
- exécution d'essais de perméabilité;
- exécution d'essais de traçage;
- la mesure et l'échantillonnage de biogaz ou de composés organiques volatils (COV) dans la zone non saturée.

La conception d'un puits d'observation doit tenir compte des objectifs poursuivis puisque, parfois, un puits d'observation conçu pour certains objectifs ne pourra pas être utilisé pour d'autres. Par exemple, l'interprétation d'un essai de perméabilité à niveau variable effectué dans un puits d'observation conçu pour repérer la présence d'une phase flottante peut s'avérer problématique. En effet, pour détecter la présence de LIL, la crépine du puits d'observation doit être positionnée de part et d'autre de la surface libre de l'eau (qui fluctue dans le temps) dans le puits alors que, pour interpréter un essai de perméabilité à niveau variable, la crépine devrait être complètement immergée.

Puits d'observation ou piézomètre

Pour l'échantillonnage des eaux souterraines, le type d'ouvrage construit pour permettre le prélèvement s'appelle puits d'observation. Il est opportun de faire la distinction entre un puits d'observation et un piézomètre. Un puits d'observation permet la collecte d'échantillons d'eau, la détection, ainsi que le prélèvement de liquides non miscibles et la mesure des niveaux d'eau. Le piézomètre, quant à lui, n'est utilisé que pour mesurer les charges hydrauliques à une profondeur donnée. Il existe des piézomètres hydrauliques ou de type capteur de pression. Le piézomètre hydraulique est similaire à un puits d'observation de longueur et de diamètre de crépine réduits. Dans le piézomètre de type capteur de pression, le capteur est enfoui et scellé dans le trou de forage, sans qu'on puisse ensuite accéder à l'eau souterraine.

L'objectif du puits d'observation est de permettre le prélèvement d'un échantillon représentatif d'eau souterraine en un point d'une formation hydrogéologique. Des précautions sont donc prises lors de son installation afin de minimiser l'effet de cette installation sur la représentativité des échantillons d'eau souterraine prélevée. Ainsi, l'équipement et les matériaux utilisés pour la construction et la mise en place du puits doivent être rigoureusement propres, exempts des composés à analyser et inertes par rapport aux substances présentes dans l'eau.

Les détails de l'aménagement des puits d'observation sont d'une grande importance lorsque vient le temps d'interpréter les données relatives à la charge hydraulique, à la qualité de l'eau et à la conductivité hydraulique de la formation hydrogéologique. Le chapitre 2.4 traite des principales informations à consigner lors de l'installation d'un puits d'observation.

2.1.1. Types de puits utilisés à des fins d'échantillonnage

Les types de puits d'observation⁴ les plus couramment utilisés sont le puits d'observation simple (figures 1 et 2), le puits à niveaux multiples (figure 3), le nid de puits (figure 4), le puits par enfoncement et le puits ouvert au roc (figure 5). Les figures présentées dans ce cahier indiquent les directives générales de construction à suivre. Elles n'ont pas la prétention d'être exhaustives : d'autres détails peuvent être retrouvés dans la norme ASTM D5092-04.

Les puits peuvent être constitués de différents matériaux choisis selon la nature des contaminants recherchés, le milieu géologique et la durée d'utilisation envisagée.

2.1.1.1 Puits d'observation simple

Un puits d'observation simple (figure 1) se compose d'un tubage mis en place dans un trou de forage et comprenant une crépine placée entre deux profondeurs données. Cela permet d'échantillonner l'eau souterraine qui circule dans le milieu géologique intercepté par la crépine. Habituellement, la crépine est installée en bout de tubage, au fond du puits.

La crépine et le tubage sont constitués de sections mises bout à bout et liées entre elles de façon étanche. À cet effet, il faut privilégier l'utilisation de sections filetées et munies de joints toriques. L'utilisation d'adhésifs ou d'autres types de liants chimiques est proscrite parce que la qualité de l'eau peut être altérée (ASTM D5092-04).

La crépine est isolée des horizons sus-jacents (et sous-jacents, si elle n'est pas en bout de tubage) par un bouchon étanche de bentonite. L'installation d'un tel bouchon nécessite la présence d'un espace (dit espace annulaire) entre le tubage et la paroi du forage. Un massif filtrant est d'abord placé dans cet espace au niveau de la crépine pour favoriser l'écoulement de l'eau vers celle-ci et prévenir son colmatage. Le sommet du massif filtrant doit être à un niveau supérieur à celui de la crépine afin de prévenir l'introduction de bentonite à l'intérieur de cette dernière. La base du sable filtrant doit être inférieure à la base de la crépine. Un bouchon scellant constitué de bentonite (granulaire, en poudre, en pastilles ou en coulis) est ensuite mis en place au-dessus des matériaux filtrants (et en dessous, si la crépine n'est pas en bout de tubage) pour isoler la crépine de l'eau provenant des couches sus-jacentes et sous-jacentes.

⁴ Le puits d'observation ne doit pas être confondu avec le puits d'exploration qui est la terminologie souvent utilisée pour désigner une tranchée d'exploration.

L'espace annulaire restant entre le sommet du bouchon de bentonite et la surface du sol doit être rempli d'un mélange de ciment-bentonite ou de bentonite⁵. La partie supérieure du puits doit être protégée par un tubage de protection rempli d'un bouchon de coulis de ciment bentonite mis en place à partir de la surface et idéalement jusqu'à la ligne de gel (au moins 2 m). Ce bouchon sert à empêcher l'infiltration d'eau de ruissellement et à soutenir physiquement le tubage protecteur. La construction typique de ces installations est présentée aux figures 1 et 2.

Dans le cas d'une installation permanente et où la surface du sol le permet, l'ajout d'un bouchon de ciment-bentonite sur une profondeur minimale de 30 cm et un rayon de 15 cm autour du puits assurera une étanchéité minimale par rapport aux contaminants présents en surface. L'aménagement de surface devrait être complété par la mise en place d'un monticule en ciment.

La longueur et l'emplacement de la crépine peuvent influencer la caractérisation de l'eau. L'échantillon prélevé sera en effet caractéristique de la concentration moyenne en contaminants sur l'ensemble des horizons traversés par la crépine. Une crépine trop courte ou trop longue peut donner des échantillons non représentatifs de la contamination. Une crépine trop courte peut être mal positionnée et être en dehors du nuage de contaminants. Une crépine trop longue peut entraîner une connexion entre deux couches, ce qui diluera l'eau provenant de la zone contaminée ou entraînera la propagation de la contamination. Pour mesurer les gradients de concentrations en fonction de la profondeur, il est recommandé de construire un nid de puits (se référer à la section 2.1.1.3).

De façon générale, des crépines d'une longueur variant de 60 cm à 3 m conviennent à la plupart des cas. Dans les cas de fort battement de nappe, il pourrait être nécessaire de prolonger la longueur de la crépine. Peu importe la longueur de la crépine, l'eau souterraine proviendra principalement des horizons les plus perméables. Dans le roc fracturé, lorsqu'une crépine est utilisée, une plus grande longueur de celle-ci peut favoriser l'interconnexion de diverses fractures, permettant une plus grande probabilité de rencontrer le contaminant, mais occasionne aussi un effet de dilution.

Une attention particulière doit être apportée à la position de la crépine dans le cas de liquides immiscibles afin d'en permettre l'échantillonnage. En présence d'un LIL, il faut s'assurer que la crépine se prolonge au-dessus de la frange capillaire de façon à intercepter la phase flottante, s'il y a lieu. Dans le cas de LID, la crépine doit être positionnée pour couvrir l'horizon dans lequel s'est accumulée la phase de liquide immiscible, sans la traverser. Cette précaution permet d'éviter les risques de contamination des couches sous-jacentes à la couche imperméable.

⁵ Lorsque c'est techniquement possible, le coulis doit être injecté au moyen d'un tube d'injection à partir du fond jusqu'à la surface. Ce mélange minimise le retrait à la prise pour former un coffrage expansif, retarde le temps de prise pour permettre l'injection et réduit le risque de filtration d'eau hors du ciment pouvant altérer la qualité de l'eau échantillonnée. Le coulis est préparé dans un mélangeur à haute vitesse pour que le ciment, l'eau et la bentonite forment un liquide visqueux qui peut être injecté au moyen d'une pompe. La mise en place par la surface et par gravité d'un coulis de ciment-bentonite peut résulter en une mauvaise mise en place du coulis et créer des vides entre les parois du forage et du tubage.

Pour des raisons pratiques, le diamètre intérieur typique du tubage d'un puits d'observation assigné à l'échantillonnage des eaux souterraines est souvent de 5 cm. Ce diamètre permet l'utilisation de la plupart des techniques d'échantillonnage habituelles. Pour la mise en place des matériaux (sable filtrant, bouchons scellants, coulis de ciment-bentonite), l'espace annulaire minimal recommandé, entre la paroi du forage et le tubage, est de 5 cm, ce qui implique un forage d'un diamètre minimal de 15 cm. L'utilisation de centralisateurs permet de placer le tubage et la crépine au centre du trou de forage.

Dans les formations géologiques de faible perméabilité, un massif filtrant est requis afin d'éviter le colmatage de la crépine. Dans les formations géologiques constituées de dépôts meubles plus grossiers et perméables, il est également recommandé de mettre en place une enveloppe de sable ou gravier filtrant. En effet, en plus de faciliter l'entrée d'eau vers le puits, le sable filtrant a pour objectif de stabiliser la formation afin de l'empêcher de s'effondrer sur la crépine. Dans les formations à forte composante de particules fines (ex. : sable très fin, silt), l'utilisation d'un sable filtrant à granulométrie fine peut permettre de limiter la turbidité de l'eau lors du prélèvement de l'échantillon. Ainsi, la granulométrie du sable doit tenir compte du milieu. Elle doit être assez fine pour retenir la formation et assez grossière pour ne pas restreindre le mouvement de l'eau vers le puits ni s'infiltrer à travers des ouvertures de la crépine.

Le matériau constituant le massif filtrant doit être inerte, de granulométrie uniforme, constitué de particules dures sans arêtes, et être à grains arrondis (par exemple d'origine fluviatile). On ne doit jamais utiliser de matériau concassé comme matériau filtre. L'utilisation d'un filtre préinstallé (se référer à la section suivante) peut être une option intéressante.

Les volumes correspondant aux quantités de matériaux utilisés (sable filtrant, bentonite, coulis, etc.) devraient être comparés aux volumes théoriques correspondant aux dimensions du puits. Cette vérification permet de s'assurer qu'il n'y a pas eu d'effondrements pendant le remplissage, de surexcavations pendant le forage ou d'autres problèmes de construction.

Figure 1. Composantes et dimensions d'un puits d'observation simple

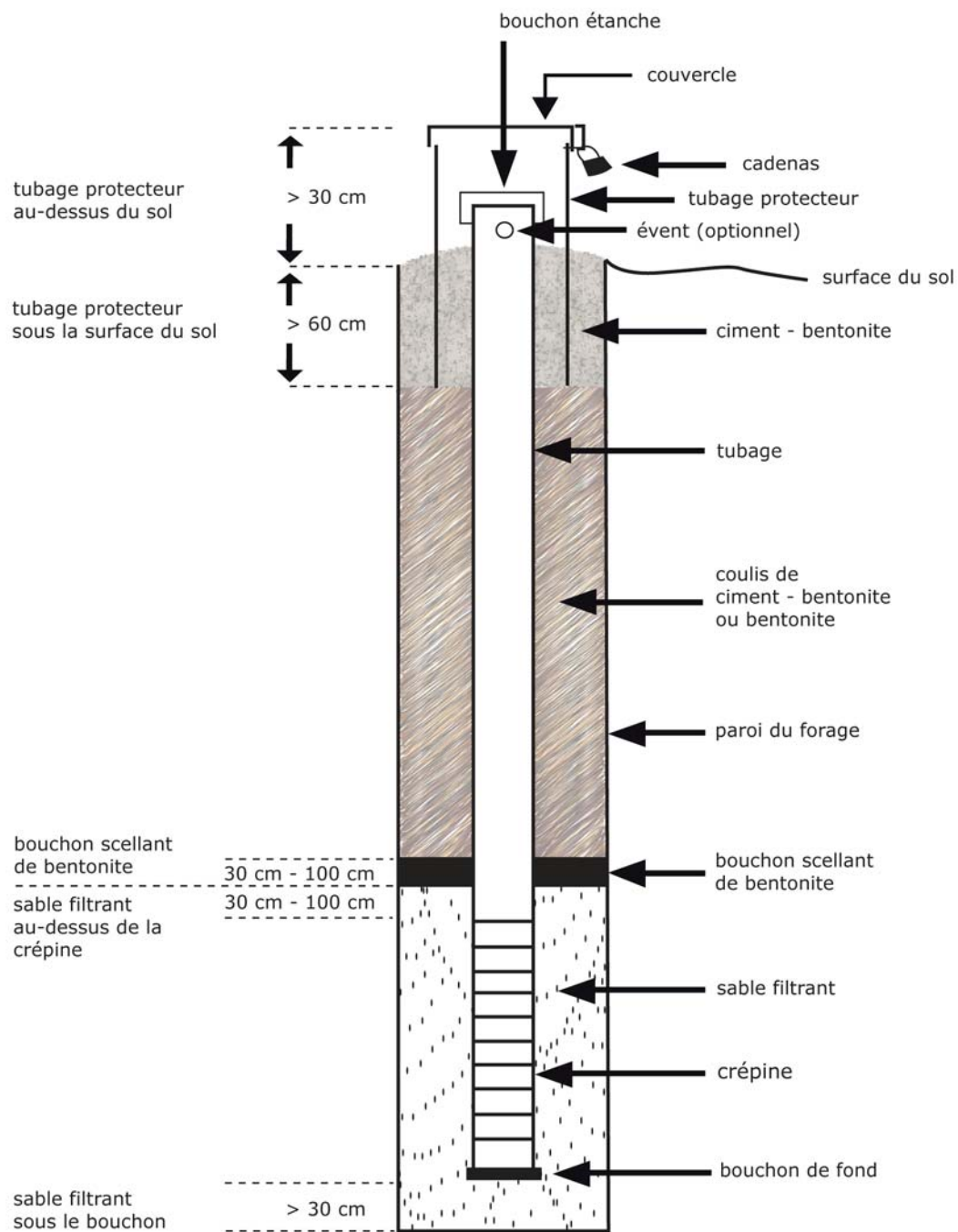
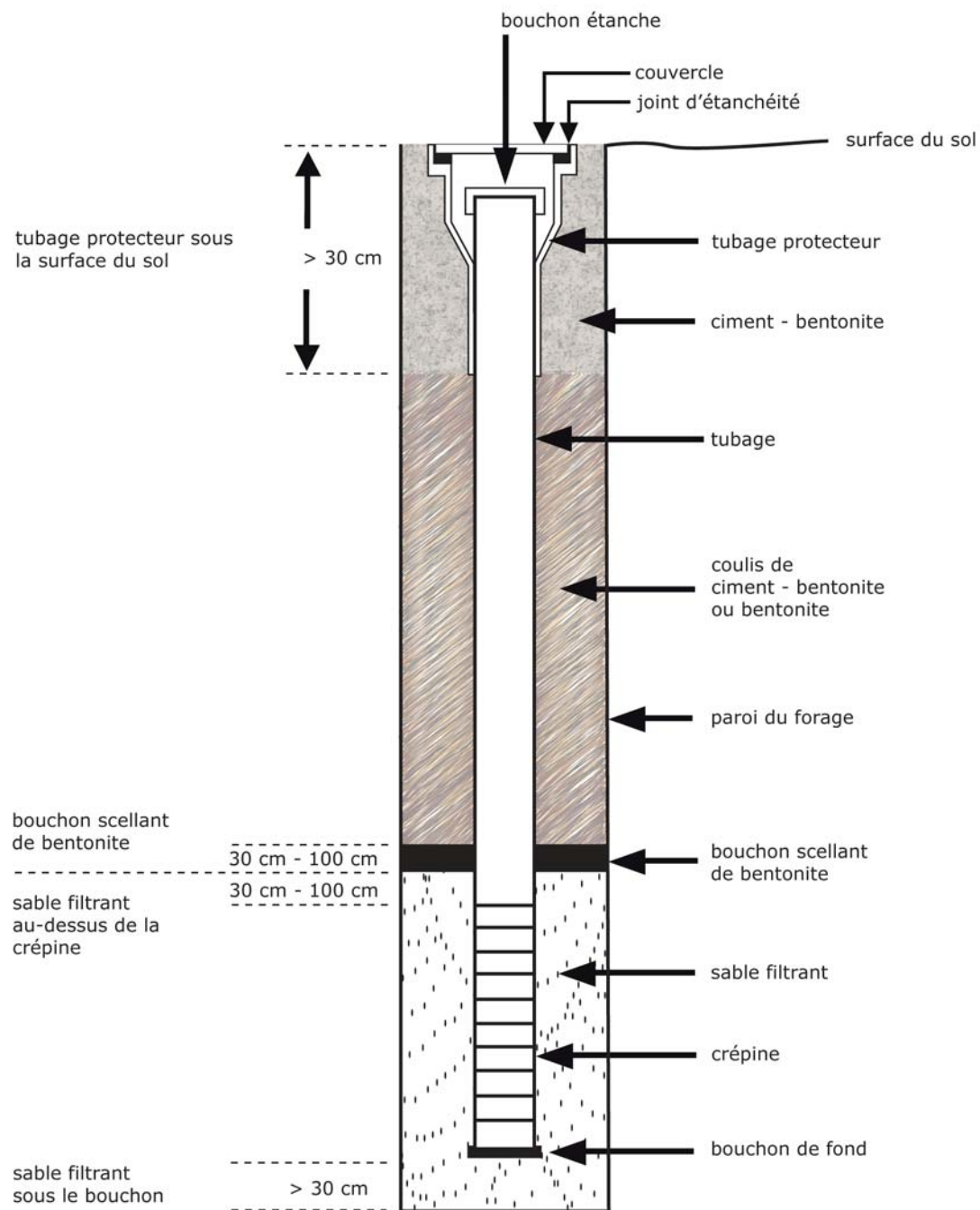


Figure 2. Puits d'observation simple avec structure protectrice sous le niveau du sol



2.1.1.2 Puits d'observation avec massifs filtrants préinstallés (*prepacked wells*)

Il est possible de trouver sur le marché des crépines munies de massifs filtrants préinstallés. Le massif filtrant, généralement un sable, est maintenu en place autour de la crépine par une seconde crépine de plus grand diamètre ou encore par un géotextile. Dans ce dernier cas, il faut s'assurer que le type de géotextile convient pour l'échantillonnage prévu, en particulier qu'il ne libère pas des éléments recherchés et ne nuise pas à la circulation de l'eau et des substances à analyser dans le massif filtrant. En présence d'un liquide immiscible, l'utilisation d'un massif filtrant avec géotextile n'est pas adaptée.

L'utilisation de puits d'observation avec massifs filtrants préinstallés peut s'avérer avantageuse, notamment lorsque l'espace annulaire est trop petit pour permettre la mise en place adéquate du massif par déversement à partir de la surface. Dans un tel cas, l'utilisation d'une crépine avec un massif filtrant préinstallé permet de s'assurer que le sable filtrant est placé de façon uniforme autour de la crépine. De façon générale, son installation est rapide et simple.

On peut se référer aux normes ASTM D6724-04 et D6725-04 relatives à ce type de système pour plus de détails.

À noter qu'avant la construction du puits il faut s'assurer que les matériaux utilisés pour la fabrication des crépines avec massifs filtrants préinstallés sont inertes et compatibles avec les objectifs du puits d'observation. Par exemple, il ne faut pas qu'ils empêchent la détection de phases non miscibles (si pertinent) ou qu'ils affectent la représentativité des échantillons (en réagissant avec les contaminants ou en les libérant).

2.1.1.3 Puits d'observation à niveaux multiples et nid de puits

Il s'agit de types de puits particuliers, mais il est à noter qu'ils doivent être construits en respectant les caractéristiques des figures 1 et 2.

Puits d'observation à niveaux multiples

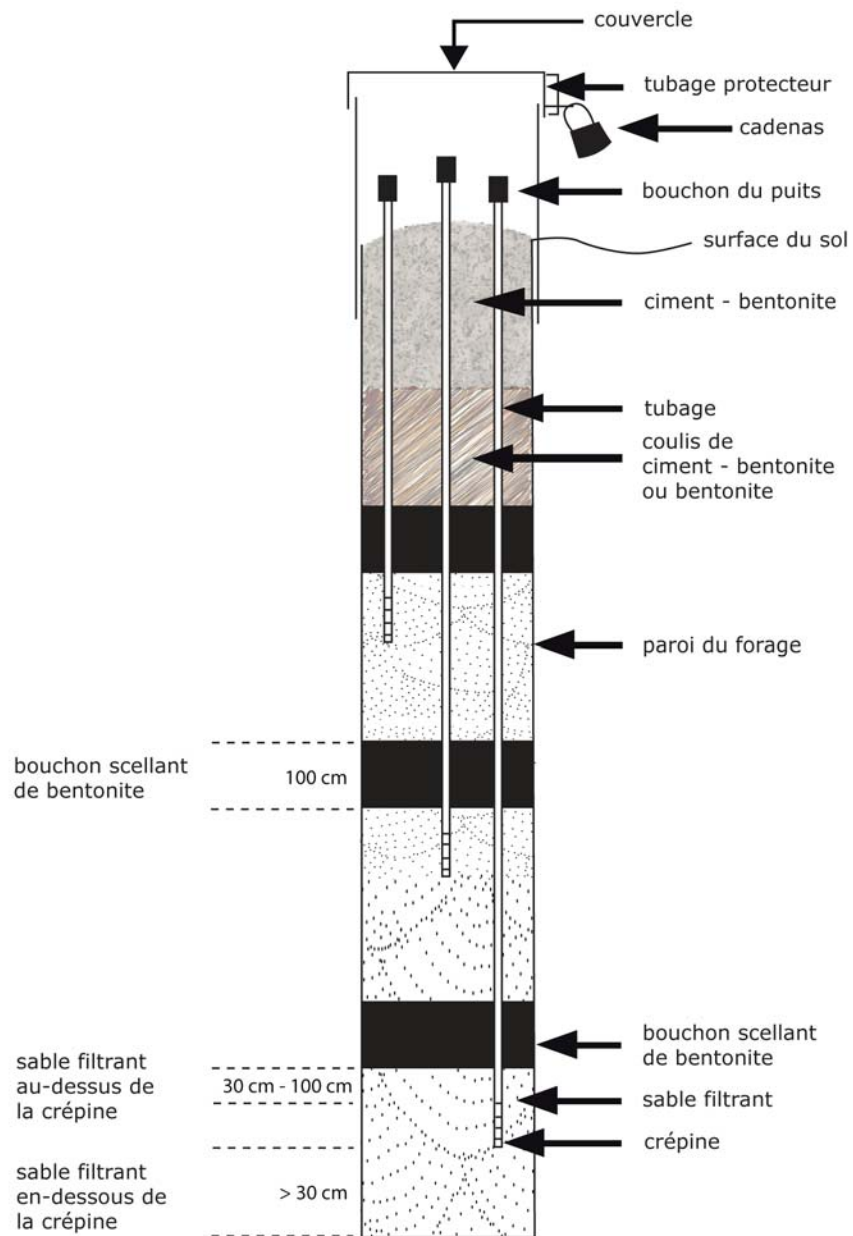
Un puits d'observation à niveaux multiples consiste à disposer dans le même forage plusieurs tubages, chacun muni d'une crépine. Chaque crépine est positionnée à une profondeur différente (figure 3), entourée d'un massif filtrant et séparée des autres par des bouchons étanches. Les profondeurs d'échantillonnage doivent donc être déterminées au préalable. Ce type de puits permet l'échantillonnage de l'eau à plusieurs niveaux (connaissance de la distribution verticale des contaminants) ainsi que la mesure du gradient hydraulique vertical. L'étanchéité entre les niveaux d'échantillonnage est un facteur primordial pour préserver la représentativité des échantillons et la validité de la mesure du gradient hydraulique. L'épaisseur des bouchons scellants de bentonite devra être la plus grande possible (supérieure à un mètre).

La mise en place des bouchons de bentonite et des massifs filtrants peut s'avérer un exercice difficile et long à grande profondeur. En pratique, il n'est généralement pas possible d'installer plus de trois ou quatre tubages par forage. Par ailleurs, les tubages sont plus à risques de se déformer, les diamètres étant généralement inférieurs à 2,5 cm, et de rendre ainsi la prise d'échantillons d'eau difficile.

Il existe parmi ces types d'installations des systèmes plus sophistiqués. Ces derniers consistent en des ports d'échantillonnage distribués le long d'une tubulure rigide. Ces ports d'échantillonnage sont séparés les uns des autres par des obturateurs. Chaque port d'échantillonnage est relié à un tube permettant l'échantillonnage en surface. Plusieurs types de systèmes à ports d'échantillonnage sont vendus dans le commerce. Les plus couramment utilisés sont les systèmes Westbay^{MD} et Solinst^{MD}. Ces systèmes peuvent être utiles en milieux fracturés en permettant l'installation d'un port par fracture interceptée lorsque les fractures sont bien localisées (p. ex. par diagraphie).

Les puits d'observation à niveaux multiples sont généralement utilisés dans un souci de minimiser les efforts de forage et d'installation lorsque plusieurs puits d'observation profonds sont requis. Ce type de puits peut présenter des difficultés d'accès interne, de complexité d'installation et de courts circuits hydrauliques potentiels entre les tubages dans le puits lui-même. Les puits d'observation peuvent ne plus être fonctionnels après quelques années d'utilisation. Ce n'est donc pas la technique à privilégier.

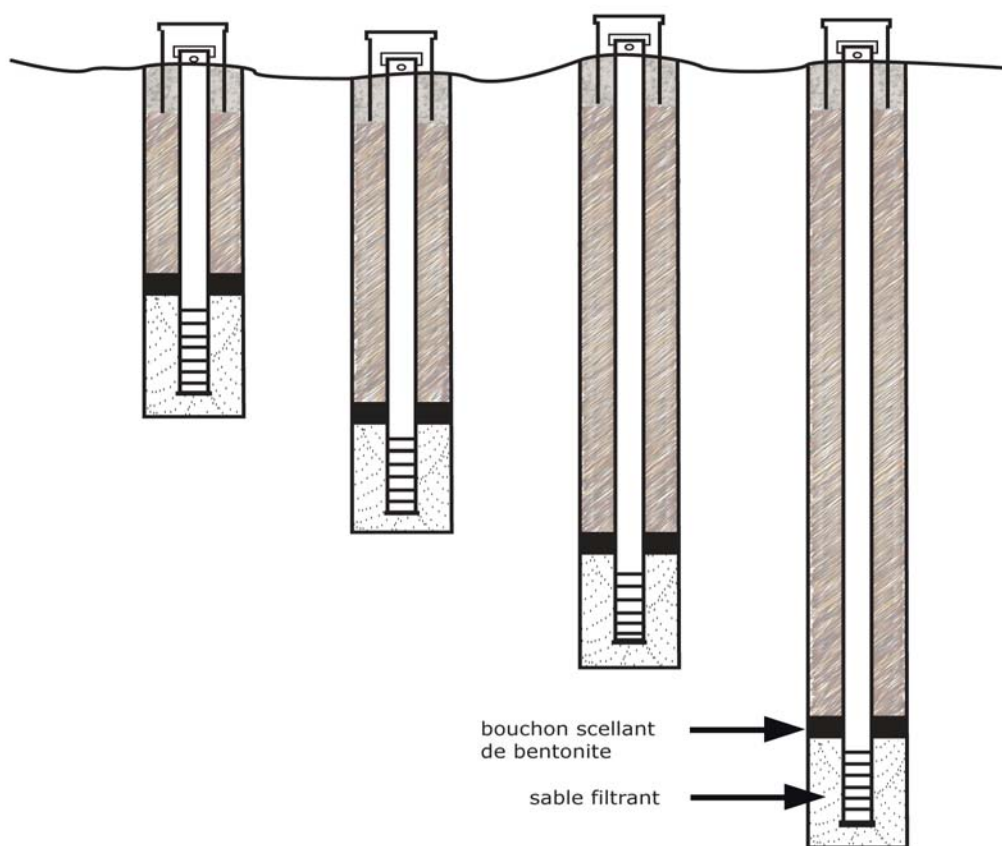
Figure 3. Puits à niveaux multiples (niveaux d'échantillonnage séparés par des bouchons scellants de bentonite)



Nid de puits d'observation

Un nid de puits d'observation consiste en plusieurs puits d'observation installés à diverses profondeurs dans des forages individuels rapprochés généralement de 1,0 à 1,5 m les uns des autres (figure 4). Il permet donc de mesurer la charge hydraulique et d'échantillonner l'eau souterraine à plusieurs niveaux. Généralement, on essaie de respecter un diamètre de trois à cinq mètres pour l'ensemble du nid de puits. Cette configuration permet une bonne définition de la distribution verticale de la contamination ainsi qu'une bonne détermination du gradient hydraulique vertical, tout en minimisant les risques de contamination d'un horizon à l'autre. Il convient donc de privilégier le nid de puits au puits à niveaux multiples, dont les difficultés de réalisation augmentent les risques de nuire à l'intégrité des échantillons.

Figure 4. Nid de puits d'observation



Note : Chaque puits d'observation doit être construit selon les directives de construction appliquées aux figures 1 ou 2.

2.1.1.4 Puits par enfouissement

Un puits par enfouissement consiste en un tubage ou en un ensemble de composantes enfoncé dans le sol sans creuser un trou au préalable et sans scellement. Son installation est donc rapide. Cependant, l'étanchéité de l'ouvrage par rapport aux contaminants présents en surface n'est pas garantie. Les pointes filtrantes comptent parmi les puits par enfouissement les plus courants. Il s'agit d'équipements ne pouvant être enfoncés que dans les dépôts meubles (gravier fin, sable, silt et argile), à l'aide du système hydraulique de la foreuse ou d'un pénétromètre. Ce type de puits devrait être utilisé seulement si la connaissance de la géologie du milieu est suffisante. Les pointes sont fabriquées d'acier inoxydables et de Téflon^{MD} et peuvent être récupérées après l'échantillonnage de l'eau ou laissées en place, selon le modèle. Aucune utilisation de fluide de forage (eau, boue, air ou autre) n'est nécessaire. La pointe doit pénétrer la nappe d'eau jusqu'à une profondeur appropriée pour permettre l'échantillonnage de l'eau souterraine. Il existe aussi un dispositif conçu pour l'échantillonnage des LIL. Pour plus de détails sur ces techniques, voir les normes ASTM D6001-05, D6724-04, D6725-04 et D7352-07.

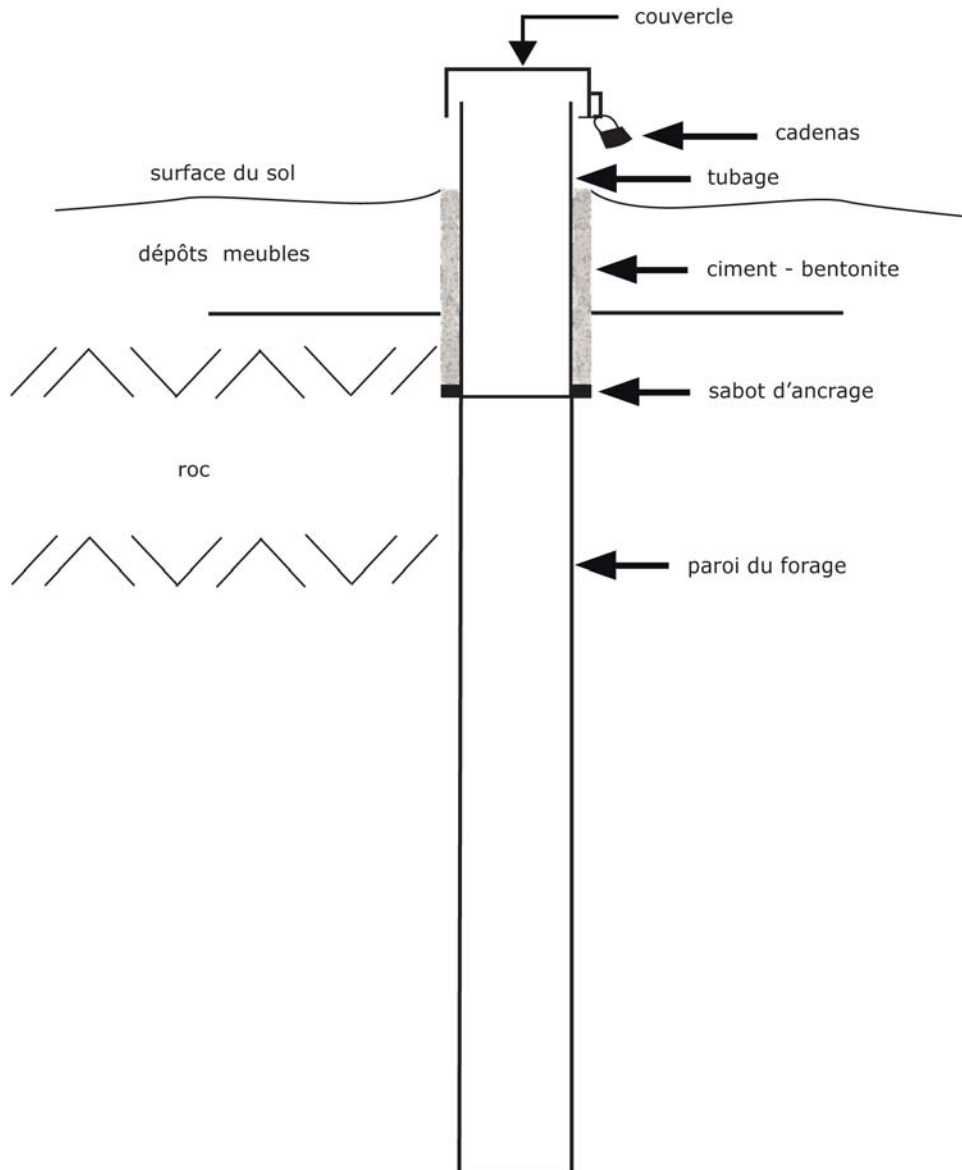
2.1.1.5 Puits d'observation avec trou ouvert dans le roc

Le puits ouvert (figure 5) au roc ne comporte pas de matériaux sinon un tubage de protection ancré de façon étanche dans la partie sommitale du socle rocheux. Il peut s'agir simplement d'un trou, réalisé dans des matériaux suffisamment consolidés pour que les parois ne s'effondrent pas. Ce type de puits est alors limité aux roches consolidées où les parois peuvent rester à la verticale sans support et où le tubage de protection se poursuit au-dessus du niveau du sol. Il peut s'agir également d'un forage dans les dépôts meubles, avec tubage de protection afin d'éviter l'effondrement des parois, et qui se poursuit à paroi nue dans la roche consolidée. Ces puits doivent être construits de façon à ce que l'eau de surface ne s'infilte pas le long du tubage. L'eau souterraine échantillonnée n'est donc pas en contact avec des matériaux de puits. Les parois productrices du puits sont constituées de roc et présentent un profil plus ou moins égal selon le degré de fracturation et les variations dans la consolidation du roc. Théoriquement, l'eau provient des fractures et de la porosité du roc sur toute la hauteur interceptée. En pratique, la contribution des différentes fractures et de la porosité peut être très variable.

Le puits ouvert ne permet pas de déterminer directement la distribution verticale des contaminants, mais peut mener à la détection initiale de la contamination. Aussi, il existe quelques mises en garde quant à l'interprétation des résultats d'analyses provenant de ce type de puits. En présence de contaminants lourds, il est recommandé de recueillir les échantillons d'eau à la base de ces installations. Cependant, étant donné que l'eau peut provenir de toute la longueur du trou ouvert dans le roc, l'échantillon prélevé dans ce puits est représentatif de la qualité de l'eau souterraine de toute la section captée et non d'un horizon précis dans le roc.

Pour déterminer plus précisément la position des fractures ou horizons porteurs de l'eau contaminée, il est possible d'échantillonner sur des sections de puits isolées à l'aide d'obturateurs (*packers*).

Figure 5. Puits d'observation avec trou ouvert dans le roc



2.1.1.6 Puits d'exploration ou tranchée

Le prélèvement d'un échantillon d'eau dans le fond d'une excavation ne permet pas une détermination représentative des conditions *in situ* de l'eau souterraine. Pour cette raison, cette méthode n'est pas acceptable pour déterminer la qualité de l'eau souterraine. Elle peut cependant être envisagée pour vérifier si la qualité de l'eau d'excavation respecte les normes de rejet, lors de travaux de réhabilitation par exemple. L'aménagement d'un puits d'observation dans le fond d'une excavation peut être utilisé seulement pour les mesures de profondeur de la nappe d'eau.

2.1.2. Considérations pour le forage

Les opérations de forage perturbent toujours les conditions hydrogéologiques du milieu avoisinant, à un degré variant selon le type d'équipement de forage utilisé (présenté dans le cahier 5, [Échantillonnage des sols](#)) et la nature des matériaux géologiques rencontrés. Aussi, quelle que soit la méthode de forage choisie, certaines précautions doivent être prises pour minimiser l'impact sur les conditions hydrauliques et éviter l'altération physicochimique de l'eau qui sera échantillonnée.

Les sections suivantes présentent les précautions à prendre lors du forage du puits d'observation.

2.1.2.1 Compatibilité des matériaux de l'équipement

Selon le matériau de composition du tubage du puits, il y a possibilité de modification de la chimie de l'eau échantillonnée (ex. : adsorption et désorption sur les surfaces, libération de substance composant la matière, diffusion au travers du matériel). Il est préférable d'utiliser du polychlorure de vinyle dur (non plastifié) plutôt que mou (plastifié) pour limiter les phénomènes d'adsorption-désorption de certains contaminants (ex. : hydrocarbures aromatiques et aliphatiques). Il est également recommandé de favoriser l'emploi de polyéthylène haute densité (HDPE) plutôt que celui de basse densité qui est plus mou. Il faut éviter l'acier dans les eaux souterraines trop corrosives qui provoquera l'augmentation de certains métaux (ex. : Fe, Mn), la réduction de composés azotés (ex. : NO₂, NO₃), l'augmentation du pH et la dégradation des éthènes chlorés.

2.1.2.2 Supervision rigoureuse

Chacune des étapes entourant la réalisation d'un forage, l'aménagement d'un puits d'observation ou l'installation d'équipement d'échantillonnage est susceptible d'influencer la représentativité et l'intégrité des échantillons. Le responsable du forage des puits et de l'installation des instruments d'échantillonnage doit assurer une surveillance des travaux et vérifier que ses directives sont suivies.

2.1.2.3 Propreté de l'équipement

La vérification de la propreté des instruments de forage est nécessaire avant de commencer une campagne de forage. Afin d'éviter toute contamination croisée, les tiges, les tubages et les tarières doivent être nettoyés adéquatement. Ce nettoyage doit être effectué sous pression ou à la vapeur. L'usage d'eau chaude et d'un savon sans phosphate est fortement recommandé. À noter que, en particulier pour un nettoyage ayant lieu sur le site, les eaux de lavage devront être récupérées (se référer à la section 2.1.2.8). Il faut s'assurer de plus que, tout au long de la campagne de forage, toutes les pièces d'équipement sont protégées des sources potentielles de contamination.

L'ordre d'exécution des forages devrait s'effectuer de la zone la moins contaminée à la zone la plus contaminée lorsque la source de contamination est connue. Il est nécessaire de laver l'équipement de forage entre deux forages sur un même site, en particulier dans le cas où le forage précédent a été effectué dans une zone dont on ne connaît pas l'état de contamination. Les équipements tels que les carottiers, cuillères fendues ou autres doivent être nettoyés entre chaque prélèvement. En cas de doute, des blancs de lavage devront être faits.

Soulignons que l'équipement d'échantillonnage doit être décontaminé tel que décrit dans le cahier 1, [*Généralités*](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*.

2.1.2.4 Huiles lubrifiantes hydrauliques et produits pétroliers

Les huiles lubrifiantes et les graisses couramment utilisées par les foreurs pour minimiser la corrosion et l'usure de leur équipement sont une source potentielle de contamination puisqu'elles peuvent se mélanger à l'eau souterraine. Pour certains composés organiques, les critères de contamination et de potabilité sont de l'ordre du µg/l. Il suffit donc de faibles quantités d'huile pour retrouver dans l'eau des concentrations de cet ordre. De plus, rappelons que les huiles lubrifiantes peuvent contenir des concentrations non négligeables d'éléments traces métalliques et de COV.

Il est difficile d'éviter complètement l'utilisation des huiles lubrifiantes et des graisses lors des opérations de forage. Cependant, il est possible de mentionner aux opérateurs qu'une utilisation modérée et précautionneuse de ces produits est nécessaire afin de minimiser le risque de contamination de l'eau souterraine. De plus, l'utilisation d'huiles et de graisses d'origine végétale ou de lubrifiant à base de détergent liquide (savon à laver la vaisselle) peut, dans certains cas, remplacer avantageusement les lubrifiants à base d'hydrocarbures. Il s'agira néanmoins de s'assurer que le produit en question n'interagit pas avec les paramètres recherchés et qu'il est biodégradable et sans phosphates. Il faudra également joindre la fiche signalétique au rapport ou effectuer une analyse chimique du lubrifiant lorsque l'information n'est pas disponible ou est incomplète.

Les huiles hydrauliques d'origine végétale peuvent parfois être requises pour certains travaux en milieu sensible comme les lacs, les rivières, etc., pour limiter la contamination du milieu en cas de bris d'équipement.

Le fonctionnement de l'équipement de forage nécessite l'utilisation de carburants. Des précautions doivent être prises lors de la manipulation de ces produits pétroliers afin d'éviter leur introduction dans l'environnement et dans les échantillons. Un plan d'intervention et de mesures d'urgence devrait être préparé et présenté à tous les intervenants avant le début des travaux. Des mesures immédiates doivent être prises en cas d'incident et tout incident doit être documenté. Selon la gravité de l'incident, une analyse du carburant et du sol devrait être envisagée. L'utilisation de foreuses fonctionnant au propane ou à l'électricité peut être une solution de remplacement.

2.1.2.5 Fluides de forage

Tous les fluides de forage représentent une source potentielle de contamination de l'eau souterraine. Pour cette raison, il est recommandé de choisir autant que possible les méthodes de forage ne nécessitant pas l'utilisation de fluides de forage.

Lorsque c'est inévitable, on utilise certaines méthodes de forages qui emploient des fluides pour refroidir les pièces en mouvement, ramener les résidus de forage à la surface et retenir les parois du forage. Ces fluides peuvent être de l'eau, un mélange d'eau et de bentonite, une boue organique, un mélange d'eau et de polymères organiques synthétiques ou une poudre à base de bactéries⁶. Si l'on doit utiliser un fluide de forage, il conviendra d'en prélever un échantillon pour l'analyser afin de s'assurer qu'il n'interagit pas avec les paramètres d'intérêts et également de joindre, au besoin, la fiche signalétique au rapport. L'usage des boues organiques à base de polymère n'est pas recommandé puisque ces boues peuvent libérer des quantités importantes de composés organiques dans l'eau souterraine et peuvent favoriser l'adsorption de contaminants organiques et de métaux.

Dans les cas où l'utilisation d'eau comme fluide de forage ne peut être évitée, il faut s'assurer que les foreurs utilisent l'eau la plus propre possible en documentant sa provenance et en l'entreposant dans un réservoir propre. Rappelons que l'utilisation d'eau, quelle que soit sa composition, comme fluide de forage entraîne la propagation de celle-ci dans des zones perméables et, par conséquent, la dilution de la concentration pendant une période indéterminée de certains paramètres d'une eau potentiellement contaminée.

Certaines foreuses nécessitent l'utilisation de l'air plutôt que de l'eau ou des boues de forage. Le contact de l'eau souterraine avec l'air peut occasionner des problèmes de contamination ou altérer temporairement les conditions physicochimiques de l'eau souterraine. En effet, l'air peut transporter des COV, des substances étrangères (poussières, huiles lubrifiantes) et oxyder certains composés chimiques tels les nitrites ou les sulfures. Le contact de l'air avec l'eau peut aussi libérer des COV contenus dans l'eau souterraine. Pour limiter l'apport de substances étrangères, des filtres spéciaux peuvent être installés sur les compresseurs d'air. Il faut donc s'assurer que de tels filtres sont présents et efficaces. Un agent moussant est parfois mélangé avec l'air afin d'aider à la récupération de résidus de forage. Cette mousse peut s'infiltrer dans la formation et contaminer l'eau souterraine.

⁶ Les boues à base de bactéries (type RevertMD) sont liquéfiées après forage par une solution acide ou chlorée. De telles boues peuvent être utilisées pour des raisons particulières qui doivent être documentées.

2.1.2.6 Création de chemins d'écoulement préférentiel et transfert vertical de la contamination

Les vibrations causées par l'équipement et les différentes opérations peuvent altérer la structure du sol, créer ou ouvrir des fissures et des plans de faiblesse, et ainsi causer des chemins d'écoulement préférentiel de l'eau. Cela modifie les conditions hydrauliques autour du puits. Aussi, dans la mesure du possible, il faut minimiser les vibrations, la fracturation et l'introduction de fluides sous haute pression pour éviter de modifier le profil de la contamination près du puits.

De plus, en cours de forage, il peut se produire des mouvements ascendants ou descendants de l'eau souterraine et de contaminants liquides (LID, LIL) le long des équipements de forage. Ces mouvements verticaux de fluide peuvent faire paraître une zone non contaminée comme étant contaminée et vice versa. Le développement du puits (se référer à la section 2.1.4) minimisera ces effets.

2.1.2.7 Interception d'une couche de liquide immiscible

Les liquides immiscibles sont dits légers (LIL) ou denses (LID) selon que leur masse volumique est inférieure ou supérieure à celle de l'eau.

Une attention particulière doit être portée en cours de forage lorsque la présence de liquides en phase immiscible est suspectée, détectée ou observée. Normalement, lorsque la présence de LID est suspectée, on ne devrait pas forer au sein de la zone. Le risque de percer accidentellement un mince horizon servant de barrière capillaire, donc permettant une accumulation de LID, est bien réel. Avant de se risquer, il faut disposer d'une excellente connaissance de la géologie du site et faire preuve d'une grande prudence. Il faut absolument éviter toute migration accidentelle de LID en profondeur, consécutive au forage.

Il faut éviter d'étendre la contamination en particulier :

- i) par la création d'écoulement préférentiel via le forage entre des couches naturellement isolées;
- ii) en entraînant en cours de forage des contaminants plus profondément dans un aquifère avec de l'équipement souillé lors du forage à travers un horizon contaminé;
- iii) en propageant le contaminant lors de l'opération de développement.

Les LIL forment une phase flottante à la surface de la nappe d'eau et un panache de contaminants dissous en dessous de celle-ci, transportés par l'écoulement de l'eau souterraine. Pour caractériser ce panache, les crépines des puits d'observation devront donc être installées dans la partie saturée supérieure de l'aquifère. Pour déterminer l'épaisseur de la phase flottante (en particulier pour l'élaboration du programme de restauration du lieu), la crépine doit être positionnée de façon à ce que le niveau d'eau et le niveau du LIL puissent fluctuer dans la crépine malgré les fluctuations saisonnières du niveau de l'eau souterraine et de l'épaisseur de la frange capillaire.

Pour leur part, les LID migrent vers le bas en s'étalant dans le milieu sous forme de gouttelettes immiscibles prisonnières de la formation géologique. L'écoulement des LID se poursuit jusqu'à ce que le volume émis soit entièrement contenu sous forme résiduelle ou jusqu'à la rencontre d'un milieu de plus faible perméabilité. La topographie de la couche de faible perméabilité affecte plus la migration des LID que l'écoulement de l'eau souterraine. La migration du LID peut donc se faire à une vitesse différente (parfois supérieure) à celle de l'écoulement de l'eau et parfois à contre-courant. Toute la zone affectée par les LID peut être la source à long terme d'un panache de contaminants solubilisés. Il faut donc que la conception du puits d'observation tienne compte de ces particularités si un des objectifs est la mesure de la profondeur ou de l'épaisseur des LID. En particulier, le puits d'observation doit se terminer au niveau de la couche limitant l'extension verticale du LID (ni au-dessus, ni en dessous) et le sable filtrant ne doit pas être présent sous la crépine. Il faut être conscient lorsqu'on fore dans des formations contaminées par des LID, d'éviter de créer un chemin préférentiel d'écoulement pouvant propager les contaminants vers le bas.

Les détails pour la mesure du niveau et de l'épaisseur des liquides immiscibles sont présentés à la section 3.3 de ce document, ceux concernant l'échantillonnage sont reportés à la section 5.4.

2.1.2.8 Résidus de forage

Dans le souci de contrôler les facteurs qui peuvent influencer la qualité des échantillons, l'utilisation des résidus de forage ou de tout autre matériau « tout venant » pour construire le puits d'observation est à proscrire. Toute dérogation à cette règle devrait être bien documentée. Cette pratique pourrait entre autres déplacer des contaminants situés en surface ou dans le sol vers l'horizon à caractériser et ainsi influencer les résultats d'analyses, en plus d'étendre la contamination. De plus, l'utilisation de « tout venant » dans la partie supérieure d'un forage pourrait favoriser dans certains cas la création de chemins d'écoulement préférentiel.

Afin d'éviter une contamination du milieu et des futurs échantillons, les résidus de forage, l'eau extraite en cours de forage ainsi que l'eau extraite lors du développement ou de la purge éventuels doivent être gérés avec précautions.

La procédure globale de gestion des résidus doit être adaptée au cas par cas et appliquée de façon à respecter la réglementation en vigueur (se référer à l'annexe 1 du [Guide de caractérisation des terrains](#)). En particulier, les résidus de forage, pour lesquels il y a présomption de contamination, doivent être entreposés de façon sécuritaire, jusqu'à ce que les résultats de l'analyse des sols soient disponibles. Si ces derniers montrent que les résidus de forage ne sont pas contaminés, ils peuvent être laissés sur place sans traitement. Dans le cas contraire, ils devront être gérés de la même façon que les sols contaminés. Si cela est nécessaire, il faudra également prévoir le stockage des eaux résultantes du forage (boues décantées), du développement ou de la purge jusqu'à ce que les résultats d'analyses soient disponibles. Les eaux dont les contaminants sont tous normés dans la réglementation municipale pourront être évacuées vers les égouts municipaux à la condition qu'aucun dépassement de norme de rejet ne soit observé. Pour être rejetées sans traitement dans l'environnement, ces eaux doivent respecter les critères ministériels de qualité de l'eau de surface. Pour tous les autres cas, elles devront être traitées ou disposées dans un lieu autorisé, à moins d'un avis du MDDEP sur un autre mode de gestion.

2.1.3. Aménagement de surface

La partie supérieure des puits d'observation doit être protégée contre l'intrusion de débris, les bris ou le vandalisme à l'aide d'un tubage protecteur avec couvercle cadenassé ou scellé. Selon l'emplacement des puits (rues, stationnements, stations-service, champs, etc.), le tubage protecteur se termine soit au niveau du sol, soit au-dessus. Au besoin, il devra être protégé par un ou des butoirs, être muni d'un drapeau ou de tout autre moyen qui permet de le localiser rapidement et de le protéger. Les puits d'observation doivent être identifiés adéquatement pour éviter toute confusion avec d'autres installations souterraines.

Lorsque la structure protectrice est installée sous le niveau du sol, elle doit être étanche à l'eau (figure 2). Il est recommandé dans ces cas d'utiliser un bouchon étanche sur le tubage. De plus, un joint d'étanchéité doit être placé entre le couvercle et le tubage protecteur.

Lorsque la structure protectrice se poursuit au-dessus du sol, il est recommandé de mettre en place un monticule en surface autour du puits pour éviter l'accumulation et l'infiltration de l'eau de ruissellement.

2.1.4. Développement d'un puits d'observation

Le développement d'un puits d'observation sert d'abord à éliminer les particules les plus fines se trouvant au niveau de la crépine et du massif filtrant ou du roc. Il sert aussi à retirer le fluide introduit lors du forage (le cas échéant), ce qui devrait permettre d'éviter l'interférence du fluide sur les résultats des analyses de qualité de l'eau. Une attention toute particulière doit donc être portée lorsqu'une quantité importante de liquide de forage a été injectée lors de la réalisation du puits. De plus, le développement permet de restaurer partiellement ou en totalité les propriétés hydrauliques de la formation qui ont été altérées durant le forage et d'améliorer celles du massif filtrant, donc la circulation de l'eau entre la formation géologique et le puits.

Il est recommandé d'attendre au moins 24 heures après l'installation du scellement du puits (lorsque les bouchons scellants sont dans la nappe d'eau) avant de procéder à son développement, afin de s'assurer de ne pas nuire à l'intégrité de la bentonite et du coulis ciment-bentonite. Le développement doit se poursuivre jusqu'à l'obtention d'une eau visuellement exempte de particules en suspension (photo 1) ou, à tout le moins, dont la turbidité est stable. La durée du développement va varier en fonction de nombreux facteurs, entre autres la méthode de développement choisie. L'eau pompée doit être gérée de façon sécuritaire (se référer à la section 2.1.2.8).

L'opération doit être menée avec beaucoup de précautions lorsque le puits d'observation a été installé dans des formations avec une forte proportion d'argile, de silt ou de sable très fin. Un développement trop vigoureux peut accroître la turbidité de l'eau sans amélioration de l'écoulement de l'eau vers le puits.

Il faut également garder en mémoire qu'un développement trop vigoureux peut être à risque pour l'intégrité du scellement. En particulier si aucun massif filtrant n'a été installé au niveau de la crépine, selon la dimension des fentes de cette dernière, le développement peut entraîner une plus grande partie du matériau autour de la crépine.

Durant la phase de développement, les caractéristiques de rabattement et de remontée du niveau de l'eau doivent être notées. Ces informations serviront à choisir la méthode de purge et d'échantillonnage la plus pertinente (se référer à la section 3). Le retour à l'équilibre de la nappe (retour au niveau statique et à l'écoulement naturel initiaux et équilibre géochimique) doit être atteint avant de procéder à l'échantillonnage. Ce retour à l'équilibre peut prendre plusieurs jours et même davantage selon les caractéristiques de la formation géologique interceptée (porosité, perméabilité, gradient hydraulique, fracturation, etc.). Le responsable de la campagne d'échantillonnage doit juger selon la situation du délai d'attente adéquat avant d'échantillonner.

Les principales méthodes de développement des puits d'observation sont le pompage et le pistonnage. L'utilisation du tube à clapet comporte un risque plus élevé de mener à un développement incomplet si sa durée est insuffisante; il est toutefois moins à risque pour l'intégrité du scellement. Les méthodes de développement basées sur l'introduction de substances chimiques sont à proscrire.

Photo 1. Constat visuel de l'absence de particules en suspension (MDDEP, 2006)



2.1.4.1 Pistonnage

Cette opération consiste à déplacer un piston dans le puits afin d'alterner des mouvements d'aspiration et de poussée de l'eau au niveau de la crépine. Pour de courtes crépines complètement immergées (moins de 1,5 m de longueur), il n'est pas nécessaire d'opérer le piston directement à l'intérieur de la crépine : un pistonnage juste au-dessus devrait s'avérer suffisant. Pour des crépines plus longues ou partiellement immergées, le piston est descendu jusqu'au sommet de la crépine ou de la nappe et actionné de haut en bas. L'intervalle d'action est ensuite graduellement abaissé. Périodiquement pendant le pistonnage, les particules fines et le sable entraînés dans la crépine doivent être enlevés par pompage, afin d'éviter le blocage du piston et d'améliorer l'efficacité de la méthode. De plus, l'accumulation de sédiments augmente les risques de bris.

L'agitation du piston doit être lente au début et augmenter progressivement pendant le développement. Une agitation trop vigoureuse peut entraîner le bris de la crépine ou du tubage. L'agitation manuelle ou avec un bras mécanique est appropriée pour la plupart des puits d'observation dont le tubage n'excède pas 100 mm de diamètre. Cette méthode est similaire à celle qui est utilisée pour le développement des puits en acier à l'aide d'une foreuse à câble.

2.1.4.2 Pompage

La méthode de pompage consiste à pomper l'eau du puits à un débit supérieur à ce qu'il peut fournir. La pompe est ensuite arrêtée et l'eau remonte à son niveau initial dans le puits. Le cycle est répété plusieurs fois, jusqu'à ce que l'eau soit libre de sédiments. L'exercice doit démarrer avec un débit réduit qui est augmenté graduellement afin d'éviter un blocage de la pompe dû aux particules ou encore une altération du puits. Un effet de piston à l'intérieur de la crépine peut aussi être produit lorsque la pompe n'a pas de soupape de retenue d'eau. Cela est possible en actionnant et en arrêtant la pompe de façon périodique.

2.1.4.3 Combinaison de pompage et pistonnage

Il peut être possible de pistonner et de pomper le puits simultanément. Le développement sera alors plus efficace, car les sédiments seront évacués au fur et à mesure qu'ils seront attirés dans le puits par l'action du piston. Les pompes à soupape munies ou non d'un anneau de développement sont souvent utilisées à cet effet.

2.1.4.4 Émulseur à air

Il est déconseillé d'utiliser les systèmes à jet d'air filtré puisque ces méthodes peuvent modifier les propriétés physicochimiques de l'eau souterraine autour du puits d'observation. Cependant, l'utilisation d'un émulseur à air comprimé à double tube peut être envisagée. Le système doit alors être réglé afin d'éviter toute circulation d'air en dehors des tubes et en particulier au contact direct de la crépine. Il est possible de voir un schéma explicatif du système dans la norme ASTM D5521-05.

2.1.4.5 Méthode utilisant un jet d'eau

Il est déconseillé d'utiliser les systèmes à jet d'eau puisqu'ils peuvent modifier les propriétés physicochimiques de l'eau souterraine autour du puits d'observation, particulièrement lorsque la crépine capte l'eau souterraine d'un horizon peu perméable. Si cette technique est utilisée (comme dans le cas de forage à l'eau propre), il faut d'abord évacuer l'eau de forage ou l'eau de développement avant de prélever un échantillon d'eau dans la strate visée par le puits.

2.1.5. Abandon d'un puits

Par mesure de précautions, lorsqu'un puits d'observation n'est plus utilisé, il devrait être obturé. En effet, le puits peut favoriser la migration d'une contamination se trouvant à la surface du sol à proximité de l'ouverture du puits ou encore une migration entre deux horizons *a priori* hydrauliquement indépendants. Il peut donc devenir une menace pour la qualité des eaux souterraines. Un schéma d'obturation d'un puits tubulaire est proposé dans le [Guide d'interprétation technique du règlement sur le captage des eaux souterraines](#).

2.2. Préparation de l'échantillonnage

Cette section traite des précautions qui doivent être prises préalablement ou parallèlement à l'échantillonnage afin de s'assurer de la qualité des échantillons prélevés et de permettre l'interprétation des analyses subséquentes.

De façon générale, si l'on utilise un seul équipement d'échantillonnage, il est souhaitable de commencer par échantillonner l'eau des points susceptibles d'être les moins contaminés et de terminer par l'eau des points susceptibles d'être les plus contaminés. Cet ordre d'échantillonnage permet de minimiser les risques de contamination croisée d'un point à l'autre.

Parfois, l'emplacement exact de la source de contamination n'est pas connu. Il devient alors difficile d'établir un ordre d'échantillonnage adéquat. Les résultats de la première campagne d'échantillonnage permettront de repérer les puits d'observation dont l'eau est la plus contaminée et d'établir un ordre de prélèvement pour les échantillonnages subséquents.

L'ordre d'échantillonnage a moins d'importance lorsque des systèmes d'échantillonnage dédiés sont utilisés. De plus, en procédant avec le même matériel pour purger et pour échantillonner, les risques de contamination croisée sont réduits.

2.2.1. Lavage des équipements

La procédure de lavage est directement dépendante de la nature des paramètres recherchés. Elle doit permettre l'analyse des échantillons aux concentrations concernées sans risque d'apporter de faux positifs aux résultats analytiques. En ce sens, les procédures peuvent varier, mais doivent réduire l'apport de contaminants exogènes à des niveaux inférieurs aux limites de détections pour les analytes d'intérêt. Les protocoles doivent être adaptés pour les campagnes d'échantillonnage subséquentes si des résultats positifs pour les blancs de lavage ou de terrain sont notés et les interprétations des analyses doivent en tenir compte. La décision de reconduire ou non la campagne en cours relève du jugement professionnel et des conséquences éventuelles sur l'objectif du mandat. En effet, la représentativité des échantillons prélevés peut être compromise si les procédures de nettoyage sont inadéquates. Le lecteur doit se référer au cahier 1, [*Généralités*](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*, afin de se familiariser avec les principes fondamentaux à respecter lors du lavage des équipements d'échantillonnage.

Le nettoyage peut être fait sur le terrain ou, dans certains cas, en laboratoire. Cependant, il est suggéré de procéder périodiquement à un nettoyage complet en laboratoire où il est plus facile de désassembler complètement l'équipement, où les périodes de trempage peuvent être plus longues et où la gestion des eaux de lavage est plus simple.

Pour de l'équipement non dédié, il est recommandé d'utiliser dans la mesure du possible un équipement d'échantillonnage qui peut être facilement désassemblé et nettoyé. L'équipement doit être inspecté avant chaque campagne. Il doit être exempt d'altérations, de taches, de moisissures et de sédiments adhérents. Si c'est le cas, l'équipement doit être remplacé. Les joints et tous les raccords doivent être en bon état et il ne doit pas y avoir de pièces manquantes. On doit s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement avant de se rendre sur le terrain.

Les préleveurs n'ont jamais à laver ou à rincer les contenants d'échantillons s'ils sont fournis par les laboratoires, qui ont la responsabilité de fournir des contenants exempts de contaminants. Les responsables de l'échantillonnage doivent cependant prendre le soin de bien préciser leurs besoins au représentant du laboratoire, notamment pour des contenants nécessitant un traitement exhaustif et particulier. Par exemple, pour procéder à l'analyse d'un échantillon composé ou d'un échantillon filtré, il peut être requis d'utiliser des contenants intermédiaires. Idéalement, dans un tel cas, des contenants intermédiaires doivent être prévus pour chaque point d'échantillonnage, faute de quoi les contenants intermédiaires devront être nettoyés selon les recommandations prévues dans le cahier 1, [*Généralités*](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*.

2.2.2. Agents de conservation dans les contenants d'échantillonnage

Selon le laboratoire et les informations qu'il a reçues lors de la commande, les contenants sont fournis avec ou sans agents de conservation. Dans le cas des contenants sans agent de conservation, il est possible d'avoir à en ajouter sur le terrain. Se référer au fascicule [*Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines*](#) pour les quantités d'agents à utiliser. Cet ajout comporte certains risques auxquels il faut être attentif (débordements, bouteilles brisées, dosage erroné, oublis etc.). Également, une attention particulière doit être apportée lors de l'échantillonnage pour ne pas contaminer le matériel par les agents de conservation présents dans les bouteilles. Il est recommandé de toujours remplir avec l'eau échantillonnée les contenants sans agent de conservation en premier⁷ et de conserver la tubulure à l'extérieur du contenant. Dans le cas où l'agent de conservation touche la tubulure, il faut couper ou décontaminer la partie qui a été en contact. Le remplacement de la tubulure doit être envisagé dans la révision de l'ensemble de la procédure si des résultats non prévus sont obtenus.

Si des agents de conservation sont déjà dans les contenants, une attention particulière doit être apportée lors de l'échantillonnage pour ne pas remplir les contenants jusqu'au débordement, de façon à éviter la perte de l'agent de conservation. La vérification du pH des contenants dont les agents de conservation sont ajoutés sur le terrain doit être effectuée après remplissage afin d'adapter la quantité d'agent de conservation si cela est nécessaire. Ces informations devraient être documentées et transmises au laboratoire. Pour les COV, étant donné que les bouchons sont semi-perméables, il faut s'assurer de ne pas les entreposer avant échantillonnage dans un endroit susceptible de les contaminer. Un blanc de transport est nécessaire pour ce paramètre afin de valider cet aspect.

Par précaution, on doit éviter de mettre en contact les contenants de prélèvements avec une surface ou un environnement contaminé ou sur le sol. Les agents de conservation peuvent également constituer une source de contamination potentielle puisqu'ils peuvent contenir certains analytes recherchés. Le fascicule [*Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines*](#) donne une liste complète des agents de conservation utilisés.

2.2.3. Planification de la conservation et du transport des échantillons

Une fois prélevés, les échantillons d'eau souterraine devront être conservés selon les indications du fascicule du [*Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines*](#). Ils devront être emballés adéquatement pour éviter les bris lors du transport, puis transportés au laboratoire dès que possible en respectant les délais indiqués dans ce fascicule. L'équipement et les dispositions nécessaires devront être planifiés en conséquence.

⁷ Dans les cas où il y a plusieurs bouteilles avec agents de conservation, l'ordre à suivre pour le remplissage des contenants devrait être demandé au laboratoire.

2.2.4. Considérations saisonnières

Les protocoles d'échantillonnage prévoient souvent plusieurs campagnes par année et idéalement tiennent compte des variations saisonnières des conditions hydrogéologiques : nappe en conditions de recharge et, au contraire, en basses eaux ou encore suivi établi pour des contaminations saisonnières (agricoles par exemple).

Il faut donc s'assurer que la conception des puits et le protocole d'échantillonnage seront adéquats pour toutes les périodes de l'année visées par une campagne.

En particulier, il faut tenir compte que, pendant certaines parties de l'année, les puits peuvent être difficilement accessibles. L'inaccessibilité peut être causée en hiver par le couvert de neige ou de glace, ou le gel de l'eau dans la partie supérieure du puits. Dans certains cas, les puits peuvent être au contraire plus difficilement accessibles au printemps ou à l'été (milieux humides).

Certaines méthodes d'échantillonnage sont également moins adaptées selon la température : la méthode de purge et d'échantillonnage à faible débit, par exemple, sera rendue plus difficile par grand froid (risque accru de gel si on n'utilise pas d'abri chauffé). Il faut éviter d'avoir à changer de méthodologie d'échantillonnage en cours de suivi (se référer à la section 4.1).

2.2.5. Altérations possibles de l'échantillon

La représentativité de l'échantillon peut être altérée lors de son prélèvement ou de son transport.

D'abord, la présence de particules fines en suspension augmente la turbidité et peut avoir un impact sur l'intégrité de l'échantillon. En effet, certains contaminants font partie intégrante de la structure cristalline des particules ou s'adsorbent dessus, mais ne sont potentiellement pas mobiles. De plus, certains agents de conservation peuvent dissoudre les particules fines. Les concentrations analysées en contaminants peuvent alors ne pas être représentatives de la qualité réelle des eaux souterraines (section 3.7).

Certains paramètres peuvent varier lorsque les conditions de température et de pression changent. Il est à noter que les changements de pression produits par la remontée en surface de l'échantillon à partir de grandes profondeurs sont substantiels et modifient les conditions d'équilibre. Il est important, dans tous les cas, de suivre des précautions strictes pour le prélèvement et la conservation des échantillons jusqu'à l'analyse. En particulier, il faut s'assurer que les échantillons soient conservés dans un environnement à environ 4 °C jusqu'à leur arrivée au laboratoire (se reporter au fascicule [Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines](#)).

Une manipulation incorrecte présente un risque de contamination (contact de l'échantillon avec des poussières, les mains, le produit réactif d'un autre échantillon, de l'air pollué, etc.). Par exemple, la moindre souillure sur le col d'une bouteille de prélèvement pour les analyses microbiologiques faussera le résultat.

Pour l'analyse des composés volatils, le contact avec l'air doit être évité le plus possible, tant pour empêcher l'introduction fortuite de contaminants atmosphériques que pour prévenir la fuite des contaminants en solution dans l'eau échantillonnée vers l'atmosphère. La technique de prélèvement doit donc minimiser le rabattement dans le puits et le contact de l'eau échantillonnée avec l'air.

Une autre cause de contamination peut provenir du mauvais choix du matériel d'échantillonnage ou de transport. Des phénomènes d'adsorption (par exemple, des substances organiques sur le PVC) ou de relargage (par corrosion par exemple, pour les matières métalliques) peuvent avoir lieu sur les parois du matériel d'échantillonnage. Il est donc essentiel de choisir le matériel adapté en fonction des paramètres d'intérêt (se reporter au fascicule [*Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines*](#)).

Également, il est à noter qu'il faut protéger de la lumière les échantillons lorsque les paramètres d'intérêt sont photosensibles (en particulier les HAP ou les traceurs fluorescents).

2.3. Santé et sécurité

Cette section ne traite que deux aspects propres aux problématiques de santé et sécurité : la présence de gaz en cours de forage ou dans les puits ainsi que la gestion responsable des résidus. En effet, les généralités concernant les mesures de sécurité dont il faut tenir compte lors de l'échantillonnage de l'eau souterraine sont décrites en détail dans le cahier 1, [*Généralités*](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*. Il serait important de lire cette section avant d'entreprendre tous travaux d'échantillonnage.

De plus, si l'on suspecte la présence de COV dans l'eau, il est important que des précautions soient prises pour limiter l'exposition des voies respiratoires aux composés volatilisés.

2.3.1. Présence de gaz dans un puits d'observation

Cette section ne concerne pas l'échantillonnage des gaz, mais plutôt de la problématique de la présence de gaz dans un puits d'observation dédié à l'échantillonnage de l'eau souterraine.

Si l'on suspecte la présence de gaz, le tubage doit être ventilé afin de prévenir l'accumulation potentielle de gaz et de permettre au niveau d'eau dans le puits de suivre les variations de pressions atmosphérique et hydraulique. Afin d'assurer l'étanchéité du puits à l'infiltration d'eau malgré l'ouverture de ventilation, le tubage protecteur devra nécessairement se terminer au-dessus du niveau du sol (voir section 2.1.1.1). Il est à noter qu'en période hivernale la formation de glace par condensation ou tout autre phénomène peut obstruer l'ouverture de ventilation et ainsi favoriser l'accumulation de gaz.

2.3.2. Vapeurs organiques – gaz explosifs

Par mesure de sécurité, pour orienter les opérations de forage et pour donner un aperçu des conditions environnementales de l'aquifère, les concentrations en gaz explosifs (méthane), sulfure d'hydrogène et vapeurs organiques peuvent être estimées au fur et à mesure que les travaux progressent. Ces mesures peuvent aussi être réalisées par précaution avant la purge de l'eau. Les mélanges de gaz explosifs peuvent être décelés à l'aide d'explosimètres (voir le cahier 1, [*Généralités*](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*). Par ailleurs, la mesure des concentrations en vapeurs organiques totales est possible au moyen d'appareils de type FID, PID (par ex. : MiniRae^{MD}, Hnu^{MD}, Photovac^{MD}) et OVA. Lorsqu'il est requis, le dosage de chacun des composés organiques sur le terrain requiert un chromatographe en phase gazeuse portatif.

Ces appareils sont très sensibles et difficiles à étalonner. Ils doivent être utilisés par des personnes qualifiées possédant de l'expérience dans ce domaine pour produire des résultats concluants.

2.4. Planification de la documentation sur le terrain

Toutes les étapes de la campagne d'échantillonnage doivent être consignées de façon appropriée. La négligence à reporter certaines informations peut nuire grandement à l'interprétation des résultats de la campagne et avoir une incidence sur leur crédibilité.

Les données de terrain compilées durant chaque étape d'un projet d'échantillonnage des eaux souterraines doivent refléter les conditions de terrain avec précision afin de permettre une interprétation juste des données recueillies et de tracer un portrait environnemental représentatif.

Le responsable de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines doit bien planifier les travaux de terrain à réaliser, indiquer les méthodes de travail à suivre, indiquer les données qui sont à recueillir et interpréter celles-ci. La détermination du niveau de détail à fournir pour chacune des étapes d'un projet fait partie intégrante de sa responsabilité.

2.4.1. Programme de travail

Peu importe le type et l'importance du projet, le responsable de la campagne d'échantillonnage devrait produire un programme de travail détaillé des travaux de terrain à réaliser, incluant la description des objectifs du projet et toute autre information pertinente au déroulement des travaux de terrain. Ce programme de travail devrait être remis au responsable des travaux de terrain. Il constitue également un document de référence pour la rédaction du rapport d'interprétation.

2.4.2. Notes de terrain

L'utilisation de formulaires en chantier ou d'un cahier de notes de terrain est recommandée, car ils permettent de compiler de manière organisée et complète l'ensemble des données recueillies. Ils peuvent être adaptés en fonction du mandat à réaliser.

2.4.2.1 Rapport journalier

Les travaux de terrain sont réalisés selon le programme de travail. Le rapport journalier devrait être rédigé dans le détail pour permettre de suivre chronologiquement chacune des étapes des travaux réalisés.

2.4.2.2 Rapport de sondage et schéma d'aménagement d'un puits d'observation

La méthode de forage, la description stratigraphique et le détail de chaque aménagement (en particulier les élévations du sol et du sommet du tubage, ainsi que les quantités des matériaux utilisés et le calcul des volumes correspondants) doivent être décrits dans un rapport de sondage pour permettre de synthétiser les informations et faciliter l'interprétation des données recueillies. L'information résumée dans les rapports de sondage est par la suite reprise lors de la rédaction du rapport. Un puits d'observation qui n'est pas documenté n'est pas une source fiable de données.

2.4.2.3 Documentation du développement d'un puits d'observation

À la suite de l'aménagement de puits d'observation et avant de procéder à la première campagne d'échantillonnage de l'eau souterraine, les puits d'observation sont développés. Puisque les données recueillies (niveau d'eau, rapidité de remontée, etc.) lors du développement d'un puits d'observation sont utilisées pour planifier correctement l'échantillonnage de l'eau souterraine, toutes les étapes du développement devraient être bien documentées et devraient figurer dans le rapport final.

2.4.2.4 Documentation des tâches préparatoires

Préalablement à l'échantillonnage de l'eau souterraine, différentes tâches préparatoires doivent être accomplies afin de décontaminer les équipements et le matériel, d'étalonner les équipements et d'inspecter l'état de chaque puits d'observation. Chaque tâche devrait être documentée, car un manquement à ces tâches peut avoir des répercussions sur la qualité et la crédibilité des résultats analytiques.

3. ÉCHANTILLONNAGE

Ce chapitre présente les méthodes d'échantillonnage que le Ministère considère comme appropriées pour prélever des échantillons les plus représentatifs possible de leur milieu. Cette présentation ne privilégie aucune méthode par rapport à une autre, la méthode la plus appropriée sera à choisir selon le contexte.

Le responsable de la campagne d'échantillonnage devra porter une attention aux particularités de chaque technique pour choisir celle qui est la mieux adaptée au contexte dans lequel seront prélevés les échantillons. Entre autres, il devra considérer le type d'équipements requis, les analytes visés, la sensibilité de ceux-ci à la turbidité de l'eau ainsi que leur sensibilité à la présence d'air et au dégazage, la durée du suivi, les saisons de prélèvement, l'éloignement géographique du lieu d'échantillonnage, la facilité à gérer les eaux de purge, les manipulations requises ainsi que la sensibilité de la calibration des appareils utilisés, s'il y a lieu.

Un mauvais choix de technique pourrait entraîner la nécessité de la remplacer en cours de suivi (se référer à la section 4.1). Une telle situation est à éviter autant que possible, car, aucune technique n'étant équivalente, il se peut que les résultats analytiques d'échantillons prélevés avec l'une diffèrent de ceux qui sont obtenus d'échantillons prélevés avec une autre.

Selon le choix de la méthode d'échantillonnage, le volume d'aquifère sollicité par le prélèvement sera plus ou moins important. Également, le prélèvement n'est pas toujours instantané. L'échantillon sera donc représentatif soit d'une certaine intégration de valeurs sur un volume plus ou moins important d'aquifère sollicité, soit de la qualité de l'eau au point de prélèvement, ou encore soit d'une mesure instantanée, soit d'une intégration de concentrations sur une période donnée. Ainsi, seul un double échantillonnage sur quelques campagnes successives pourrait permettre de savoir s'il y a effectivement une différence dans les résultats obtenus par les deux méthodes et quelle en est la constance (se référer à la section 4.1).

3.1. Inspection du puits

Il faut procéder à l'inspection du puits avant l'échantillonnage. En particulier, il s'agit de s'assurer :

- de l'intégrité structurale du puits (bon état du tubage interne : absence de cassures, de dégradation ou de bris, la fiabilité de l'élévation du point de mesure) et de ses équipements de protection (aucun signe d'actes de vandalisme);
- du bon état de son système d'étanchéité de surface et de l'absence d'eau autour du puits (en particulier lorsque les puits sont installés au ras du sol).

La pertinence de l'échantillonnage doit être remise en question en cas de mauvais état du puits, de déficience dans son système de protection ou d'étanchéité, d'accumulation de particules au fond du puits de même que si un développement microbien est observé.

Un colmatage de la crépine en raison de phénomènes de précipitation, d'ensablement ou d'un développement microbien peut nuire à la circulation d'eau entre l'aquifère et le puits. L'analyse de l'eau échantillonnée risque alors également d'être moins représentative de la qualité de l'eau de l'aquifère. Les méthodes de développement (section 2.1.4) peuvent être utilisées pour tenter de nettoyer le puits. Si le nouveau développement n'est pas efficace, il pourrait être plus indiqué de remplacer le puits plutôt que de poursuivre une réhabilitation difficile et peut-être d'efficacité temporaire. Le nettoyage devrait être fait de façon régulière dans tout puits susceptible de se colmater. Tout comme lors du développement initial, il convient de prévoir un délai suffisant (pour le retour à l'équilibre) entre le nettoyage et la prise d'échantillons.

3.2. Mesures du niveau d'eau

En arrivant sur le terrain, il est préconisé de relever les niveaux d'eau de chacun des puits (photo 2), et ce dans un laps de temps le plus court possible afin de réduire les effets des fluctuations possibles causées par les variations barométriques et de marée. La connaissance, la précision et la fiabilité de l'élévation du point de mesure (habituellement le sommet du tubage menant à la crépine et non le tubage protecteur) sont primordiales pour l'interprétation des conditions hydrogéologiques.

Pour les puits installés au niveau du sol et les puits n'ayant pas d'évent, il est nécessaire de laisser une période de stabilisation (fonction de la perméabilité du milieu capté) avant d'effectuer le relevé des niveaux d'eau. Également, lorsqu'il y a une tubulure à l'intérieur du tubage et qu'il faut l'enlever pour la prise de mesure du niveau d'eau, il faut laisser une période de stabilisation à la nappe avant de prendre la mesure.

Les campagnes d'échantillonnage sont aussi souvent accompagnées de la réalisation d'essais de perméabilité. Pour la réalisation et l'interprétation des essais de perméabilité, il faut se reporter au [Guide des essais de pompage et leurs interprétations](#) et à la norme CAN/BNQ 2501-135. Autant que possible, il faut cependant éviter les essais de perméabilité à niveau descendant, où l'on doit ajouter de l'eau ou un objet étranger dans le puits, et favoriser les essais à niveau ascendant (retrait d'eau).

La qualité de l'information sur les niveaux d'eau est essentielle puisqu'il en sera déduit la direction et la vitesse d'écoulement (et éventuellement leurs variations dans le temps) de l'eau souterraine au site. Les sondes électriques (à enregistrement automatique pour des mesures cadencées) sont les instruments les plus utilisés pour la mesure de la pression d'eau au-dessus du capteur. Avant chaque utilisation, la sonde de même que le ruban gradué utilisé pour les mesures manuelles doivent être nettoyés selon les procédures recommandées dans le cahier 1, [Généralités](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*.

À noter que, dans le cas où il y a présence de phases non miscibles ou lorsque la densité de la colonne d'eau est supérieure à 1 (ex. : eau salée), une charge équivalente en hauteur d'eau doit être calculée pour obtenir le niveau de la nappe. Cependant, par manque de précision, il n'est pas toujours pertinent d'utiliser ces valeurs de charge équivalente pour le calcul de la direction de l'eau hydraulique.

Photo 2. Mesure initiale du niveau d'eau dans le puits d'observation (MDDEP, 2006)



3.3. Mesures des niveaux et des épaisseurs apparentes de LIL et LID

En cas de détection de contaminants, liés aux liquides immiscibles, en concentrations élevées, il peut être nécessaire de repenser la campagne de forage afin d'éviter de créer des voies d'écoulement préférentiel qui pourraient empirer la situation

3.3.1. LIL

Parmi cette catégorie de contaminants se trouve toute une gamme de produits pétroliers, de produits de la distillation de la houille, de produits chimiques et organiques. Les plus familiers sont l'essence, le diesel, les huiles et les carburants pour les produits pétroliers, l'acétone, les alcools et les solvants organiques pour les produits chimiques et organiques. Ces produits sont relativement faciles à détecter et à échantillonner puisque leur migration en phase non miscible se limite à la surface de l'eau souterraine et que certains sont odorants. Leur migration dans la zone non saturée est par contre plus complexe. Plusieurs de leurs composants ont une faible solubilité à l'eau, mais certains composés peuvent être de légèrement solubles (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène par exemple) à très solubles (alcools et solvants par exemple).

Rappelons que, pour détecter la présence de LIL, la crépine du puits d'observation doit être positionnée de part et d'autre du niveau de l'eau dans le puits. L'épaisseur de LIL mesurée dans un puits d'observation est appelée épaisseur apparente, car elle excède généralement de façon notable l'épaisseur réelle de LIL en phase flottante. Différentes méthodes sont couramment employées pour mesurer cette épaisseur. La méthode la plus commune consiste à utiliser une sonde à interface (un signal sonore et visuel différent a lieu lors du contact avec les hydrocarbures puis avec l'eau). Une autre consiste à utiliser des pâtes indicatrices d'hydrocarbures et d'eau. L'utilisation de pâte indicatrice peut permettre de mesurer de plus faibles épaisseurs (quelques millimètres) que certaines sondes, mais les pâtes sont spécifiques à certains produits. Cependant, l'échantillonnage du LIL, s'il y a lieu (se référer à la section 5.4), devrait être effectué après le retour à l'équilibre à la suite de la mesure de l'épaisseur du LIL. Une écope à bille translucide peut aussi être utilisée pour déceler visuellement la présence de LIL, qui est difficilement mesurable parce qu'elle est sous forme de films ou d'irisation.

3.3.2. LID

Les LID incluent les solvants organiques chlorés dont le trichloroéthylène, le tétrachloroéthylène, les trichloroéthanés, le dichlorométhane et les pentachlorophénols, les produits de distillation de la houille tels la créosote et les goudrons, les biphényles polychlorés (BPC), certains pesticides et les mélanges complexes de produits chimiques, pétroliers et des dérivés du charbon. Les LID peuvent être à l'origine de panaches de contamination des eaux souterraines par la dissolution et l'entraînement dans l'eau des composés purs ou présents à saturation résiduelle.

Lorsque des LID sont accidentellement introduits dans le sol, ils migrent dans la zone non saturée et dans la zone saturée jusqu'à ce qu'ils rencontrent une barrière imperméable. Ils deviennent extrêmement difficiles à retracer dans des milieux géologiques complexes, en particulier dans les milieux fracturés. Lorsqu'un LID est présent dans un puits d'observation et selon la nature de ce contaminant, certaines des méthodes de mesure de niveau et d'épaisseur des LIL sont applicables.

Cette mesure ne représente pas nécessairement l'épaisseur réelle. Cependant, lorsque l'objectif est de mesurer le niveau et l'épaisseur des LID (en caractérisation de phase 3 en particulier⁸), les puits d'observation doivent être aménagés de façon à ce que le fond de la crépine corresponde à la surface de l'horizon imperméable (sans la traverser) sur lequel les LID se sont accumulés.

3.4. Équipements

Les appareils de prélèvement peuvent être scindés en deux grandes catégories : les échantillonneurs et les pompes. Ils peuvent être dédiés à un seul puits ou non. La décision d'utiliser un équipement dédié se fait sur la base de plusieurs considérations, dont le nombre prévu de campagnes d'échantillonnage, la difficulté à décontaminer l'équipement choisi, la sensibilité des analytes à la présence de matières en suspension et l'accessibilité des points d'échantillonnage.

L'utilisation d'équipements dédiés permet théoriquement de diminuer le temps de purge, d'obtenir des résultats plus reproductibles et de diminuer le risque de contamination croisée. Idéalement, chaque point d'échantillonnage devrait posséder son propre équipement de prélèvement. Cependant, d'excellents résultats peuvent aussi être obtenus à l'aide d'équipements non dédiés, si les précautions adéquates sont prises lors des manipulations et des opérations de décontamination de l'équipement et de leur utilisation.

Le choix de l'équipement est lié directement au choix de la méthode d'échantillonnage (se référer aux sections 3.5 et 3.6). Il dépend des conditions hydrogéologiques ainsi que des contaminants recherchés : aucun appareil ne peut convenir à toutes les conditions et pour tous les contaminants.

Les recherches et les développements technologiques dans ce domaine évoluent rapidement. Ainsi, régulièrement, de nouveaux appareils de mesure et de prélèvement sont mis en marché. Les paragraphes qui suivent ne visent pas à décrire en détail chacun de ces appareils, mais tentent plutôt d'en fournir les principales caractéristiques. Le lecteur doit se référer aux instructions du fabricant pour les détails de l'utilisation correcte des équipements.

3.4.1. Pompes

Lorsqu'une génératrice ou tout autre engin à moteur est utilisé pour faire fonctionner la pompe, il sera nécessaire de s'assurer que les gaz d'échappement, les poussières ou même l'essence ne viennent pas contaminer les échantillons ni le matériel d'échantillonnage.

3.4.1.1 Pompe à soupape

La pompe à soupape (ou pompe à inertie) fonctionne selon le principe suivant : à la descente, l'eau est poussée à l'intérieur de la tubulure et est piégée lors de la remontée par la valve de retenue fixée à la base de la tubulure. En agitant de haut en bas sans arrêt la tubulure, l'eau remonte jusqu'à la surface.

⁸ C.f. [*Guide de caractérisation des terrains contaminés*](#).

La tubulure consiste, le plus souvent, en un tube flexible de polyéthylène. Il peut aussi être fabriqué de Téflon^{MD} ou d'aluminium. Le polyéthylène de haute densité est préférable à celui de faible densité puisque ce dernier est trop flexible, a tendance à casser facilement et peut adsorber certains types de contaminants organiques.

Les pompes à soupape sont disponibles dans une variété de matériaux et de diamètres. Elles peuvent être utilisées dans des tubages de diamètre aussi petit que 2 cm et présentent plusieurs avantages. Elles sont faciles à utiliser, fiables, portatives et sans entretien particulier. Elles peuvent être utilisées jusqu'à une profondeur de 40 à 60 m. Elles peuvent être utilisées comme système dédié pour la purge et l'échantillonnage des puits.

Les principaux désavantages de la pompe à soupape sont la turbulence créée par l'agitation de la tubulure dans le puits, qui mélange sans arrêt la colonne d'eau dite stagnante (eau contenue dans le tubage plein du puits, au-dessus de la crépine) avec l'eau tirée de l'aquifère ainsi que l'usure de la tubulure sur les parois. Si le puits n'a pas été développé correctement, les valves peuvent bloquer. L'action de déplacement cyclique de la tubulure peut augmenter significativement la turbidité de l'échantillon et provoquer une aération de la colonne d'eau à échantillonner. Les concentrations de certains paramètres peuvent en être affectées, comme les COV, les gaz dissous, les contaminants hydrophobes sensibles aux matières en suspension et les métaux traces. L'influence des facteurs cités ci-dessus sur les résultats doit être convenablement évaluée. Afin de minimiser l'agitation de l'eau lors du prélèvement d'échantillon pour analyse des COV, il est possible d'insérer une tubulure de plus faible diamètre dans la tubulure de la pompe tout en arrêtant de pomper. Cette méthode permet de siphonner, par gravité, un échantillon d'eau qui est moins en contact avec l'air, tout en réduisant la turbulence lors du remplissage de la fiole.

3.4.1.2 Système à succion (pompe à vide manuelle ou péristaltique)

Les systèmes de prélèvement par succion utilisent la pression négative pour retirer l'eau du puits d'observation. Le vide peut être appliqué en surface par une pompe manuelle ou une pompe péristaltique, à débit variable (photo 3). Ces méthodes sont limitées aux cas où le niveau d'eau se trouve à moins de 7 m de la surface du sol ou du rebord du tubage extérieur. Lorsque cette condition est respectée, la base de la tubulure rigide peut être placée plus profondément et descendue vis-à-vis de la crépine, de façon à tirer l'eau directement de l'aquifère en laissant aussi immobile que possible la colonne d'eau dite stagnante.

Ces méthodes consistent généralement à descendre, jusqu'à la profondeur désirée, une tubulure rigide ou semi-rigide. Lorsque la pompe péristaltique est utilisée, une petite longueur de tubulure (jusqu'à 1 m) flexible à haute résistance est nécessaire sous la roulette d'écrasement de la pompe. Son matériau doit être compatible avec les analyses envisagées. On peut dédier à chaque puits la tubulure rigide ou semi-rigide ainsi que la petite section flexible.

Il faut s'assurer que la tubulure soit exempte d'air et que sa partie inférieure soit continuellement positionnée en zone saturée.

3.4.1.3 Pompe submersible à vitesse contrôlable

Les pompes dites submersibles sont des pompes électriques dont le débit peut être réglé à l'aide d'un contrôleur (photos 4 et 5). On retrouve dans cette catégorie les pompes centrifuges à turbine.

Parmi ces pompes, certaines peuvent fonctionner à un débit de l'ordre de 6 l/h à plus de 1 800 l/h, selon la profondeur de l'eau. Elles peuvent être utilisées comme système d'échantillonnage dédié et permettent également de développer et de purger le puits. Lorsqu'elles ne sont pas dédiées, le nettoyage peut s'avérer long (démontage de la pompe et nettoyage de toutes les pièces, y compris le fil électrique).

Plusieurs de ces pompes utilisent l'eau pompée pour refroidir le moteur et un débit minimal est alors nécessaire pour le bon fonctionnement de la pompe. La hausse de température de l'eau due au moteur ainsi que les risques de cavitation et de corrosion sont à considérer dans le choix d'un tel équipement, particulièrement lorsque l'analyse de paramètres sensibles à ces modifications est prévue (ex. : COV et autres gaz dissous, contaminants hydrophobes, métaux, etc.).

On retrouve également dans cette catégorie la pompe à engrenage. Cette pompe permet d'obtenir un débit de moins de 6 l/h à plus de 500 l/h selon la profondeur de l'eau et se prête très bien à de nombreuses situations pour l'échantillonnage de l'eau souterraine.

D'autres pompes utilisées moins fréquemment entrent dans cette catégorie, telle la pompe à vis excentrée (*helical rotor*).

Étant donné qu'elles repoussent l'eau et lui impriment une pression positive, ces pompes n'engendrent généralement pas de dégazage significatif de l'eau prélevée.

Photo 3. Exemple de pompe péristaltique (MDDEP, 2010)



Photo 4. Exemple de pompe submersible (MDDEP, 2008)



Photo 5. Exemple de pompe submersible (MDDEP, 2007)



3.4.1.4 Système par déplacement positif

Les méthodes par déplacement positif sont basées sur des mécanismes qui exercent une pression directe sur l'eau en la poussant par un gaz, un piston, une turbine ou la pulsion d'une membrane. Ces méthodes permettent de prélever l'eau jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 1 000 m. Parmi toutes les méthodes d'échantillonnage par déplacement positif, la pompe à membrane flexible est le système recommandé, sauf en présence de LID.

Les systèmes par poussée de gaz consistent à appliquer une pression de gaz sur la colonne d'eau, ce qui force l'eau à remonter par un tube collecteur jusqu'à la surface. Pour les systèmes par poussée de gaz, le contact de l'eau avec les gaz risque d'altérer la composition chimique de l'eau. L'azote est le gaz recommandé lors de l'utilisation de ces méthodes puisqu'il est relativement inerte.

Les dispositifs à déplacement positif incluent aussi les pompes submersibles à piston ainsi que les systèmes à membrane flexible (pompe à diaphragme, pompe à vessie).

En principe, les pompes à membrane flexible procurent des échantillons plus représentatifs que les systèmes à poussée de gaz puisque les gaz utilisés ne viennent pas en contact avec l'eau. Contrairement aux pompes submersibles (à piston ou à turbine), les pompes à membrane flexible agitent moins l'eau, ce qui les rend plus fiables pour l'échantillonnage des composés volatils ou hydrophobes, les métaux, etc.

3.4.2. Échantillonneurs passifs

Les échantillonneurs passifs s'utilisent sans purge de l'eau souterraine dans le puits d'observation (se référer à la section 3.6). Ils ne requièrent aucun nettoyage (usage unique). Le volume d'eau récupéré est relativement restreint et peut être insuffisant pour l'exécution complète du programme analytique retenu. L'emploi d'échantillonneurs passifs est particulièrement pertinent dans les formations de faible conductivité hydraulique. Il convient de vérifier au cas par cas si les équipements choisis sont adaptés aux analytes recherchés.

3.4.2.1 Échantillonneurs passifs à prise directe

Ces équipements permettent la récupération d'eau par prise directe (Hydrasleeve^{MD}, Snap Sampler^{MD}). Ils nécessitent parfois une attente entre la mise en place de l'échantillonneur et le prélèvement pour permettre la stabilisation de la colonne d'eau perturbée par l'insertion de l'échantillonneur selon le diamètre du puits et la perméabilité de la formation. Les échantillonneurs à prise directe sont généralement adaptés à la mesure de la majorité des contaminants.

3.4.2.2 Échantillonneurs passifs par équilibre

Ces systèmes visent à obtenir un équilibre des composés chimiques, par diffusion à travers la paroi, entre l'eau distillée contenue dans l'échantillonneur et l'eau souterraine (sac à diffusion en polyéthylène, *Polyethylene Diffusion Bag* – PDB – ou échantillonneur par dialyse à membrane de cellulose régénérée, *regenerated-cellulose dialysis membrane sampler*). Ce type d'échantillonneur comprend aussi des équipements qui visent une accumulation des composés chimiques par adsorption (Gore Module^{MD}). Ils nécessitent une attente de plusieurs jours entre la mise en place de l'échantillonneur et le prélèvement pour permettre l'atteinte d'un équilibre chimique (jusqu'à deux semaines pour le PDB selon le coefficient de diffusion des contaminants). Les sacs à diffusion ou les appareils à adsorption sont conçus spécifiquement à la mesure des concentrations de certains paramètres.

Ces échantillonneurs permettent, lorsqu'ils sont installés à différentes profondeurs dans un puits, de déterminer un éventuel profil vertical des concentrations au niveau de la crépine ou du roc fracturé. Une telle vérification, effectuée initialement dans un puits, permettrait ainsi de déterminer la profondeur la plus appropriée pour l'installation de l'échantillonneur lors des campagnes d'échantillonnage subséquentes. Il est à noter cependant que l'eau dans un puits d'observation peut faire l'objet d'un mélange en raison de gradients hydrauliques ou thermiques verticaux ou encore qu'une certaine homogénéisation des concentrations à l'intérieur du puits peut aussi se produire par diffusion des contaminants. La stratification des concentrations dans le puits n'est donc pas rigoureusement représentative de la stratification verticale des concentrations dans la formation. Pour ces raisons, si une évaluation rigoureuse du gradient vertical de la contamination est désirée, il est recommandé de mettre en place des puits d'observation à différentes profondeurs (nid de puits).

3.4.3. Tube à clapet (écope à bille, *bailer*)

Il existe plusieurs types de tubes à clapet. Ils ont en commun de permettre le prélèvement d'un faible volume d'eau (de l'ordre du litre) à une profondeur donnée. Ils sont parfois utilisés pour le développement ou la purge du puits. La descente et la remontée de l'échantillonneur s'effectuent manuellement à partir de la surface à l'aide d'un câble. Une purge du puits est nécessaire pour assurer un échantillonnage représentatif. L'agitation créée par la mise en place de l'échantillonneur dans le puits peut être à l'origine de problèmes de turbidité et de dégazage dans les échantillons. Par ailleurs, lorsque le niveau de l'eau dans le puits est profond, l'utilisation d'un échantillonneur peut s'avérer laborieuse.

Le tube à clapet est un échantillonneur muni d'une valve de retenue à l'extrémité inférieure. Le tube se remplit à la descente et l'eau y est piégée à la remontée grâce à la valve de retenue (clapet). Il se manipule et se nettoie facilement. Le prélèvement n'est cependant pas strictement ponctuel : un certain mélange d'eaux peut s'opérer lors de la descente du tube. Certains modèles comportent également une valve de retenue à l'extrémité supérieure du tube, ce qui empêche tout mélange d'eau lors de la remontée. Le tube à clapet permet l'échantillonnage des LIL et, dans une certaine mesure, des LID.

Le contact de l'échantillon avec l'air doit être minimisé. Pour ce faire, et selon le type d'échantillonneur employé, il existe des dispositifs permettant de le vidanger par le bas sous débit contrôlé.

Le tube à clapet ne doit être utilisé qu'en dernier recours. Son utilisation n'est pas souhaitable pour les paramètres sensibles à l'agitation et à l'oxydation, en particulier les COV, les métaux traces, les contaminants hydrophobes sensibles aux matières en suspension et les gaz dissous.

3.4.4. Système de prélèvement par seringue

Cette technique n'est plus de pratique courante. De nombreuses autres possibilités existent.

3.5. Méthodes avec purge

3.5.1. Purge à volume prédéterminé

Cette méthode est fondée sur le principe de purger le puits d'un certain volume d'eau calculé préalablement, avant le prélèvement des échantillons (voir l'installation sur la photo 6). Le but de cette opération est de permettre le renouvellement de l'eau dans le puits afin d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau de la formation souterraine environnante. En effet, l'insertion du matériel d'échantillonnage peut entraîner un mélange dans l'ensemble de la colonne d'eau du puits. Or, l'eau stagnante dans le puits peut être affectée par les processus suivants : contact avec les matériaux de construction du puits, contact avec l'atmosphère, dégazage et activité biologique. La purge des puits doit donc permettre le renouvellement d'une quantité suffisante d'eau tel qu'expliqué ci-dessous.

Il est important de limiter le débit de purge, car un débit excessif peut perturber le système hydrogéologique en causant des gradients hydrauliques trop élevés, et il pourrait en résulter des biais dans les résultats. En particulier, le pompage avec un débit excessif peut attirer l'eau (avec ou sans contaminants) des couches sus-jacentes et sous-jacentes à la couche que l'on veut échantillonner. Il favoriserait aussi la création de turbidité que l'on veut éviter. Enfin, lorsque la crépine est entièrement dans la nappe, le rabattement ne devrait pas entraîner le dénoyage partiel de cette dernière puisque cela peut, dans certains cas, contribuer à la volatilisation des gaz et à l'oxygénation de l'eau dans l'horizon à échantillonner. En théorie, le débit ne devrait pas dépasser le taux naturel d'écoulement de l'eau souterraine de la formation pouvant être captée par une crépine. Il est généralement difficile dans la pratique de respecter cette règle. Il s'agit donc de minimiser le plus possible les rabattements de la nappe.

Pour les matériaux perméables, il est recommandé de retirer un volume d'eau équivalant à trois à cinq fois la somme du volume d'eau contenu dans le puits d'observation et dans le massif filtrant. Il est nécessaire de mesurer les variations du niveau piézométrique en cours de purge afin d'éviter le surpompage (photo 7). En effet, le contrôle du débit de purge se fait par le contrôle des rabattements : le débit doit être ajusté de façon à limiter les rabattements et à atteindre la stabilisation. Le rabattement stabilisé et le débit sont alors utilisés pour calculer la conductivité hydraulique de la strate visée (CAN/BNQ 2501-135).

Dans le cas de matériaux peu perméables qui ne permettent pas le retrait d'un tel volume d'eau sur une période de temps raisonnable car l'eau prendrait trop de temps à revenir, le recours à une autre méthode d'échantillonnage doit être préféré. S'il est néanmoins choisi de purger l'eau du puits, l'eau stagnante contenue dans le tubage plein au-dessus de la crépine doit être vidangée au moins une fois. La purge peut devoir se faire sur plusieurs périodes afin d'éviter l'assèchement de la zone transmissive. L'échantillonnage ne devrait se faire qu'une fois le niveau statique initial retrouvé. La section 3.5.2 propose une méthode de purge/échantillonnage pour les puits à très faible perméabilité.

Photo 6. Vue de dessus d'un puits d'observation permettant de visualiser le tubage de protection, le tubage intérieur en PVC et la tubulure mise en place pour la purge. Notez que l'espace annulaire situé au-dessus du sol a été rempli de matériel granulaire pour supporter les tubulures (MDDEP, 2006)



Photo 7. Purge à volume déterminé du puits d'observation. Le rabattement (présence de la sonde piézométrique) et le débit pompé (contenant blanc) sont contrôlés tout au long de l'opération (MDDEP, 2006)



3.5.2. Purge à faible débit et à faible rabattement

La méthode de purge et d'échantillonnage à faible débit a été développée au début des années 1990 afin d'éviter le plus possible les phénomènes suivants, parfois observés lors d'une purge à volume prédéterminé :

- mélange de l'eau stagnante avec l'eau de l'aquifère;
- augmentation de la turbidité par l'action du pompage;
- pompage d'eau provenant de secteurs de la formation hydrogéologique plus éloignés de la crépine (la zone d'intérêt);
- assèchement du puits avec exposition d'une partie de la formation hydrogéologique aux conditions atmosphériques (possibilité de volatilisation de certains contaminants et altération des conditions physicochimiques de l'eau);
- faible reproductibilité des résultats dans certains cas.

En plus de réduire les inconvénients indiqués ci-dessus, la purge à faible débit et à faible rabattement a pour avantage de réduire les volumes d'eau à pomper, à entreposer et, parfois, à traiter avant leur élimination. Cette méthode est décrite dans la norme ASTM D6771.

Cette méthode nécessite une bonne compréhension des nombreux facteurs qui peuvent influencer la représentativité des échantillons d'eau souterraine, tels que les propriétés hydrauliques de l'aquifère, les détails de conception et de construction du puits d'observation, les équipements d'échantillonnage et de mesure, etc. Elle exige de l'instrumentation de mesure et des manipulations plus complexes que la méthode précédente; ces manipulations ou encore l'entretien déficient de l'instrumentation sont des sources potentielles d'erreurs.

La purge à faible débit s'appuie sur le fait que l'eau souterraine s'écoule naturellement à travers la crépine du puits d'observation, lorsque ce dernier est construit et développé de façon appropriée, et ce même dans les formations de faible conductivité hydraulique. Ainsi, l'eau dans la crépine est constamment renouvelée à un rythme qui peut être très lent. Selon le type de formation géologique, cette méthode permet d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau de l'aquifère au niveau du point de prélèvement.

Dans un puits où toute la crépine est immergée, seule l'eau contenue dans le tubage au-dessus de la crépine est stagnante. Cette eau est en contact prolongé avec les conditions atmosphériques, de même qu'avec les parois du puits, ce qui peut altérer ses conditions physicochimiques. L'objectif d'une purge traditionnelle consiste à pomper suffisamment d'eau pour s'assurer que toute l'eau dans la zone de prélèvement est renouvelée avant d'entreprendre l'échantillonnage. L'objectif de la purge à faible débit consiste à induire un écoulement laminaire au niveau de la crépine, à partir de l'aquifère vers le puits. L'eau stagnante n'est pas sollicitée et se trouve ainsi isolée. Dans un puits où la crépine n'est pas totalement immergée, toute l'eau contenue dans le puits est constamment renouvelée. Malgré tout, la partie supérieure de la colonne d'eau est en contact avec les conditions atmosphériques durant le temps de son séjour dans le puits.

Le choix de la pompe est primordial pour l'exécution adéquate d'une purge et d'un échantillonnage à faible débit. Tous les équipements qui créent un écoulement turbulent et provoquent de la turbidité sont à éviter. Parmi les pompes les plus appropriées, mentionnons les pompes à diaphragme et les pompes à engrenage. Dans certains cas, les pompes péristaltiques peuvent être utilisées.

Il est préférable d'utiliser des équipements dédiés pour la purge et l'échantillonnage de l'eau souterraine avec la méthode à faible débit et à faible rabattement. Ces derniers permettent d'éviter la procédure de décontamination avant chaque usage. De plus, les équipements dédiés permettent d'éviter les perturbations de la colonne d'eau provoquées lors de l'introduction d'équipements non dédiés dans le puits. Pour ces raisons, l'utilisation d'équipements dédiés permet généralement de diminuer le temps et le volume de purge et d'obtenir des résultats plus reproductibles. D'excellents résultats peuvent malgré tout être obtenus à l'aide d'équipements non dédiés, si les précautions adéquates sont prises. Ainsi, la pompe doit être mise en place très délicatement afin de minimiser les perturbations de la colonne d'eau dans le puits. De plus, une fois la pompe mise en place, il est préférable d'attendre au moins 15, ou même 30 minutes, afin que la colonne d'eau ne soit plus agitée. Dans un puits où la crépine est totalement immergée, la pompe doit généralement être placée à la mi-hauteur entre le sommet et la base de la crépine. Trop près du fond, des sédiments accumulés au fond du puits pourraient être pompés. Trop près du sommet de la crépine, l'eau stagnante sus-jacente pourrait s'introduire dans la pompe. Dans un puits où la crépine n'est pas totalement immergée, la pompe doit être placée environ à mi-hauteur entre le niveau de l'eau souterraine et la base de la crépine. Dans certains cas, on pourra choisir de placer la pompe à l'endroit d'un horizon de sol plus perméable ou plus contaminé.

Afin de créer un écoulement laminaire de l'aquifère vers le puits, on doit minimiser l'impact du pompage sur l'aquifère. La mesure du rabattement du niveau d'eau dans le puits est utilisée pour vérifier l'intensité de cet impact. Ainsi, le rabattement doit être faible et constant. Le débit de pompage peut varier d'un aquifère à l'autre selon la perméabilité. Toutefois, un débit de l'ordre de 0,6 à 30 l/h est souvent cité dans la documentation.

Une fois le rabattement du niveau d'eau stabilisé, on devrait mesurer, tout au long de la purge, les paramètres physicochimiques suivants : température, pH, conductivité, oxygène dissous et potentiel d'oxydo-réduction (photo 8). La mesure de la turbidité peut aussi s'avérer utile. La purge devrait se poursuivre jusqu'à ce que les mesures de chacun des paramètres soient stables. La stabilisation des concentrations en oxygène dissous et du potentiel d'oxydo-réduction peut être plus lente.

De façon générale, on considère que la stabilisation est atteinte lorsque les écarts entre chaque lecture sont inférieurs aux valeurs suivantes pour un minimum de 3 lectures consécutives :

- température : $\pm 0,2$ °C;
- pH : $\pm 0,2$ unité;
- conductivité : ± 3 % de la lecture précédente;
- oxygène dissous : ± 10 % de la lecture précédente ou $\pm 0,2$ mg/L (le moins sévère des deux);
- potentiel d'oxydo-réduction : ± 20 mV.

Dans certains cas, il peut être difficile d'atteindre ces objectifs, en particulier dans certains aquifères à nappe libre. Ainsi, l'interprétation des résultats demande un jugement professionnel. Toute modification au protocole de purge devrait cependant être documentée.

La mesure de la turbidité pendant la purge est aussi pertinente. Il est toutefois important de mentionner que la turbidité n'est pas un indicateur fiable de purge complétée. La turbidité est une mesure des particules solides en suspension dans l'eau et est indicatrice du degré de stress appliqué à la formation hydrogéologique par le pompage et d'un puits mal conçu ou mal installé. Les particules en suspension pouvant créer un biais, positif ou négatif, dans l'analyse de certains composés tels que les métaux ou les composés organiques hydrophobes, des valeurs de turbidité faibles et stables devraient être recherchées. Si des valeurs de turbidité élevées sont mesurées, le débit de pompage devrait être réduit. Si la turbidité élevée persiste, un nouveau développement du puits devrait être considéré. La nécessité de mesurer la turbidité et d'atteindre des valeurs faibles et stables dépend des objectifs de l'étude, du programme analytique retenu et du degré d'assurance de la qualité requis. Les décisions à cet égard demandent une grande expertise.

L'utilisation d'une cellule de mesure fermée (*in-line flow-through cell*) est requise afin de minimiser le contact de l'eau à l'air ambiant (photo 8). De plus, il est important de mentionner que le choix des appareils de mesures a un effet déterminant sur les résultats. À titre d'exemple, certains appareils sont sensibles au débit de pompage et sont inadéquats lorsqu'ils sont utilisés à des débits très faibles. Les intervalles entre chacune des lectures doivent permettre le renouvellement complet de toute l'eau contenue dans la cellule de mesure. Enfin, l'échantillonnage doit être effectué directement à la sortie de l'équipement de pompage, en amont de la cellule de mesure.

Photo 8. Mesure des paramètres physicochimiques. La cellule de mesure se trouve sur le toit de la voiture (MDDEP, 2010)



3.5.3. Purge minimale

Il est parfois nécessaire d'installer un puits d'observation dans une formation très peu perméable (argile silteuse, till fin, etc.). Un tel puits aura tendance à s'assécher lors du pompage, même avec un débit aussi faible que 6 l/h. La méthode dite à purge minimale (*minimum purge sampling*) a été développée au milieu des années 1990 pour échantillonner l'eau souterraine dans ces puits, tout en minimisant les effets néfastes de l'assèchement du puits sur les propriétés physicochimiques de l'eau.

La méthode avec purge minimale, comme son nom l'indique, consiste à pomper un minimum d'eau pour la purge. Le volume ainsi pompé correspond au volume d'eau contenu initialement dans l'équipement de pompage. L'échantillon d'eau est alors prélevé immédiatement après la purge, en partant de l'hypothèse que l'eau récupérée, une fois l'eau dans la pompe et la tubulure évacuée, provient de l'intérieur de la crépine et est représentative des conditions hydrogéochimiques de la formation d'intérêt. Cette méthode exige l'utilisation d'équipements dédiés ou mis en place longtemps à l'avance au niveau de la crépine, afin d'éviter toute perturbation de la colonne d'eau dans le puits et la mise en suspension de particules. Le délai requis entre l'installation de la pompe et le début de la purge peut varier considérablement en fonction de nombreux facteurs tels que le volume des équipements de pompage, la méthode de mise en place, la conductivité hydraulique de la formation, etc. Généralement ce délai peut varier de quelques heures à plusieurs jours, voire quelques semaines⁹.

Généralement, le pompage doit être effectué à un débit inférieur à 6 L/h. Malgré un si faible débit, un rabattement croissant du niveau de l'eau dans le puits ne peut être évité dans plusieurs cas. Lors de l'échantillonnage, le pompage doit donc cesser avant que l'eau stagnante contenue dans le puits au-dessus de la crépine n'atteigne la pompe. À cet effet, une marge de sécurité doit être prévue. Le volume d'eau disponible pour l'échantillonnage peut donc varier en fonction de nombreux facteurs, entre autres le diamètre et la longueur de la crépine, le type d'équipements utilisés, les conditions hydrauliques de la formation, etc. Dans plusieurs cas, ce volume sera relativement restreint et pourrait être insuffisant pour l'exécution complète du programme analytique retenu.

La position de la pompe dans le puits est particulièrement importante avec cette méthode. Afin de permettre la récupération d'un volume maximal d'eau pour l'échantillon, la pompe doit être placée le plus bas possible dans la crépine. Il faut cependant éviter de la placer trop bas pour prévenir la mise en suspension des sédiments accumulés au fond du puits. Une distance entre le fond du puits et la pompe d'environ 0,3 à 0,6 m est généralement suffisante.

La méthode avec purge minimale ne nécessite pas la mesure des paramètres indicateurs tels que la température, le pH, la conductivité, etc. Toutefois, un suivi régulier et fréquent du rabattement du niveau d'eau est essentiel afin d'éviter que l'eau stagnante contenue dans le puits au-dessus de la crépine n'atteigne la pompe. Notons que, dans un puits où la crépine n'est pas totalement immergée, le pompage devra être arrêté avant l'introduction d'air dans la pompe.

La méthode à purge minimale ne devrait être choisie que lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser une autre méthode.

⁹ Une autre façon d'avoir de l'eau représentative est de prélever un échantillon d'aquitard intact (critères de mécanique des sols) et ensuite d'extraire l'eau en laboratoire (référer à la section 5.5).

3.6. Méthodes sans purge ou passives

Tout comme la méthode à purge minimale, les méthodes passives ou sans purge ont été développées à partir du milieu des années 1990 pour échantillonner l'eau souterraine dans les puits installés dans des formations ayant une très faible perméabilité ou pour limiter la quantité d'eau de purge à gérer dans le cas de suivis périodiques dans des puits de large diamètre. Elles misent sur l'hypothèse que l'eau dans la crépine est représentative des conditions hydrogéochimiques de la formation d'intérêt. Ces méthodes sont relativement simples et fiables et permettent généralement d'obtenir des échantillons moins turbides que les méthodes d'échantillonnage avec purge préalable des puits.

Dans tous les cas, un délai d'équilibration doit être maintenu entre l'installation de l'équipement d'échantillonnage et le prélèvement de l'échantillon, afin d'éviter toute perturbation de la colonne d'eau dans le puits. Le délai requis entre l'installation des équipements dans le puits et l'échantillonnage peut varier considérablement en fonction de nombreux facteurs tels que le volume des équipements, la méthode de mise en place, la perméabilité de la formation, le coefficient de diffusion des contaminants, la température de l'eau, etc. Généralement, ce délai peut varier de quelques heures à plusieurs jours, voire quelques semaines. Dans le cas des échantillonneurs passifs par diffusion chimique, un délai d'équilibration minimal de deux semaines devrait être prévu. Notons que, pour plusieurs de ces méthodes, il n'y a pas de délai maximal prescrit. Il est recommandé de se référer, pour chaque équipement, au guide du fabricant ou à la littérature scientifique pour plus de détails à ce sujet.

Une méthode d'échantillonnage sans purge consiste à utiliser des échantillonneurs passifs à prise directe. Ces équipements sont installés dans la crépine et permettent, après le délai de stabilisation écoulé, de prélever un échantillon ponctuel d'eau souterraine. Ces équipements peuvent être utilisés pour la mesure des concentrations de la plupart (ou de la totalité) des paramètres d'analyses (organiques et inorganiques). Cette méthode produit généralement des résultats de bonne qualité et reproductibles. Selon le type de formation géologique, elle permet d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau de l'aquifère au niveau du point de prélèvement.

Une seconde méthode d'échantillonnage sans purge consiste à utiliser des échantillonneurs passifs par diffusion (photos 9 et 10). Ces équipements sont installés dans la crépine et laissent les contaminants pénétrer l'appareil par diffusion moléculaire pendant toute la période d'équilibration. Ainsi, cette méthode permet de déterminer indirectement la qualité de l'eau souterraine, sans vraiment procéder à son prélèvement. Ces méthodes ont été développées principalement pour la mesure des concentrations en COV. Bon nombre de contaminants ne peuvent pas être détectés avec ces appareils, dont les composés inorganiques. Les contaminants mesurables devraient être validés avec les fiches commerciales. D'autres échantillonneurs passifs par diffusion dits par dialyse à membrane de cellulose régénérée (regenerated-cellulose dialysis membrane sampler) permettent l'échantillonnage de composés inorganiques et organiques. Toutefois, il n'y a actuellement aucun fournisseur de ce type d'échantillonneur. La membrane de cellulose régénérée est cependant disponible sur le marché afin de construire son propre échantillonneur. Selon le type de formation géologique, cette méthode permet d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau de l'aquifère au niveau du point de prélèvement. Cependant, si la qualité de l'eau de l'aquifère a varié durant la période d'équilibration, l'échantillon sera représentatif des variations de concentration pendant cette période. L'échantillon n'est donc pas représentatif de la qualité de l'aquifère à un instant donné.

Une troisième méthode d'échantillonnage passif consiste à utiliser des échantillonneurs passifs par adsorption. Il est important de mentionner que les résultats d'analyses obtenus à l'aide de ce type d'échantillonneur correspondent à une masse de contaminants sorbés sur l'échantillonneur durant la période d'équilibration et non à une concentration. Par conséquent, les résultats d'analyses obtenus par cette méthode ne peuvent être comparés à des normes ou des critères basés sur une concentration.

Photo 9. Exemple d'échantillonneurs passifs : sacs à diffusion (MDDEP, 2008)



Photo 10. Opération de récupération de l'échantillon dans un sac à diffusion : les gants et les ciseaux doivent être exempts de contaminants (MDDEP, 2008)



3.7. Filtration des échantillons

Le choix de filtrer un échantillon sur le terrain doit se faire en considération de l'objectif poursuivi. Lorsque l'on veut connaître la forme dissoute du contaminant (s'il s'agit de caractériser le contaminant susceptible de se déplacer avec l'eau souterraine), la filtration est recommandée (en particulier pour l'analyse des métaux dissous). Lorsque l'on veut connaître la qualité de l'eau pour en faire usage (en particulier dans le cas de l'eau potable) ou la rejeter à l'égout, c'est la concentration totale du paramètre qui est recherchée et la filtration est à proscrire. Le cas particulier des métaux dont trois formes peuvent être recherchées (dissous, soluble à l'acide, extractible total) est détaillé dans le document [*Terminologie recommandée pour l'analyse des métaux*](#). Il ne faut pas filtrer les échantillons soumis aux analyses de composés organiques volatils et non volatils ou de gaz dissous.

Lorsqu'il y a filtration sur le terrain, celle-ci doit se faire immédiatement après le prélèvement, à l'aide de filtres de 0,45 µm. Ceux-ci retiendront la plupart des particules silteuses, la plupart des particules argileuses et des bactéries ainsi qu'une portion des hydroxydes de fer et de manganèse. Les macromolécules organiques (acides humiques et fulviques) et les virus ne seront pas retenus.

L'utilisation de filtres en polycarbonate est recommandée, car ceux-ci semblent appropriés pour tous les paramètres. Le filtre neuf devrait être conditionné en laissant s'écouler un volume fixe d'eau à échantillonner avant de remplir le contenant. Un filtre ne peut être utilisé que pour la filtration d'un seul échantillon. Dans les cas où des équipements de filtration réutilisables sont utilisés, ceux-ci doivent être lavés adéquatement entre chaque point d'échantillonnage. Si l'échantillon ne peut être filtré sur le terrain, il doit être expédié au laboratoire très rapidement afin que la filtration se fasse dans les 24 heures.

3.8. Notes de terrain

3.8.1. Mesures sur le terrain

Les méthodes de mesure employées et les résultats doivent être notés afin de permettre leur interprétation dans le rapport à rédiger (inspection du puits, mesure des gaz, mesure des niveaux d'eau, mesure des niveaux des LIL ou des LID dans les puits d'observation, etc., qui auront éventuellement été réalisées).

3.8.2. Échantillonnage des eaux souterraines

Toute l'information recueillie lors de la purge et de l'échantillonnage devrait être documentée. Il s'agit en particulier de la description des équipements, des techniques de purge et d'échantillonnage et de leurs caractéristiques (date, durée, volume, débit, etc.) ainsi que des valeurs des mesures de tous les paramètres physicochimiques réalisées sur le terrain. Ces informations serviront entre autres à attester de la méthodologie d'échantillonnage et à interpréter la qualité des eaux souterraines.

3.9. Éléments de considération pour ne pas échantillonner ou pour le rejet d'échantillons

Tout événement inhabituel survenant lors de l'échantillonnage et qui pourrait jeter un doute sur la représentativité de l'échantillon doit être consigné dans les notes de terrain et dans le rapport (voir les sections 3.8 et 4.3). Il peut s'agir de considérations tels un événement climatique inhabituel, une modification mineure à l'intégrité physique du puits, la présence d'eau autour du puits, etc.

Ainsi, afin d'éliminer tout risque d'interprétation erronée, il peut être nécessaire de rejeter certains échantillons et d'en éviter l'analyse, en particulier et sans être exhaustif :

- lorsque l'intégrité du puits d'observation n'est plus assurée :
Un puits dont le système de protection ou d'étanchéité est altéré ne doit pas être échantillonné. De façon générale, l'échantillonnage dans un puits dont l'inspection (voir section 3.1) n'est pas satisfaisante devrait être remis en question.
- lorsque l'état de l'échantillon ne convient pas aux objectifs poursuivis par la campagne d'échantillonnage :
Il peut s'agir par exemple de la présence inattendue de phase libre lorsque l'on veut analyser des phases dissoutes ou encore de la récupération d'échantillons chargés de matières en suspension. Tout échantillon turbide doit être considéré comme douteux.

- lorsque la procédure d'échantillonnage n'est pas entièrement respectée :
Une dérogation à la procédure d'échantillonnage doit être documentée car cela peut rendre nécessaire le rejet de l'échantillon. Il peut s'agir par exemple de manquements aux règles lors de la prise d'échantillon, lors de la décontamination de l'équipement, dans le respect des délais ou dans les manipulations de filtration ou d'ajout d'agent de conservation à effectuer sur le terrain.

3.10. Description des échantillons

L'information sur les échantillons prélevés devrait être consignée pour chaque site et chaque campagne d'échantillonnage. Ce descriptif devrait aussi être signé et daté par le préleveur. Ces informations permettent une bonne interprétation des résultats analytiques subséquents (se référer au cahier 1, [Généralités](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* pour une liste non exhaustive).

3.11. Identification des échantillons

Il est primordial d'enregistrer adéquatement les échantillons prélevés au cours d'une campagne d'échantillonnage afin de pouvoir les retracer. Les contenants d'échantillons peuvent être identifiés à l'aide d'une étiquette autocollante, d'un burin, etc., pourvu que l'inscription soit indélébile (en évitant le crayon feutre sur le terrain). L'identification du contenant doit correspondre à une seule demande d'analyse formellement remplie et doit préciser l'emplacement exact du point de prélèvement. S'il y a plusieurs contenants avec le même numéro, les paramètres à analyser doivent être indiqués sur chaque contenant. Une bonne pratique est d'identifier non seulement la bouteille, mais aussi les bouchons. D'autres renseignements facultatifs peuvent être inscrits sur les contenants : le point de prélèvement (sous forme de code ou autre), les agents de conservation, la date, etc.

Le lecteur peut se référer au cahier 1, [Généralités](#) du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* pour de plus amples informations.

3.12. Conservation et transport des échantillons

Lors du transport ou de l'entreposage, on doit minimiser les risques de contamination croisée entre les échantillons. Il peut s'agir de séparer physiquement les échantillons plus contaminés des échantillons moins contaminés. Les conditions et la durée maximale de conservation des échantillons d'eau souterraine avant l'analyse sont fournies dans le fascicule [Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines](#) pour chaque paramètre d'analyse.

3.13. Chaîne de responsabilité

Le document de chaîne de responsabilité contient les informations permettant d'assurer le suivi de l'échantillon du terrain vers un laboratoire. Il devrait être préparé dans les plus courts délais. Il doit être rempli de façon claire et univoque. Le nombre d'exemplaires devrait être suffisant pour assurer le repérage de toute l'information pertinente et relative à l'échantillon prélevé, et ce afin de pouvoir vérifier la correspondance et la validité des résultats. Tous les échantillons envoyés au laboratoire devraient figurer dans ce document.

Le laboratoire doit aussi signer et dater le document de chaîne de responsabilité, incluant l'heure à la réception des échantillons. Une copie de ce document devrait être incluse dans le rapport d'analyse.

3.14. Assurance et contrôle de la qualité sur le terrain

Un programme d'assurance et de contrôle de la qualité est un ensemble d'étapes qui permettent de s'assurer que les résultats fournis ont une qualité satisfaisante pour répondre aux objectifs de la campagne d'échantillonnage. Les procédures de prélèvement, de préservation et d'identification employées sur le terrain de même que celles qui sont utilisées en laboratoire pour la conservation, l'analyse et l'enregistrement des données sont tout aussi importantes pour arriver à des résultats de qualité.

3.14.1. Assurance de la qualité

L'assurance de la qualité est une suite de principes opératoires qui, s'ils sont appliqués convenablement, permettent d'obtenir des données d'une qualité connue et défendable. L'objectif de l'assurance qualité est de s'assurer que les données acquises sont représentatives, complètes, précises et obtenues selon les règles et les procédures en application.

Les principaux aspects de la campagne à mener selon le principe d'assurance qualité sont :

- la planification de la campagne;
- le suivi des recommandations et des procédures pour le choix des méthodes d'échantillonnage et de l'équipement nécessaires au prélèvement, à la conservation et au transport des échantillons;
- le suivi des recommandations et des procédures lors de la réalisation de l'échantillonnage et des mesures de terrain;
- la documentation des travaux; celle-ci doit permettre une validation effective que les points cités précédemment ont été menés selon les procédures en application.

3.14.2. Contrôle de la qualité

Le contrôle de la qualité est constitué d'un ensemble de procédures techniques visant à vérifier la qualité des étapes d'échantillonnage, d'entreposage et de transport des échantillons ainsi que des analyses.

Le cahier 1, [*Généralités*](#), du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* décrit les types d'échantillons de contrôle couramment prélevés sur le terrain lors de l'échantillonnage des différents milieux, tels que les blancs (de transport, de terrain et de lavage) et les duplicatas de terrain.

Lors d'une campagne d'échantillonnage de l'eau souterraine, le prélèvement d'échantillons en duplicata constitue un mode de contrôle nécessaire. Un minimum de 10 % des échantillons doit être prélevé en duplicata afin de vérifier la précision de l'échantillonnage (1 duplicata par lot au minimum). L'ensemble des paramètres analysés dans les duplicatas ne doit pas être réduit indûment. Les duplicatas peuvent être acheminés dans un seul laboratoire ou dans deux laboratoires différents. Dans ce dernier cas, il est important de s'assurer que le second laboratoire utilise des méthodes de préparation et d'analyse de performance équivalentes et de connaître la performance de la méthode d'analyse afin d'être en mesure de comparer les résultats d'analyse.

Par ailleurs, lorsque des échantillons d'eau sont prélevés pour l'analyse de COV, en plus des blancs de transport, des blancs de terrain sont recommandés.

Selon les besoins de la campagne d'échantillonnage, des éléments de contrôles additionnels visant des objectifs particuliers peuvent compléter l'interprétation des résultats. Par exemple, il peut être approprié selon les circonstances d'effectuer des blancs de lavage lorsque de l'équipement non dédié est utilisé pour l'échantillonnage.

4. POST-ÉCHANTILLONNAGE

4.1. Changement de méthode d'échantillonnage

Idéalement, la méthode d'échantillonnage ne devrait pas être modifiée en cours de suivi. Il faut donc s'assurer, lors du choix de la méthode d'échantillonnage, que celle-ci pourra être reconduite, au besoin, au fil des saisons et des années et qu'elle répondra bien aux objectifs de suivi à long terme.

S'il s'avérait néanmoins souhaitable de changer de technique d'échantillonnage, cette modification devra faire l'objet d'une justification qui devra être documentée dans le rapport. Également, les deux méthodes d'échantillonnage devront être maintenues en concomitance sur certains puits d'observation du site pendant plusieurs campagnes aux fins de comparaison.

Pendant la comparaison des méthodes, les paramètres analysés dans les échantillons prélevés par la méthode initiale pourraient cependant être limités aux paramètres détectables. Il sera possible d'arrêter l'utilisation d'une des deux méthodes lorsqu'il y aura suffisamment de données soit pour assurer la cohérence de l'interprétation des résultats de la nouvelle méthode versus ceux de l'ancienne méthode, soit pour invalider les résultats de la première méthode. Au minimum, les deux méthodes d'échantillonnage devront être maintenues ensemble durant une année de suivi pour réaliser une campagne en conditions d'étiage et une campagne en conditions de recharge. Au besoin, les échantillonnages seront maintenus en concomitance sur une plus longue durée (pour assurer la validité d'une comparaison statistique par exemple). La détermination du nombre et de l'emplacement des points d'échantillonnage dédoublés ainsi que la décision d'arrêter le double échantillonnage doivent se faire sur la base de l'interprétation des données.

4.2. Assurance et contrôle de la qualité en laboratoire

Tous les laboratoires accrédités par le MDDEP se conforment à un programme d'assurance qualité pour leurs travaux. La [liste des laboratoires accrédités](#) se trouve sur le site du CEAEQ.

Lors de la planification de la campagne d'échantillonnage et du choix du laboratoire, il est important de s'assurer que le laboratoire qui fera les analyses détient l'accréditation du MDDEP pour les paramètres visés. Dans le cas où aucune accréditation par le MDDEP n'existe pour le paramètre recherché, l'analyse pourrait être faite par un laboratoire membre de l'[International Laboratory Accreditation Cooperation](#) (ILAC).

Le programme de contrôle de la qualité en laboratoire requiert l'utilisation et l'analyse d'échantillons de contrôle. Ces contrôles peuvent être, sans s'y restreindre, des échantillons témoins, des échantillons de référence, des blancs de procédure et des échantillons en duplicata faits en laboratoire. Il ne revient pas au responsable de l'échantillonnage de préparer ces contrôles.

4.3. Rapport d'étude

Le responsable de la campagne d'échantillonnage reçoit toutes les données recueillies par le responsable des travaux de terrain. Il les compile et les interprète pour les présenter dans un rapport d'étude. Selon le projet, les données brutes recueillies sur le terrain et les certificats de laboratoire devraient aussi être présentés en annexe du rapport d'étude.

C'est au responsable de la campagne d'échantillonnage des eaux souterraines d'établir le type de rapport d'étude à produire et sa structure. Néanmoins, la table des matières d'un rapport d'étude standard devrait inclure au minimum les informations suivantes :

- mise en contexte;
- mandat et objectifs;
- emplacement et description du site à l'étude et des points d'échantillonnage;
- revue des études antérieures (si nécessaire, c'est-à-dire en particulier advenant une modification de la méthode d'échantillonnage ou du laboratoire d'analyse);
- travaux réalisés et méthode de travail, justification du choix de la méthode d'échantillonnage;
- résultats :
 - présentation des résultats du contrôle qualité (blancs de terrain, blancs de transport, duplicatas, etc.) et interprétation;
 - présentation et interprétation des résultats analytiques;
 - discussion des conséquences de la méthode retenue ou d'autres facteurs sur les résultats;
 - discussion sur le changement de méthode si nécessaire;
 - discussion sur l'évolution des résultats analytiques (si pertinent).
- conclusion;
- recommandation :
 - discussion sur les effets de la contamination et des actions à prendre.
- références;
- tableaux et figures;
- annexes (certificats analytiques, etc.).

5. PARTICULARITÉS

5.1. Échantillonnage des eaux souterraines dans un ouvrage de captage

Les eaux souterraines s'écoulent vers des sources naturelles et des résurgences, elles peuvent être captées de ces sources pour divers usages, elles peuvent être pompées de sablières, de gravières, de carrières, de tunnels ou de mines, elles peuvent être captées dans des drains ou des puisards sous des bâtiments, des routes ou des terres agricoles. Leur échantillonnage n'est donc pas limité aux puits d'observation, mais peut être nécessaire partout où elles s'écoulent et peuvent avoir des répercussions sur la santé, les écosystèmes et l'environnement.

Il peut donc être primordial d'échantillonner un puits d'alimentation en eau potable ou un puits de captage pour tout autre usage (drainage, pompe à chaleur, industriel, refroidissement, irrigation, pisciculture, incendie, etc.) afin d'évaluer la qualité de l'eau souterraine. Il faut savoir que les puits de captage ne sont pas conçus pour déterminer la qualité de l'eau souterraine. L'interprétation des résultats doit donc se faire avec réserve et tenir compte des caractéristiques de construction du puits et de la portion d'aquifère captée par la crépine ou le trou ouvert dans le roc. Dans le cas d'une contamination d'une source d'eau potable, la Direction de la santé publique considérera les résultats des échantillons prélevés dans les puits d'alimentation. Pour les recommandations concernant l'échantillonnage de l'eau potable distribuée, il faut se reporter au fascicule [Modes de prélèvement et de conservation des échantillons relatifs à l'application du règlement sur la qualité de l'eau potable](#).

5.2. Échantillonnage d'eau dans la zone non saturée

La zone non saturée est la portion du sous-sol se trouvant au-dessus de la ligne de saturation. Cette portion du sol se compose des phases solide, liquide et gazeuse. La phase liquide ne peut être échantillonnée par des puits d'observation tels que décrits dans ce guide.

Il existe de nombreuses situations où l'échantillonnage de l'eau interstitielle de la zone non saturée peut s'avérer primordial. Par exemple, il permet de suivre l'avancement d'un front de contamination provenant d'une source ponctuelle ou diffuse en surface afin de prédire son arrivée à la nappe d'eau souterraine.

L'eau interstitielle dans la zone non saturée peut être échantillonnée à l'aide de dispositifs appelés lysimètres. Il en existe différents types. Le choix du type de lysimètre dépend des objectifs de l'échantillonnage et des caractéristiques du milieu à échantillonner (notamment de sa porosité). Il est constitué d'un petit récipient avec une pointe en céramique poreuse rattaché à un tubage capable de maintenir le vide. Le vide est appliqué à partir de la surface, ce qui force l'eau à s'infiltrer dans la chambre de collection par la pointe poreuse. L'eau est ensuite acheminée en surface par un tube en appliquant une pression positive ou à l'aide, par exemple, d'une pompe péristaltique.

5.3. Échantillonnage lors d'un essai de traçage

Les essais de traçage sont utilisés pour caractériser le comportement hydraulique d'un aquifère (établissement de liens hydrauliques, détermination de la vitesse de déplacement, de la porosité efficace et de la dispersion).

Les quatre principales gammes de traceurs sont les colorants fluorescents, les sels, les traceurs radioactifs et les traceurs biologiques. Cette section présente les caractéristiques particulières à l'échantillonnage des deux types de traceurs les plus usuels : les colorants fluorescents et les sels.

Il est à noter que, d'une part, le dosage du traceur doit être estimé judicieusement afin que celui-ci ne se retrouve pas à des concentrations trop importantes dans la nappe tout en étant en quantité mesurable au puits. D'autre part, dans un contexte d'eau potable, l'autorisation préalable de la direction régionale de la santé publique concernée est requise avant l'utilisation de traceurs.

5.3.1. Colorants fluorescents

Les principaux colorants fluorescents sont l'uranine, la rhodamine WT, la sulforhodamine G, etc. Les principaux noms commerciaux sont fluorescéine, *red dye*, *green dye*, *green/yellow dye* et *orange dye*. Les traceurs fluorescents sont faciles à utiliser. Il faut néanmoins porter attention au risque de contamination de l'échantillon ou du contenant par le traceur lui-même (contamination croisée). En effet, il faut s'assurer, lors des préparatifs d'injection du traceur, de le manipuler avec précautions (en particulier lorsqu'il est transporté sous forme de poudre) afin d'éviter de souiller tout élément pouvant transmettre par la suite le traceur à l'échantillon (équipement, vêtements, peau, etc.). Pour prévenir les conséquences d'une éventuelle contamination, lorsque l'échantillon n'est pas également pris aux fins d'analyse de contaminants, on aura avantage à toujours rincer au moins deux fois le contenant (et son bouchon) avec l'eau à prélever avant la prise d'échantillon.

Il faut également considérer que les traceurs fluorescents peuvent être photodégradables. Les échantillons devront alors être immédiatement conservés à l'abri de la lumière ; de plus, l'utilisation de contenants ambrés est recommandée. Il est à noter également que certains colorants sont affectés par le pH, la température ou sont adsorbés par les particules argileuses ou la matière organique.

5.3.2. Sels

Il s'agit principalement de chlorure de sodium, chlorure de potassium, chlorure d'ammonium et chlorure de lithium. Ils sont moins sensibles aux conditions physicochimiques que les colorants, mais nécessitent la manipulation d'une grande quantité d'électrolytes. Comme pour les colorants, il est conseillé de rincer abondamment le contenant avec l'eau à prélever avant la prise d'échantillon et de le conserver immédiatement à l'abri de la lumière.

5.4. Échantillonnage des liquides immiscibles

L'analyse des LIL ou LID peut être nécessaire soit pour en déterminer la composition exacte (donc le potentiel de solubilisation des composants), soit pour repérer les sources potentielles ou encore pour évaluer l'applicabilité de certaines méthodes de réhabilitation. Dans les cas où il est nécessaire de connaître les concentrations de contaminants dans la phase aqueuse des formations aquifères affectées, il est suggéré d'effectuer les forages en aval par rapport au sens d'écoulement des eaux souterraines et hors de la zone où se trouvent les liquides immiscibles. Les informations relatives à la conception des puits d'observation dans le cas de présence de liquides immiscibles sont abordées à la section 2.1.

Plusieurs systèmes peuvent être utilisés pour prélever un échantillon de LIL dans un puits, dont les tubes à clapet, les pompes manuelles à clapet et les pompes à succion (lorsque le LIL est à moins de 7 m de profondeur). Lorsque la nappe est particulièrement peu profonde, des échantillonneurs à prise directe de type Coliwasa^{MD} ou Kemmerer^{MD} peuvent être utilisés. Idéalement, on doit avoir recours à des systèmes dédiés puisque la décontamination sur place des instruments d'échantillonnage est pratiquement impossible.

L'échantillonnage de la phase liquide dense peut s'effectuer en utilisant une pompe manuelle à clapet reliée à une tubulure en polyéthylène. Le système devrait également être dédié.

Pour le LIL comme le LID, il faut s'assurer de prélever un échantillon de volume suffisant pour permettre l'analyse en laboratoire des paramètres ciblés.

5.5. Méthodes par échantillonnage intact de l'aquitard

La prise d'échantillons intacts dans un aquitard nécessite d'abord une méthode de forage dite non destructive. On doit utiliser un échantillonneur à piston stationnaire d'au moins 7,5 cm de diamètre nominal afin de préserver à la fois la structure interne du sol et son eau interstitielle. Le forage utilisé pour la prise des échantillons intacts de sol peut servir à installer des instruments de mesure qui seront parfaitement scellés dans de courtes zones filtres (sable très fin) séparées par de longues sections de scellement à la bentonite. Ces méthodes sont utilisées dans les dépôts d'argile très peu perméables où l'entrée d'eau dans les puits d'observation est très lente et où, par conséquent, les méthodes traditionnelles sont inadéquates.

L'eau interstitielle des échantillons prélevés est extraite en laboratoire avec des équipements spéciaux à basse pression (moins de 700 kPa) afin de ne pas modifier la qualité de l'eau. Les volumes d'eau obtenus par ces méthodes sont très petits, d'où l'importance de faire un choix judicieux des paramètres à analyser.

6. RÉFÉRENCES

6.1. Références générales

Clark, M.J.R. (ed.), 2003. [*British Columbia Field Sampling Manual*](#). Water, Air and Climate Change Branch - Chapter : Groundwater pollution monitoring (p. 276-303), Ministry of Water, Land and Air Protection, Victoria, BC, Canada, 312 p.

EPA, 2002. [*Groundwater Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers*](#). EPA 542-S-02-001.

Ministère de l'Environnement et de la Faune, août 1994. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines, Direction des laboratoires, 104 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, juillet 2008. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : [*Cahier 1 – Généralités*](#), Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 58 p., 3 annexes.

Nielsen, D.M., 2005. Practical Handbook of Environmental Characterization and Ground-Water Monitoring, Taylor & Francis Group, 1318 pages.

Nielsen D. M., et Nielsen G. L., 2007. *The Essential Handbook of ground-water sampling*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 309 pages.

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 2003. [*Guide pratique – Échantillonnage des eaux souterraines*](#), OFEFP (Berne), 82 pages.

Ohio EPA, 2006. [*Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations*](#). Chapter 10. Ground water sampling.

Québec, Direction des politiques de l'eau, 2010. [*Guide d'interprétation technique du Règlement sur le captage des eaux souterraines*](#), ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 145 p. et 2 annexes.

Weaver J. M. C., L. Cavé et A. Siep Talma, 2007. *Groundwater sampling – A comprehensive guide for sampling methods*, Water research commission of South Africa, 168 pages.

Wilson N, 1995. *Soil water and ground water sampling*, CRC Press, Lewis Publishers, 188 pages.

6.2. Références spécifiques

6.2.1. Prééchantillonnage

[AFNOR FD X31-614](#), 1999. *Qualité du sol – Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions – Réalisation d'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine au droit d'un site potentiellement pollué.*

[ASTM D5092 – 04](#), 2004. Standard practice for design and installation of ground water monitoring wells.

[ASTM D5521-05, 2005](#). Standard Guide for Development of Ground-water Monitoring Wells in Granular Aquifers.

[ASTM D5787-95](#), révisée en 2000. *Standard practice for monitoring well protection.*

[ASTM D5978-96](#), révisée en 2005. *Standard guide for maintenance and rehabilitation of ground-water monitoring Wells.*

[ASTM D6001-05, 2005](#). Standard guide for direct-push ground water sampling for environmental site characterization.

[ASTM D6724-04, 2004](#). *Standard guide for installation of direct push ground water monitoring wells.*

[ASTM D6725-04, 2004](#). Standard practice for direct push installation of prepacked screen monitoring wells in unconsolidated aquifers.

[ASTM D7352-07, 2007](#). Standard practice for direct push technology for volatile contaminant logging with the membrane interface probe (MIP).

6.2.2. Échantillonnage

ADEME, 2005. La représentativité des échantillons d'eau prélevés en forages de contrôle : synthèse et conclusions.

[AFNOR FD X31-615, 2000](#). *Qualité du sol – Méthodes de détection et de caractérisation des pollutions – Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage.*

[ASTM D4448-01](#), révisée 2007. *Standard guide for sampling ground-water monitoring wells.*

[ASTM D5903-96](#), révisée 2006. *Standard guide for planning and preparing for a groundwater sampling event.*

[ASTM D6452-99](#), révisée 2005. Standard guide for purging methods for wells used for ground-water quality investigations.

[ASTM D6634-01](#), révisée 2006. Standard guide for the selection of purging and sampling devices for ground-water monitoring wells.

[ASTM D6771-02](#). Standard Practice for Low-Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground-Water Quality Investigations.

[CAN/BNQ 2501-135, 2008](#). Sols – Détermination du coefficient de perméabilité par la méthode Lefranc.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2010. [Terminologie recommandée pour l'analyse des métaux](#), 3^e éd., Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 20 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2009. [Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux souterraines DR-09-09](#) [en ligne].

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2011. [Modes de prélèvement et de conservation des échantillons relatifs à l'application du règlement sur la qualité de l'eau potable DR-09-03](#) [en ligne].

Chapuis, Robert P., 2007. [Guide sur les essais de pompage et leurs interprétations](#) [en ligne].

ISO [5667-18, 2001](#). *Water quality – Sampling – Part 18 : Guidance on sampling of groundwater at contaminated sites*.

Puls, R. W., et M. J. Barcelona, 1996. Low-flow (minimal drawdown) ground-water sampling procedures. [EPA/540/S-95/504](#).

Wilde, F.D., 2008. [Guidelines for field-measured water-quality properties](#) (ver. 2.0) : U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, chap. A6, section 6.0. [en ligne].

6.2.3. Assurance et contrôle qualité - terrain

Parker, L.V., et T.A. Ranney, 1997. *Decontaminating materials used in groundwater sampling devices*. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Special Report 97-24.

Parker, L.V., et T.A. Ranney, 1997. *Decontaminating groundwater sampling devices*. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Special Report 97-25.

6.2.4. Post-échantillonnage

[ASTM D6089-97](#), révisée 2010. *Standard guide for documenting a ground-water sampling event*.

EPA, 2002. *Ground water sampling guidelines for superfund and RCRA project managers*. [EPA 542-S-02-001](#).

6.2.5. Particularités

Schudel, B. et collab., 2002. *Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie – Guide pratique*. Rapport de l'Office fédéral des eaux et de la géologie, série Géol., 3, Berne.

Annexe

Des exigences ou des recommandations sur l'échantillonnage des eaux souterraines sont indiquées dans différents documents émis par le MDDEP, entre autres, et sans être exhaustif :

- a) Les certificats d'autorisation et attestations d'assainissement décernés en vertu de la [Loi sur la qualité de l'environnement](#).
- b) Certains règlements, dont les suivants :
 - [Règlement sur le captage des eaux souterraines](#)
 - [Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains](#)
 - [Règlement sur la qualité de l'eau potable](#)
 - [Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés](#)
 - [Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles](#)
 - [Règlement sur les fabriques de pâtes et papiers](#)
 - [Règlement sur les matières dangereuses](#)
 - [Règlement sur le stockage et les centres de transfert de sols contaminés](#)
- c) Certains documents techniques ou d'orientation, dont les suivants :
 - [Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés](#), Les Publications du Québec, 1999, 120 pages.
 - [Guide de caractérisation des terrains](#). 2003. MENV, coll. « Terrains contaminés », Les Publications du Québec.
 - [Directive 019 sur l'industrie minière](#), avril 2005, 101 pages et annexes.
 - [Guide technique de suivi de la qualité des eaux souterraines](#) (GTSQES), septembre 2008, 14 pages et annexes.
 - [Guide sur l'utilisation de matières résiduelles fertilisantes](#) (MRF) pour la restauration de la couverture végétale de lieux dégradés : critères et exigences, 2005. Première édition. 35 pages et annexes.
 - [Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige](#). Fichier informatique.
 - Industrie du bois de sciage : lignes directrices. Fichier informatique. Disponible auprès des directions régionales du MDDEP.
 - [Lignes directrices pour l'encadrement des activités de compostage](#), juillet 2008, 47 pages.

