

**Détermination
des caractéristiques
à considérer d'un point de vue
de santé et sécurité
des travailleurs dans les
centres de compostage
des déchets domestiques**

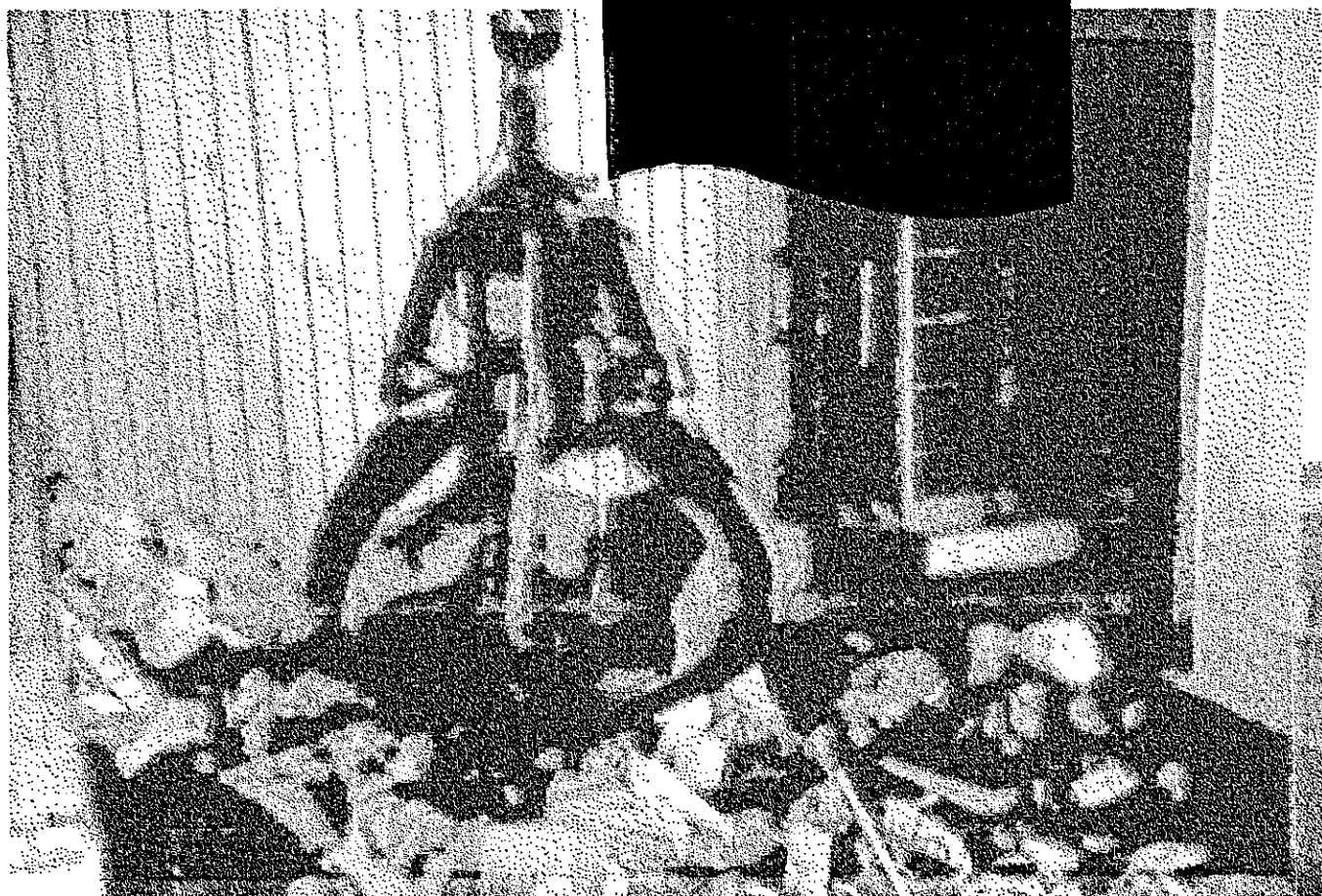
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Jacques Lavoie
Geneviève Marchand

Juin 1997

R-159

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

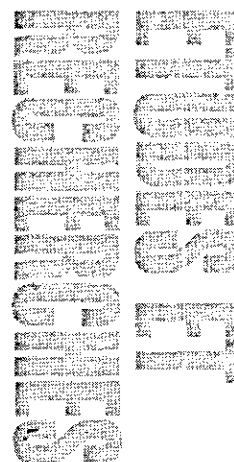
Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques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

**Détermination
des caractéristiques
à considérer d'un point de vue
de santé et sécurité
des travailleurs dans les
centres de compostage
des déchets domestiques**

Jacques Lavoie et Geneviève Marchand
Programme soutien-analytique, IRSST



RAPPORT

Table des matières

	Page
Résumé	1
1. Introduction	3
2. Matériel et méthodes	6
2.1. Description des centres de compostage	6
2.2. Microorganismes	7
2.3. Contaminants chimiques	8
2.4. Étude ergonomique	9
2.5. Suivi in-vitro du compost d'ordures ménagères	9
3. Résultats et discussion	11
3.1. Microorganismes	12
Bactéries totales	12
Bactéries Gram négatives	12
Thermoactinomycètes	12
Moisissures	13
3.2. Contaminants chimiques	14
3.3. Efficacité du biofiltre du centre A	14
3.4. Étude ergonomique	15
A) Examen des dossiers d'accidents	15
B) Enquête auprès des travailleurs	15
C) Organisation du travail	16
3.5. Suivi in-vitro du compost	17
4. Conclusion	18
5. Caractéristiques à considérer du point de vue santé et sécurité du travail	19
Conception d'un centre	20
Collecte des déchets	20
Réception des déchets	21
Déchiquetage et broyage	21
Triage	21
Compostage	23
Travaux d'entretien et de réparation	23
Organisation du travail	24
Opérations de nettoyage	24
Mesures d'hygiène personnelle	24
Programme de santé	25
Utilisation d'un biofiltre	25
6. Références	27

Liste des tableaux et figures

	Page
Tableau 1. Concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des contaminants biologiques (centre A)	31
Tableau 2. Concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des contaminants biologiques (centre B)	32
Tableau 3. Concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des contaminants chimiques aux départements de la fermentation	33
Tableau 4. Contaminants chimiques et biologiques obtenus lors du suivi in-vitro de compost de déchets domestiques.	34
Figure 1 : Centre de compostage "A"	35
Figure 2 : Centre de compostage "B"	36
Figure 3 : Vue d'ensemble du site d'essais	37

Résumé

Ce rapport présente les résultats de l'étude des contaminants chimiques et biologiques et des risques ergonomiques dans deux centres mécanisés de compostage de déchets domestiques et le suivi in-vitro du compost en cours de compostage. Les objectifs de ce projet étaient de documenter les nuisances (chimiques, biologiques et ergonomiques) dans des centres de compostage, d'interpréter ces données par référence aux normes et aux recommandations rapportées dans la littérature scientifique et technique, d'effectuer un suivi in-vitro de compostage afin de proposer l'application des conditions optimales et d'identifier certaines caractéristiques à considérer du point de vue hygiène industrielle, lors de l'implantation de tels centres.

Les contaminants microbiologiques de l'air ont été mesurés en utilisant la méthodologie recommandée par l'ASTM (American Society for Testing and Materials) dans leur protocole E 884-82. Les contaminants chimiques ont été mesurés en utilisant les méthodes standard de l'IRSST. Ils ont été mesurés en été, lorsque la quantité de déchets traités est maximale et en hiver, sous des conditions atmosphériques différentes. Les études ergonomiques de type exploratoire, qui ont consisté à identifier les problèmes potentiels, ont été réalisées pendant l'été.

Aux réceptions et aux départements de fermentation des deux centres, les concentrations moyennes de bactéries totales étaient plus élevées que le niveau moyen d'exposition suggéré pour ce genre d'activité de 10 000 colonies par mètre cube d'air (UFC/m³). Lorsque les concentrations moyennes des bactéries Gram négatives ont été comparées avec le niveau moyen d'exposition suggéré de 1 000 UFC/m³ d'air, aucun des postes d'échantillonnage ne dépassait cette valeur. La concentration moyenne maximale de thermoactinomycètes de 15 000 UFC/m³ d'air a été mesurée au département de la fermentation du centre B. Des concentrations moyennes d'*Aspergillus fumigatus* plus élevées, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0,05$), que l'air extérieur ont été mesurées dans tous les postes des deux centres. Les concentrations moyennes de moisissures étaient significativement plus élevées ($p \leq 0,05$) que l'air extérieur à la réception du centre A et dans les deux départements de fermentation.

Les concentrations moyennes des contaminants chimiques dans le département de fermentation du centre B étaient inférieures à 50 % des niveaux réglementés et supérieures à ce 50 % pour l'ammoniac, l'anhydride carbonique et l'hydrogène sulfuré dans celui du centre A. À la sortie du

biofiltre du centre A, tous les contaminants chimiques et la majorité des contaminants biologiques ont été retrouvés, à des concentrations beaucoup plus faibles, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0,05$).

L'étude ergonomique exploratoire indique qu'il ne semble pas avoir de problèmes importants dans les deux centres.

Le suivi in-vitro de compostage d'ordures ménagères démontre que les concentrations des contaminants chimiques et biologiques s'apparentent à celles mesurées dans les deux centres et, qu'en général, elles sont plus faibles pour le compost maintenu à 60 % de teneur en eau sur base humide.

La qualité de l'air de l'environnement extérieur ne semble pas être influencée par les opérations effectuées dans ces centres, et ce à 100 mètres en aval, dans la direction du vent.

Selon la littérature scientifique, parce qu'il n'existe plus aucun doute que plusieurs des problèmes de santé soient attribuables aux microorganismes et à cause de la présence de certains risques ergonomiques causant des maux de dos et des problèmes musculosquelettiques, lors de l'implantation des nouveaux centres et pour ceux qui existent, certaines caractéristiques devraient être considérées au niveau :

- de la conception;
- de la collecte des déchets;
- de la réception des déchets;
- du déchiquetage et du broyage;
- du triage;
- du compostage;
- des travaux de réparation et d'entretien;
- de l'organisation du travail;
- des opérations de nettoyage;
- des mesures d'hygiène personnelle;
- du programme de santé;
- et de l'environnement extérieur.

1. Introduction

Ce rapport présente les résultats de l'étude des contaminants chimiques et biologiques et des risques ergonomiques potentiels dans deux centres de compostage du Québec ainsi que le suivi des caractéristiques microbiologiques du compost d'ordures ménagères en cours de compostage.

L'intérêt pour ce projet de recherche a tout d'abord été suscité par des demandes de la CSST et des directions de la santé publique concernant l'identification et l'évaluation des risques à la santé pour les travailleurs des centres mécanisés de recyclage et de compostage de déchets domestiques. En effet, comme ce type de milieu de travail est récent et relativement peu connu, il était pertinent de réaliser une recherche sur l'évaluation des agresseurs, principalement ceux d'origine chimique, biologique et ergonomique [11]. Les données recueillies seront utiles pour l'élaboration de programmes de santé adaptés aux risques auxquels les travailleurs sont exposés et pour ressortir les actions préventives à favoriser.

Les objectifs de ce projet étaient a) de documenter les nuisances chimiques, biologiques et ergonomiques dans des centres de compostage, b) d'interpréter ces données par référence aux normes et aux recommandations rapportées dans la littérature scientifique et technique, c) d'effectuer un suivi in-vitro du compostage afin d'obtenir les caractéristiques microbiologiques et chimiques et de proposer l'application des conditions optimales dans les centres et d) d'identifier certaines caractéristiques à considérer du point de vue hygiène industrielle, lors de l'implantation de tels centres.

Tout d'abord, une distinction est à faire entre un centre de recyclage et un centre de compostage. De nos jours, les déchets domestiques sont séparés à la maison par les citoyens en une fraction recyclable et une autre compostable. Chacune de ces fractions est collectée séparément et la fraction compostable est amenée au centre de compostage. En juin 1995, on dénombrait trois centres de compostage mécanisés de déchets domestiques au Canada, dont deux au Québec. Cette étude comprend ces deux centres québécois.

Selon la littérature consultée, le tri et le compostage des déchets comportent des risques d'origine chimique, physique, microbiologique, ergonomique ainsi que des risques à la sécurité des travailleurs [18,24]. La séparation de la fraction compostable et recyclable dans les centres serait l'un

des procédés les plus susceptibles d'exposer les travailleurs à des concentrations élevées de bactéries Gram négatives qui proviennent des déchets organiques [18,21,24]. Les endotoxines émises par ces bactéries peuvent produire des symptômes allant de l'irritation des muqueuses à des problèmes gastro-intestinaux et respiratoires [2,4,5,14,21,22,25,33,36]. Selon des rapports danois, plusieurs études ont indiqué que les travailleurs des usines de recyclage et de tri sont exposés à des risques accrus de problèmes de types musculo-squelettiques, respiratoires (bronchites chroniques, oppressions de poitrine, alvéolites allergiques, asthme), du syndrome toxique par exposition aux poussières organiques (STEPO), gastro-intestinaux, d'irritations de la peau, des membranes muqueuses et des yeux [24,36,37]. Un de ces rapports mentionne de plus que la majorité des symptômes semblent plus fréquents chez les travailleurs triant et manipulant des déchets domestiques lorsque comparés à ceux triant le papier ou les déchets de jardins [37]. D'autres types de microorganismes peuvent également causer des maladies infectieuses ou avoir des effets toxiques en pénétrant dans le système respiratoire [21,24]. Il s'agit des actinomycètes thermophiles, à cause des températures atteintes par le compost et des moisissures thermotolérantes comme *Aspergillus fumigatus* [4,21,22,24]. Lauwerys (1990) mentionne que la manipulation du compost dans les champignonnières peut engendrer une alvéolite allergique extrinsèque (bagassose, poumon du fermier) [16]. Selon ce même auteur, la nature exacte de l'antigène responsable n'est pas élucidée bien que très probablement il s'agisse de plusieurs variétés d'actinomycètes thermophiles dont l'identification précise reste à faire [16]. L'*Aspergillus fumigatus* pathogène à l'occasion, peut causer des infections des poumons chez les individus immunocompromis en plus d'exacerber les symptômes chez les personnes asthmatiques [2,16,27,28,34].

Malmros (1992), dans une étude au Danemark sur l'ensemble des problèmes de santé dans les centres de tri-compostage, accorde une importance toute première aux agresseurs biologiques et ergonomiques. L'asthme et le ODTS viennent en tête de liste des affectations avec des taux d'incidence de cent cas par cent travailleurs par année [25]. Un autre groupe de chercheurs étaient arrivés aux mêmes conclusions en précisant que les symptômes les plus précoces étaient les maux de gorge et l'irritation des yeux [36].

La documentation se rapportant aux centres de tri-compostage fait état de concentrations de bactéries totales supérieures à 20 000 colonies par mètre cube d'air (UFC/m³), de bactéries Gram négatives supérieures à 6 000 UFC/m³ d'air, de champignons supérieures à 10 000 UFC/m³ d'air et d'endotoxines variant de 480 à 990 ng/m³ d'air [24,25,31,36]. Ces valeurs sont du même ordre que

celles obtenues dans un centre de tri-compostage du Québec lors d'une expertise réalisée par l'IRSST [18].

Il n'y a pas de normes québécoises ou internationales sur les microorganismes et leurs toxines. Cependant, sur la base des études déjà réalisées au niveau du traitement des eaux usées et des usines de compostage, les valeurs guides suivantes, pour une exposition de huit heures, ont été proposées [24,25,31] :

Bactéries totales	10^4 UFC/m ³ d'air
Bactéries Gram négatives	10^3 UFC/m ³ d'air

Ces valeurs devraient être considérées comme des concentrations maximales acceptables au niveau des différents procédés. En effet, des niveaux d'expositions moindres ne garantissent pas l'absence d'effets sur la santé.

Les contaminants chimiques associés au compostage et non aux odeurs sont les dérivés azotés (NO_x , N_2O , NH_3), l'anhydride carbonique (CO_2) et, si l'on rencontre des conditions d'anaérobiose, l'anhydride sulfureux (H_2S) [12,21,29,30]. Au niveau de la manipulation des déchets, les produits chimiques avec lesquels les travailleurs peuvent être en contact soit par inhalation soit par contact cutané dépendent essentiellement de la nature même de ces déchets.

Les risques ergonomiques sont associés aux maux de dos à cause des manutentions de charge et des postures contraignantes à adopter. Il est probable également que les travailleurs soient affectés par des lésions aux membres supérieurs étant donné la cadence et le caractère répétitif du tri [23,24]. Le travail debout durant toute la durée du quart de travail, la hauteur et la largeur des convoyeurs et la charge de travail sont les contraintes pointées dans la littérature consultée [22,23,24].

Concernant le compostage, bien qu'il permette le traitement et la valorisation, entre autres, des déchets domestiques, il peut être lui-même, comme il a été mentionné précédemment, une source de pollution au niveau des microorganismes thermotolérants et pathogènes. Cette pollution peut cependant être en partie contrôlée et prévenue en suivant une méthode de compostage adéquate et en effectuant un suivi environnemental pertinent [12,21,29,30]. Les techniques de compostage et d'affinage des composts ont une influence sur les caractéristiques microbiologiques de l'air sur les

sites. Les paramètres qui influencent la qualité d'un compost sont la température, l'humidité, l'oxygène et le temps de maturation [12,21,29,30]. Dans le but d'évaluer l'effet de l'humidité, il a été effectué, en collaboration avec le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) un suivi en cours de compostage, des caractéristiques chimiques et microbiologiques des composts. Ces caractéristiques pourront éventuellement servir de paramètres de contrôle à la fois de la qualité du compost et de la qualité de l'air.

2. Matériel et méthodes

2.1. Description des centres de compostage

La population desservie par le centre A est d'environ 50 000 habitants. La figure 1 donne un aperçu de ce centre mécanisé. Les déchets sont tout d'abord triés par les citoyens. Dans un premier temps, les déchets compostables sont déversés dans une fosse située à l'intérieur du centre par les camions de collecte. Cette fosse permet l'alimentation continue du cylindre de fermentation (bioréacteur) où se réalise le compostage des déchets déversés pendant trois jours. À la sortie du bioréacteur, par voie de tri mécanique, le compost est affiné et les matières recyclables ou impuretés récupérées par un tri grossier manuel. Le compost tant qu'à lui est remis en andains dans le bâtiment de fermentation et retourné à tous les jours jusqu'à sa maturation, soit entre deux et trois mois. Au niveau de la ventilation présente, tout l'air de la réception et des aspirations locales sur les convoyeurs est amené dans le bâtiment de fermentation, mélangé avec celui provenant des andains et dirigé vers trois ventilateurs de sortie de 42 500 m³/h chacun qui donnent directement dans un biofiltre situé à l'extérieur avant d'être rejeté dans l'environnement. La capacité de ce centre est de 42 X 10⁶ kilos par année. L'usine est en opération douze heures par jour, sept jours par semaine et emploie pour les opérations et l'entretien douze employés.

Au centre B (figure 2), l'opération de compostage consiste en un pré-traitement (cisaillement de la fraction organique des déchets et tamisage) et le compostage proprement dit. Les déchets sont mis en andains à l'aide d'un chargeur sur roues. Par la suite, le compost est acheminé vers une zone de maturation à l'extérieur. Il y aura éventuellement un nouvel affinage. Les déchets récupérés lors du tamisage et supérieurs à une certaine dimension sont incinérés. Notons qu'il n'y a pas de bioréacteurs. Les déchets domestiques sont triés par les citoyens et seulement la fraction compostable est acheminée au centre. La quantité de déchets traités est de 145 000 kilos par semaine

l'été et entre 68 000 et 90 700 kilos l'hiver.

Les prélèvements des contaminants chimiques et biologiques ont été réalisés en été, lorsque la quantité de déchets traités est maximale et en hiver, sous des conditions atmosphériques différentes.

2.2. Microorganismes

Les concentrations de microorganismes mesurées lors d'une étude préliminaire ont démontré qu'un nombre de prélèvements supérieur à cinq est suffisant pour démontrer des différences statistiquement significatives avec les niveaux recommandés ($p \leq 0,05$) [7,38]. Ce nombre de prélèvements rejoint celui recommandé par l'ASTM (American Society for Testing and Materials) dans leur protocole E 884 - 82 intitulé : "Standard Practice for Sampling Airborne Microorganisms at Municipal Solid-Waste Processing Facilities" [3]. Les temps de prélèvement étaient d'une minute. Les prélèvements de microorganismes dans l'air ont été réalisés à 1,5 m de hauteur avec des impacteurs Andersen (Andersen Instruments incorporated, Atlanta, USA), comme le recommande l'ASTM [3]. À cause de leurs concentrations élevées mesurées dans une étude préliminaire, les bactéries totales ont été prélevées avec des impacteurs Andersen à six étages [18,26]. Les autres contaminants biologiques ont été prélevés avec des impacteurs Andersen à un étage. Le coefficient total de variation pour cette méthode est de 0,23 pour les usines de traitement de déchets [20]. En ce qui concerne la précision, la manipulation simultanée d'impacteurs Andersen a donné des décomptes qui indiquent une relation très forte entre eux, pour une plage de concentrations variant de $3,9 \times 10^3$ à $1,9 \times 10^5$ CFU/m³ d'air [3]. Les concentrations retrouvées dans ce projet devraient être du même ordre.

Les contaminants microbiologiques mesurés dans l'air et les milieux de culture utilisés ont été les suivants :

- Le SDA (Sabouraud dextrose agar, Quelab Laboratories, Montréal, Qc, Canada) incubé à température ambiante pendant 7 jours pour les moisissures en général et à 45°C pendant sept jours pour les *Aspergillus fumigatus*.
- Le TSA (Trypticase soya agar, Quelab Laboratories, Montréal, QC, Canada) incubé à 35°C pendant 48 heures pour les bactéries totales et à 55°C pendant 48 heures pour les thermoactinomycètes.

- Le MacConkey (Quelab Laboratories, Montréal, QC, Canada) incubé à 37,5°C pendant 48 heures pour les bactéries Gram négatives.

Les prélèvements ont été effectués à chacun des postes de travail ou sections d'usine, comme le recommande le protocole de l'ASTM [3]. Dans le centre A, il y avait dix (10) postes de travail, incluant l'air extérieur qui a servi de comparaison pendant la période estivale uniquement. Dans le centre B, il y en avait cinq. L'ASTM recommande de prendre les prélèvements extérieurs à 300 mètres en amont de l'usine et à 100 mètres, en aval, suivant la direction du vent [3]. Les données ainsi obtenues permettront, entre autres, de faire les comparaisons avec les études déjà réalisées dans ce domaine.

2.3. Contaminants chimiques

Les contaminants chimiques associés au compostage ont été mesurés en même temps que les contaminants biologiques, à une hauteur de 1,5 m, en continu pendant une journée, dans l'aire de fermentation du compost avec des instruments à lecture directe connectés à un accumulateur de données (Model DLX-100, D.E.S. Corporation, Québec, QC, Canada). Il est bon de noter que ces mesures couvraient la période du retournement des andains, représentant ainsi les pires conditions. Les interventions ont aussi eu lieu en été, lorsque la quantité de déchets est maximale, et en hiver, sous des conditions de ventilation différentes. Le N_2O , le NH_3 , le CO_2 , et le CO ont été mesurés avec un moniteur spectroscopique photo acoustique (Multigaz, Model 1302, Bruël and Kjaer, Pointe-Claire, QC, Canada) ayant une limite de détection de 0,025 ppm pour le N_2O , 0,3 ppm pour le NH_3 , 3 ppm pour le CO_2 et de 0,15 ppm pour le CO. Le H_2S a été mesuré avec un appareil fonctionnant par pile électrochimique (modèle 4173, Interscan Corp., Chatsdworth, CA). La limite de détection de cet appareil est de 0,4 ppm. Le NO et le NO_2 ont été mesurés avec un moniteur personnel à piles électrochimiques (Toxilog, Biosystems inc., Middlefield, CT). Les limites de détection sont de 0,1 ppm pour le NO_2 et de 1,0 ppm pour le NO.

Les poussières totales ont été prélevées sur des filtres en chlorure de polyvinyle de porosité de 0,8 μm (Omega Specialty Instruments CO., Chelmsford, MA), avec des pompes à haut débit (Gilian Instruments Corp., Wayne, NJ) et quantifiées par gravimétrie. La limite de détection est de 25 μg et le coefficient de variation total pour cette méthode est moins de 7 %. Les débits des pompes étaient d'environ 2 L/min et le temps d'échantillonnage pour chaque filtre d'environ une (1) heure.

Les débits ont été mesurés sur le site avec un débitmètre de marque Kurz (Kurz Instruments Inc., Carmel Valley, CA).

Les résultats ont été comparés aux normes d'exposition existantes ou aux niveaux recommandés.

2.4. Étude ergonomique

Les études ergonomiques exploratoires ont été réalisées pendant l'été 1995. Ce volet a consisté à réaliser un diagnostic basé sur une approche sommaire qui essaie de tenir compte de certains aspects de la situation de travail (aménagement, communications, organisation de travail, etc.). La démarche utilisée a été la suivante :

- Examen des dossiers d'accidents et d'incidents disponibles dans les entreprises.
- À cause du faible nombre de travailleurs (< 15 travailleurs pour sept postes), il n'y a pas eu utilisation de questionnaire de symptômes musculosquelettiques. Cependant, des entretiens ont été réalisés avec tous les travailleurs de chaque usine pour obtenir leur perception des différentes contraintes à leur poste. On a cherché également à obtenir des suggestions pour trouver des solutions et améliorer la situation de travail.
- La dernière étape a consisté à comparer ce qui a été fait aux deux usines, à voir quels étaient les obstacles à l'application de solutions et si certaines solutions pouvaient être applicables dans d'autres usines éventuelles.

2.5. Suivi in-vitro du compost d'ordures ménagères

Le matériel utilisé pour les essais de compostage provenait de l'un des centres de compostage. Il s'agissait d'un matériel hétérogène constitué de la fraction organique des ordures ménagères ayant subi un précompostage de trois (3) jours dans un bioréacteur et un affinage mécanique. L'unique facteur de variation a été la teneur en eau qui a varié pour les deux composts à l'essai. Tous les autres paramètres de contrôle sont demeurés constants. La teneur en eau a été de 45 % pour l'un des composts et de 60 % pour l'autre. Ces conditions ont été maintenues en cours de compostage à leur

teneur initiale en introduisant la quantité d'eau nécessaire lors des retournements. Ainsi, le suivi des paramètres microbiologiques et chimiques des composts ont permis d'établir des liens entre la teneur en eau, l'évolution des processus de compostage et la présence des microorganismes dans l'air ambiant.

Le compost a été disposé sur deux emplacements couverts localisés sur la plate-forme expérimentale de compostage du CRIQ (figure 3). Les deux sites sont couverts d'un abri de toile imperméable pour éviter l'apport d'eau par les précipitations. Ils sont de construction identique et permettent le compostage en pile des substrats. Pour les fins du projet, une toile mitoyenne a été installée entre les deux emplacements pour éviter la circulation et la contamination de l'air d'un site à l'autre lors des retournements. La superficie bétonnée de chacun des emplacements (plate-forme) est de 35 m² et leur volume de 164 m³. Les essais de compostage ont débuté en juillet et se sont terminés à la fin septembre de la même année. Le temps de compostage a été de 77 jours pour les deux traitements. Les composts ont été mis en piles d'environ 15 m³ au moyen d'un épandeur à fumier d'une capacité de 7,3 m³. Ces dimensions correspondent à une section d'andains habituellement retrouvée dans un bâtiment de fermentation d'un centre de compostage.

L'aération des composts a été effectuée à la base des piles par aspiration (ventilation négative) et par le retournement mécanique hebdomadaire (une fois par semaine) des composts. L'oxygénisation des composts s'est effectuée en injectant la quantité d'air requise pour conserver le taux d'oxygène dans les composts à un niveau souhaitable (>10 %). La teneur en oxygène dans les espaces lacunaires a été mesurée à l'aide d'un oxymètre (Teledyne 320P/D, Hampton, Virginia). La ventilation continue des composts a permis de maintenir des conditions constantes d'aérobiose au sein des composts et d'assurer l'accélération des processus de compostage. Les retournements ont assuré l'homogénéité des composts tout au long des procédés. Les températures des composts ont été mesurées à l'aide de sondes fixes reliées à un thermomètre digital (Hanna HI 9063, type K). Les températures et les teneurs en oxygène ont été suivies sur un ensemble de 10 points dans chacune des piles. Les températures ont été mesurées quotidiennement, du lundi au vendredi, tandis que l'oxygène a été mesuré occasionnellement pour vérifier l'uniformité de l'oxygénisation. Le compost a été aéré à l'aide d'un ventilateur qui aspire l'air de l'abri, au travers du matériel à composter. L'air migre du haut du tas vers la base pour être ensuite évacué vers un biofiltre. Le débit d'air a été ajusté pour maintenir la température du compost à environ 55°C. Il a varié de 24 L/sec au début à 2,4 L/sec au 70^e jour de compostage pour chacune des cellules. En effet, il est recommandé de ne pas maintenir

la température du compost au-dessus de 60-65°C après la période d'hygiénisation [39]. Le terme hygiénisation réfère à la destruction des pathogènes qui résulte de l'effet combiné des hautes températures et de la compétition microbienne et non de la stérilisation ou de la pasteurisation artificielle. Le maintien des températures entre 55 et 60°C pendant quelques jours suffirait pour éliminer les pathogènes et les nématodes.

Les échantillonnages de l'air et du matériel ont été effectués à l'intérieur de chacun des deux emplacements à toutes les deux semaines, à une hauteur de 1,5 m, après les opérations de retournement pour assurer la représentativité des échantillons et présenter les pires conditions, i.e., celles où l'empoussièrement et les émanations de gaz sont à leur maximum. Les mêmes contaminants chimiques et microbiologiques que ceux rencontrés dans les deux centres de compostage ont été mesurés. Les milieux de culture, les méthodes d'analyse, les temps de prélèvement et les appareils de mesure ont été aussi les mêmes. Lors de chacun des cinq retournements, les échantillons ont été prélevés à 1,5 m de hauteur, à proximité des andains, sur les deux plates-formes de compostage. Une vingtaine d'échantillons pour chaque type de microorganismes ont été prélevés afin d'obtenir une distribution normale et de pouvoir comparer les résultats entre eux avec des tests de comparaison de moyennes "t" de Student. De la même façon, les contaminants chimiques ont été comparés avec le même test statistique afin de démontrer des différences significatives ($p \leq 0,05$). Le temps total de prélèvement après le brassage était d'environ deux heures.

3. Résultats et discussion

Les tableaux 1 à 3 donnent les résultats d'analyses des prélèvements d'air dans les deux centres. Entre autres, sont retrouvées dans les tableaux 1 et 2 les différences statistiquement significatives ($p \leq 0,05$) entre les concentrations moyennes intérieures et celles retrouvées à 300 mètres en amont de l'usine, dans la direction du vent, pour les évaluations réalisées en été. Le tableau 4 donne les résultats et les différences statistiquement significatives ($p \leq 0,05$) des contaminants chimiques et biologiques obtenus lors du suivi in-vitro du compost de déchets domestiques.

3.1. Microorganismes

● Bactéries totales

En été, les concentrations moyennes de bactéries totales étaient supérieures au niveau moyen suggéré de 10 000 UFC/m³ d'air pour ce genre d'activité, aux réceptions et aux bâtiments de fermentation des deux centres. Elles étaient respectivement pour le centre A de 53 690 ($\pm 16\,000$) UFC/m³ et de 168 440 ($\pm 2\,270$) UFC/m³ d'air et pour le centre B de 14 290 ($\pm 9\,270$) UFC/m³ et de 87 020 ($\pm 1\,070$) UFC/m³ d'air. Pendant l'hiver, elles étaient aussi supérieures aux mêmes endroits pour le centre B, soit respectivement 27 000 ($\pm 7\,160$) UFC/m³ et 11 350 (± 900) UFC/m³ et seulement à la réception du centre A (68 920 ($\pm 20\,340$) UFC/m³ d'air). La documentation se rapportant aux centres de tri-compostage fait état de concentrations de bactéries totales supérieures à 20 000 UFC/m³ d'air [9,18,24,25,26,31,36]. L'entreposage de déchets et de compost semble constituer une source majeure de bactéries totales, peu importe la saison.

● Bactéries Gram négatives

Lorsque les concentrations moyennes sont comparées au niveau recommandé de 1 000 UFC/m³ d'air, aucun des postes d'échantillonnage ne dépassait cette valeur, peu importe la saison. La façon dont sont réalisées les opérations, i.e., faible temps de résidence des déchets à la réception et atteinte des températures létales au niveau du compostage, semble donc permettre le contrôle de l'émission dans l'air de ce type de microorganismes et possiblement de leurs toxines.

● Thermoactinomycètes

La température moyenne de compost constitue un climat idéal pour la prolifération des bactéries thermophiles [14,19,22,24,25]. Contrairement aux bactéries totales et Gram négatives, il n'y a pas de niveaux d'expositions suggérés. Dans d'autres types d'environnement comme la culture des champignons, des concentrations de thermoactinomycètes de l'ordre de 10^{5-7} UFC/m³ d'air ont déjà été mesurées [8,13]. Selon Miller, des concentrations de l'ordre de 10^8 UFC/m³ d'air sont nécessaires pour le développement de symptômes aigus [28]. Dans plusieurs études sur le compostage, les expositions aux thermoactinomycètes se situaient dans l'intervalle de 10^{5-8} UFC/m³ d'air et Lacey et coll. (1990) ont suggéré que des expositions plus grandes que 10^6 UFC/m³ d'air présentaient un

risque accru d'alvéolite allergique extrinsèque et d'ODTS [14,31]. La concentration moyenne maximale dans cette étude était de 15 000 (± 150) UFC/m³ d'air, mesurée pendant l'été dans le bâtiment de fermentation du centre B.

● *Aspergillus fumigatus*

Cette espèce de moisissure thermotolérante est surtout rencontrée lorsqu'il y a du compost ou des substrats ayant une température supérieure ou égale à 45°C comme dans les fermes où est entreposé le foin moisi [13,21,22,25,28]. La dose précise qui entraîne des effets sur la santé des individus exposés sains ou sensibilisés n'est pas encore connue [27,28,34]. Clark et coll. ont mesuré dans certains départements d'usine de compostage, des concentrations de l'ordre de 10⁶ UFC/m³ d'air de cette moisissure [6]. Dans cette étude, une concentration moyenne maximale de 12 000 ($\pm 2\,900$) UFC/m³ d'air a été mesurée en hiver dans le bâtiment de fermentation du centre A. De plus, pendant l'été, des concentrations moyennes significativement plus élevées ($p \leq 0,05$) que l'air extérieur en amont ont été mesurées dans tous les postes des deux centres. Ces concentrations demeurent toutefois faibles lorsque comparées avec celles retrouvées dans la littérature scientifique portant sur ce genre d'usine.

● Moisissures

Les moisissures étaient présentes à des concentrations moyennes variant de 60 (± 20) UFC/m³ d'air au tri du centre A pendant l'été à 14 380 (± 730) UFC/m³ d'air à la réception du même centre pendant l'hiver. Des concentrations de l'ordre de 10²⁻⁶ UFC/m³ d'air ont déjà été mesurées dans d'autres études sur des centres de compostage [31]. Dans une autre étude québécoise dans un centre de compostage, Marchand et coll. ont mesuré des concentrations de moisissures de l'ordre de 10³ UFC/m³ d'air [26]. L'exposition aux spores de moisissures a été reliée à des alvéolites allergiques et au STEPO [10]. L'inhalation des spores et de propagules fongiques peut avoir d'autres effets 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 [34]. Il n'est pas encore connu dans quelle mesure la présence de mycotoxines peut contribuer à la capacité des spores ou propagules de provoquer la maladie et comment l'inhalation de produits volatils émis par les moisissures peut affecter les humains [34].

Enfin, au niveau microbien, la qualité de l'air de l'environnement extérieur ne semble pas être influencée par les opérations effectuées dans ces deux centres, et ce à 100 mètres en aval, dans la direction du vent. Seulement les bactéries totales sont retrouvées en aval, pendant l'été, à des concentrations moyennes plus élevées d'une façon statistiquement significative, que celles mesurées en amont. Cependant, cette augmentation est plus faible que le niveau maximal d'exposition recommandé.

3.2. Contaminants chimiques

Les contaminants gazeux et particulaires ont été mesurés aux bâtiments de fermentation des deux centres (tableau 3). Dans le centre B, les concentrations moyennes étaient toutes inférieures à 50 % de leur valeur d'exposition réglementée, peu importe la saison [32]. Ce centre n'a pas de système de ventilation pour évacuer l'air vicié et les changements d'air sont assurés par de grandes ouvertures aux extrémités. Au centre A, les concentrations moyennes d'hydrogène sulfuré et d'ammoniac étaient comprises entre 50 % et leur valeur d'exposition réglementée pendant l'été, de même pour l'anhydride carbonique et l'ammoniac pendant l'hiver (réf. tableau 3). Selon l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), le NH_3 est un gaz incolore et très irritant [1]. Le H_2S est lui aussi incolore et toxique et possède une odeur suggérant les oeufs pourris [1]. Le fonctionnement des trois ventilateurs de sortie d'air vicié lors du retournement des andains devrait être assuré afin de diluer ces concentrations.

3.3. Efficacité du biofiltre du centre A

Pendant l'été au centre A, le tableau 1 démontre que tous les contaminants chimiques et la majorité des contaminants biologiques ont été retrouvés à des concentrations beaucoup plus faibles, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0,05$), à la sortie du biofiltre, lorsque comparés aux concentrations moyennes mesurées dans le bâtiment de fermentation. De plus, les seuls contaminants biologiques retrouvés en concentrations plus élevées que l'air en amont ont été les thermoactinomycètes et les *Aspergillus fumigatus*. Il semble donc que l'activité bactérienne dans le biofiltre contribue à augmenter la température du substrat créant ainsi les conditions favorables à la prolifération des microorganismes thermotolérants.

3.4. Étude ergonomique

A) Examen des dossiers d'accidents

Le centre A est en opération depuis janvier 1993 soit depuis plus de deux (2) ans au moment de l'enquête. Le nombre de travailleurs étant faible (12 à 15 selon la saison), on ne doit pas s'attendre à un nombre élevé d'accidents. De fait, il n'y a eu que trois (3) cas de lésions avec perte de temps depuis le démarrage de l'entreprise et tous sont reliés à des faits accidentels : accident 1 : bras pris dans un convoyeur; accident 2 : chute suite à une perte d'équilibre due à un morceau qui a soudainement lâché lors d'un effort; accident 3 : chute lors de l'utilisation d'une échelle. Seul l'accident 2 peut être associé, quoique qu'indirectement, à des aspects ergonomiques. Le nombre d'accidents est donc faible mais il faut considérer cette donnée avec prudence à cause du nombre peu élevé de travailleurs et de la courte période d'opération. Au centre B, le personnel consiste en quatre (4) opérateurs à plein temps, un (1) opérateur de remplacement, un employé sur l'aire de réception le mercredi et le samedi et un directeur. Les opérateurs ont un travail assez polyvalent et peuvent réaliser des travaux d'entretien courants. Il y a également une (1) personne sur le site d'enfouissement des déchets secs mais celle-ci devrait être affectée éventuellement à l'aire de réception. L'entreprise est en opération depuis avril 1994 soit depuis plus d'un (1) an au moment de l'étude. Depuis le début des opérations, il y a eu un (1) seul accident de travail soit un flash de soudage. Il n'y a donc pas eu de lésion musculosquelettique. Encore une fois, à cause du faible nombre de travailleurs et de l'ouverture récente de l'usine, on ne peut considérer ces données comme une indication fiable.

B) Enquête auprès des travailleurs

Chacun des travailleurs a été questionné pour vérifier s'il avait éprouvé des douleurs au dos, au cou, aux épaules ou aux poignets au cours des 12 derniers mois. Aucun des travailleurs interrogés n'a dit avoir eu des douleurs à ces régions du corps sauf le travailleur régulier au tri grossier du centre A qui a dit avoir parfois des douleurs passagères au dos et les opérateurs du centre B qui ont dit ressentir des douleurs au niveau des doigts à cause de la manipulation des boutons sur le panneau de contrôle pour actionner le grappin.

Lorsqu'un travail présente des contraintes ergonomiques significatives, il est généralement constaté

qu'au moins 20 % des travailleurs vont mentionner avoir eu des douleurs, ce qui n'est pas le cas. En fait, certains d'entre eux éprouvent des douleurs à cause d'activité non reliée au travail. Rappelons qu'il y a peu de travailleurs et qu'il faut interpréter ces données avec prudence. Cependant, pour l'ensemble des entreprises, ces enquêtes, malgré leurs limites, indiquent à tout le moins que la situation n'est pas mauvaise.

Par la suite, la perception des travailleurs en regard des contraintes ergonomiques à leur poste a été vérifiée. Dans le centre A, les pontiers, aide-pontiers, le préposé à la fermentation et l'opérateur d'équipement mobile ne voient pas de problèmes à leur poste de travail. Les mécaniciens estiment que les contraintes sont typiques de tout travail de mécanicien et ne sont donc pas négligeables. Elles dépendent de l'équipement mis à leur disposition et surtout des méthodes et attitudes de travail de chaque mécanicien. Ils ont mentionné que beaucoup d'améliorations ont été apportées depuis le début des opérations. Les travailleurs au tri sont conscients que leur poste est contraignant notamment pour ce qui est de la posture penchée et de la chaleur. Pour le centre B, les problèmes mentionnés sont repris dans les paragraphes suivants.

C) Organisation du travail

Dans les deux (2) centres, les travailleurs jouissent d'un niveau d'autonomie élevé. Le nombre de travailleurs est restreint de sorte qu'ils se connaissent bien et s'entraident. Les rapports avec la direction peuvent être directs ce qui favorise une bonne communication et une compréhension mutuelle des besoins de chacun. Il y a peu de contraintes de temps comme c'est le cas dans un travail à la chaîne. Dans le centre A, malgré des ressources limitées, il y a eu beaucoup d'améliorations apportées pour minimiser les risques de blessures. La prévention des risques à la santé et à la sécurité des travailleurs apparaît faire partie des valeurs des directions. Tous ces éléments constituent des aspects positifs en regard de la prévention des risques ergonomiques.

En résumé, malgré le fait qu'il ne s'agit que d'une étude ergonomique sommaire et exploratoire, il ne semble pas avoir de problème important en ce qui concerne le compostage, sauf pour le poste de tri grossier du centre A. Cette opération devra être évaluée d'une façon plus méthodique dans une autre étude. Les autres problèmes rencontrés auraient pu survenir dans n'importe quelle autre petite entreprise.

3.5. Suivi in-vitro du compost

En début de compostage, le débit d'air était d'environ 24 L/sec par pile de compost. Celui-ci a été progressivement réduit en cours de compostage et à la fin des essais, il était environ 10 fois plus faible. Au départ, l'aération des composts s'est effectuée sur une base continue alors que vers la fin des essais, le compost était aéré épisodiquement suivant une séquence de fonctionnement et d'arrêt de la ventilation et ce, en raison du faible débit d'aération requis.

Le compost a été maintenu en aérobose tout au cours des essais, puisque la teneur en oxygène a été maintenue à des teneurs comprises entre 5 et 20 % lorsque les ventilateurs fonctionnaient. Le fonctionnement séquentiel des ventilateurs vers la fin des essais s'est avéré nécessaire pour ne pas trop refroidir le compost.

Le contrôle fréquent de la teneur en eau sur base humide a permis de maintenir de façon satisfaisante les teneurs visées. Les niveaux de teneur en eau ciblés étaient de 45 et de 60 % pour le compost C1 et C2 respectivement. Pour C1, la teneur en eau a varié de 56 % (valeur initiale à la réception) à 38 % (à la fin des essais) pour une moyenne de 45,9 % ($\pm 5,4$), alors que la teneur en eau du compost C2 a varié de 54 à 66 % pour une moyenne de 60,9 % ($\pm 3,9$) pour la période d'essai.

Les températures moyennes mesurées à 0,5 m de profondeur dans le compost pour les 77 jours de compostage étaient tant qu'à elles de 49,8°C ($\pm 7,2$) pour le compost C1 et de 46,3°C ($\pm 7,7$) pour le compost C2.

Le rapport carbone/azote (C/N) est un indicateur qui permet d'apprécier le degré de maturité du compost. Selon Zucconi et De Bertoldi (1987), le degré de stabilisation requis pour le compost est atteint lorsque le rapport C/N est inférieur à 22. Après 77 jours de compostage, les rapports C/N des composts C1 et C2 sont respectivement de 20,5 et 17,2. Le compost plus humide serait donc plus mature.

Les résultats du tableau 4 démontrent que les concentrations des contaminants chimiques et biologiques s'apparentent à celles mesurées dans les deux centres et, qu'en général, elles sont plus faibles pour le compost maintenu à 60 % de teneur en eau sur base humide. Entre autres, après 77 jours de compostage, les concentrations moyennes des contaminants biologiques sont toutes plus

faibles, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0.05$), lorsque comparées avec le compost maintenu à 45 %. Le fait de maintenir le compost aux alentours de 60 % d'humidité semble donc avoir une influence bénéfique sur les concentrations des contaminants.

4. Conclusion

Ce rapport donne les résultats des interventions menées dans deux centres de compostage ainsi que le suivi des caractéristiques microbiologiques du compost d'ordures ménagères en cours de compostage. Ont été mesurés lors de ces évaluations les contaminants chimiques et biologiques. De plus, une évaluation ergonomique sommaire a été réalisée.

Les concentrations moyennes de bactéries totales étaient supérieures au niveau suggéré de 10 000 UFC/m³ d'air aux réceptions et aux bâtiments de fermentation des deux centres. L'entreposage de déchets et de compost semble donc constituer une source majeure de bactéries. Pour les bactéries Gram négatives, aucun des postes, peu importe la saison, n'a dépassé le niveau maximal d'exposition suggéré.

La concentration moyenne maximale de thermoactinomycètes a été de 15 000 (± 150) UFC/m³ d'air, mesurée pendant l'été au centre B. La littérature scientifique consultée ne rapporte pas d'effets sur la santé aux concentrations de cet ordre. Une concentration moyenne maximale de 12 000 ($\pm 2\,900$) UFC/m³ d'air d'*A. fumigatus* a été mesurée en hiver au bâtiment de fermentation du centre A. La dose précise pour laquelle des effets sur la santé des travailleurs sont rencontrés ne semble pas être encore connue. Les concentrations moyennes mesurées dans cette étude demeurent tout de même faibles lorsque comparées avec celles retrouvées dans la littérature scientifique dans ce genre d'activité. Les moisissures étaient présentes à des concentrations moyennes variant de 60 (± 20) UFC/m³ d'air à 14 380 (± 730) UFC/m³ d'air. Des concentrations de l'ordre de 10^{-6} ont déjà été mesurées dans d'autres études portant sur des centres de compostage.

À cause des concentrations élevées de bactéries totales et de la présence de thermoactinomycètes, d'*A. fumigatus* et de moisissures, les travailleurs des bâtiments de fermentation et des réceptions des deux centres devraient porter une protection respiratoire efficace, composée d'un masque complet ou l'équivalent muni de filtres à haute efficacité (couleur mauve) jetables.

Au centre B, les contaminants chimiques étaient inférieurs à 50 % de leur valeur d'exposition réglementée, peu importe la saison. Au centre A, certains contaminants comme l'ammoniac, l'hydrogène sulfuré et l'anhydride carbonique dépassaient ce niveau demeurant toutefois sous leur norme.

À la sortie du biofiltre du centre A, tous les contaminants chimiques et la majorité des contaminants microbiologiques ont été retrouvés, à des concentrations plus faibles, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0.05$) que celles du bâtiment de fermentation. Cette composante s'avère donc des plus intéressantes pour un centre de compostage situé à proximité d'un quartier résidentiel, du moins pour le contrôle des contaminants produits par le compost.

Bien qu'exploratoire, l'étude ergonomique indique qu'il ne semble pas avoir de problème important en ce qui concerne le compostage, sauf pour le poste de tri du centre A. Les autres problèmes rencontrés auraient pu survenir dans n'importe quelle petite entreprise. Une étude ergonomique plus approfondie devra cependant être réalisée pour pouvoir généraliser pour les autres centres de compostage éventuels.

Le suivi in-vitro de compostage démontre que les concentrations des contaminants chimiques et biologiques s'apparentent à celles mesurées dans les deux centres et, qu'en général, elles sont plus faibles pour le compost maintenu à 60 % de teneur en eau sur base humide. De plus, ce dernier est plus mature.

Enfin, la qualité de l'air de l'environnement extérieur au niveau microbien ne semble pas être influencée par les opérations effectuées dans ces centres. Seulement les bactéries totales sont retrouvées en aval, pendant l'été, à des concentrations moyennes plus élevées d'une façon statistiquement significatives, que celles mesurées en amont. Cependant, cette augmentation est faible lorsque comparé aux niveaux d'exposition recommandés.

5. Caractéristiques à considérer du point de vue santé et sécurité du travail

Suite à nos observations et expériences développées dans le cadre de la réalisation de ce projet de recherche, certaines caractéristiques ont pu être ressorties et devraient être considérées dans le but d'aider à résoudre les problèmes généraux de santé et de sécurité au travail dans les centres existants

et futurs. Ces considérations s'appliquent à toutes les étapes et activités d'un centre de compostage.

Conception d'un centre

L'aspect santé et sécurité du travail doit être présent dès le début de la conception d'un centre de compostage. C'est à ce niveau que les variables à considérer devraient être intégrées dans la planification de la construction.

Il est essentiel de traiter la santé et la sécurité du travail comme partie intégrante des objectifs de production. Dans les pays scandinaves, l'expérience acquise des centres existants a démontré que la négligence des règles de sécurité, même pendant une courte période, a eu des conséquences sérieuses sur la santé des employés [23].

Concernant les moyens de prévention, le centre devrait être conçu de manière à ce que les microorganismes ne puissent rejoindre les poumons des travailleurs. Cela signifie que la formation d'aérosol doit être évitée. Par exemple, les déchets devraient être confinés de façon à ce qu'ils ne viennent pas en contact avec les travailleurs et une attention particulière devrait être donnée aux postes de tri. De la ventilation appropriée devrait être disponible aux endroits où les déchets ou le compost sont agités. L'éclairage devrait être adapté en fonction des travaux effectués, en évitant la réflexion et les éblouissements.

La santé et la sécurité doivent être situées à un niveau élevé de priorité autant pour la direction que pour les employés. Un comité de santé et de sécurité fonctionnel et actif est donc primordial.

Collecte des déchets

Il est très important que les déchets dangereux (peinture, huile, vernis, solvant, etc.) soient collectés et traités séparément. Pour la fraction compostable des déchets domestiques, plus la qualité du tri réalisé à la maison par les citoyens est élevée, plus le produit fini est de bonne qualité et exempt de contaminant.

Réception des déchets

Le quai de réception des déchets doit être conçu de façon à pouvoir le vider et le nettoyer facilement. Les conditions présentes à ces endroits sont très favorables à la prolifération microbienne et les déchets ne devraient pas demeurer longtemps dans la décharge. Il est conseillé de traiter tous les déchets reçus dans la même journée et les côtés et le fond de la décharge devraient être nettoyés d'une façon régulière. Tous les planchers et surfaces horizontales devraient être nettoyés par aspiration (aspirateur muni de filtres à haute efficacité ou équivalent) eux aussi régulièrement.

Des salopettes et des masques respiratoires complets munis de filtres à haute efficacité jetables et des gants devraient être portés pour effectuer les opérations de nettoyage ou de remplissage manuel. Les travaux de réparation et de nettoyage impliquent souvent des problèmes de nature ergonomique, particulièrement pour les endroits difficiles d'accès. Ces problèmes peuvent être contrés par une planification minutieuse du travail à effectuer et la rotation des employés.

Déchiquetage et broyage

Il faut prévoir l'espace et les moyens techniques pour enlever les gros morceaux qui ne peuvent être broyés ou déchiquetés. Encore une fois, au niveau de l'entretien, l'aspiration des saletés, avec des aspirateurs efficaces munis de filtres à haute efficacité ou l'équivalent, sur les planchers et sur les surfaces horizontales devrait être réalisée régulièrement. Des vêtements de travail, des gants et un masque respiratoire jetable capable de retenir les particules plus grosses qu'un micron et possédant une couche de charbon actif pour éliminer les odeurs désagréables devraient être portés par les travailleurs faisant le nettoyage.

Triage

Le matériel à trier devrait être propre ou exempt de matière organique, de sorte que les employés ne soient pas obligés de travailler cloîtrés pour éviter l'exposition aux contaminants microbiologiques. En effet, le tri conventionnel est source de concentrations élevées de microorganismes [23,26].

Selon des chercheurs des pays scandinaves, le convoyeur, les murs et le plancher de la salle de tri devraient être nettoyés, avec un aspirateur muni de filtres à haute efficacité, d'une façon régulière

[23]. Les travailleurs attirés au nettoyage devraient porter des vêtements de travail, des gants et de la protection respiratoire contre les particules supérieures à un micron.

Au niveau ergonomique, comme le démontre les études scandinaves, le poste le plus à risque est le tri manuel. Il est bon de mentionner cependant que dans le centre impliqué dans notre étude, cette opération n'est réalisée que pour récupérer les impuretés qui n'ont pas été compostées. Pour tous les autres centres, la quantité de matériel à trier à la main doit être limitée, le temps qu'y passe chaque employé doit être réduit au minimum et les gros objets devraient être retirés dès leur réception.

Concernant les demandes physiques sur les trieurs, le tri manuel constitue un travail répétitif des plus monotones. Le travail devrait être planifié de façon à le rendre le plus varié possible, physiquement et mentalement. La rotation des postes enlève beaucoup de monotonie. Ainsi, il devient possible d'alterner entre les postes assis et debout et de changer entre différents types de travail. La vitesse et la quantité du matériel à trier devraient être ajustées par les trieurs. Le matériel à trier devrait arriver en couche mince, minimisant ainsi l'agitation.

Voici quelques caractéristiques à considérer pour le poste de triage :

- Il devrait être facile de changer de place entre les différents postes de travail sur la ligne de tri.
- La plate-forme de travail devrait être ajustable en hauteur.
- Pour toutes les positions de travail, il devrait y avoir de bons supports pour les pieds.
- La chute à déchets devrait être positionnée sur le côté à proximité immédiate de la courroie, près des employés, sous la hauteur de la courroie.
- L'angle de rotation vers la chute ne devrait pas dépasser 45°.
- La chute devrait être conçue de façon à ce que le matériel tombe par lui-même.

- Il ne devrait pas y avoir de garde ou de structure après la chute empêchant les mouvements naturels.
- Il devrait être possible de déplacer le matériel sans être obligé de le lever.
- Le convoyeur devrait avoir une vitesse ajustable et un arrêt d'urgence à chaque position individuelle.

Une étude ergonomique plus approfondie sur les centres de recyclage en cours à l'IRSST devrait fournir encore plus de détails sur le poste de triage.

Compostage

Le transport et le chargement des déchets domestiques pour le compostage devraient être réalisés en milieux confinés. Le brassage, le virement et la manipulation du compost dans les aires de fermentation sont des opérations qui génèrent des microorganismes. Des masques respiratoires complets jetables munis de filtres à haute efficacité devraient être portés pour effectuer ces opérations.

Lors du virement des andains à l'intérieur, le département devrait être ventilé au maximum pour diluer les concentrations des contaminants chimiques et le brouillard formé par la condensation de l'eau.

Le suivi in-vitro de certaines caractéristiques de compostage comme la teneur en eau, la température, la teneur en oxygène et le rapport carbone/azote (C/N) a permis de déterminer que, une fois le compost rendu à maturité, les concentrations des contaminants chimiques et biologiques aéroportés sont plus faibles, d'une façon statistiquement significative, chez le compost à 60 % de teneur en eau. Ce pourcentage devrait donc être ciblé.

Travaux d'entretien et de réparation

Il est important de considérer en premier lieu les risques potentiels avant de débiter des travaux d'entretien ou de réparation afin de déterminer, entre autres, l'équipement de manutention approprié.

Il est préférable d'effectuer ces travaux lorsque le centre n'est pas en opération et l'endroit où ils sont effectués devrait être nettoyé avant tout. De l'équipement de protection devrait être porté. Si les travaux impliquent le contact avec des déchets domestiques organiques, des salopettes à l'épreuve de l'eau et un masque respiratoire muni de filtre à haute efficacité devraient être portés. Des gants devraient toujours être utilisés.

Organisation du travail

Des descriptions de tâches et des instructions sécuritaires, établies avec le comité de santé et de sécurité au travail, pour chacun des postes de travail, devraient exister. Les personnes responsables devraient être clairement identifiées et connues par tous les travailleurs du centre. De plus, il devrait être prévu pour tous les employés de la formation sur la sécurité et l'hygiène. Dans les centres étudiés, comme il a déjà été mentionné, les travailleurs jouissent d'un niveau d'autonomie élevé, de sorte qu'ils se connaissent bien et s'entraident.

Opérations de nettoyage

Le niveau d'hygiène du milieu de travail doit être élevé. Du nettoyage en profondeur devrait être réalisé à tous les jours dans le but d'empêcher l'accumulation de saleté dans les différents départements. Le temps de résidence des déchets à la réception du centre ne devrait pas dépasser une journée. Les déversements et la saleté devraient être ramassés immédiatement avec des aspirateurs munis de filtre à haute efficacité ou l'équivalent. Ne jamais utiliser de l'air comprimé pour effectuer les travaux de nettoyage ou d'entretien. Les machines et les surfaces devraient être, dans la mesure du possible, exemptes de poussière. Des précautions doivent toujours être prises dans le but d'éviter les blessures.

Mesures d'hygiène personnelle

Les bactéries, les moisissures et la poussière se retrouvent partout. Elles peuvent se coller sur les mains, se fixer dans les cheveux, sur les souliers et les vêtements et constituer des risques sérieux pour la santé des travailleurs. De bonnes mesures d'hygiène personnelle constituent donc une des solutions les plus importantes pour limiter les effets indésirables des microorganismes sur la peau et les poumons.

Les mains devraient être lavées avant chaque pause et lorsque l'on va aux toilettes. On ne devrait fumer, boire et manger qu'à la cafétéria. Les vêtements de travail ne devraient pas être portés à cet endroit.

Les vêtements de travail et ceux de ville devraient être gardés dans des casiers séparés. Les employés devraient arriver avec leur propres vêtements et mettre ceux de travail et les bottes sécuritaires qu'au centre. L'établissement devrait fournir les vêtements de travail et s'assurer qu'ils soient nettoyés. Des salopettes jetables devraient être disponibles pour faire du travail malpropre.

De plus, les recommandations suivantes devraient s'appliquer [26] :

- éviter de porter les doigts dans les yeux, la bouche et les oreilles;
- les ongles devraient être gardés courts;
- les coupures et blessures devraient être rapportées et soignées adéquatement;
- Une douche devrait être prise à la fin de la journée de travail et les vêtements changés avant de quitter le centre.

Programme de santé

Un programme de santé devrait être élaboré avec le CLSC responsable.

Utilisation d'un biofiltre

La comparaison des concentrations moyennes des contaminants chimiques et biologiques entre le département de la fermentation et le biofiltre situé en aval du centre A a permis d'établir que ce dernier est efficace. En effet, les concentrations moyennes des contaminants étaient beaucoup plus faibles, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0.05$, test "t" de Student) à la sortie du biofiltre. Cette composante constitue donc un atout pour les centres situés près des zones urbaines.

Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier pour leur travail sur le terrain et les analyses en laboratoire Yves Beaudet, Claude Létourneau, Carole Pépin et Guillaume Lachapelle de l'IRSST, Robert Alie de la

Régie Régionale-Montérégie, Micheline Éloquin et Jean-Nil Maltais de la Régie Régionale de la Gaspésie et Monique Forget, Denis Potvin, Marie-Josée Hardy et Yves Bernard du CRIQ.

6. Références

1. ACGIH : *Documentation of the Threshold Limite Values. Ammonia and Hydrogen Sulfide*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 4th ed., Cincinnati, Ohio 1984.
2. APHA : *Control of Communicable Diseases in Man*. American Public Health Association, Abram S. Benenson (Eds), Washington, D.C., 1985.
3. ASTM: Standard practice for sampling airborne microorganisms at municipal solid-waste processing facilities. Designation E 884 - 82. In: *American Society for Testing and Materials Standards on Materials and Environmental Microbiology*, 2nd ed., 42-45, 1993.
4. Clark CS : Health effects associated with wastewater treatment and disposal. *Journal WPCF* 1984, **56**, 625-626.
5. Clark CS : Potential and actual biological related health risks of wastewater industry employment. *Journal WPCF* 1987, **59**, 999-1007.
6. Clark CS, Rylander R, Larsson L : Levels of gram negatives bacteria, *Aspergillus fumigatus*, dust and endotoxin at compost plants. *Appl Environ Microbiol* 1983, **45**, 1501-1505.
7. Colton T : *Statistics in Medicine*. Little Brown and co., Boston 1974.
8. Crook B : Exposure to airborne microorganisms in the industrial workplace. *J Aerosol Sci* 1992, **23**, S559-S562.
9. Crook B, Higgins S, Lacey J : *Airborne Micro-organisms Associated with Domestic Waste Disposal*. Harpenden, Herts., AL5 2JQ : Crop Protection Division, Afric Institute of Arable Crops Research, Rothamsted Experimental Station, 1-119, 1987.
10. 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* 1993, **24**, 207-222.
11. Gouvernement du Canada. *Le plan vert du Canada*. Ministère de l'environnement, Ottawa, 1990.
12. Haug RT : *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Ann Arbor, MA 1993.

13. Lacey J, Crook B : Fungal and actinomycetes spores as pollutants of the workplace and occupational allergens. *Ann Occup Hyg* 1988, **32**, 515-533.
14. Lacey J, Williamson P, King P, Bardos RP : *Airborne Microorganisms Associated with Domestic Waste Composting*. AFRC Institute of Arable Crops Research, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts AL5 2JQ 1990.
15. Laitinen S, Nevalainen A, Kotimaa M, Liesivuori J, Martikainen PJ : Relationship between bacterial counts and endotoxin concentrations in the air of wastewater treatment plants. *Appl Environ Microbiol* 1992, **58**, 3774-3776.
16. Lauwerys R : *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*. 3^e édition, Masson, Paris, 1990.
17. Lavoie J : *L'échantillonnage des microorganismes dans le milieu de travail*. Étude/bilan de connaissance, Institut de Recherche en Santé et en Sécurité du travail du Québec, Montréal 1988.
18. Lavoie J : Évaluation des bioaérosols dans une usine de recyclage et de compostage de déchets domestiques. In: *Actes du Congrès du 14^e Congrès de l'Association pour l'hygiène industrielle au Québec*, Trois-Rivières, (Québec) 1992.
19. Lavoie J, Marchand G, Drolet J-Y, Gingras G : Biological and chemical contamination of the air in a grower-finisher pig building using deep-litter systems. *Canadian Agricultural Engineering* 1995, **37**, 195-203.
20. Lembke LL, Kniseley RN, Van Nostrand RC, Hale MD : Precision of the all-glass impinger and the andersen microbial impactor for air sampling in solid-waste handling facilities. *Appl Environ microbiol* 1981, **42**, 222-225.
21. Lessard S : Compostage. *Des déchets verts domestiques et des boues de stations d'épuration : synthèse des connaissances concernant les risques pour la santé*. Comité de santé environnementale des DSC du Québec, DSC Hôpital de l'enfant Jésus, 1992.
22. Lundholm M, Rylander R : Occupational symptoms among compost workers. *J Occ Med* 1980, **22**, 256-257.
23. Malmros P : *Get Wise on Waste. A Book about Health and Waste-Handling*. Copenhagen, The Danish Working Environment Services, 1992.
24. Malmros P : *Problems with the Working Environment in Solid Waste Treatment*. Report # 10/1990, The National Labour Inspection of Denmark, Denmark 1990.

25. Malmros P, Sigsgaard T, Bach B : Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Manage Res* 1992, **10**, 227-234.
26. Marchand G, Lavoie J, Lazure L : Evaluation of bioaerosols in a municipal solid waste recycling and composting plant. *J Air and Waste Manage Assoc* 1995, **45**, 778-781.
27. Maritato MC, Algeo ER, Keenan RE : The *Aspergillus fumigatus* debate : Potential human health concern. *Biocycle* 1992, **December** 70-72.
28. Miller J.D : Fungi as contaminants in indoor air. *Atmos Environ* 1992, **26A**, 2163-2172.
29. Mustin M : *Le compost. Gestion de la matière organique*. Éditions François Dubuc, Paris, 1987.
30. Ontario Ministry of the Environment : *Composting. A literature Study*. Report prepared by Cal Recovery Systems Incorporated and Ontario ministry of the environment, ISBN 0-7729-7125-0, 1990.
31. Poulsen OM, Breum N, Ebbehøj N, Hansen AM, Ivens UI, van Lelieveld D, Malmros P, Matthiasen L, Nielsen BH, Nielsen EM, Schibye B, Skov T, Stenbaek EI, Wilkins KC : Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci Total Environ* 1995, **168**, 33-56.
32. Règlement sur la qualité du milieu de travail. S-2.1, r.15. Éditeur officiel du Québec, 1994.
33. Rylander R, Snella MC : Endotoxins and the lungs : Cellular reactions and risks for diseases. *Prog Allergy* 1983, **33**, 332- 344.
34. 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* 1987, **78**, S17-S32.
35. Shellito JE : Hypersensitivity pneumonitis. *Seminars in Respiratory Medicine* 1991, **12**, 196-203.
36. Sigsgaard T, Bach B, Malmros P : Respiratory impairment among workers in a garbage-handling plant. *Am J Ind Med* 1990, **17** 92-93.
37. The Danish Working Environment Service programme : *Overall Protocol for the Research programme "Garbage and recycling"* 1994-98. J. # 1994-23-16.
38. United States Department of Commerce : *Experimental Statistics*. National Bureau of Standards Handbook 91, Washington, DC, 2nd ed., 1966.

39. Zucconi F, De Bertoldi M : Compost specification for the production and characterization of compost from municipal solid wastes. **In** : *Compost : Production quality and use*. Commission of the European communities. Elsevier applied science, 30-50, 1987.

Tableau 1. Concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des contaminants biologiques (centre A)

Contaminant		Bactéries totales		Gram -		Thermoactino- mycètes		<i>A. fumigatus</i>		Moississures	
Valeurs guides		10 000		1 000		-		-		-	
		n	UFC/m ³	n	UFC/m ³	n	UFC/m ³	n	UFC/m ³	n	UFC/m ³
Amont	Été	6	2300 (1150)	6	12 (18)	6	c	6	20 (1)	3	6 (14)
	Hiver	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Aval	Été	6	5490* (2550)	6	c	6	6 (14)	6	6 (14)	5	1100 (90)
	Hiver	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Prise d'air	Été	6	6970* (2325)	6	12 (18)	5	60* (20)	6	11 (18)	6	1190 (180)
	Hiver	5	4 400 (1 590)	6	110 (100)	6	12 (30)	6	25 (40)	6	50 (80)
Contrôle	Été	6	4750* (660)	6	c	4	730* (300)	6	1040* (270)	2	2230* (580)
	Hiver	5	2840 (1740)	6	c	4	210* (120)	5	170* (110)	2	2910* (330)
Sortie bioréac.	Été	6	2210 (540)	6	c	5	160* (140)	5	55* (30)	6	1650 (810)
	Hiver	4	3360 (970)	6	c	5	50* (30)	5	560* (560)	5	1800* (250)
Triage	Été	6	3940 (1650)	6	18 (19)	3	150* (55)	6	c	4	60 (20)
	Hiver	6	1925 (1025)	6	150 (10)	5	90 (90)	5	620* (420)	6	1020* (280)
Bioreacteur	Été	6	4 715 (2585)	5	c	3	700* (230)	4	70* (30)	4	1120 (150)
	Hiver	6	2 560 (820)	6	c	5	90* (40)	6	100* (60)	5	560* (130)
Réception	Été	6	53 690* (16000)	3	310* (80)	4	2330* (710)	5	c	4	13670* (425)
	Hiver	4	68 920* (20340)	6	510* (110)	5	340* (270)	5	630* (420)	6	14380* (730)
Fermentation	Été	6	168440* (2270)	2	70* (45)	4	2790* (1760)	6	d	4	13670* (425)
	Hiver	5	5090 (1590)	6	c	5	4610* (910)	5	12000* (2900)	6	10180* (1130)
Biofiltre	Été	5	5 850 † (3960)	4	n.d. †	3	315* † (170)	4	40* † (18)	3	1220 † (360)
	Hiver	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b

† : Concentrations plus faibles, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0.05$), qu'au département de la fermentation.

* : Concentrations plus grandes, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0.05$), que l'air extérieur en amont.

b : Non mesuré

c : Non détecté

Tableau 2. Concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des contaminants biologiques (centre B)

Contaminant		Bactéries totales		Gram -		Thermoactino-mycètes		<i>A. fumigatus</i>		Moisissures	
Valeurs guides		10 000		1 000		-		-		-	
		n	UFC/m ³	n	UFC/m ³	n	UFC/m ³	n	UFC/m ³	n	UFC/m ³
Amont	Été	6	870 (380)	6	20 (1)	3	60 (40)	6	20 (1)	3	1690 (60)
	Hiver	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Aval	Été	6	1710* (430)	6	20 (1)	6	30 (10)	6	20 (1)	4	1600 (60)
	Hiver	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Contrôle	Été	6	6580* (1000)	6	30 (10)	3	3930* (1340)	2	110* (50)	3	1000 (180)
	Hiver	6	9970 (3520)	6	c	4	200 (90)	6	175 (90)	4	1100 (60)
Reception	Été	5	14290* (9290)	6	190* (180)	5	3720* (1550)	3	60* (40)	5	2330 (1460)
	Hiver	5	27000 (7160)	6	410 (210)	4	80 (30)	5	2980 (460)	5	11900 (460)
Fermentation	Été	6	87020* (1070)	3	200* (110)	6	15000* (150)	5	310* (190)	6	10540* (1720)
	Hiver	3	11350 (900)	6	10 (20)	4	110 (60)	4	200 (60)	4	340 (175)

*: Concentrations plus grandes, d'une façon statistiquement significative ($p \leq 0.05$), que l'air extérieur en amont.

b: Non mesuré

c: Non détecté

Tableau 3. Concentrations moyennes ($\pm$ écart-type) des contaminants chimiques aux départements de la fermentation.

Centre A																
Contaminant	MPT	CO ₂	NH ₃	N ₂ O	CO	H ₂ S	NO	NO ₂								
Normes	10	5000	25	50	35	10	25	5								
	n	mg/m ³	n	ppm	n	ppm	n	ppm	n	ppm	n	ppm	n			
Fermentation	9	0,8 (0,1)	33	1740 (440)	32	20 (6,5)	33	2,0 (0,5)	33	1,2 (1,0)	20	7,8 (1,1)	33	0,5 (0,5)	66	0,1 (0,1)
Hiver	5	0,37 (0,1)	42	4030 (540)	42	20,6 (1,5)	43	6,2 (0,9)	41	7,3 (1,6)	17	3,5 (0,5)	60	b	60	b
Centre B																
Fermentation	7	0,3 (0,04)	23	575 (60)	21	8,1 (2,7)	20	0,9 (0,1)	21	0,5 (0,3)	17	b	56	b	34	b
Hiver	14	0,1 (0,1)	30	1020 (130)	30	3 (0,6)	30	1,9 (0,2)	30	1,0 (0,1)	30	b	30	b	30	b

*: Matière particulaire totale

b: non détecté

Tableau 4. Contaminants chimiques et biologiques obtenus lors du suivi in-vitro de compost de déchets domestiques.

Contaminant	T ₀			T ₁ (14 jours)			T ₂ (35 jours)			T ₃ (56 jours)			T ₄ (77 jours)		
	n	C		n	C1	n	C2	n	C1	n	C2	n	C1	n	C2
Bact. totales (UFC/m ³)	19	2639 (1690)		19	111280* (42290)	16	37500 (11490)	19	79260* (24850)	20	61310 (15000)	20	23100 (14140)	20	174170* (43250)
Bact. Gram- (UFC/m ³)	20	10 (10)		18	405* (310)	18	190 (70)	20	250 (480)	20	160 (180)	20	30 (70)	20	550* (690)
Thermoactin. (UFC/m ³)	20	160 (150)		18	2500 (1050)	18	3660* (850)	20	470 (390)	20	540 (350)	20	320 (390)	20	1430* (2350)
<i>A. fumigatus</i> (UFC/m ³)	20	540 (590)		18	3170* (2040)	18	740 (380)	20	330 (320)	20	160 (80)	20	1430* (900)	20	6470* (6630)
Moississures (UFC/m ³)	20	2290 (650)		18	7890* (2450)	18	5110 (1140)	20	2490 (1080)	20	3180* (780)	20	4900* (1600)	20	5050* (4900)
Poussières (mg/m ³)	20	0,3 (0,04)		12	0,9* (0,1)	12	0,4 (0,1)	9	0,7* (0,06)	11	0,5 (0,03)	8	0,3* (0,08)	12	0,25* (0,15)
CO ₂ (ppm)	35	640 (110)		30	580 (140)	30	935 (310)	33	470 (70)	30	870 (220)	28	670 (160)	39	740 (190)
NH ₃ (ppm)	37	2,9 (0,13)		30	6,6 (3,5)	30	8,8 (3,0)	32	0,3 (0,1)	27	0,7* (0,2)	28	0,7 (0,2)	37	0,4* (0,2)
N ₂ O (ppm)	32	0,8 (0,09)		30	0,7 (0,6)	30	0,9 (0,2)	30	0,7 (0,1)	28	0,9* (0,2)	31	1,0 (0,07)	35	1,0 (0,1)
NO (ppm)	36	4,6 (1,8)		22	1,3* (0,4)	28	0,9 (0,4)	24	0,1 (0,1)	35	1,5* (1,3)	31	b (0,5)	21	0,8 (0,3)
NO ₂ (ppm)	45	2,4 (1,4)		24	0,8* (0,04)	24	0,5 (0,04)	25	0,6 (0,5)	31	0,15* (0,8)	31	b	30	b
H ₂ S (ppm)	24	1,9 (1,1)		30	b	30	b	30	b	30	b	31	b	30	b

*: Statistiquement plus grand (p<0.05)

b: Non détecté

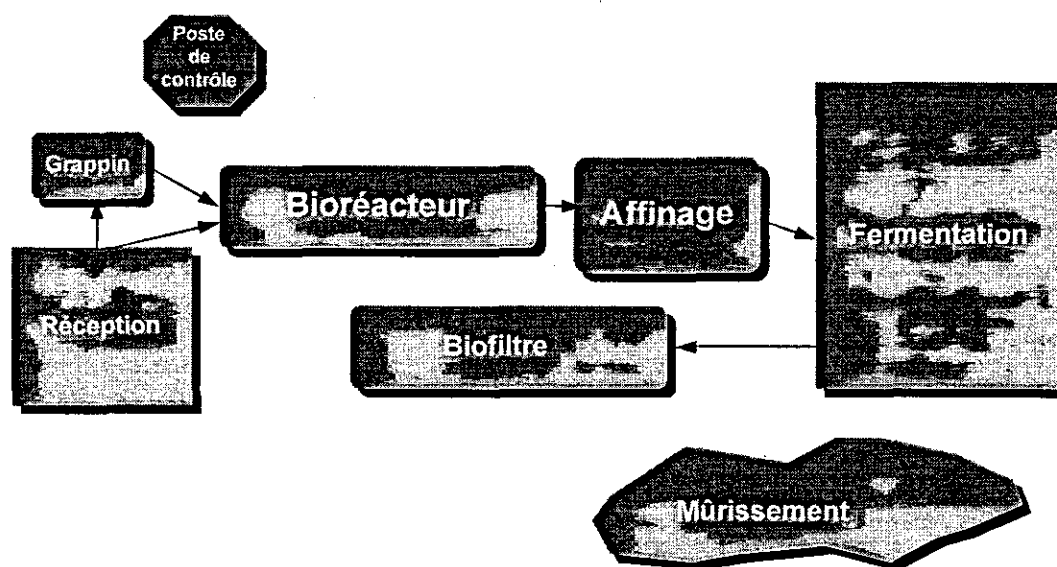


Figure 1 : Centre de compostage "A"

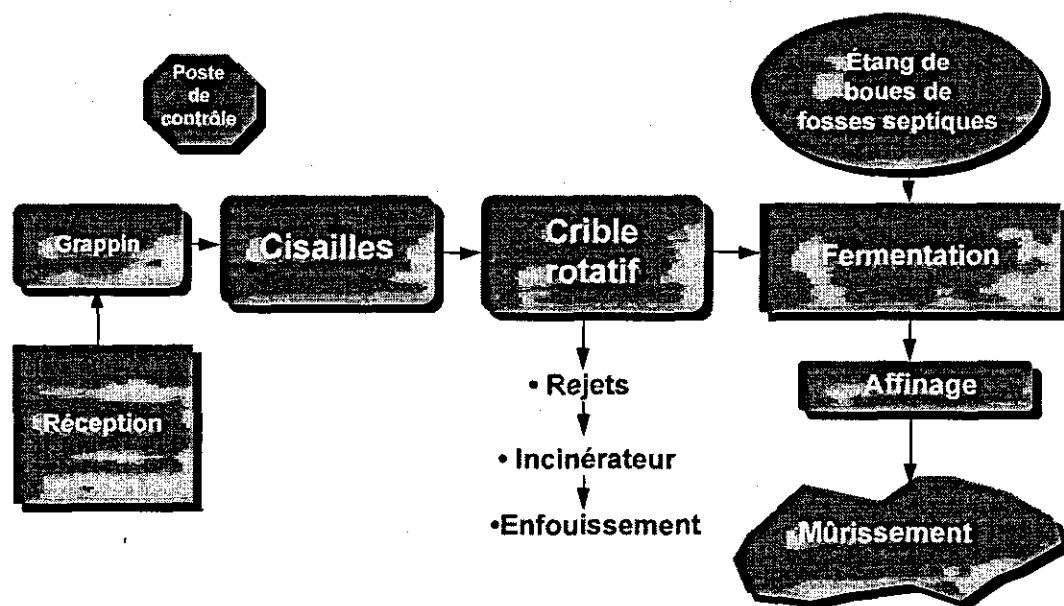


Figure 2 : Centre de compostage "B"

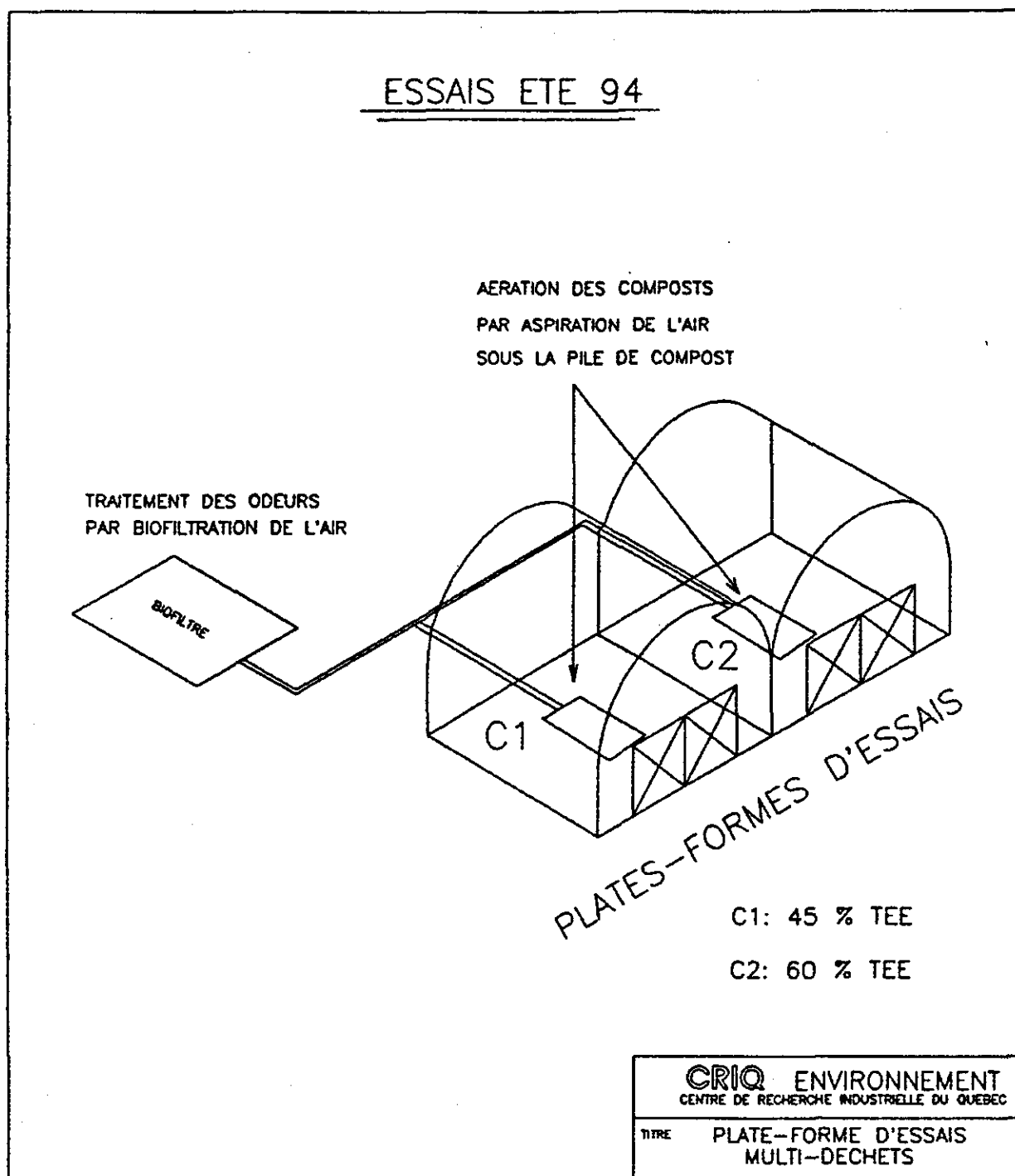


Figure 3 : Vue d'ensemble du site d'essais