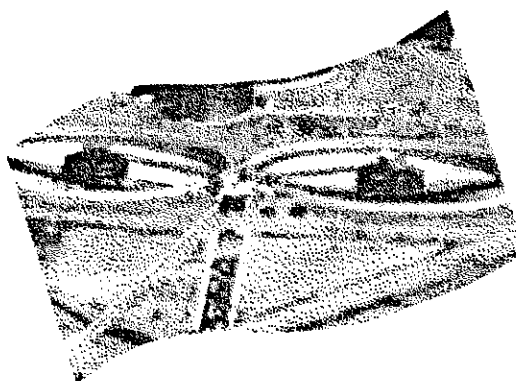


**Émissions
du traitement secondaire
des effluents des papeteries**



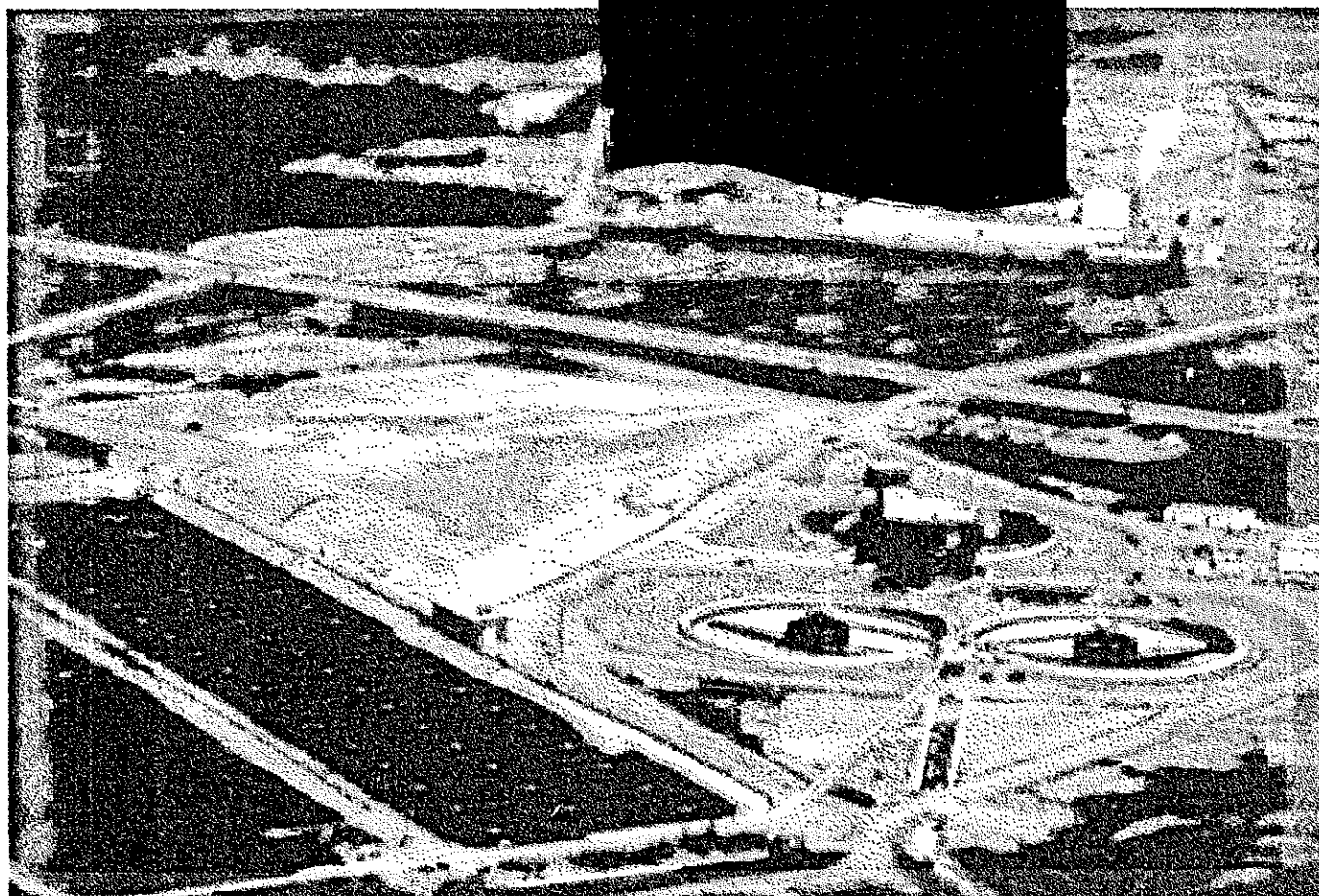
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Nicole Goyer
Jacques Lavoie

Octobre 1998

R-201

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Émissions
du traitement secondaire
des effluents des papeteries**

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Nicole Goyer et Jacques Lavoie
Programme soutien analytique, IRSST

RAPPORT

Table des matières

Page

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	ii
1. PROBLÉMATIQUE	1
2. OBJECTIFS	1
3. MÉTHODOLOGIE	1
3.1 Sélection des papetières	2
3.2 Description des postes de mesure	2
3.3 Composés chimiques et odeurs	5
3.4 Bioaérosols	6
3.5 Conditions climatiques	6
4. RÉSULTATS	9
4.1 Caractéristiques des usines participantes	9
4.2 Composés chimiques	10
4.3 Bioaérosols	14
5. DISCUSSION	17
5.1 Identification des agents présents dans l'environnement de travail	17
5.1.1 Contaminants chimiques	17
5.1.2 Odeurs	21
5.1.3 Bioaérosols	22
5.2 Indicateurs de la qualité de l'air	24
5.2.1 Localisation des sources d'émission	24
5.2.2 Qualité de l'air ambiant	25
5.2.3 Exposition des travailleurs	25
5.3 Sources d'émission reliées aux étapes du procédé	26
6. CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS D'AMÉLIORATIONS	33
7. RÉFÉRENCES	38
ANNEXE A : Résultats détaillés des mesures de composés chimiques	41
ANNEXE B : Résultats détaillés des mesures de bioaérosols	57

Liste des figures

	Page
Figure 1 : Schéma du traitement secondaire des effluents des papetières	4
Figure A1 : Histogrammes des concentrations d'hydrogène sulfuré	55
Figure A2 : Histogrammes des concentrations de monoxyde de carbone	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Méthodes IRSST pour les composés chimiques et les bioaérosols	7
Tableau 2 : Caractéristiques de production des systèmes de traitement	9
Tableau 3 : Composés chimiques mesurés au traitement secondaire	11
Tableau 4 : Bioaérosols mesurés au traitement secondaire	15
Tableau 5 : Seuils olfactifs et valeurs admissibles d'exposition	17
Tableau 6 : Étapes émettrices de composés chimiques, d'odeurs et de bioaérosols	26
Tableau 7 : Propositions de correctifs et recommandations	35
Tableau A1 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: KRAFT	43
Tableau A2 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE/KRAFT	45
Tableau A3 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE/SULFITE	46
Tableau A4 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE	47
Tableau A5 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE/DÉSENCRÉ	48
Tableau A6 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: DÉSENCRÉ	49
Tableau A7 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: KRAFT/DÉSENCRÉ	50
Tableau A8 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières : Étapes et localisations particulières	51
Tableau A9 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières : Tâches spécifiques	53
Tableau B1 : Émissions de bioaérosols aux étapes principales du traitement des effluents des papetières	57
Tableau B2 : Émissions de bioaérosols aux étapes particulières du traitement des effluents des papetières	63
Tableau B3 : Émissions de bioaérosols lors de tâches spécifiques	64

REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la collaboration de plusieurs intervenants.

Nous remercions très sincèrement les gestionnaires et les travailleurs des papetières participantes pour leur accueil et leur participation active et efficace sur le terrain. Nous tenons également à remercier les intervenants du Réseau public québécois en santé au travail pour leur aide précieuse, leur disponibilité et leur professionnalisme lors des sessions d'échantillonnage en usine.

La responsable du projet remercie particulièrement les membres du Comité de suivi du projet qui avec dynamisme et régularité ont facilité la réalisation de ce projet.

A l'interne, plusieurs professionnels et techniciens ont réalisé les analyses de façon efficace et rapide et leur collaboration a été très appréciée.

Ce projet n'aurait pu être réussi sans le travail exceptionnel de l'équipe de terrain.

RESPONSABLE DU PROJET

Nicole Goyer, chimiste, hygiéniste industrielle

ÉQUIPE DE TERRAIN IRSST

Rodrigue Gravel, technicien
Jacques Lavoie, biologiste, hygiéniste industriel
Carole Pépin, technicienne
Caroline Tremblay, technicienne
Brigitte Roberge, technicienne

COMITÉ DE SUIVI DU PROJET

Marc Brosseau, CLSC Centre-de-la-Mauricie
Christyne Côté, ASSPPQ
Louis Désilets, AIFQ
Claude Gagnon, SCEP
Michel Galarneau, RR de l'Outaouais
Bernard Gascon, Abitibi Consolidated
Nicole Goyer, IRSST
Gilles Lacerte, CSST Mauricie-Bois-Francis
Yvon L'Archevêque, Kruger Inc.
Jacques Lavoie, IRSST
Robert Mercier, CSN
Julien Michaud, AIFQ

RÉSUMÉ

L'implantation des systèmes de traitement biologique des effluents des papeteries a entraîné des inquiétudes et des plaintes de la part de travailleurs et de communautés environnantes concernant l'émission dans l'air de produits chimiques et de microorganismes et la présence d'odeurs très désagréables. Très peu de données étaient disponibles dans la littérature sur la nature et l'importance des composés présents dans cet environnement de travail.

Une étude a donc été entreprise afin d'acquérir des connaissances sur les émissions de ce type de traitement. Plus spécifiquement, l'étude visait l'identification et la quantification des composés chimiques et des microorganismes prioritairement émis, la détermination des paramètres de procédé qui peuvent influencer leur formation, leur génération ou leur diffusion dans l'air, la proposition d'améliorations et l'identification d'indicateurs de suivi de la qualité de l'air.

Une étude terrain a été menée dans onze usines qui représentent les différents types de procédé de fabrication ou d'utilisation de pâte de papier (kraft, bisulfite, thermomécanique et désencrée), la nature différente des effluents traités (eaux de procédé seulement ou eaux de procédé+ égouts sanitaires de l'entreprise ou de municipalités) et les différents systèmes de traitement secondaire (boues activées conventionnelles, boues activées à l'oxygène, réacteur biologique séquentiel et étang aéré). Toutes les étapes du procédé et certaines tâches spécifiques ont été évaluées à chacune de ces usines. Les postes de mesure étaient localisés le plus près possible des sources potentielles d'émission. Les trois problèmes soulevés par l'implantation de ces systèmes ont été considérés soit les composés chimiques, les odeurs et les microorganismes dans l'air en suivant les méthodes standard de l'IRSST. Pour quatre usines, des mesures de contaminants chimiques ont également été faites par le laboratoire mobile TAGA du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

Les principaux contaminants gazeux retrouvés étaient par ordre d'importance au niveau de leur fréquence ou de leur concentration : des produits soufrés (hydrogène sulfuré, méthylmercaptan, sulfure de diméthyle et disulfure de diméthyle), des terpènes, l'ammoniac, le monoxyde et le dioxyde de carbone, le monoxyde et le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, des acides organiques (acétique, butyrique, formique, propionique et valérique), des alcools (méthanol, éthanol et propanol) et des cétones (acétone et méthyléthylcétone). Bon nombre de ces composés sont associés à la production d'odeurs notamment les produits soufrés et les acides organiques. Les composés responsables des odeurs ont des seuils de perception généralement plus bas que ceux fixés pour les limites d'exposition des travailleurs.

Concernant les bioaérosols, des concentrations plus élevées de façon statistiquement significative ont été mesurées à quelques postes pour les bactéries totales, les moisissures totales et les endotoxines. Les bactéries Gram négatives étaient élevées à un seul poste extérieur alors que la moisissure *Aspergillus fumigatus* était occasionnellement présente à faible concentration. Aucune bactérie actinomycète n'a été décelée.

Les résultats ont démontré que :

- le type de pâte de papier est un facteur déterminant de la présence et de la nature des composés chimiques dans les émissions, la pâte kraft étant responsable des émissions de composés soufrés dans l'air ;
- le traitement secondaire lui-même génère peu de produits chimiques; l'hydrogène sulfuré, le méthylmercaptop et l'ammoniac seraient émis par le traitement;
- la nature des contaminants chimiques (et conséquemment des odeurs) évolue tout au long du procédé. Les formes les plus oxydées telles que les acides se retrouvent aux dernières étapes du traitement notamment à la manipulation des boues sèches;
- pour les bioaérosols, les étapes qui favorisent l'aérosolisation de l'eau ou de la poussière présentent les concentrations les plus élevées;
- le type de pâte de papier n'influence pas les niveaux de bioaérosols;
- le type de traitement secondaire n'influence pas les émissions de contaminants chimiques ou de bioaérosols;
- le traitement simultané d'effluents sanitaires n'influence pas les émissions de contaminants chimiques ou de bioaérosols.
- plusieurs sources ont été identifiées. Certaines de ces sources peuvent être de nature cyclique comme au niveau des dégrilleurs, d'autres sont continues tels que les systèmes de pressage des boues, ponctuelles tels que les prises d'échantillons ou le déplacement des piles de boues ou fugitives tels que les canalisations et drains de plancher. Pour les sources extérieures, la dynamique atmosphérique peut changer considérablement le profil des contaminants à l'air libre.

Pour suivre la qualité de l'air, les paramètres à surveiller sont l'hydrogène sulfuré, l'ammoniac et le monoxyde de carbone. Pour les odeurs, le nez demeure le meilleur détecteur. Pour les bioaérosols, l'inspection visuelle est la technique préconisée pour localiser les sources potentielles d'émission et assurer le suivi.

Comme la présence de composés chimiques dans l'effluent brut est un des facteurs d'émission, toute action qui favorise le brassage et l'aérosolisation de l'eau entraîne leur dispersion dans l'environnement. Il en est de même des bioaérosols qui se propagent par fixation sur des gouttelettes d'eau ou des particules de poussières. Le contrôle des émissions passe donc par le contrôle des opérations qui conduisent à la dispersion de l'eau et des particules dans l'air.

Différents correctifs peuvent être implantés dont le confinement, le cloisonnement ou la ventilation par extraction. Des procédures de prévention doivent être élaborées pour les endroits identifiés comme sources potentielles d'émission. De façon générale, pour tous les travaux ou pour toutes les situations où il peut y avoir contact avec l'effluent ou les boues, le port d'équipement de protection personnelle est recommandé. Face aux bioaérosols, des mesures strictes d'hygiène personnelle demeurent la meilleure prévention.

1. PROBLÉMATIQUE

Afin de se conformer aux nouvelles normes environnementales fédérales et provinciales mises en vigueur en 1995 concernant la demande biochimique en oxygène (DBO), les matières en suspension et la toxicité des effluents industriels, plus de 40 usines de pâtes et papiers ont implanté des systèmes de traitement secondaire de leurs effluents. Le traitement secondaire se base sur l'utilisation de microorganismes pour détruire les matières polluantes contenues dans les eaux usées. Les microorganismes utilisent ces composés comme source nutritive, les convertissant ainsi en sous-produits plus stables et en boues résiduelles qui peuvent être éliminées alors que l'effluent liquide traité est rejeté dans le cours d'eau récepteur.

L'implantation de ces systèmes a entraîné des inquiétudes et des plaintes de la part de travailleurs et de communautés environnantes concernant l'émission dans l'air de produits chimiques et de microorganismes et la présence d'odeurs très désagréables. Une seule publication a été répertoriée et rapportait des données préliminaires sur les taux d'émission de certains composés chimiques pour un seul type de production de pâte de papier et un seul type de système de traitement secondaire¹. Aucune donnée n'était disponible sur la nature et l'importance des composés présents dans l'air de cet environnement de travail ou sur les étapes ou les facteurs qui influencent leur formation, leur émission ou leur diffusion dans l'air.

2. OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude étaient :

- identifier et quantifier les composés chimiques prioritairement présents dans cet environnement de travail ;
- identifier et quantifier les microorganismes prioritairement présents dans cet environnement de travail ;
- ressortir des indicateurs de suivi de la qualité de l'air utilisables par les intervenants en santé au travail;
- ressortir des paramètres de procédé qui peuvent influencer leur formation, leur génération ou leur diffusion dans l'air et les correctifs qui peuvent y être associés ;

tenant compte des différents types de procédé de fabrication ou d'utilisation de pâte de papier, de la nature des effluents traités et des différents systèmes de traitement secondaire.

3. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie utilisée consiste en une étude terrain. Pour chacune des usines, toutes les étapes du procédé de traitement secondaire des effluents incluant la disposition des boues ont été évaluées. Les trois problèmes soulevés par l'implantation de ces systèmes ont été considérés soit les composés chimiques, les odeurs et les microorganismes dans l'air.

À la demande des différents intervenants concernés par cette problématique, un comité avisé a été formé. Ce comité a permis à l'équipe de recherche de consulter un groupe représentatif des

organismes intéressés par le projet et des spécialistes de ces procédés. Il a facilité les relations nécessaires entre l'équipe de recherche et les milieux de travail et collaborera à la valorisation des résultats de la recherche. Ce comité est formé de représentants de l'Association de santé et sécurité des industries de la forêt du Québec, de l'Association de santé et sécurité des pâtes et papiers du Québec, du Syndicat canadien des communications, de l'énergie et du papier, du Conseil des syndicats nationaux, de la CSST et du Réseau public de santé au travail.

3.1 Sélection des papetières

Le choix des usines participantes a été fait par le comité de suivi de façon à couvrir l'ensemble des variantes du procédé soit celles reliées au type de procédé de fabrication ou d'utilisation de pâte : pâte Kraft, pâte au bisulfite, pâte thermomécanique et pâte désencrée, à la nature des effluents traités : eaux de procédé seulement ou eaux de procédé + égouts sanitaires de l'entreprise ou de municipalités et aux types de traitement : boues activées conventionnelles, boues activées à l'oxygène, réacteur biologique séquentiel et étang aéré. Onze usines ont été retenues.

3.2 Description des postes de mesure

Toutes les étapes du procédé ont été évaluées à chacune des usines. Les postes de mesure ont été localisés le plus près possible des sources potentielles d'émission. Aucune mesure n'a été faite en personnel ou à des postes de travail.

Les étapes d'un traitement secondaire d'un effluent sont représentées à la figure 1 et peuvent se résumer ainsi :

- 1° *dégrillage*. L'effluent brut est d'abord débarrassé des débris pouvant causer des blocages ou dommages à la tuyauterie en passant par un dégrilleur. Les prélèvements étaient faits au-dessus de la fosse d'arrivée des effluents et au bac de réception des rebuts. Les dégrilleurs étaient situés à l'intérieur, ventilés ou non, confinés ou non.
- 2°- *clarification primaire*. Les particules en suspension et les fibres de bois contenues dans l'effluent se déposent, constituant ainsi les boues primaires. Celles-ci sont ensuite acheminées au traitement des boues alors que l'effluent est acheminé au traitement biologique. Les prélèvements ont été faits au centre ou autour du clarificateur dans le panache de diffusion. Sauf pour l'usine E, les clarificateurs primaires étaient à l'extérieur.
- 3° *refroidissement*. Lorsque nécessaire, la température de l'eau est abaissée à 30-35°C pour permettre l'action et le développement efficaces des microorganismes. Dans le cas des tours de refroidissement, les prélèvements ont été faits près des ailettes et à la sortie des ventilateurs dans la direction du vent. Dans le cas des bassins et des fontaines, les mesures ont été prises dans le panache de diffusion. Les systèmes de refroidissement étaient à l'extérieur.
- 4° *aération et digestion*. Il s'agit du traitement secondaire proprement dit soit l'action des microorganismes sur la matière organique dissoute. Afin d'assurer la croissance et le maintien de la flore bactérienne, un contrôle strict des conditions doit être fait : quantité

suffisante d'oxygène, sources suffisantes de phosphore et d'azote et maintien du pH entre 6,5 et 7. Quel que soit le type de système, les prélèvements ont été faits dans la direction du vent. Seul le traitement des boues activées à l'oxygène se fait en circuit fermé avec des grilles ajourées à l'entrée et à la sortie où se sont faits les prélèvements.

- 5° *clarification secondaire*. La matière organique présente dans l'effluent traité est ensuite décantée. Une partie de ces boues secondaires contenant les microorganismes est recirculée à l'aération. L'excès est extrait et acheminé au traitement des boues. L'eau traitée est envoyée au cours d'eau récepteur. Les prélèvements ont été faits au centre ou autour du clarificateur dans le panache de diffusion. Les clarificateurs secondaires étaient à l'extérieur.
- 6° *traitement des boues*. Les boues mixtes (primaires, secondaires et autres telles que désencrage) sont asséchées et pressées. Le système peut être composé d'une table gravitaire ou table d'égouttement et d'une presse à bande ou à vis sans fin. Dans une des usines, des cellules de flottaison précédaient la table gravitaire. Au niveau de la table gravitaire, les prélèvements ont été faits au-dessus des boues. Aux presses, les prélèvements ont été faits au-dessus des boues et au niveau du bac de réception de l'eau. Situées à l'intérieur de l'usine principale ou du bâtiment des opérations du traitement secondaire, les tables et les presses étaient ventilées ou non, confinées ou non.
- 7° *disposition des boues*. Les boues sèches sont amenées par convoyeur dans des silos, dans des conteneurs ou amassées temporairement en piles. Elles sont ensuite enfouies, incinérées ou compostées. Selon les usines, les prélèvements ont été faits près ou à l'intérieur des convoyeurs, au site d'entreposage, au site d'enfouissement ou à la chaufferie. Aucune des usines évaluées ne gérait de site de compostage. Ces postes de mesure pouvaient être à l'intérieur ou à l'extérieur.

Certaines entreprises possèdent un *bassin d'urgence* qui reçoit l'effluent s'il présente des conditions qui pourraient affecter les microorganismes donc l'efficacité du traitement. L'effluent déversé dans le bassin d'urgence est alors réintroduit graduellement dans la séquence normale de traitement. Des prélèvements ont été faits près de ces bassins dans la direction du vent.

Des *bâtiments accessoires* ont aussi été évalués : salle des pompes, salle de l'effluent final et salle de neutralisation. L'air ambiant des salles de contrôle, laboratoires et salles à dîner du *bâtiment des opérations* du traitement secondaire a aussi été échantillonné.

Certaines *tâches spécifiques* ont été évaluées afin de vérifier si elles constituaient des sources d'émission de contaminants. Il s'agit de la prise d'échantillons d'eau ou de boues et du nettoyage des orifices du bassin de répartition des tours de refroidissement.

Pour les bioaérosols, des prélèvements ont été faits 300 mètres en *amont* pour connaître le niveau présent dans l'air la journée de l'intervention et 100 mètres en *aval* des usines de traitement secondaire et des sites d'enfouissement pour déterminer le niveau d'émission dans l'environnement.

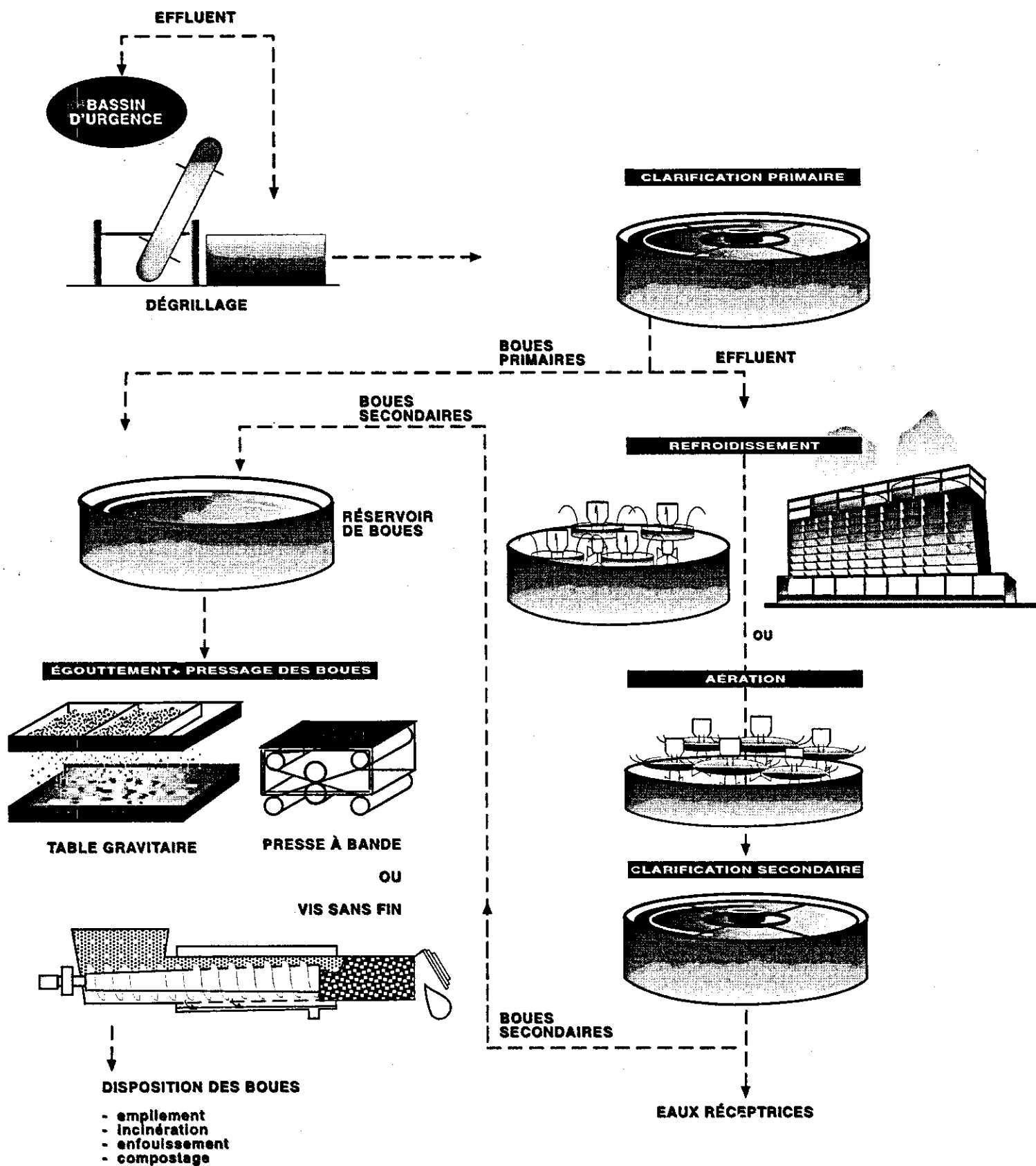


FIGURE 1 : Schéma du traitement secondaire des effluents des papetières

3.3 Composés chimiques et odeurs

Le traitement secondaire d'un effluent devrait en théorie conduire à la transformation de la matière polluante en produits plus stables tels que l'eau, l'anhydride carbonique, l'ammoniac, le méthane et en boues. Cependant, à cause de la nature des composés présents dans l'effluent, de la biodégradabilité variable des structures chimiques et des variations des conditions du milieu, plusieurs composés chimiques sont produits².

Des contaminants chimiques sous formes de poussières, de gaz et de vapeurs ont été recherchés. Parmi les composés soupçonnés d'être présents, se retrouvent des produits soufrés tels que l'hydrogène sulfuré, le méthylmercaptop, les sulfures de diméthyle déjà identifiés dans les usines de pâte kraft³, des produits oxygénés tels que les acides organiques, les alcools et les cétones, des hydrocarbures tels que les terpènes, constituantes du bois et des gaz dont le monoxyde et le dioxyde de carbone, le monoxyde et le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, l'ammoniac, le chlore et l'acide chlorhydrique. Les techniques ont été choisies de façon à permettre la détection des composés soupçonnés et l'identification de composés inconnus.

Les contaminants chimiques ont été mesurés soit par des instruments à lecture directe pour des mesures instantanées ou pour l'accumulation de données, soit sur différents milieux capteurs analysés subséquentement au laboratoire. Dans ce dernier cas et pour les dosimètres, les prélèvements ont été de 4 à 5 heures. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont résumées au tableau 1. Les instruments ont été étalonnés et les analyses ont été faites selon les méthodes standard de l'IRSST⁴.

Pour les usines A, D, E et G, des mesures de contaminants chimiques ont également été faites par le laboratoire mobile TAGA du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. La détection des contaminants a été réalisée en modes d'ionisation positive et négative à l'aide d'un spectromètre de masse en tandem (MS/MS) équipé d'une source opérant à pression atmosphérique (Sciex, TAGA 6000E). Les substances sont formellement identifiées en comparant leur comportement spectral avec des substances de référence certifiées. Les contaminants principalement recherchés étaient les suivants : l'hydrogène sulfuré, les terpènes, les mercaptans, les sulfures, les alcools, les cétones, les acides organiques, l'ammoniac, les amines et le dioxyde de soufre. Les limites de détection pour ces composés variaient entre 0,1 ug/m³ et 10 ug/m³. Des déplacements successifs sous le vent et à contre vent des sources d'émission, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments ciblés, ont permis d'évaluer la composition des panaches de dispersion par rapport au bruit de fond du secteur et de déterminer l'origine de ceux-ci. À l'intérieur, les mesures ont été prises entre 1 et 3 mètres de la dite source. En mettant en corrélation l'emplacement du point d'échantillonnage, l'évolution de la concentration et, pour les analyses réalisées à l'extérieur, les conditions atmosphériques, les sources d'émission ont pu être identifiées en éliminant la possibilité d'interférences provenant d'autres sources.

Les résultats représentent des concentrations ponctuelles mesurées en temps réel à un endroit donné et non des moyennes calculées sur une période de temps prédéterminé comme par exemple un quart de travail de 8 heures. Les valeurs d'exposition moyenne pondérées en vigueur au Québec dans le

Règlement sur la qualité du milieu de travail⁵ ont cependant été considérées à titre indicateur de l'importance des émissions.

La problématique des odeurs a été abordée par la détection des produits responsables de la production majeure des odeurs. Les concentrations mesurées ont été comparées au seuil olfactif de ces produits rapportés dans la littérature⁶⁻⁸, bien que conscients que ces données sont subjectives et très variables d'une étude à l'autre. Il est reconnu que l'outil le plus performant dans ce cas est encore le nez et la méthode d'évaluation la plus précise est l'évaluation in situ car ils ne font appel à aucun artifice ou méthode de reproduction⁹. L'odeur est alors qualifiée en fonction de son intensité (absence jusqu'à intolérable) et l'inconfort associé (plaisant à intolérable).

3.4 Bioaérosols

Des prélèvements sur milieu nutritif ont été faits pour les bactéries totales, les bactéries Gram négatives, les bactéries actinomycètes, les moisissures totales et la moisissure *Aspergillus fumigatus*. À cause de l'absence de bactéries actinomycètes dans les trois premières papetières évaluées, la recherche de celles-ci a été abandonnée. Pour les bioaérosols, deux échantillons étaient prélevés simultanément ou successivement à chacun des postes de mesure. Les prélèvements ont été faits à 28 L/min pour des périodes de 1 minute. Après des périodes d'incubation de 2 à 7 jours, les colonies formées ont été dénombrées. Les endotoxines libérées par les bactéries Gram négatives ont été prélevées sur des filtres en polycarbonate. Quatre échantillons ont été prélevés simultanément. La durée d'échantillonnage était de quatre heures à un débit de 2 L/min.

Les méthodes sont résumées au tableau 1.

Il n'existe pas de normes québécoises d'exposition aux bioaérosols. Le paramètre de base utilisé par le Comité américain sur les bioaérosols de l'ACGIH pour déterminer s'il y a foyer de prolifération ou source d'émission de bioaérosols est la comparaison des espèces et des concentrations au poste de mesure par rapport à celles de l'air extérieur en amont^{10,11}. Cette comparaison est particulièrement utile pour les moisissures. De plus, à partir des études déjà réalisées dans les centres de traitement des eaux usées et de compostage, les valeurs guides suivantes ont été proposées pour une exposition de 8 heures, soit 10^4 UFC/m³ d'air pour les bactéries totales et 10^3 UFC/m³ d'air pour les bactéries Gram négatives. Pour les endotoxines, les valeurs proposées dans la littérature varient de 50 à 300 UE/m³ d'air.¹²⁻¹⁵

3.5 Conditions climatiques

Les conditions climatiques extérieures soit la température, l'humidité relative, la direction et la vitesse du vent prévalant aux dates des interventions ont été obtenues des services climatologiques d'Environnement Canada et du laboratoire mobile TAGA. Ces relevés ont été fournis pour 08h, 12h et 16h. La température et l'humidité relative aux postes de mesure ont également été notées.

Tableau 1 : Méthodes IRSST pour les composés chimiques et les bioaérosols

Agent	Échantillonnage	Analyse	
		Principe	Limite de quantification
Composés chimiques			
Organiques volatils (autres que CHCl ₃)	ILD - chromatographe portatif Voyager	Chromatographie en phase gazeuse	MME,EME,DMS,D MDS: ,05 ppm ACE: ,5; MEK: ,1 EOH,MOH,POH: 2 ppm
	ILD - HNU	Photoionisation	1 (sans unité)
	Tube de charbon actif, 0,2L/min, 240 minutes	Chromatographie phase gazeuse+ spectrométrie de masse	selon composé identifié
CHCl ₃	ILD - tube Drager	Colorimétrie	2 ppm
HCl	ILD - tube capillaire CMS	Colorimétrie	1 ppm
Cl ₂	ILD - tube capillaire CMS	Colorimétrie	,2 ppm
CO	ILD -dosimètre Toxilog, 240 minutes	Pile électrochimique	1ppm
CO ₂	ILD- ADC PM-3	Infra-rouge	10 ppm
NO	ILD -dosimètre Toxilog, 240 minutes	Pile électrochimique	1 ppm
NO ₂	ILD -dosimètre Toxilog, 240 minutes	Pile électrochimique	,5 ppm
NH ₃	ILD - tube capillaire CMS	Colorimétrie	2 ppm
H ₂ S	ILD - chromatographe portatif Voyager	Chromatographie en phase gazeuse	,1 ppm
	ILD -dosimètre Toxilog, 240 minutes	Pile électrochimique	1 ppm
	ILD - tube capillaire CMS	Colorimétrie	2 ppm
SO ₂	ILD -dosimètre Toxilog, 240 minutes	Pile électrochimique	,5 ppm

Agent	Échantillonnage	Analyse	
		Principe	Limite de quantification
Poussières	ILD - Dust Track TSI	Photométrie	,1 mg/m ³
	Filtre chlorure de vinyle, 37mm, 2L/min, 240 minutes	Gravimétrie	25 ug
Bioaérosols			
Bactéries totales	Impacteur Andersen+ milieu agar au trypticase et soya, 28L/min, 1 minute	Incubation 2jours, 37,5°C + dénombrement	36 UFC/m ³
Bactéries Gram négatives	Impacteur Andersen+ milieu agar McConkey, 28L/min, 1 minute	Incubation 2 jours, 37,5°C + dénombrement	36 UFC/m ³
Thermoactinomyces	Impacteur Andersen+ milieu agar au trypticase et soya, 28L/min, 1 minute	Incubation 2jours, 56°C + dénombrement	36 UFC/m ³
Moisissures totales	Impacteur Andersen+ milieu agar à extrait de malt, 28L/min, 1 minute	Incubation 5-7 jours, 25°C + dénombrement	36 UFC/m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Impacteur Andersen+ milieu agar à extrait de malt, 28 L/min, 1 minute	Incubation 5-7 jours, 25°C + dénombrement	36 UFC/m ³
Endotoxines	Filtre en polycarbonate, 2 L/min, 240 minutes	Test LAL + photométrie	0,05 UE/m ³

MME = méthylmercaptan
DMS = sulfure de diméthyle
ACE = acétone
EOH = éthanol
POH = propanol

EME = éthylmercaptan
DMDS = disulfure de diméthyle
MEK = méthyléthylcétone
MOH = méthanol

ILD = instrument à lecture directe
ppm = partie par million
mg/m³ = milligramme par mètre cube d'air
ug = microgramme
UFC/m³ = unité formatrice de colonie par mètre cube d'air
UE/m³ = unité d'endotoxine par mètre cube d'air
LAL = lysat d'améobocyte de limule

4. RÉSULTATS

4.1 Caractéristiques des usines participantes

Le tableau 2 présente les onze papeteries en fonction du type de production ou d'utilisation de pâte de papier et du type de traitement secondaire. Les caractéristiques de production de ces traitements y sont également rapportées.

Tableau 2 : Caractéristiques de production des systèmes de traitement

Usine	Type de pâte ⁽¹⁾	Traite- ment ⁽³⁾	Quantité d'effluent traité (m ³ /jour)	Quantité de boues traitées		
				tonnes/ jour	% primaires	% secondaires
A	kraft (100%)	BAC	municipal:1 000 usine:20 000	30	35	65
B	kraft (100%)	EA	70 000	10	20	80
C	kraft (100%)	BAO	100 000	10	60	40
D	mécanique(70%) / kraft(30%)	RBS	60 000	40	60	40
E	mécanique(65%) / sulfite(28%) / kraft(7%) ⁽²⁾	RBS	35 000	25	55	45
F	mécanique(42%) / sulfite(42%) /désencré(15%) ⁽²⁾ / kraft (1%) ⁽²⁾	BAC	40 000	30	45	55
G	mécanique(97%) / kraft(3%) ⁽²⁾	BAC	70 000	65	80	20
H	mécanique(80%) /désencré(20%)	RBS	35 000	24	60	40
I	mécanique(48%) /désencré(48%) / kraft(3%) ⁽²⁾	BAO	70 000	80	75	25
J	désencré(95%) ⁽²⁾ / kraft(5%) ⁽²⁾	BAC	municipal:2 000 usine:20 000	12	60	40
K	kraft(70%) ⁽²⁾ /désencré(30%) ⁽²⁾	EA	7 000	0,75	33	66

⁽¹⁾ La proportion du type de pâte est indiquée entre parenthèses

⁽²⁾ Ce type de pâte n'est pas produit à l'usine mais acheté

⁽³⁾ BAC = boues activées conventionnelles

BAO = boues activées à l'oxygène

EA = étang aéré

RBS = réacteur biologique séquentiel

4.2 Composés chimiques

Cette section présente les résultats de contaminants chimiques mesurés dans les onze usines. Le tableau 3 rapporte pour chacun des composés chimiques recherchés ou identifiés et par usine, les étapes du procédé ou les localisations particulières à certaines usines où il a été mesuré à des concentrations significatives soit supérieures à 10% de la valeur moyenne d'exposition⁵ lorsque disponible ou supérieures à leur seuil olfactif⁶⁻⁸. Les résultats obtenus lors de l'évaluation des deux tâches spécifiques de prises d'échantillons et de nettoyage des bassins de répartition des tours de refroidissement y sont aussi inclus lorsque significatifs. Les usines sont identifiées en fonction du type de pâte et du type de traitement secondaire.

Les résultats complets sont rapportés à l'annexe A. Les concentrations mesurées y sont rapportées aux tableaux A1 à A7 pour chacune des étapes communes du procédé en fonction du type de pâte de papier : kraft, mécanique/kraft, mécanique/sulfite, mécanique, mécanique/désencré, désencré et kraft/désencré. Le tableau A8 rapporte les résultats des situations particulières à certaines usines et le tableau A9 ceux des tâches spécifiques.

D'autres contaminants ont aussi été détectés en faibles concentrations dans l'air ambiant par le laboratoire mobile TAGA. Il s'agit notamment des composés organiques volatils relativement communs généralement retrouvés en milieu urbain et qui sont reliés à la combustion de matières organiques, aux produits pétroliers et à la circulation automobile. C'est le cas du toluène, xylène, éthylbenzène, benzène, propylbenzène et triméthylbenzène. Pour les trois premiers, les concentrations n'ont jamais atteint 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors que les autres sont demeurés en deçà de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ soit des concentrations similaires ou inférieures à celles mesurées en milieu urbain. C'est aussi le cas pour toute la série des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA). Certains contaminants chlorés ont aussi été détectés : chloroforme, tétrachlorure de carbone, dichloroéthane, trichloroéthane, trichloroéthène, tétrachloroéthène, chlorobenzène et dichlorobenzène. Aucun de ces contaminants n'a atteint sur une courte période la concentration de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et ce pour tous les postes visités autant à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments.

Sauf dans les cas indiqués au tableau 3, les concentrations de monoxyde de carbone étaient inférieures à 2 ppm, celles de dioxyde de carbone inférieures à 800 ppm et celles de dioxyde de soufre inférieures à 0,03 ppm. Pour les poussières, les mesures étaient toutes inférieures à 1 mg/m^3 .

Tableau 3 : Composés chimiques mesurés au traitement secondaire

Composé recherché ou identifié	Type de pâte*	Type de traitement* (Usine)	Étapes du traitement	Concentrations (ppm)
CLASSE : PRODUITS SOUFRÉS				
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	K	BAC (A)	dégrilleur; table gravitaire (prise d'échantillons); évent des dégrilleurs	1 à 20 ; 6 à 38 ; 1 à 8
		EA (B)	refroidissement; table gravitaire; presse à boues; convoyeur; réservoir effluent final; prise d'échantillons	1 à 2 ; 1 à 4 ; 2 à 6 ; 1,5 ; 182 ; 1 à 27
		BAO (C)	dégrilleur; table gravitaire; évents; puisards; prise d'échantillons	0,5 ; 1 à 6 ; 10,7 ; 64 ; 6,8
	M/K	RBS (D)	table gravitaire; presse à boues; puisards	3 à 6 ; 1 à 2 ; 1,8
	M/S	RBS (E)	presse à boues; prise d'échantillons	1 à 5 ; 2,2
	M/D	RBS (H)	table gravitaire; convoyeur; prise d'échantillons	1 ; 11,6 ; 6 à 8
		BAO (I)	presse à boues; réservoir de boues	1 à 12 ; 18,3
Méthylmercaptan (MME)	K	BAC (A)	dégrilleur; clarificateur primaire; refroidissement; table gravitaire (prise d'échantillons); presse à boues; évent	0,4 à 4,5 ; 0,4 ; 0,5 à 2,9 ; 0,3 à 1,5 ; 0,2 ; 3,6 à 6
		EA (B)	refroidissement; réservoir effluent final	2,7 ; 0,75
		BAO (C)	dégrilleur; refroidissement; table gravitaire; chargement; évents; puisards; prise d'échantillons	0,1 à 1,4 ; 0,3 ; 0,9 à 2,7 ; 0,1 ; 26,7 ; 39 ; 4,9
	M/K	RBS (D)	dégrilleur; refroidissement; table gravitaire; presse à boues; effluent final; puisards; drains d'éviers	0,1 ; 0,07 ; 0,5 à 1,0 ; 0,2 à 0,46 ; 0,2 ; 2,44 ; 1,8
	M	BAC (G)	table gravitaire; chargement	0,22 ; 0,18
	M/S	RBS (E)	table gravitaire; presse à boues	0,27 ; 0,19
		BAC (F)	chargement	0,07
	M/D	RBS (H)	table gravitaire; convoyeur	0,05 ; 1,14
		BAO (I)	réservoir de boues	0,66

Composé recherché ou identifié	Type de pâte*	Type de traitement* (Usine)	Étapes du traitement	Concentrations (ppm)
Sulfure de diméthyle (DMS)	K	BAC (A)	dégrilleur;clarificateur primaire; refroidissement; table gravitaire (prise d'échantillons); presse à boues	0,05 ; 0,02 ; 0,03 ; 0,10 ; 0,07
	K	EA (B)	refroidissement; chargement;réservoir effluent final	0,71 ; 0,05 ; 0,18
		BAO (C)	dégrilleur;refroidissement;table gravitaire; évents;puisards;prise d'échantillons	1,3 ; 0,24 ; 0,41 ; 4,9; 20,8 ; 0,68
	M/K	RBS (D)	dégrilleur;refroidissement;table gravitaire; presse à boues;puisards; drains d'éviers; prise d'échantillons	1,5 ; 2,17 ; 0,30 ; 0,24 ; 23,9 ; 23,6; 0,14
	M	BAC (G)	table gravitaire	0,06
	M/S	BAC (F)	chargement	0,08
		BAO (I)	réservoir de boues	0,08
	D	BAC (J)	presse à boues	0,35
Disulfure de diméthyle (DMDS)	K	BAC (A)	refroidissement	0,06
		EA (B)	refroidissement; chargement	0,16 ; 0,16
		BAO (C)	dégrilleur;clarificateur primaire; refroidissement; table gravitaire; évents;puisards;prise d'échantillons	0,6-2,9 ; 0,08 ; 0,69; 0,38 ; 4,1 ; 3,56 ; 0,49
	M/K	RBS (D)	dégrilleur;refroidissement,table gravitaire; presse à boues; puisards;drains d'éviers	1,25 ; 2,39 ; 0,11 ; 0,003 ; 21,4 ; 19,3
	M/D	BAO (I)	réservoir de boues	0,10
CLASSE : HYDROCARBURES				
Terpènes	K	BAC (A)	dégrilleur	0,3
	M/S	RBS (E)	dégrilleur;clarificateur primaire; presse;enfouissement	0,3 ; 0,2 ; 0,6 ; 0,2
CLASSE : PRODUITS OXYGÉNÉS : ACIDES				
acétique+butyrique+formique+propionique+valérique	K	BAC (A)	clarificateur primaire;refroidissement; clarificateur secondaire;table gravitaire presse à boues;chargement; site d'enfouissement	0,008 ; 0,003 ; 0,016 ; 0,007 ; 0,028 ; 0,009 ; présence
	M/K	RBS (D)	piles de boues	0,073
	M	BAC (G)	piles de boues	0,007
	M/S	RBS (E)	site d'enfouissement	0,005

Composé recherché ou identifié	Type de pâte*	Type de traitement* (Usine)	Étapes du traitement	Concentrations (ppm)
CLASSE : PRODUITS OXYGÉNÉS : ALCOOLS				
Éthanol;méthanol; propanol	K	BAC (A)	dégrilleur;refroidissement;évent des dégrilleurs	7 ; 3 ; 19 (méthanol)
CLASSE : PRODUITS OXYGÉNÉS : CÉTONES				
Acétone; méthyl- éthylcétone	non décelé ou traces			
CLASSE : GAZ				
Monoxyde de carbone (CO)	K	BAC (A)	dégrilleur; table gravitaire	1 à 37 ; 3 à 11
		BAO (C)	dégrilleur	1 à 18
	M/S	RBS (E)	table gravitaire	4 à 16
	M/D	RBS (H)	dégrilleur	5 à 44
	D	BAC (J)	table gravitaire	2 à 8
Dioxyde de carbone (CO ₂)	K	BAC (A)	table gravitaire	1400
		BAO (C)	aération	1700
	M/K	RBS (D)	table gravitaire	1230
	M/S	RBS (E)	aération; table gravitaire	1500 ; 3770
	M/D	BAO (I)	aération	1700
	D	BAC (J)	aération;;presse	1800 ; 1100
Monoxyde d'azote (NO)	K	BAO (C)	dégrilleur	3 à 11
	M/K	RBS (D)	dégrilleur	1 à 5
	M/S	RBS (E)	dégrilleur	2,5
Dioxyde d'azote (NO ₂)	non décelé			
Dioxyde de soufre (SO ₂)	M/S	RBS (E)	dégrilleur	2,2
Produits chlorés (Cl ₂ +HCl+CHCl ₃)	non décelé			

Composé recherché ou identifié	Type de pâte*	Type de traitement* (Usine)	Étapes du traitement	Concentrations (ppm)
NH ₃	K	BAC (A)	dégrilleur;clarificateur primaire; refroidissement;clarification secondaire; table gravitaire;presse	1 à 7; 1 à 7 ; 1 à 6; 3 à 14 ; 1 à 7 ; 6 à 29
	M/K	RBS (D)	puisards	>14,6
	M/S	RBS (E)	dégrilleur	1,2

*Type de pâte :

K = kraft M = mécanique S = sulfite D = désencré

*Type de traitement :

BAC boues activées conventionnelles BAO = boues activées à l'oxygène
Ea = étang aéré RBS = réacteur biologique séquentiel

4.3 Bioaérosols

Cette section présente les résultats de bioaérosols mesurés dans les onze usines. Le tableau 4 rapporte pour chacun des types de bioaérosols recherchés les étapes du procédé ou les localisations particulières à certaines usines où ils ont été mesurés à des concentrations significatives (supérieures soit aux niveaux recommandés pour les bactéries ou supérieures, d'une façon statistiquement significative, aux concentrations mesurées en amont pour les moisissures). Les résultats obtenus lors de l'évaluation des deux tâches spécifiques de prises d'échantillons et de nettoyage des bassins de répartition des tours de refroidissement y sont aussi inclus lorsque significatifs. Les usines sont identifiées en fonction du type de pâte et du type de traitement secondaire.

Les résultats détaillés des mesures de bioaérosols sont présentés à l'annexe B au tableau B1 pour les étapes principales du traitement, au tableau B2 pour les étapes particulières à certaines usines et au tableau B3 lors de la prise d'échantillons.

Tableau 4 : Bioaérosols mesurés au traitement secondaire

Type de bioaérosol recherché	Type de pâte*	Type de traitement* (Usine)	Étapes du traitement	Concentrations
BACTÉRIES (UFC/m³)				
Totales	K	BAC (A)	Aération; disposition des boues.	14 985; 46 900
	K	EA (B)	Refroidissement; presses à boues.	80 800; 13 750
	M	BAC (G)	Table gravitaire.	10 305
	MD	BAO (I)	Table gravitaire	22 850
	D	BAC(J)	Table gravitaire	20 410
Gram négatives	K	EA (B)	Refroidissement	4 670
MOISSURES (UFC/m³)				
Totales	K	BAC (A)	Disposition des boues	9 110
	MS	RBS(E)	Dégrillage	2 040
	MS	BAC (F)	Dégrillage	4 140
	M	BAC (G)	Disposition des boues	11 340
	MD	RBS (H)	Réservoir des boues	10 980
	D	BAC (J)	Dégrillage; table gravitaire	6 840; 4 125
<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	-	-	-
ENDOTOXINES (UE/m³)				
	MS	RBS (E)	Clarification primaire	900
	M	BAC (G)	Carification primaire	> 5 000
	MD	RBS (H)	Table gravitaire	2 065
	D	BAC (J)	Table gravitaire	> 5 000

*Type de pâte :

K = kraft M = mécanique S = sulfite D = désencré

*Type de traitement :

BAC boues activées conventionnelles

Ea = étang aéré

BAO = boues activées à l'oxygène

RBS = réacteur biologique séquentiel

5. DISCUSSION

L'étude des résultats de contaminants chimiques et de bioaérosols est présentée en fonction des objectifs de l'étude. Tout d'abord, ils ont été regardés en fonction de leur identité chimique ou microbiologique afin de ressortir les principaux agents présents dans ce type d'environnement de travail. Cette étude a permis de ressortir des indicateurs de suivi de la qualité de l'air. Les résultats ont ensuite été traités en fonction des différentes étapes du procédé afin de ressortir les différentes caractéristiques d'aménagement des équipements qui influencent leur émission ou leur propagation dans l'air et ainsi proposer des correctifs.

5.1 Identification des agents présents dans l'environnement de travail

5.1.1 Contaminants chimiques

Les principaux contaminants gazeux retrouvés dans l'air des différents postes de mesure du traitement secondaire des effluents des onze usines étaient par ordre d'importance au niveau de leur fréquence ou de leur concentration: des produits soufrés (hydrogène sulfuré, méthylmercaptan, sulfure de diméthyle et disulfure de diméthyle), des terpènes, l'ammoniac, le monoxyde et le dioxyde de carbone, le monoxyde et le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, des acides organiques (acétique, butyrique, formique, propionique et valérique), des alcools (méthanol, éthanol et propanol) et des cétones (acétone et méthyléthylcétone). Bien que les mesures aient été prises aux sources d'émission, les valeurs admissibles au Québec⁵ pour des expositions moyennes de 8 heures et de 15 minutes ont été considérées comme éléments d'information pouvant aider à porter un jugement sur l'importance des émissions. Elles sont rapportées au tableau 5. Bon nombre de ces composés sont associés à la production d'odeurs comme le montrent les seuils olfactifs également rapportés dans ce tableau⁶⁻⁸.

Tableau 5 : Seuils olfactifs et valeurs admissibles d'exposition

Composé	Plage de concentrations ⁽¹⁾ (ppm)	Seuil olfactif (ppm)	Valeur d'exposition moyenne (ppm)	Valeur d'exposition courte durée (ppm)
Hydrogène sulfuré	nd(<0,1) à 38	0,004-0,008	10	15
Méthyl mercaptan	nd(<0,05) à 4,5	0,002-0,041	,5	---
Sulfure de diméthyle	nd(<0,05) à 2,1	,001	---	---
Disulfure de diméthyle	nd(<0,05) à 2,9	,0003	---	---

Composé	Plage de concentrations ⁽¹⁾ (ppm)	Seuil olfactif (ppm)	Valeur d'exposition moyenne (ppm)	Valeur d'exposition courte durée (ppm)
Terpènes	nd(<0,01) à 1	---	---	---
Ammoniac	nd(<2) à 29	5	25	35
Monoxyde de carbone	1 à 44	100 000	35	200
Dioxyde de carbone	<800 à 3770	74 000	5 000	30000
Monoxyde d'azote	nd(<1) à 11	---	25	---
Dioxyde d'azote	nd(<0,5)	0,4	3	---
Dioxyde de soufre	nd(<0,5) à 2,2	1	2	5
Acide acétique	mélange: nd(<0,001) à 0,070	0,0002 à 1 mélange : 0,001	10	15
Acide butyrique			---	---
Acide formique			5	10
Acide propionique			10	---
Acide valérique			---	---
Éthanol	nd(<2)	4400	1000	---
Isopropanol	nd(<2)	22	400	500
Méthanol	3 à 19	100	200	250
Acétone	nd(<0,5)	13	750	1000
Méthyléthyl-cétone	nd(<0,1)	5	50	100

⁽¹⁾ Excluant les espaces clos. Les limites de détection indiquées sont celles des méthodes de l'IRSST.

L'étude spécifique par classe de contaminants chimiques a permis de ressortir certains paramètres d'influence et de suivre l'évolution tout au long du procédé.

• *Produits soufrés.*

À tous les postes où des contaminants chimiques ont été mesurés de façon significative, il y avait présence d'un ou plusieurs produits soufrés avec prédominance de l'hydrogène sulfuré suivi du méthylmercaptan et des sulfures de diméthyle. Les concentrations étaient très variables et les valeurs maximales enregistrées ont été de 38 ppm en hydrogène sulfuré, de 4,5 ppm en méthylmercaptan, de 2,1 ppm en sulfure et 2,9 en disulfure. Des concentrations beaucoup plus élevées ont été obtenues dans des espaces clos tels que les réservoirs de boues ou d'effluent et au niveau des puisards et des drains.

Les résultats démontrent que le type de pâte de papier est un facteur déterminant de leur présence dans les rejets atmosphériques. Ainsi, pour les usines où il y a production exclusive de pâte chimique kraft, les quatre produits soufrés étaient présents dans l'effluent brut et étaient dissipés dans l'air par le brassage de l'eau lors des étapes de dégrillage, clarification primaire ou refroidissement. Suite au traitement secondaire, les quatre produits soufrés ont été retrouvés au niveau des boues notamment lors du traitement alors qu'au niveau de l'effluent traité, seulement des traces d'hydrogène sulfuré et de méthylmercaptan étaient décelées. Aucun produit soufré n'a ensuite été retrouvé au site d'enfouissement. De même à l'usine D où la proportion de pâte kraft était de l'ordre de 30 %, les quatre produits soufrés ont été mesurés à l'une ou l'autre des étapes de brassage de l'eau brute et au traitement des boues. Pour les usines où la pâte kraft était présente en faible proportion, inférieure à 10 %, seuls les plus volatils soit l'hydrogène sulfuré et le méthylmercaptan ont été décelés en très faibles concentrations à l'effluent brut et en concentrations un peu plus importantes au traitement des boues. Une seule usine n'utilisait pas de pâte kraft. Seul l'hydrogène sulfuré a été mesuré en très faible concentration au dégrillage et au traitement des boues. Des traces de méthylmercaptan ont aussi été obtenues à la table gravitaire. Ces résultats tendent à démontrer que le traitement secondaire lui-même génère peu de produits soufrés soit de faibles concentrations d'hydrogène sulfuré et de méthylmercaptan que l'on retrouve majoritairement au niveau des boues.

• *Terpènes*

Les terpènes décelés étaient les pinènes, les carènes, le limonène, le camphène, le myrcène, l'isoprène et leurs oxydes. Bien que retrouvés en concentrations mesurables à peu de postes, ces composés ont été décelés de façon olfactive dans plusieurs usines. Les concentrations mesurées étaient inférieures à 1 ppm, avec prédominance des pinènes.

Ces composés sont des constituantes du bois et leur présence aux différents postes de mesure du traitement secondaire pouvait être due à la fois à leur présence dans l'environnement général de l'usine et au brassage de l'effluent qui inévitablement en contient.

Ces produits sont oxydés en cours de procédé et se retrouvaient majoritairement sous cette forme

oxydée au niveau des boues et des sites d'enfouissement.

- *Ammoniac*

Ce gaz a été mesuré de façon significative par le laboratoire mobile à une seule usine, la A. Il a été mesuré tout au long du procédé avec une augmentation des concentrations à la fin du procédé soit au niveau de la clarification secondaire et au pressage des boues. Les concentrations ont atteint 29 ppm. Des mesures avaient également été prises à l'aide d'un tube capillaire colorimétrique mais n'avaient pas décelé le produit. Il semble donc que cette technique n'était pas appropriée pour détecter l'ammoniac et l'absence d'ammoniac dans les autres usines ne peut être confirmée sauf pour les trois autres évaluées par le laboratoire mobile.

- *Oxydes de carbone*

Le monoxyde de carbone a été mesuré à des concentrations supérieures à celles de l'air extérieur à six postes. Trois de ces postes étaient situés au-dessus de la fosse d'arrivée de l'effluent des dégrilleurs avec des concentrations maximales de 18 à 44 ppm. La présence particulière de monoxyde de carbone à ces dégrilleurs ne peut être expliquée. Les trois autres postes étaient situés aux tables gravitaires avec des valeurs de 8 à 16 ppm qui peuvent s'expliquer par l'activité microbienne.

Des concentrations supérieures à 800 ppm de dioxyde de carbone ont été obtenues à huit postes dont quatre tables gravitaires et quatre systèmes d'aération. La valeur maximale mesurée a été de 3770 ppm à une table gravitaire. Dans les autres cas, elles étaient inférieures à 1700 ppm. Le dioxyde de carbone est un sous-produit de l'activité microbienne.

- *Oxydes d'azote*

Le monoxyde d'azote a été mesuré à trois dégrilleurs à des valeurs maximales respectives de 2,5, 5 et 11 ppm.

Le dioxyde d'azote n'a pas été décelé.

- *Dioxyde de soufre*

Le dioxyde de soufre a été mesuré en concentration importante soit 2,2 ppm à un seul poste soit le dégrilleur de l'usine E. L'effluent de la pâte au sulfite pourrait en être la source.

- *Acides organiques*

La recherche de ces acides a été faite par le laboratoire mobile donc dans quatre usines seulement. Cependant, à cause de leurs odeurs très caractéristiques à très faibles concentrations (de l'ordre du ppb), ils ont été perçus dans une majorité d'usines. Les acides acétique, butyrique, formique,

propionique et valérique ont été mesurés ou décelés de façon olfactive aux dernières étapes du procédé notamment dans les piles de boues et les sites d'enfouissement. Les concentrations totales mesurées étaient de l'ordre de 1 à 70 ppb.

- *Alcools*

Parmi les alcools recherchés, seul le plus volatil, le méthanol, a été mesuré en faible concentration dans l'effluent brut de l'usine A. Des traces d'éthanol et d'isopropanol ont été occasionnellement détectées.

- *Cétones*

Des traces d'acétone et de méthyléthylcétone ont été décelés occasionnellement aux différentes étapes du procédé.

De façon globale, on observe une évolution de la nature des contaminants tout au long du procédé, suite au phénomène d'oxydation. Ainsi au départ, dans l'effluent brut, on constate la présence des produits plus volatils tels que l'hydrogène sulfuré, le méthylmercaptan et le méthanol, ensuite des contaminants plus lourds et finalement lors de la fermentation bactérienne dans les bassins et les boues, des acides organiques, de l'ammoniac et des oxydes de terpènes.

Les résultats ne démontrent pas d'influence du type de traitement secondaire sur la nature de composés chimiques émis.

Le traitement combiné d'effluents sanitaires à ceux de l'usine n'a pas non plus influencé la nature des émissions. Il faut noter que la proportion d'effluents sanitaires était inférieure à 10 %.

5.1.2 Odeurs

La perception de l'odeur et les inconvénients qui y sont associés sont soumis aux différences de réponse physiologique des individus, ce qui explique en partie la variation dans les seuils de perception olfactive rapportés dans la littérature. De plus, ces valeurs sont établies avec des substances pures mais les propriétés olfactives d'un mélange peuvent être différentes. Il est possible que le mélange, en tout ou en partie, induise une inhibition ou à l'inverse une exacerbation de la perception.

Le nez est souvent l'outil le plus performant pour évaluer le niveau et l'inconfort provoqués par ces odeurs. Aux postes où des produits soufrés et des acides organiques étaient présents, les odeurs perçues par l'ensemble des participants à l'étude allaient d'évidentes à très fortes en intensité et de gênant à intolérable au niveau de l'inconfort. Ainsi, pour les acides organiques, les odeurs devenaient perceptibles à une concentration totale dans l'air ambiant atteignant 0,001 ppm et vraiment gênantes lorsque la valeur était supérieure à 0,005 ppm. Ils ont été perçus particulièrement aux boues accumulées en aux sites d'enfouissement. Dans le cas des terpènes, leur odeur caractéristique se

distingue clairement et peut être perçue au départ comme agréable ou à tout le moins acceptable mais elle devient gênante avec le temps.

Globalement, on note une évolution des odeurs tout au long du procédé qui suit inévitablement celle des contaminants. Ainsi à la réception des effluents, l'odeur caractéristique des terpènes prédominait, sauf dans les usines de pâte kraft où l'odeur des produits soufrés était plus forte. Sur le site occupé par les bassins de clarification, de refroidissement et d'aération, habituellement aucune odeur n'était perçue autour de ces bassins à cause du phénomène de dilution dans l'air extérieur. Au pressage des boues, les odeurs désagréables de produits soufrés et d'acides étaient souvent présentes. Dans le reste du bâtiment du traitement secondaire, les odeurs étaient habituellement très faibles et non perceptibles dans les salles de contrôle, laboratoires et cuisines. Lorsque les boues étaient empilées avant leur disposition, des odeurs pénibles d'acides organiques ont été perçues et augmentaient lors de leur manipulation pour le chargement. Ces acides organiques ont été aussi retrouvés à certains sites d'enfouissement mélangés à des terpènes.

La comparaison des seuils de perception olfactive et des limites d'exposition notamment pour les produits soufrés et les acides organiques permet de bien saisir et expliquer la différence entre odeur et toxicité.

5.1.3 Bioaérosols

• *Bactéries totales*

Les concentrations moyennes de bactéries totales étaient supérieures au niveau suggéré pour ce genre d'activité de 10 000 UFC/m³ d'air pour une exposition de huit heures à sept des 122 postes échantillonnés, soit 6% des cas.^{12,13,16-19} Il s'agissait de trois tables gravitaires, d'une presse à boues, d'un refroidisseur à la sortie des ventilateurs, d'un aérateur et d'un site d'enfouissement. Les concentrations moyennes ont varié de 10 305 UFC/m³ d'air à l'une des tables gravitaires jusqu'à 80 800 UFC/m³ d'air à la tour de refroidissement. Le type de traitement secondaire et le type de pâte ne semblent pas avoir influencé l'émission dans l'air de ces microorganismes.

Ces concentrations maximales rejoignent celles mesurées dans d'autres études sur les centres d'épuration des eaux usées et de traitement secondaire des effluents d'usines de désencrage qui étaient de l'ordre de 10⁴ UFC/m³ d'air.^{16,17,19-22} Toutefois, il serait souhaitable de rappeler aux travailleurs que les mesures d'hygiène personnelle devraient être rigoureusement appliquées dans ces départements.

• *Bactéries Gram négatives*

Lorsque les concentrations moyennes des bactéries Gram négatives ont été comparées à la valeur limite d'exposition de 1000 UFC/m³ d'air proposée pour ce genre de milieu de travail, seule la tour de refroidissement de l'usine B avec une concentration de 4 670 UFC/m³ d'air dépassait cette valeur.^{12,13,16-19} Le niveau proposé pour une exposition de huit heures serait donc dépassé dans moins

de 1% des cas. Il est suggéré que les composantes du système de refroidissement soient exemptes de limon et d'algues. En effet, ces substances, en plus de réduire l'efficacité du refroidissement, sont des sources de prolifération microbienne.²³

- *Bactéries thermoactinomycètes*

Les bactéries thermoactinomycètes ou actinomycètes thermophiles ont été échantillonnées dans les trois premières usines à cause de la température des effluents qui pouvait constituer un climat idéal pour leur croissance.²⁷ Toutefois, ces bactéries n'ayant pas été détectées, les prélèvements ont été abandonnés.

- *Moisissures totales*

Les concentrations moyennes de moisissures totales étaient supérieures, d'une façon statistiquement significative, à celles mesurées à 300 mètres en amont du traitement secondaire, à seulement 6 des 122 postes échantillonnés soit 5% des cas. Elles variaient de 2 040 UFC/m³ d'air à l'un des dégrilleurs jusqu'à 10 980 UFC/m³ d'air au réservoir des boues de l'une des usines. Ces concentrations moyennes rejoignent celles mesurées dans des études dans des centres d'épuration des eaux usées qui étaient de l'ordre de 10³ UFC/m³ d'air.^{16,17} Dans une étude sur les facteurs environnementaux en relation avec l'état de santé des travailleurs de porcherie en Suède, des concentrations plus grandes ou égales à 13 000 UFC/m³ d'air de moisissures ont été reliées, d'une façon statistiquement significative, avec des symptômes respiratoires.²⁴ L'exposition aux moisissures a été aussi reliée à des alvéolites allergiques et au syndrome toxique par exposition aux poussières organiques.²⁵

L'inhalation des spores et de propagules fongiques peut avoir d'autres effets sur la santé des gens exposés que la stimulation d'une réaction allergique. L'expression "mycotoxicose pulmonaire" est utilisée pour désigner un groupe de maladies causées par des mycotoxines, endotoxines et d'autres facteurs.²⁶ Toutefois, il n'est pas encore connu dans quelle mesure la présence de mycotoxines peut contribuer à la capacité des spores ou des propagules fongiques inhalés de provoquer la maladie et comment l'inhalation de produits volatils émis par les moisissures peut affecter les humains.²⁶

- *Moisissure Aspergillus fumigatus*

Cette espèce de moisissure thermotolérante et pathogène à l'occasion, est surtout rencontrée lorsqu'il y a du compost ou des substrats comme du fumier ou des copeaux de bois.²⁷⁻²⁸ Bien que la dose précise qui entraîne des effets sur la santé des individus sains exposés ne soit pas encore connue, des concentrations jusqu'à 10⁵ UFC/m³ d'air ne sont pas jugées à risque pour la santé chez des individus normaux mais une spore peut être infectieuse chez des patients qui viennent de subir une transplantation ou qui sont immunodéficients.^{26,28-30}

Dans cette étude, la concentration moyenne maximale mesurée l'a été aux tables gravitaires de l'usine B. La concentration moyenne était, à cet endroit, de 6 730 UFC/m³ d'air.

• Les endotoxines

Les endotoxines émises par les bactéries Gram négatives peuvent produire des symptômes allant de l'irritation des muqueuses à des problèmes gastro-intestinaux et respiratoires.³¹ Les concentrations moyennes d'endotoxines ont dépassé les niveaux proposés pour huit heures d'exposition à seulement quatre endroits sur les 122 postes échantillonnés soit 3% des cas et variaient de 900 UE/m³ d'air au clarificateur primaire de l'usine E jusqu'à >5 000 UE/m³ à la table gravitaire de l'usine J et au clarificateur primaire de l'usine G. Ces concentrations étaient du même ordre de grandeur que celles rencontrées dans le milieu de l'agriculture et dans les centres de traitement des eaux usées des municipalités.^{15,21,32} Les concentrations rapportées dans d'autres études scientifiques varient de 10 à 760 UE/m³ d'air pour les usines de fabrication de pâtes et papiers.^{15,22,32}

5.2 Indicateurs de la qualité de l'air

La connaissance des composés chimiques et des bioaérosols émis dans cet environnement de travail permet de ressortir des indicateurs de la qualité de l'air. Ces outils doivent être développés en fonction des buts visés. Il peut s'agir de détecter les sources d'émission, de suivre la qualité d l'air ou d'évaluer l'exposition des travailleurs.

5.2.1 Localisation des sources d'émission

Pour localiser des sources d'émission de contaminants chimiques qui peuvent être de nature différente, l'utilisation d'un instrument non spécifique peut être suffisante. Par exemple, le détecteur à photoionisation (PID) est un bon outil de dépistage des contaminants. Les mercaptans, les sulfures, les terpènes, les acides et les alcools répondent bien à ce détecteur. Ce type de détecteur ne détermine pas la nature exacte des contaminants détectés mais donne une valeur représentant la somme des réponses de chacun d'eux. Avec l'expérience et en connaissant la nature des contaminants de base, il est possible de détecter les sources et d'estimer les concentrations. Cet instrument est cependant influencé par les hauts taux d'humidité, ce qui en limite l'utilisation dans de tels milieux. Pour la caractérisation et la quantification des produits émis, une seule technique à lecture directe est disponible, soit celle par chromatographie en phase gazeuse.

Pour les odeurs, le nez demeure le meilleur détecteur. Cependant dans un environnement où l'intensité d'odeurs est élevée, il peut être difficile de localiser précisément la source. La détection des composés chimiques par les instruments décrits ci-haut peut alors être nécessaire.

Pour les bioaérosols, l'inspection visuelle est la technique préconisée pour localiser les sources potentielles d'émission. Les conditions favorables au développement et à la prolifération des bioaérosols sont les meilleures indices. Il s'agit par exemple de la présence importante de poussières, des accumulations d'eau ou de boues, d'un taux élevé d'humidité et des actions qui provoquent la mise en suspension dans l'air (aérosolisation) de ces poussières ou gouttelettes d'eau.

5.2.2 Qualité de l'air ambiant

Les paramètres à surveiller sont les produits soufrés, le monoxyde de carbone et l'ammoniac. Dans la majorité des situations où des produits soufrés ont été mesurés, l'hydrogène sulfuré était présent et pourrait alors être utilisé comme indicateur de suivi. L'installation de moniteurs à pile électrochimique pour l'hydrogène sulfuré et le monoxyde de carbone est préconisée dans les locaux où des sources ont été localisées. Il existe également des détecteurs à pile électrochimique pour l'ammoniac mais ils n'ont pas été utilisés dans le cadre de cette étude. La technique utilisée soit le tube capillaire colorimétrique ne s'est pas avéré un outil fiable.

Au niveau des odeurs, le nez est le meilleur instrument de suivi.

Pour les bioaérosols, une inspection visuelle périodique est le meilleur élément de surveillance de la qualité de l'air.

5.2.3 Exposition des travailleurs

La présente étude visait à identifier les sources d'émission de contaminants chimiques et de bioaérosols. Les mesures ont donc été prises le plus près possible de ces sources, parfois à des endroits où les travailleurs n'ont pas accès. Cependant, ces résultats peuvent être utilisés comme indicateur du risque d'exposition des travailleurs en y associant des notions telles que le travail à proximité de ces sources, le temps de présence d'un employé, la fréquence d'un événement ou d'une activité ou encore, à l'extérieur, la fréquence de l'orientation du vent. En fonction de ces considérations, l'évaluation de l'exposition d'un travailleur attribué à une tâche ou un poste dont la qualité de l'air peut être affectée par ces sources, peut être faite en utilisant les mêmes paramètres (hydrogène sulfuré, monoxyde de carbone et ammoniac) et le même type d'équipements soit des dosimètres à pile électrochimique ou un chromatographe portatif.

Pour les odeurs, il n'y a pas de valeurs d'exposition si ce n'est l'inconfort associé à leur perception. Si les odeurs sont jugées intolérables, des actions de prévention peuvent être élaborées.

Contrairement aux contaminants chimiques, l'évaluation des expositions aux bioaérosols se fait habituellement en poste fixe. En effet, l'échantillonnage personnel est très peu utilisé étant donné que l'humain constitue une source de contamination microbienne.^{33,34} Donc, aux endroits identifiés comme réservoirs potentiels de microorganismes et pour lesquels les temps d'exposition des travailleurs sont suffisants, des mesures des concentrations, utilisant les méthodes décrites dans ce rapport, pourraient être faites pour déterminer le risque, les moyens de prévention à appliquer si nécessaire et l'efficacité des mesures de contrôle implantées.

5.3 Sources d'émission reliées aux étapes du procédé

Chacune des étapes du procédé a été considérée spécifiquement afin de déterminer d'une part si elle pouvait constituer une source d'émission de contaminants chimiques et de bioaérosols et afin d'autre part, de ressortir les différentes caractéristiques d'aménagement ou de fonctionnement responsables de cette propagation dans l'air et ainsi proposer des correctifs.

Le tableau 6 indique pour chacune usine, les étapes du traitement où des concentrations significatives de produits chimiques, d'odeurs et de bioaérosols ont été mesurées.

Tableau 6 : Étapes émettrices de composés chimiques, d'odeurs et de bioaérosols

Étape	Usine										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Étapes communes											
Dégrillage	•✓		•✓	•✓	•✓*	*		•✓		*	-
Clarification primaire	•✓		•		•*	•	*				-
Refroidissement	•✓	•✓*	•✓	•✓	•	•			-		•
Aération	•*	•		•					•	•	
Clarification secondaire	•✓		•	-	-			-			
Table gravitaire	•✓	•✓	•✓	•✓	•✓	•	•✓*	•✓*	•*	•✓*	-
Presse à boues	•✓	•✓*	•	•✓	•✓	•	•	•	•✓	•	-
Chargement des boues	•	•	•✓	•	-	•	•✓	•	-	•	-
Disposition des boues	•*	•	•	-	•	-	*	-	-	-	-
Étapes particulières + tâches spécifiques											
Convoyeur de boues		•✓				•		✓ ⁽¹⁾			
Réservoir de boues								*	✓ ⁽¹⁾		

Étape	Usine										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Piles de boues			•	•			•				
Réservoir effluent final		✓ ⁽¹⁾	•	•✓							
Évents ventilation	•✓		•✓								
Puisards			•✓	•✓							
Drains d'évier				•✓							
Prise d'échantillons	•✓	•✓	•✓	•	•✓			•✓			

- : étape inexistante ou non mesurée

✓ : émission de composés chimiques

• : émission d'odeurs

* : émission de bioaérosols

⁽¹⁾ : espace clos

Les résultats des mesures et les observations sur le terrain ont été regroupés de façon à étudier spécifiquement chacune des étapes et à identifier des sources continues, cycliques ou ponctuelles, intérieures et extérieures.

• Dégrillage

Deux sources potentielles d'émission ont été identifiées à l'étape du dégrillage. La première était au niveau de la fosse d'arrivée de l'effluent où l'action de dégrillage entraîne le brassage et l'aérosolisation de l'eau. La deuxième était au niveau du bac de réception des rebuts où il peut y avoir projection d'eau et de particules. Les dégrilleurs fonctionnaient de façon intermittente basée sur un cycle prédéterminé ou déclenchée par le niveau d'eau. Les dégrilleurs des usines A, C, E, F, G et J étaient situés dans des locaux indépendants des autres étapes. À l'usine G, la fosse était complètement recouverte alors qu'à l'usine F, le dégrilleur était confiné dans un local barré mais les rebuts étaient rejetés par une ouverture.

La présence de contaminants chimiques dans l'environnement de la fosse d'arrivée était reliée à la nature chimique de l'effluent brut, tel que le montrent les mesures de produits soufrés dans les usines de pâte kraft et la mesure de SO₂ dans une usine de pâte au sulfite. Pour les dégrilleurs des usines A, C et H où du monoxyde de carbone était émis en concentrations importantes et les usines C, D

et E où le monoxyde d'azote était présent, le type de pâte, le type de traitement secondaire ou l'aménagement du poste ne peuvent expliquer leur génération.

Les diagrammes des concentrations d'hydrogène sulfuré et de monoxyde de carbone mesurées au-dessus des fosses ont montré des fluctuations qui sembleraient suivre les cycles de fonctionnement des dégrilleurs. La mise en marche des dégrilleurs dissiperait dans l'air ambiant les contaminants accumulés au niveau de la fosse. Ce phénomène avait également été observé lors des lectures prises par chromatographie gazeuse à l'arrêt et à la mise en marche des dégrilleurs des usines C et D.

Quelques prélèvements de composés chimiques ont été faits par chromatographie gazeuse au niveau des bacs de réception des rebuts aux usines B, D, F et J. Des produits soufrés ont été mesurés uniquement au bac de l'usine D tout comme dans l'air ambiant de ce local. La fosse pourrait en être la source. Les bacs de réception des rebuts n'étaient donc pas des sources émettrices de composés chimiques.

Parce que la présence de concentrations élevées de moisissures, d'une façon statistiquement significative, a été surtout rencontrée au dégrillage, la source était probablement les bacs à rebuts. En effet, la présence de matériel organique à l'intérieur de ces bacs constitue d'excellents foyers de prolifération fongique.^{16,17}

• *Clarification primaire, refroidissement, aération et clarification secondaire*

Sauf pour le clarificateur primaire de l'usine E, toutes ces étapes se réalisent à l'extérieur.

La sortie des ventilateurs des systèmes de refroidissement était la principale source d'émission extérieure de composés chimiques aux usines A, B, C et D soit celles utilisant la pâte kraft et les produits retrouvés étaient typiques de ce type de pâte. Les tours de refroidissement constituaient également des sources d'émission de bactéries à cause de la forte aérosolisation, surtout si les ailettes des tours supportaient la croissance des algues et du limon. De faibles concentrations de produits soufrés et d'acides organiques ont été mesurées aux clarificateurs primaire et secondaire de l'usine A alors que des endotoxines ont été mesurées aux clarificateurs des usines E et G et des bactéries totales à l'aération de l'usine A. Pour les autres usines, aucun de ces bassins n'a constitué une source d'émission de contaminants chimiques ou de bioaérosols.

Les taux de rejets atmosphériques, la nature ou la concentration des substances et leurs propriétés physico-chimiques ainsi que la dynamique atmosphérique (dilution, déposition, dégradation) peuvent changer considérablement le profil des contaminants à l'air libre.

Non seulement la concentration d'un contaminant peut varier selon les activités et les conditions atmosphériques, mais la proportion relative de chacun des contaminants dans un panache peut aussi varier en fonction de la distance par rapport à la source ou encore selon les conditions qui prévalent à la source d'émission.

En dehors du panache émis par une source précise, la concentration devient négligeable et rejoint le bruit de fond. Une dizaine de mètres seulement peut séparer une zone fortement contaminée d'une autre pratiquement exempte de contaminants.

• *Traitement des boues*

Dix des onze usines traitait leurs boues, la onzième les accumulait dans un bassin. Le traitement des boues vise à les assécher avant d'en disposer. Deux équipements sont habituellement utilisés à cette étape soit la table gravitaire et la presse. Cette dernière était à vis sans fin ou à bande. Différentes variantes ont été observées au niveau de l'aménagement. Ces deux équipements étaient superposés, voisins ou localisés dans des pièces différentes. D'autres équipements ont aussi été vus soit un filtre à vide et un tamis vibrant pour les boues primaires aux usines C et F respectivement et des cellules de flottaison (avant le pressage des boues) à l'usine B.

Aucune des tables gravitaires n'était en circuit fermé. Des systèmes de captage des émissions étaient installés au-dessus des tables des usines A et H alors qu'aux usines D, E et F, des systèmes d'extraction étaient localisés à l'entrée ou à la sortie des boues. Aux usines D et E, des lattes de plastique confinaient partiellement les tables gravitaires.

Aux tables gravitaires, les mesures de composés chimiques ont été prises au-dessus des boues. Les boues étaient une source de génération d'hydrogène sulfuré et de méthylmercaptop. L'hydrogène sulfuré a été retrouvé au-dessus des tables gravitaires dans huit des dix usines et le méthylmercaptop dans sept usines. Les concentrations étaient plus élevées dans le cas des usines de pâte kraft où les sulfures de diméthyle ont également été décelés tout comme les acides organiques. Du monoxyde de carbone a été mesuré au-dessus des boues des usines A, E et J. Les systèmes de captage installés au-dessus des tables gravitaires des usines A et H captaient la majorité des émissions puisque les concentrations résiduelles dans l'air ambiant étaient respectivement faibles et non décelées. Les systèmes de captage situés à l'entrée ou à la sortie des boues captaient seulement partiellement les émissions.

Les bioaérosols ont été échantillonnés à côté des tables gravitaires. Les bioaérosols pouvaient alors provenir des boues ou des bacs de réception de l'eau essorée. Les concentrations moyennes montrent que cette étape du traitement était une source de bactéries totales supérieures aux niveaux proposés aux usines G, I et J, d'endotoxines aux usines H et J et de moisissures à l'usine J. La configuration du bac de réception de l'eau essorée influençait l'importance du phénomène d'aérosolisation donc l'importance de l'émission dans l'air de ces bactéries et de leurs endotoxines. La présence de boues accumulées par terre à l'usine J a créé un foyer de prolifération des moisissures.

Les presses à boues des usines A, B et F étaient incorporées aux tables gravitaires et non confinées. Des traces de produits soufrés et une concentration importante d'ammoniac ont été mesurés au rejet des liquides de la presse A. À la presse B, seul l'hydrogène sulfuré jusqu'à 6 ppm y a été mesuré. Aucun produit n'a été décelé à l'usine F. Aux usines C et G, les presses étaient complètement fermées et ventilées par extraction et aucun composé n'y a été décelé. La presse de l'usine D était

partiellement fermée par des lattes de plastique mais des boues s'accumulaient au sol. Les quatre produits soufrés ont été mesurés au bac de réception de l'eau et l'hydrogène sulfuré a été mesuré dans l'air ambiant à une concentration de l'ordre de 1 ppm. Pour les usines E, H, I et J, les presses étaient fermées sauf à la sortie des boues. Sauf à l'usine J, de l'hydrogène sulfuré a été mesuré à cette sortie. Le départ de la presse après un arrêt (à cause d'un bris) a provoqué une émission importante d'hydrogène sulfuré comme le montre le diagramme des concentrations. Ce phénomène avait également été observé à l'usine E.

Aux presses à boues, les bioaérosols ont été prélevés dans l'environnement immédiat des presses. Seule l'usine B a présenté une concentration moyenne légèrement supérieure au niveau proposé de bactéries totales. Le pressage des boues à l'air libre en était probablement la cause.

Le filtre à vide des boues primaires de l'usine C était en aire ouverte et constituait une source importante d'émission de produits soufrés. Celui de l'usine F était confiné et ventilé; aucun composé n'a été détecté. Les cellules de flottaison de l'usine B émettaient de l'hydrogène sulfuré, jusqu'à 4 ppm.

Les boues et le bac de réception des rejets liquides sont donc des sources potentielles d'émission de composés chimiques et de bioaérosols aux tables gravitaires et aux presses. La remise en marche du système de traitement des boues après un arrêt imprévu produirait une émission concentrée de contaminants.

• *Disposition des boues*

À la sortie des presses, les boues étaient acheminées par convoyeur ou par vis sans fin dans des conteneurs, des camions, des silos ou empilées de façon temporaire. Les boues étaient par la suite enfouies, compostées ou incinérées. Aucune papetière ne gérait de site de compostage donc aucune mesure n'a été faite pour ce type de disposition des boues.

Quatre sites d'enfouissement ont été évalués dont deux pour les usines A et B, situés sur le territoire de la papetière et deux situés à l'extérieur soit celui pour l'usine C et l'autre commun aux usines D, E et H. Aucun produit soufré n'a été mesuré. Des terpènes oxydés et des acides organiques ont été décelés en concentrations suffisantes pour distinguer clairement leur odeur caractéristique. Des concentrations élevées de moisissures et de bactéries ont été mesurées au site A.

Aucun composés chimique n'a été détecté à la chaufferie de l'usine G mais une concentration élevée de moisissures y a été mesurée. La présence de copeaux et de poussières de bois expliquent ce résultat.

Les piles de boues présentes aux usines D et G étaient des sources importantes d'acides organiques donc d'odeurs notamment lors de leur manipulation. Le temps de résidence de ces piles est un facteur qui influence le dégagement de ces acides. De fait, le processus de biodégradation favorisé par le temps, en plus de générer les contaminants détectés, augmente considérablement la

température des piles et lors du chargement pour disposition, une importante quantité des contaminants est diffusée dans l'air. Par le fait même, le contenu microbien de ces piles est aussi augmenté et constitue ainsi des sources de prolifération.

Le transport des boues par convoyeur ou vis sans fin et le chargement des boues dans des bennes ou des conteneurs ont généré de faibles concentrations de produits soufrés, notamment de l'hydrogène sulfuré.

Les piles de boues et les sites d'enfouissement étaient donc des sources d'odeurs et de bioaérosols.

• *Étapes ou localisations particulières*

À l'intérieur des bâtiments, des contaminants chimiques ont été mesurés au niveau de certains puisards et canalisations de planchers, drains d'éviers ou de planchers. Dans certains cas, bien que les concentrations au niveau de l'entrée du tuyau ou au-dessus de la grille étaient très élevées, les composés n'étaient pas décelés dans l'air ambiant environnant. Dans ces cas, il y avait de la ventilation d'extraction au-dessus de la source. Dans d'autres situations, les composés (produits soufrés) étaient diffusés dans l'air ambiant à des concentrations faibles mais nettement supérieures aux limites olfactives.

Les mouvements d'air à l'intérieur d'un bâtiment peuvent contribuer à créer des zones de migration de polluants. De telles zones ont été occasionnellement perçues à l'odeur mais les concentrations mesurées étaient faibles ou en deçà des limites de détection des instruments utilisés. Ainsi, à l'usine A, du méthylmercaptop a été mesuré à des concentrations variant entre 0,04 et 0,18 ppm au rez-de-chaussée du bâtiment des opérations, près de la sortie tandis que dans le reste de l'édifice, ce produit a été retrouvé à des niveaux beaucoup plus faibles inférieurs à 0,01 ppm.

Un certain nombre des endroits mesurés étaient des espaces fermés ou confinés. Les mesures prises avec la sonde télescopique du chromatographe portatif ont révélé dans certains cas, des concentrations très élevées notamment en hydrogène sulfuré et en méthylmercaptop. Parmi ceux-ci, on a identifié un réservoir de boues à l'usine I, le réservoir d'effluent final de l'usine B et un convoyeur fermé à l'usine H.

Certains espaces fermés ou confinés peuvent donc concentrer des contaminants et devraient être identifiés comme espaces clos afin de suivre les procédures applicables dans de tels cas.

Seul les prélèvements au-dessus du réservoir des boues de l'usine H ont donné une concentration moyenne de moisissures supérieure, d'une façon statistiquement significative, à celle mesurée en amont. Cependant ce réservoir est habituellement fermé et ne comporte aucun poste de travail à proximité.

À l'extérieur, les événements de ventilation émettaient dans l'environnement des concentrations parfois très élevées de contaminants chimiques. Ces émissions se diluent plus ou moins rapidement selon

les conditions climatiques mais contribuent au niveau d'odeurs.

- *Tâches spécifiques*

Le nettoyage des orifices des bassins de répartition de l'effluent aux systèmes de refroidissement a été échantillonné à deux usines et aucun contaminant chimique n'a été mesuré.

Différentes situations ont été observées au niveau des prises d'échantillons d'eau ou de boues. Dans trois usines, les échantillons de boues étaient prélevés à une des étapes du procédé soit à la table gravitaire pour l'usine A, aux réservoirs de boues à l'usine B et à la sortie de la presse à boues à l'usine C. Les produits émis par les boues de type kraft ont donc été retrouvés. Dans les autres usines, des systèmes dédiés aux prélèvements étaient aménagés. Dans la majorité des cas, il s'agissait de valves ou robinets à ouvrir le temps du prélèvement. Ces systèmes étaient à l'intérieur d'une hotte à l'usine F, en système fermé à l'usine E (la mesure d'hydrogène sulfuré a été obtenue à l'intérieur du boîtier) ou à l'air libre, l'excédant tombant dans des éviers ou des canalisations. Seul de l'hydrogène sulfuré a été mesuré à une concentration entre 6 et 8 ppm à l'usine H.

Les concentrations de bioaérosols étaient toujours faibles.

La prise d'échantillons s'est révélée être une source possible mais ponctuelle d'émission de contaminants chimiques.

6. CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS D'AMÉLIORATIONS

Les activités du traitement biologique des effluents des usines de pâtes et papiers émettent principalement des produits soufrés, des terpènes, de l'ammoniac et du monoxyde de carbone et à des concentrations beaucoup plus faibles ou de façon occasionnelle des acides organiques, des alcools, des cétones, du monoxyde d'azote et des oxydes de carbone et de soufre. Pour plusieurs de ces contaminants, les concentrations dépassent les limites de perception olfactive et sont responsables des odeurs à l'origine des plaintes. Les différents composés responsables des odeurs ont des seuils de perception généralement beaucoup plus bas que ceux fixés pour les limites d'exposition des travailleurs.

Concernant les bioaérosols, des concentrations plus élevées, d'une façon statistiquement significative ont été obtenues pour les moisissures totales dans 6% des cas. La moisissure *Aspergillus fumigatus* n'a pas été rencontrée à des concentrations moyennes jugées dans la littérature scientifique comme étant problématiques chez des individus en santé. Les bactéries Gram négatives ont dépassé les niveaux d'exposition proposés pour huit heures dans seulement 1% des cas. Les bactéries totales dans 6% des cas. Les bactéries actinomycètes n'ont pas été décelées. Les endotoxines ont dépassé les niveaux proposés dans seulement 3% des cas. Enfin, aucune concentration moyenne de microorganismes anormalement élevée n'a été mesurée à 100 m en aval du traitement secondaire des effluents, démontrant l'absence de risque pour les populations voisines.

De façon globale, on observe que :

- le type de pâte de papier est un facteur déterminant de la présence et de la nature des composés chimiques dans les émissions. Ainsi, la pâte kraft entraîne l'émission de composés soufrés dans l'air ;
- le traitement secondaire lui-même génère peu de produits chimiques; l'hydrogène sulfuré, le méthylmercaptopan et l'ammoniac seraient émis par le traitement;
- la nature des contaminants chimiques (et conséquemment des odeurs) évolue tout au long du procédé. Les formes les plus oxydées telles que les acides se retrouvent aux dernières étapes du traitement notamment à la manipulation des boues sèches;
- pour les bioaérosols, les étapes qui favorisent l'aérosolisation de l'eau ou de la poussière présentent les concentrations les plus élevées;
- le type de pâte de papier n'influence pas les niveaux de bioaérosols;
- le type de traitement secondaire n'influence pas les émissions de contaminants chimiques ou de bioaérosols;
- le traitement simultané d'effluents sanitaires n'influence pas les émissions de contaminants chimiques ou de bioaérosols.
- plusieurs sources ont été identifiées. Certaines de ces sources peuvent être de nature cyclique comme au niveau des dégrilleurs, d'autres sont continues tels que les systèmes de pressage des boues, ponctuelles tels que les prises d'échantillons ou le déplacement des piles de boues ou fugitives tels que les canalisations et drains de plancher. Pour les sources extérieures, la dynamique atmosphérique peut changer considérablement le profil des contaminants à l'air libre.

La connaissance des composés chimiques et des bioaérosols émis dans cet environnement de travail a permis de ressortir des indicateurs de la qualité de l'air, élaborés en fonction des buts visés. Il peut s'agir de détecter les sources d'émission, de suivre la qualité de l'air ou d'évaluer l'exposition des travailleurs. Pour localiser des sources d'émission de composés chimiques, l'utilisation d'un détecteur non spécifique peut être suffisante. Pour suivre la qualité de l'air ou évaluer l'exposition des travailleurs, les paramètres à surveiller sont l'hydrogène sulfuré, l'ammoniac et le monoxyde de carbone. Pour les odeurs, le nez demeure le meilleur détecteur. Pour les bioaérosols, l'inspection visuelle est la technique préconisée pour localiser les sources potentielles d'émission et assurer le suivi.

Comme la présence de composés chimiques dans l'effluent brut est un des facteurs d'émission, toute action qui favorise le brassage et l'aérosolisation de l'eau entraîne leur dispersion dans l'environnement. Il en est de même des bioaérosols qui se propagent par fixation sur des gouttelettes d'eau ou des particules de poussières. Le contrôle des émissions passe donc par le contrôle des opérations qui conduisent à la dispersion de l'eau et des particules dans l'air.

Les propositions d'améliorations énumérées au tableau 7 concernent les correctifs techniques qui peuvent être implantés au niveau des équipements ou de leur fonctionnement et les procédures de prévention à élaborer pour les endroits identifiés comme sources potentielles d'émission.

Tableau 7 : Propositions de correctifs et recommandations

Observations	Correctifs et recommandations
ÉTAPE : DÉGRILLAGE	
Source d'émission : puits d'arrivée de l'effluent	Couvercle amovible au sommet du puits ou confinement; procédures de prévention lors de l'ouverture
Source d'émission : bac de réception des rebuts	Confinement; vidange et nettoyage réguliers; procédures de prévention lors de la vidange et du nettoyage
Dégrilleur situé dans une bâtisse indépendante	Ventilation générale; procédures de prévention à l'entrée de la bâtisse
Fonctionnement cyclique du dégrilleur	Favoriser un fonctionnement continu
ÉTAPES : CLARIFICATION PRIMAIRE / REFROIDISSEMENT / AÉRATION / CLARIFICATION SECONDAIRE	
Source d'émission : panache de dispersion	Ne pas s'exposer au panache de dispersion; protection personnelle (imperméable) pour les travailleurs oeuvrant au-dessus de ces bassins ou dans le panache
Nettoyage des orifices du bassin de répartition du système de refroidissement	Protection personnelle (imperméable) lors des travaux de nettoyage
ÉTAPE : TABLE GRAVITAIRE	
Source d'émission : circulation des boues	Isolement ou confinement; ventilation locale ou générale (fonction du type de pâte); rebords surélevés pour contrer les éclaboussures.
Source d'émission : bac de réception des rejets liquides	Isolement ou confinement; rebords surélevés ou bac profond pour contrer les éclaboussures
Table gravitaire confinée (ex: lattes de plastique)	Ventilation locale ou générale; procédures de prévention pour les travailleurs devant oeuvrer à l'intérieur du confinement
Départ après un arrêt imprévu (bris ou blocage)	Procédures de prévention pour les travailleurs présents lors du départ
Accumulation de boues au sol	Nettoyage immédiat de tout déversement

Observations	Correctifs et recommandations
ÉTAPE : PRESSE À BOUES	
Source d'émission : bac de réception des rejets liquides	Confinement; rebords surélevés ou bac profond pour contrer les éclaboussures
Source d'émission : entrée et sortie des boues	Fermeture des ouvertures ou ventilation par extraction
Presse complètement fermée	Procédures de prévention lors de l'ouverture du système
Départ après un arrêt imprévu (bris ou blocage)	Procédures de prévention pour les travailleurs présents lors du départ
Accumulation de boues au sol	Nettoyage immédiat de tout déversement
ÉTAPE : TRANSPORT DES BOUES	
Convoyeur ouvert	Isolement ou ventilation locale ou générale
Convoyeur fermé	Procédures de prévention lors de l'ouverture des conduits (à considérer comme un espace clos)
ÉTAPE : DISPOSITION DES BOUES	
Source : piles de boues	Minimiser le temps d'entreposage; confiner
Source : site d'enfouissement	Port de protection respiratoire de type filtre à haute efficacité muni d'une mince couche de charbon pour absorber les odeurs
LOCALISATIONS PARTICULIÈRES	
Puisards et canalisations de plancher (grillagés)	Fermeture ou recouvrement (ex:tapis de caoutchouc)
Drains de plancher	Voir la possibilité de raccorder les tuyaux aux drains (et système brise-vide) ou allonger au maximum les tuyaux jusqu'aux drains en les confinant au maximum (ex:entonnoir)
Réservoirs de boues ou d'effluent	Procédures de prévention lors de l'ouverture (à considérer comme espace clos)

Observations	Correctifs et recommandations
TÂCHES PARTICULIÈRES	
Prise d'échantillons	Isolation ou confinement; procédures de prévention lors de la prise d'échantillons
Nettoyage du bassin de répartition des systèmes de refroidissement	Protection personnelle (imperméable) lors du nettoyage

De façon générale, pour tous les travaux ou pour toutes les situations où il peut y avoir contact avec l'effluent ou les boues, le port d'équipement de protection personnelle est nécessaire et les procédures de prévention doivent être suivies.

Concernant la protection contre les odeurs, le port d'un masque filtrant au charbon actif est efficace.

Dans toutes les situations où il peut y avoir contact avec les microorganismes, des mesures strictes d'hygiène personnelle constituent la meilleure prévention. McCunney propose les mesures d'hygiène suivantes pour le personnel des usines d'épuration des eaux usées³⁵. Il s'agit:

- d'éviter de porter les doigts dans les yeux, la bouche et les oreilles;
- de bien se laver les mains avant de manger ou de fumer et après le travail;
- de garder les ongles courts;
- de séparer les vêtements propres des vêtements sales;
- de rapporter et soigner adéquatement les coupures et blessures;
- de prendre une douche après chaque journée de travail.

7. RÉFÉRENCES

1. Schmidt C.E., Suder D. and Knuth W. Assessing Air Toxic Emissions from the Primary and Secondary Treatment of Liquid Waste from a Paper and Pulp Mill. Presentation at the 86th Annual Meeting and Exhibition, Air & Waste Management Association. Colorado, 1993.
2. Tessier R. Traitements secondaires des eaux usées. Notes de cours préparées pour les membres de l'Association des industries forestières du Québec. Cégep St-Laurent, 1995.
3. Goyer N. et Gendreau L. Étude des produits soufrés émis lors de la fabrication de la pâte chimique de papier. Rapport de recherche. IRSST, 1988.
4. Direction des opérations. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air. IRSST, 1994.
5. Gouvernement du Québec. Règlement sur la qualité du milieu de travail. S-2.1, r.15, Éditeur officiel du Québec, Québec, 1994.
6. ASTM. Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data. F.A. Fazzalari Editor, DS 48A.
7. Moore John E.A. Odor as an Aid to Chemical Safety : Odor Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatilities for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Dilution. Journal of applied toxicology, vol 3, no 6. 1983.
8. Brownlee B.G., Kenefick S.L., MacInnis G.A. and Hrudey S.E. Characterization of Odorous Compounds from Bleached Kraft Pulp Mill Effluent. Wat. Sci. Tech., vol 31, no 11. 1995
9. Stern A.C. Air Pollution: Measuring, Monitoring, and Surveillance of Air Pollution. Academic Press, NewYork, 3rd Edition. 1991.
10. Burge H.A. Approches to the Control of Indoor Microbial Contamination. Proceedings of the ASHRAE Conference, May 18-20, Arlington, Virginia, 1987.
11. ACGIH. Guidelines for the Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment. Cincinnati, Ohio, 1993.
12. Malmros P., Sigsgaard, T. and Bach, B. Occupational Health Problems Due to Garbage Sorting. Waste Management and Research 10:227-234, 1992.
13. Malmros P. Problems with the Working Environment in Solid Waste Treatment. The National Labour Inspection of Denmark, Report no 10/1990, 1990.

14. Heederik D., Douwes J. Towards an Occupational Exposure Limit for Endotoxins. *Ann Agric Environ Med* 4:17-19, 1997.
15. Marchand G. Les endotoxines en milieu de travail. Rapport de la série Bilans de connaissance, B-049, IRSST, 1996.
16. Lavoie J., Pineau S., Marchand G. Aeromicrobial Analyses in a Wastewater Treatment Plant. in: *Aerobiology*, Lewis Publishers, CRC Press, Michigan, USA, pp. 81-87, 1996.
17. Lavoie J., Marchand G., Pépin C., Lachapelle G. Contaminants biologiques dans les centres de traitement des eaux usées. IRSST, Études et recherches R-163, 22 pages, 1997.
18. Poulsen O.M. et al. Sorting and Recycling of Domestic Waste. Review of Occupational Health Problems and Their Possible Causes. *Science of the Total Environment*, 168:33-56, 1995.
19. Seyfried P.L. Microorganismes, parasites et endotoxines en suspension dans la section de déshydratation d'une usine de traitement des eaux usées. *Recherche appliquée. Sciences et techniques de l'eau*, 23(3):275-280, 1990.
20. Laitinen S., Kangas J., Kotimaa M. et al. Worker's Exposure to Airborne bacteria and Endotoxins at Industrial Wastewater Treatment Plants. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55(11):1055-1060, 1994.
21. Laitinen S., et al. Relationship between Bacterial Counts and Endotoxin Concentrations in the Air of Wastewater Treatment Plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(11):3774, 1992.
22. Andreassen Rix B., Lynge E. Industrial Hygiene Measurements in a New Industry: The Repulping and Deinking of Paper Waste. *American Journal of Industrial Medicine* 30:142, 1996.
23. Lazure L.P., Lavoie J. Risques de prolifération microbienne dans les tours de refroidissement. *La maîtrise de l'énergie* 12(1):15, 1997.
24. Donham K. et al. Environmental and Health Studies of Farm Workers in Swedish Swine Confinement Buildings. *Brit J Ind Med* 46:31, 1989.
25. Eduard W., Sandven P., Levy F. Serum Antibodies to Mold Spores in Two Norwegian Sawmill Populations : Relationship to Respiratory and other Work-Related Symptoms. *Am J Ind Med* 24:207, 1993.
26. Santé et bien-être social du Canada. Signification de la présence des champignons dans l'air

intérieur des édifices : rapport d'un groupe de travail. Revue canadienne de santé publique 78:S-17, 1987.

27. Lacey J., Crook B. Fungal and Actinomycetes Spores as Pollutants in the Workplace and Occupational Allergens. Ann Occup Hyg 32:515, 1988.
28. Miller J.D. Fungi as Contaminants in Indoor Air. Atmos Environ 26A:2163, 1992.
29. Maritato M.C., Algeo E.R., Keenan R.E. The *Aspergillus fumigatus* debate : Potential Human Health Concern. Biocycle, pp.70-72, december 1992.
30. CRC Press. Bioaerosols Handbook. Edited by Christopher S. Cox and Christopher M. Wathes. Lewis Publishers, London, 621 pages, 1995.
31. Rylander R., Jacobs RR. (eds). Endotoxins in the Environment - A Criteria Document. Int J Occup Environ Health 3(1):S1-S48, 1997.
32. Liesivuori J. et al. Airborne Endotoxin Concentrations in Different Work Conditions. Am J Ind Med 25:123, 1994.
33. Lavoie J., Lazure L. Guide de prévention contre la prolifération microbienne dans les systèmes de ventilation. Guide technique # RG-088, IRSST, ISBN: 2-551-13374-2, novembre 1994.
34. ASTM. Standard Practice for Sampling Airborne Microorganisms at Municipal Solid-Waste Processing Facilities. Designation E 884-82. In: American Society for Testing and Materials, Standard on Materials and environmental Microbiology, 2nd. ed, 42-45, 1993.
35. McCunney, R.J. Health Effects of Work at Waste Water Treatment Plants: A Review of the Literature with Guidelines for Medical Surveillance. Am J Ind Med 9:271-279, 1986.

ANNEXE A : Résultats détaillés des mesures de composés chimiques

Les résultats de composés chimiques sont présentés aux tableaux A1 à A7 en fonction des étapes du traitement secondaire et en fonction des classes de composés identifiés. Ils sont regroupés par types de pâte de papier. Le tableau A8 donne les résultats des mesures aux étapes et localisations particulières de certaines usines alors que le tableau A9 rapporte ceux obtenus lors de la simulation de deux tâches spécifiques soit la prise d'échantillons d'eau ou de boues et le nettoyage des orifices du bassin de répartition des tours de refroidissement.

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS :

1) Composés chimiques: les produits suivants ont été recherchés ou identifiés

-Produits soufrés :

H₂S = hydrogène sulfuré
 MME = méthylmercaptan
 DMS = sulfure de diméthyle
 DMDS = disulfure de diméthyle

-Produits oxygénés : Acides :

AA= acide acétique
 AB = acide butyrique
 AF = acide formique
 AP = acide propionique
 AV = acide valérique

-Produits oxygénés : Alcools :

EOH = éthanol
 MOH = méthanol
 POH = propanol

-Produits oxygénés : Cétones :

ACE = acétone
 MEK = méthyléthylcétone

-Terpènes : mélange de pinènes et de carènes (incluant leurs formes oxydées correspondantes)

-NH₃ = ammoniac

-Autres :

CO = monoxyde de carbone
 CO₂ = dioxyde de carbone
 CHCl₃ = chloroforme
 HCl = acide chlorhydrique
 Cl₂ = chlore
 NO = monoxyde d'azote
 NO₂ = dioxyde d'azote
 SO₂ = dioxyde de soufre
 HC= hydrocarbures légers

2) Concentrations

ppm = parties par million

nd = non détecté = concentration inférieure à la limite de détection

tr = traces = concentration inférieure à la limite de quantification

P = présence détectée de façon olfactive

- = non mesuré

La lettre d'identification d'une usine en caractère gras indique que des mesures ont également été faites par le laboratoire mobile TAGA. Les limites de quantification de leurs méthodes sont plus basses que celles des méthodes utilisées par l'IRSST.

Tableau A1 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: KRAFT

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Terpè nes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Salle de contrôle	A	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	-
	B	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	-
	C	0,1	0,11	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Dégrillage	A	1-20 ⁽²⁾	,4-4,5	0,05	,002	tr	MOH:7	tr	0,3	1,3-7,3	CO:1-37 ⁽²⁾
	B	nd	nd	tr	nd	-	nd	nd	nd	nd	-
	C	0,5	,1-1,4	,2-1,3	,6-2,9	-	nd	tr	tr	-	CO:1-18 ⁽²⁾ NO:3-11
Clarifica- tion primaire	A	0,8	0,4	0,02	nd	,008	tr	tr	nd	1,4-7,3	nd
	B	nd	nd	tr	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	C	0,3	tr	tr	0,08	-	nd	tr	tr	-	-
Refroidis- sement	A	0,3	,5-2,9	0,03	0,06	,003	MOH:3	tr	nd	0,3-6,3	nd
	B	1,4-2,8	2,7	0,71	0,16	-	tr	tr	nd	-	-
	C	nd	0,3	0,24	0,69	-	nd	tr	tr	-	-
Aération	A	0,6	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	B	0,5	tr	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
	C	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	CO ₂ :1700
Clarifica- tion secondaire	A	0,07	0,03	0,03	nd	,016	tr	tr	nd	3-14,7	nd
	B	nd	tr	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	C	nd	nd	tr	nd	-	nd	nd	tr	-	-
Table gravitaire ⁽¹⁾	A	6-38 ⁽²⁾	,3-1,5	0,10	nd	,007	tr	tr	nd	1,4-7,3	CO:3-11 CO ₂ :1400
	B	1,4-4	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	C	,3-6,7	,9-2,7	0,41	0,38	-	nd	tr	tr	-	-

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Terpè nes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Presse	A	0,7	0,2	0,07	nd	,028	tr	tr	0,08	6-29	-
	B	2-6	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
	C	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	tr	-	-
Charge- ment / réception des boues	A	0,01	0,01	tr	tr	,009	tr	tr	nd	0,3	-
	B	nd	tr	0,05	0,16	-	nd	nd	nd	-	-
	C	nd	0,11	nd	nd	-	nd	nd	tr	-	-
Enfouisse- ment	A	nd	nd	nd	nd	P	-	-	-	-	-
	B	nd	nd	nd	nd	P	nd	nd	nd	-	-
	C	nd	nd	nd	nd	P	nd	nd	tr	-	-

- (1) Pour l'usine B, les mesures ont été faites aux cellules de flottaison. Pour l'usine C, elles ont été faites au filtre à vide des boues primaires.
- (2) Les histogrammes de concentrations sont données aux figures A1 pour l'hydrogène sulfuré et A2 pour le monoxyde de carbone.

Tableau A3 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE/SULFITE

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Ter- pènes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Salle de contrôle	E	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Dégrillage	E	0,07	0,02	nd	nd	tr	nd	nd	0,3	1,2	SO ₂ :2,2 NO:2,5
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	nd
Clarifica- tion primaire ⁽¹⁾	E	nd	tr	tr	tr	tr	tr	tr	0,2	nd	nd
	F	0,5	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Refroidis- sement	E	0,3	nd	nd	nd	-	nd	nd	tr	-	-
	F	0,2	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Aération	E	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	CO ₂ :1500
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Clarifica- tion secondaire	E	Pas de clarificateur secondaire									
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Table gravitaire	E	0,27	0,27	nd	nd	-	nd	tr	tr	-	CO:4-16 SO ₂ :1,4 CO ₂ :3770
	F	nd	nd	nd	nd	P	nd	tr	nd	-	-
Presse	E	1,6- 4,8	0,19	tr	tr	nd	tr	tr	0,6	nd	nd
	F	nd	nd	nd	nd	P	nd	tr	nd	-	nd
Charge- ment/récep- tion boues	E	Chargement direct dans des boîtes de camions à l'extérieur									
	F	0,3	0,07	0,08	nd	-	nd	tr	nd	-	nd

Enfouisse- ment	E	0,003	nd	nd	nd	0,005	tr	tr	,12	nd	nd
	F	Boues compostées dans un centre privé									

⁽¹⁾ Clarificateur à l'intérieur

Tableau A4 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Terpè- nes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Salle de contrôle	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	-
Dégrillage	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
Clarifica- tion primaire	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	tr	nd	nd
Refroidis- sement	G	nd	nd	nd	nd	nd	tr	tr	nd	-	-
Aération	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
Clarifica- tion secondaire	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
Table gravitaire	G	0,75	0,22	0,06	nd	-	tr	nd	nd	nd	nd
Presse	G	nd	tr	tr	nd	-	tr	nd	nd	nd	nd
Charge- ment / réception des boues	G	nd	0,18	nd	nd	-	nd	nd	tr	nd	nd
Incinéra- tion	G	nd	nd	nd	nd	-	tr	nd	tr	-	-

Tableau A5 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: MÉCANIQUE/DÉSENCRÉ

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Terpè- nes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Salle de contrôle	H	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	-
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	-
Dégrillage	H	0,51	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	nd	CO:5-44 ⁽¹⁾
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	nd
Clarifica- tion primaire	H	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	tr	nd	-	-
Refroidis- sement	H	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	I	Pas de système de refroidissement									
Aération	H	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	-	CO ₂ :1700
Clarifica- tion secondaire	H	Pas de clarificateur secondaire									
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Table gravitaire	H	0,93	0,05	nd	nd	-	nd	tr	tr	nd	-
	I	0,41	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	-	-
Presse	H	0,8	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	nd	nd
	I	1-12 ⁽¹⁾	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	-	-
Charge- ment / réception des boues	H	nd	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	nd	nd
	I	Boues convoyées en système fermé à l'incinérateur de l'usine									
Enfouisse- ment/inci- nération	H	Même site d'enfouissement que celui de l'usine E									
	I	Incinérateur non évalué									

⁽¹⁾ Les histogrammes sont donnés aux figures A1 et A2.

Tableau A6 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières de type: DÉSENCRÉ

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Ter- pènes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Salle de contrôle	J	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Dégrillage	J	nd	nd	nd	nd	-	tr	nd	nd	-	HC:tr
Clarifica- tion primaire	J	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Refroidis- sement	J	Pas de système de refroidissement									
Aération	J	0,16	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	CO ₂ :1800
Clarifica- tion secondaire	J	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Table gravitaire	J	nd	nd	nd	nd	-	tr	tr	nd	-	CO:2-8
Presse	J	nd	nd	0,35	nd	-	tr	tr	nd	-	HC:tr CO ₂ :1100
Charge- ment / réception des boues	J	nd	nd	tr	nd	-	tr	tr	tr	-	HC:tr
Enfouisse- ment	J	Enfouissement dans un site privé									

Tableau A8 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières : Étapes et localisations particulières

ÉTAPE	USI NE	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Ter- pènes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Dégrilleur municipal	A	nd	nd	nd	nd	-	tr	nd	nd	-	-
	J	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
Dégrilleur primaire	D	0,14	nd	tr	nd	tr	tr	nd	0,2	nd	-
	E	0,13	nd	nd	nd	-	nd	tr	tr	-	-
Pompage effluent brut	B	nd	tr	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-
	C	nd	0,1	tr	nd	-	nd	nd	tr	nd	nd
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	tr	-	-	-
	J	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	K	0,33	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
Réservoir de boues	H ⁽¹⁾	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	I ⁽¹⁾	18,3	0,66	0,08	0,10	-	nd	nd	-	-	-
Pompage boues	C	nd	tr	tr	0,07	-	nd	nd	tr	nd	nd
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
Convoyeur à boues	B	1,5	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	F	,29	nd	0,08	nd	-	nd	nd	-	-	-
	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd
	H ⁽¹⁾	11,6	1,14	tr	nd	-	tr	tr	nd	-	-
Effluent final	B ⁽¹⁾	182	0,75	0,18	nd	-	nd	tr	-	-	-
	D	0,18	0,20	nd	0,10	-	nd	tr	-	-	-
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	nd	-	-

ÉTAPE	USI NE	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Ter- pènes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Sorties de ventilation (événements)	A	0,1-8	3,6-6,1	0,09	0,07	tr	MOH: 19	nd	-	1,1	nd
	C	10,7	26,7	4,9	4,1	-	nd	tr	-	-	-
Puisards	C	64	39	20,8	3,56	-	nd	tr	-	-	-
	D	1,8	2,44	23,9	21,4	tr	tr	tr	0,3	>14,6	nd
Drains d'évier	D	nd	1,8	23,6	19,3	-	nd	nd	-	-	-
Piles de boues	D	0,006	nd	nd	tr	,073					
	G	0,002	nd	nd	nd	,007	nd	nd	nd	nd	nd
Bassin d'urgence	C	0,15	nd	nd	nd	-	nd	nd	tr	nd	nd
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
Air ambiant											
Salle des dégrilleurs	A	,6-6	,1-1,1	,08	tr	tr	2,6	nd	tr	,6-4,4	nd
	D	<,001	-	-	-	,005	1	nd	0,2	-	-
Salle de pressage des boues	A	,007	,01	-	-	0,007	tr	nd	tr	1,5-7,3	nd
	D	0,9				tr					
Bâtiment opérations	A	<,001	,04- ,18								
Corridor d'échantillonnage	D	0,4	,04- 0,30	,07- ,51	,02	-	nd	nd	,07	2,6	nd

(1) Espace clos

**Tableau A9 : Émissions de contaminants chimiques au traitement des effluents des papetières :
Tâches spécifiques**

ÉTAPE	U S I N E	Composés chimiques (ppm)									
		Soufrés				Oxygénés			Ter- pènes	NH ₃	Autres
		H ₂ S	MME	DMS	DMDS	Acides	Alcools	Cétones			
Prise d'échantil- lons (eaux et boues)	A	6-38	,3-1,5	0,10	nd	-	tr	tr	nd	-	CO:3-11 CO ₂ :1400
	B	1- 27 ⁽¹⁾	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	C	6,8	4,99	0,68	0,49	-	nd	nd	-	-	-
	D	nd	nd	0,14	nd	-	nd	nd	-	-	-
	E	2,2	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	F	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	H	6-8	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	I	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	J	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	K	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
Nettoyage des bassins de répartition	E	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-
	G	nd	nd	nd	nd	-	nd	nd	-	-	-

⁽¹⁾ L' histogramme des concentrations d'hydrogène sulfuré est donné à la figure A1.

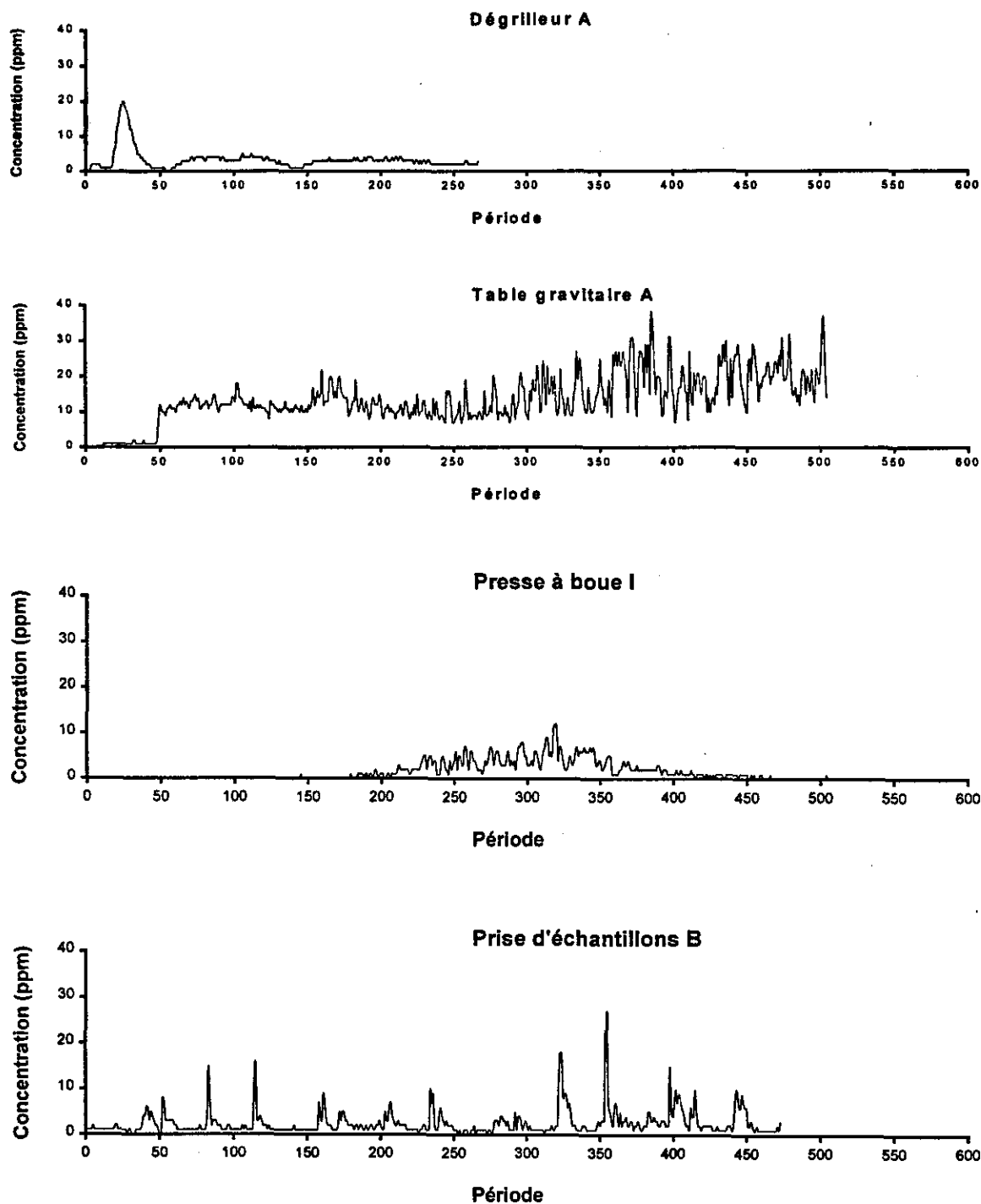
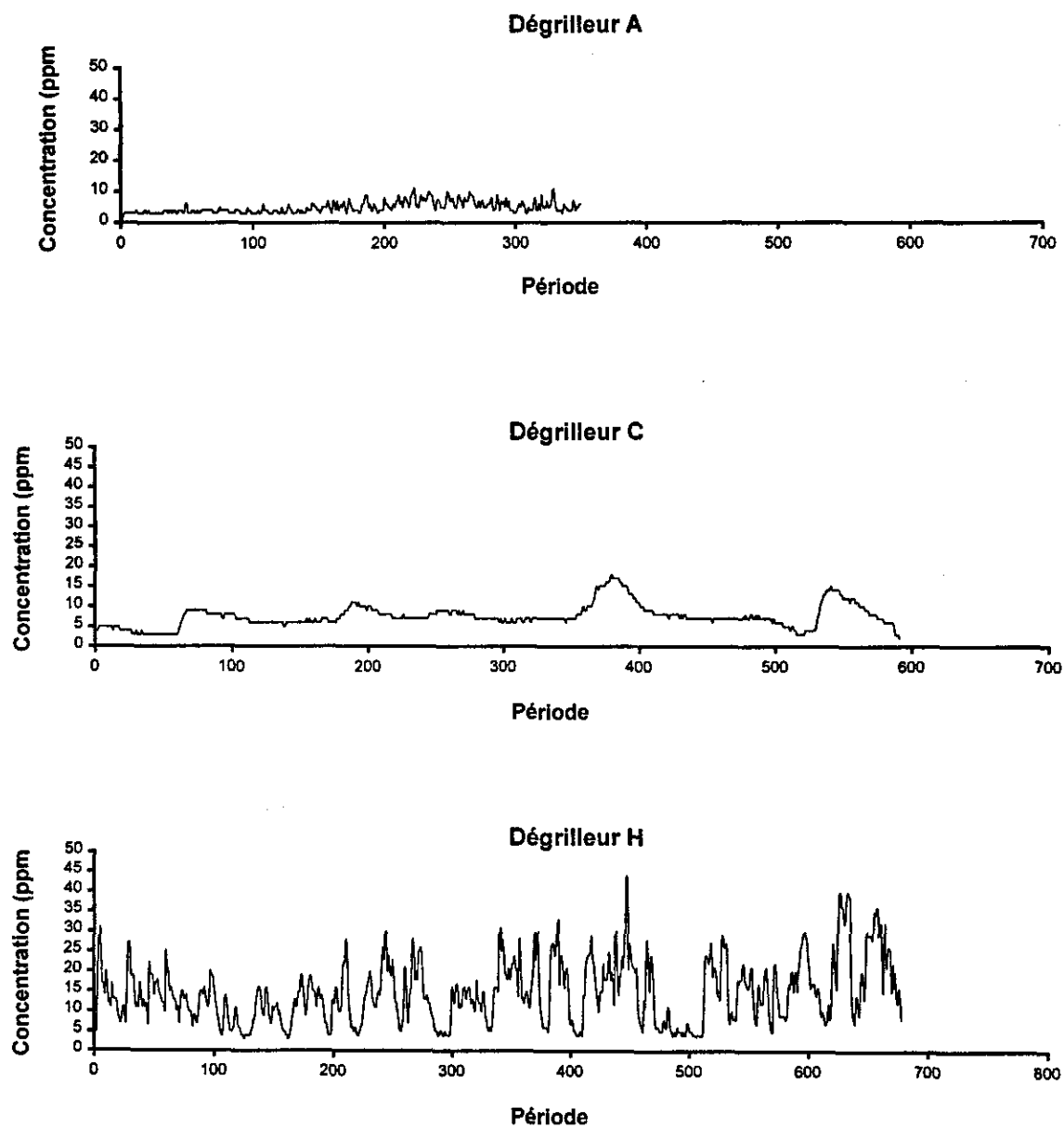
Figure A1 : Histogrammes des concentrations d'hydrogène sulfuré

Figure A2 : Histogrammes des concentrations de monoxyde de carbone

ANNEXE B : Résultats détaillés des mesures de bioaérosols

Tableau B1 : Émissions de bioaérosols aux étapes principales du traitement des effluents des papetières

ÉTAPE	USINE	Moisissures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Amont	A	455	-	2965	nd	30
	B	5520	3435	1485	nd	-
	C	1150	nd	1430	nd	-
	D	2010	nd	585	nd	-
	E	990	nd	1395	nd	-
	F	1965	nd	3920	40	-
	G	1130	-	2440	nd	-
	H	6380	-	790	nd	-
	I	4290	nd	370	nd	-
	J	1920	130	895	nd	-
	K	7135	-	285	nd	-
Aval	A	445	-	2200	nd	40
	B	1835	nd	395	nd	-
	C	1305	nd	2125	nd	-
	D	2415	nd	2410	nd	-
	E	785	nd	625	nd	-
	F	1840	nd	3155	75	-
	G	1000	-	4235	625	-
	H	5550	-	1065	nd	-
	I	2580	nd	1260	nd	-
	J	1810	40	1410	nd	-
	K	4235	-	755	nd	-

ÉTAPE	USINE	Moisissures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Salle de contrôle	A	nd	-	145	nd	-
	B	270	nd	1230	nd	nd
	C	450	nd	1740	nd	nd
	D	40	nd	840	nd	nd
	E	450	nd	nd	nd	3
	F	40	nd	55	nd	nd
	G	90	-	770	nd	dt
	H	735	-	1275	nd	5
	I	195	nd	235	nd	nd
	J	695	nd	925	nd	nd
	K	à l'intérieur de l'usine principale				
Dégrillage	A	340	-	1305	nd	15
	B	6090	2835	7070	175	4
	C	570	nd	1515	40	1
	Dprimaire	1805	nd	230	nd	7
	Dsecondaire	1225	nd	1625	nd	3
	Eprimaire	730	-	610	nd	87
	Esecondaire	2040*	nd	985	680	10
	F	4140*	nd	1845	nd	8
	G	1035		2625	20	5
	H	2570	320	8305	nd	250
	I	2285	40	560	nd	151
	J	6840*	nd	6980	nd	5
	K	pas de dégrilleur				

ÉTAPE	USINE	Moississures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Clarification primaire	A	730	-	1070	nd	-
	B	3010	nd	2450	50	14
	C	1410	nd	995	nd	1
	D-eff.	1685	nd	3800	nd	10
	E	960	-	2550	nd	900
	F	1020	nd	2960	75	10
	G	1035		3320	35	>5000
	H	3355	nd	4015	nd	6
	I	2375	nd	705	nd	2
	J	1465	nd	1985	nd	1
	K	même bassin que celui du refroidissement				
Refroidissement	A	550	-	5250	nd	30
	B	2485	1100	80 800	4670	6
	C	790	nd	2760	135	1
	D	2410	nd	1750	180	5
	E	735	nd	575	nd	1
	F	1615	nd	1135	nd	7
	G	465	-	2250	55	5
	H	3470	nd	3255	750	6
	I	pas de système de refroidissement				
	J	pas de système de refroidissement				
	K	4360	-	285	nd	57

ÉTAPE	USINE	Moisissures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Aération	A	480	-	14 985	nd	52
	B	4175	4825	1340	nd	1
	C	720	nd	3035	nd	2
	D	1965	nd	505	nd	nd
	E	890	nd	890	160	1
	F	1680	nd	500	nd	2
	G	535	-	2375	20	-
	H	3630	nd	370	nd	20
	I	1980	50	180	nd	135
	J	1215	nd	5640	nd	20
	K	3565	-	3000	nd	44
Clarification secondaire	A	620	-	1625	nd	2
	B	2605	40	6680	210	6
	C	770	nd	555	nd	1
	D	Pas de clarificateur secondaire				
	E	Pas de clarificateur secondaire				
	F	1210	nd	1220	nd	65
	G	250	-	1610	70	-
	H	Pas de clarificateur secondaire				
	I	2350	115	265	nd	1
	J	1070	nd	2895	nd	2
	K	3140	-	1825	nd	3

ÉTAPE	USINE	Moississures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Table gravitaire	A	740	-	2325	nd	25
	B	4130	6730	5460	nd	-
	C	1105	nd	2460	nd	23
	D	2175	90	2760	nd	45
	E	785	nd	3535	nd	48
	F	1000	nd	540	nd	2
	G	645	-	10305	nd	37
	H	1235	410	-	nd	2065
	I	3370	835	22850	nd	120
	J	4125*	360	20410	nd	>5000
	K	Pas de table gravitaire				
Presse à boues	A	-	-	-	-	-
	B	1295	880	13 750	nd	6
	C	1660	nd	1215	nd	6
	D	1810	175	1300	nd	40
	E	570	nd	785	nd	25
	F	875	nd	520	nd	6
	G	730	-	3500	nd	195
	H	2345	625	145	nd	-
	I	1945	nd	320	nd	140
	J	1215	40	3820	nd	184
	K	Pas de presse à boues				

ÉTAPE	USINE	Moississures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Chargement/ réception des boues	A	-	-	-	-	-
	B	4100	6250	1285	nd	11
	C	875	nd	6090	nd	4
	D	2905	nd	3515	nd	20
	E	-	-	-	-	-
	F	2010	nd	1710	nd	19
	G	-	-	-	-	-
	H	3375	1675	350	nd	-
	I	-	-	-	-	-
	J	1040	55	460	nd	2
	K	-	-	-	-	-
Enfouissement /Incinération	A	9110*	-	46 900	140	11
	B	2710	40	2090	nd	1
	C amont/site	2470/ 1835	nd/ 110	4570/ 1570	nd/nd	-/6
	D	même site que E				
	E amont/site	5105/ 4610	ND/ND	320/ 2625	ND/40	-/-
	F	boues compostées dans un centre privé				
	G	11340*	-	3965	55	15
	H	même site que E				
	I	-	-	-	-	-
	J	boues enfouies à un site privé				
	K	boues entreposées dans un bassin				

*plus élevée de façon statistiquement significative ($p < 0,05$)

Tableau B2 : Émissions de bioaérosols aux étapes particulières du traitement des effluents des papetières

ÉTAPE	USINE	Moisissures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Cuisine	C	750	nd	905	nd	nd
	D	55	nd	355	nd	nd
	J	nd	nd	1090	nd	nd
Mélange des effluents	C	245	nd	4605	nd	5
Cuvier d'arrivée	B	2140	295	5390	105	1
Accepté du primaire	F	2535	nd	4465	nd	-
Pompage des boues primaires	C	1180	55	4715	70	9
Pompage des boues secondaires	F	1105	nd	8555	nd	-
Bassin de rétention des boues	D	2250	nd	645	nd	1
	E	730	nd	500	70	1
	H	5385	nd	480	nd	-
Cellules de flottation	B	3285	725	3290	40	25
Réservoirs des boues	B	6610	4455	1375	nd	-
	H	10980*	-	855	nd	-
Silo-intérieur	H	3625	1980	500	nd	30
Silo-extérieur	H	4890	265	1820	nd	14
Laveur d'air	I	1010	nd	835	nd	2

*plus élevée de façon statistiquement significative ($p < 0,05$)

Tableau B3 : Émissions de bioaérosols lors de tâches spécifiques

ÉTAPE	USINE	Moississures (UFC/m ³)		Bactéries (UFC/m ³)		Endotoxines (UE/m ³)
		Totales	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Totales	Gram négatives	
Prise d'échantillons	D	1290	40	465	nd	nd
	E	895	nd	4605	nd	10
	G	1140	-	2090	nd	4
	H	4500	-	1135	nd	18
	K	3705	-	605	nd	9