

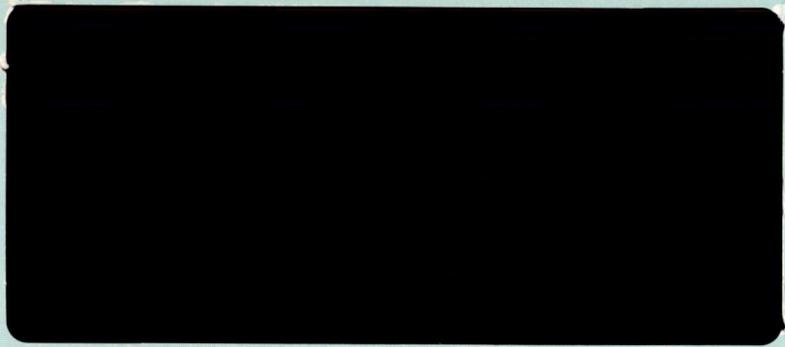


Environnement  
Canada

Environment  
Canada

Conservation et  
Protection

Conservation and  
Protection



# PLAN D'ACTION SAINT-LAURENT ST. LAWRENCE ACTION PLAN

24189

CENTRE SAINT-LAURENT  
ST. LAWRENCE CENTRE

SC3505  
U73c  
R.F.

CSL-1828  
SC 3505 U73c

**CHAULAGE ET VALORISATION AGRICOLE  
DES BOUES D'ABATTOIRS**

**RAPPORT FINAL**

réalisé par

**Urgel Delisle et Associés**

pour

Division des technologies d'assainissement  
Direction du développement technologique  
CENTRE SAINT-LAURENT  
Environnement Canada

Avril 1992

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement du Canada  
©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1993  
No de cat.: En153-23/1992F  
ISBN 0-662-98354-8

## **AVIS DE REVISION**

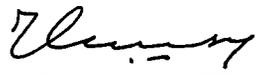
Le présent document a été examiné par le Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, qui en a autorisé la publication. Cette autorisation ne signifie pas nécessairement que son contenu reflète les opinions et les politiques du Ministère. Les mentions de marque de commerce ou de produits commerciaux ne signifient aucunement que leur utilisation est recommandée.

## **COMMENTAIRES DES LECTEURS**

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent document à la Direction du Développement technologique, Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, 105 rue McGill, Montréal (Québec) H2Y 2E7.

**RAPPORT PRESENTE A**  
**MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUEBEC**  
**ENVIRONNEMENT CANADA (CENTRE ST-LAURENT)**  
**ABATTOIR BIENVENUE (OLYMEL)**

**ETUDE DE FAISABILITE**  
**CHAULAGE ET VALORISATION AGRICOLE DES BOUES D'ABATTOIRS**  
**RAPPORT FINAL**

Préparé par:   
Elie Kodsi, M.Sc., agr.

Révisé par:   
Michel S. Cournoyer, ing. et agr.

Collaborateurs:

Phase I

Dr. C. Moore, m.v.  
Dr. R. Higgins, micro.  
Dr. R. Gauthier, m.v.

Phase II

Météoglobe Canada Inc.  
Laboratoires Zénon  
Laboratoires MDS

Rapport: 2250-02

Le 15 avril 1992

## **RESUME**

L'utilisation des boues brutes d'abattoirs sur des terres agricoles présente un risque potentiel pour l'hygiène du milieu, particulièrement en ce qui concerne la dissémination des organismes pathogènes dans l'environnement. La présente étude a été réalisée en deux phases, soit: une revue de littérature (phase I) et un banc d'essais (phase II) visant à évaluer l'effet du procédé de chaulage sur l'hygiénisation des boues d'abattoirs et sur le degré de réduction des dégagements d'odeurs.

L'étude conclut que les boues d'abattoirs possèdent une très bonne valeur agronomique. L'utilisation de chaux hydratée, ajoutée aux boues sous forme de lait de chaux, à une dose égale ou supérieure à 150 kg CaO équiv./tms de boues, permet de maintenir un pH de l'ordre de 12 pendant une période prolongée. Sous ces conditions, le chaulage des boues amène une réduction drastique des principaux indicateurs biologiques et organismes pathogènes, ce qui assure donc une excellente hygiénisation de ces boues. Par ailleurs, des tests d'odeurs ont démontré que le procédé de chaulage permet de réduire de façon significative (3 à 5 fois) les dégagements d'odeurs nauséabondes. Enfin, les aspects économiques du procédé proposé sont grandement améliorés par rapport à ceux des autres alternatives disponibles.

## **ABSTRACT**

Raw slaughter-house sludges obtained with dissolved air flotation (DAF) equipments contain high concentrations of pathogens, which may cause risks to the environment and to public health if applied to land in this state.

The present study was carried out in two phases, namely: a literature review (Phase I) and an experimental phase (Phase II) aiming at evaluating the effects of lime treatment on the reduction of pathogenic organisms contained in DAF sludges as well as on odor reduction.

The present study concludes that slaughter-house DAF sludge is a good source of plant nutrients. The use of hydrated lime, applied as a slurry, at a rate equal or greater than 150 kg CaO equiv./t dry wt. allows to reach and maintain a pH of 12 for a prolonged period of time. Under these conditions, the concentrations of biological indicators and pathogenic organisms are drastically reduced. Furthermore, olfactometric tests have demonstrated that lime treatment substantially reduces odors (3 to 5 times). Finally, land application of lime treated DAF sludge is justifiable economically as compared to other disposal options.

**NOTES AU LECTEUR:**

Le présent document constitue une étude de faisabilité concernant:

«Le chaulage et la valorisation agricole des boues  
d'abattoirs»

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au financement des organismes suivants:

- **Ministère de l'Environnement du Québec**, par le biais du Programme d'Aide à la Recherche et Développement en Environnement (PARDE).
- **Environnement Canada - Centre St-Laurent**, par le biais du Programme de développement et de démonstration technologique du Centre St-Laurent.
- **Groupe Olymel** (Abattoir Bienvenue).

Les résultats, les opinions et recommandations exprimés dans ce rapport sont ceux des auteurs. Ils ne reflètent pas nécessairement l'opinion et les politiques du Ministère de l'Environnement du Québec, du Centre St-Laurent et du Groupe Olymel. Les mentions de marques de commerce ou de produits commerciaux ne signifient en aucun cas que leur utilisation est recommandée.

## TABLE DES MATIERES

	Résumé/Abstract .....	i
	Notes au lecteur .....	ii
1.	<b>INTRODUCTION</b> .....	1
2.	<b>PROBLEMATIQUE ET MISE EN SITUATION</b> .....	2
	2.1 <b>Problématique</b> .....	2
	2.2 <b>Mise en situation</b> .....	4
3.	<b>PLAN DE TRAVAIL</b> .....	5
4.	<b>PHASE I - REVUE DE LITTERATURE</b> .....	6
	4.1 <b>Objectifs</b> .....	6
	4.2 <b>Plan de travail</b> .....	6
	4.3 <b>Synthèse des informations recueillies</b> .....	8
	4.3.1 <b>Organismes pathogènes</b> .....	8
	4.3.1.1 <b>Bactéries</b> .....	9
	4.3.1.2 <b>Virus</b> .....	11
	4.3.1.3 <b>Helminthes</b> .....	12
	4.3.1.4 <b>Protozoaires</b> .....	13
	4.3.2 <b>Répercussions sanitaires</b> .....	13
	4.3.2.1 <b>Cheminement potentiel des pathogènes</b> .....	13
	4.3.2.2 <b>Causes d'infestation</b> .....	15
	4.3.2.3 <b>Cas d'infestation</b> .....	18
	4.3.3 <b>Persistence dans l'environnement</b> .....	20
	4.3.4 <b>Traitement des boues</b> .....	24
	4.3.4.1 <b>Classification des procédés et limitations</b> .....	24
	4.3.4.2 <b>Réduction des pathogènes (hygiénisation)</b> .....	27
	4.3.4.3 <b>Réduction du pouvoir fermentescible (stabilisation)</b> .....	35
	4.3.5 <b>Epandage des boues d'abattoirs aux Etats-Unis</b> .....	38
	4.3.6 <b>Restrictions à la paissance et à l'utilisation des récoltes de fourrage</b> .....	39
	4.4 <b>Orientation du projet</b> .....	40

## TABLE DES MATIERES (Suite)

<b>5.</b>	<b>PHASE II - BANC D'ESSAIS DE CHAULAGE</b>	<b>42</b>
5.1	<b>Objectifs</b>	42
5.2	<b>Méthodologie expérimentale</b>	43
5.2.1	Préambule	43
5.2.2	Choix des abattoirs	43
5.2.3	Types de boues	44
5.2.4	Méthodologie d'échantillonnage	44
5.2.5	Tests préliminaires	47
5.2.6	Essais de chaulage des boues	47
5.2.7	Caractérisation physico-chimique	48
5.2.8	Caractérisation microbiologique	49
5.2.9	Tests d'odeurs	51
5.3	<b>Résultats et discussion</b>	<b>52</b>
5.3.1	Tests préliminaires	52
5.3.2	Caractéristique de la chaux hydratée	55
5.3.3	Caractéristiques physico-chimiques des boues	57
5.3.3.1	Valeur agronomique	57
5.3.3.2	Métaux lourds et BPC	61
5.3.3.3	Fer	64
5.3.4	Evolution du pH	67
5.3.5	Caractéristiques microbiologiques	70
5.3.6	Tests d'odeurs	74
5.4	<b>Considérations technico-économiques</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>80</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>86</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>89</b>

### **ANNEXES**

ANNEXE A:	Pathogènes retrouvés dans les boues d'épuration municipales et les boues de fosses septiques
ANNEXE B:	Lettres des collaborateurs
ANNEXE C:	Schéma d'écoulement des boues aux établissements étudiés
ANNEXE D:	Tests d'odeurs - Méthodologie et résultats
ANNEXE E:	Photographies

## 1. INTRODUCTION

La présente étude a été réalisée suite à une proposition de recherche intitulée: "Etude de faisabilité: chaulage et valorisation agricole des boues d'abattoirs".

L'étude a été réalisée en deux phases, la première étant une revue de littérature visant à identifier les organismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs et à établir les seuils sécuritaires probables pour la valorisation agricole de ces boues. Ensuite, la deuxième phase visait à vérifier si les boues non stabilisées d'abattoirs peuvent être rendues aptes à la valorisation agricole grâce à la stabilisation par l'ajout de chaux, et visait aussi à acquérir des connaissances et des données essentielles sur les qualités agronomiques, physiques et chimiques du produit, en vue de son utilisation en agriculture. La réduction potentielle des odeurs a aussi été développée.

Les pages qui suivent présentent donc tous les résultats obtenus ainsi que la méthodologie utilisée pour chacune des deux phases du projet. Enfin, les implications économiques de cette méthodologie ont été analysées.

## 2. PROBLEMATIQUE ET MISE EN SITUATION

### 2.1 Problématique

Les efforts consentis par les différents paliers de gouvernement pour la dépollution urbaine ont entraîné la construction de nombreuses usines d'épuration des eaux usées. Parallèlement, les industries, notamment les usines agro-alimentaires comme les abattoirs, doivent suivre ce courant de protection environnemental en prétraitant leurs eaux usées avant qu'elles soient dirigées vers les usines d'épuration municipales ou par leur propre traitement.

Au Québec, plusieurs abattoirs utilisent un procédé de prétraitement utilisant des flottateurs à air dissous et des flocculants. Les boues ainsi récupérées sous forme liquide (2 à 8% de matière sèche) sont généralement dirigées soit vers des fondoirs ou d'autres lieux d'élimination. Les nombreux problèmes que représente la manipulation des boues liquides, notamment celles des abattoirs, dans les procédés d'élimination classiques et les coûts sans cesse croissants qui y sont associés, favorisent la recherche de solutions plus adéquates et économiques.

Par l'examen du guide de bonnes pratiques pour la valorisation agricole des boues d'épuration municipales, publié par le MENVIQ, on peut comprendre que pour être valorisées en agriculture, les boues d'épuration doivent, sans s'y limiter, rencontrer trois grands critères: elles doivent i) posséder une valeur agronomique, ii) satisfaire les normes de contenu en métaux lourds et, iii) être considérées "stabilisées".

Même si les boues d'abattoirs ne sont pas spécifiquement des boues d'épuration municipales, le guide du MENVIQ concernant ces dernières, est le document le plus adéquat qui puisse être appliqué actuellement pour régir la valorisation agricole des boues d'abattoirs.

Comme il est peu probable que les boues d'abattoirs contiennent des niveaux élevés de métaux lourds, la valorisation agricole pourrait être envisagée, à condition que ces

boues soient stabilisées, ce qui peut être obtenu par des procédés soit aérobie, anaérobie ou par chaulage.

Cependant, il existe peu de connaissance concernant les boues d'abattoirs et une saine prudence doit être observée compte tenu de leur origine. D'autre part, une campagne de caractérisation effectuée par le MENVIQ en 1989 a montré de fortes concentrations de pathogènes dans ces boues. Ainsi, même si les boues sont aptes à la valorisation agricole sur la base des métaux lourds, il serait d'abord recommandé de vérifier les microorganismes pathogènes potentiellement présents dans les boues d'abattoirs et de déterminer, au mieux, le seuil sécuritaire permettant leur utilisation en agriculture. Par l'entremise d'un procédé de stabilisation, ces niveaux pourraient alors être atteints et permettre l'épandage des boues sur des sols dévolus à la culture pour consommation animale, tel que le prévoit le guide des bonnes pratiques du MENVIQ.

La stabilisation des boues d'abattoirs peut généralement se faire par l'entremise d'un traitement biologique, aérobie ou anaérobie. Au Québec, de tels systèmes de traitement des eaux usées ne sont généralement pas disponibles dans les abattoirs. En effet, il apparaît que la majorité des établissements est munie de systèmes de type "flottateur à air dissous", ayant pour but la récupération rapide d'un important pourcentage de matière contenue dans les eaux usées (appelées boues d'abattoirs). Comme ce système n'a qu'un temps de rétention particulièrement court et que le but de l'aération n'est pas relié à la stabilisation biologique, les bactéries n'ont pas le temps d'effectuer la transformation de la matière organique. Il n'y a donc pas lieu de modifier les équipements existants, étant donné qu'ils ne sont pas conçus dans un but de stabilisation. Puisqu'elles ne sont pas stabilisées, les boues récoltées de ce type de système sont susceptibles de continuer leur putréfaction en créant des odeurs désagréables, mais aussi en continuant de constituer un risque pour l'hygiène du milieu, dû à la grande concentration de pathogènes.

## 2.2 Mise en situation

En conséquence, dans le but de préparer les boues d'abattoirs en vue de leur valorisation agricole, il pourrait s'avérer essentiel d'augmenter leur degré de stabilisation par un procédé pouvant être facilement installé dans les abattoirs.

La littérature offre des informations appropriées sur la stabilisation des boues d'épuration par l'entremise de traitements biologiques (aérobie et anaérobie) mais, depuis maintenant quinze ans en Europe et aux Etats-Unis et plus récemment au Canada, la stabilisation par l'utilisation de la chaux (stabilisation alcaline ou chimique) offre de nombreux avantages, tant techniques qu'économiques. Ce procédé accapare de plus en plus d'intérêt pour la stabilisation des boues d'épuration des eaux usées municipales et les boues de fosses septiques.

Comme au Québec, aucun système de stabilisation n'est disponible dans les abattoirs, il y avait donc lieu d'effectuer un banc d'essais de traitement des boues d'abattoirs avec la chaux, afin de vérifier l'aptitude de cette technique à réduire le nombre de microorganismes pathogènes à des seuils jugés sécuritaires. La littérature nous informe également que la chaux, en réduisant l'activité bactérienne, diminue aussi les dégagements d'odeurs originant de la putréfaction. Ainsi, les informations recherchées ont été dirigées vers le degré de réduction des microorganismes pathogènes, ainsi que des odeurs.

Cependant, encore faut-il déterminer le type de pathogènes rencontrés et leurs conditions de survie ou de destruction. Il y avait donc lieu de déterminer par revue de littérature et par diverses rencontres avec des spécialistes, les microorganismes pathogènes pouvant être particuliers aux boues d'abattoirs (comparativement aux boues d'épuration municipales) et tenter d'établir les seuils sécuritaires pour leur valorisation agricole.

### 3. PLAN DE TRAVAIL

Compte tenu de l'analyse précédente, la présente étude a été réalisée en deux étapes successives. La première étape (phase I) visait à déterminer les organismes pathogènes susceptibles d'être particuliers aux boues d'abattoirs de porcs et de volailles, à établir leurs conditions de survie et les seuils sécuritaires, s'il y a lieu, pour leur valorisation en agriculture. Cette première phase ne visait qu'une revue de littérature dirigée et spécifique. Elle ne visait donc pas à établir de façon scientifique et par recherche appliquée les conditions de destruction de ces microorganismes, mais plutôt d'établir à l'aide de renseignements colligés à partir de diverses sources, les probabilités de leur destruction. L'étape 1 était ainsi nécessairement un prérequis de l'étape 2.

La deuxième étape (phase II) visait à vérifier techniquement, en utilisant des boues en provenance d'abattoirs de porcs et de volailles, l'effet de la chaux sur l'élimination potentielle des pathogènes identifiés à l'étape précédente et ce, jusqu'aux niveaux jugés sécuritaires, de même que sur la réduction des odeurs qui devaient s'ensuivre. Afin d'obtenir un niveau de connaissance essentiel, de façon rapide et économique, l'expérimentation a été de type "banc d'essais", effectuée sur de faibles quantités de boues préparées dans le seul but du présent projet.

Par ailleurs, une étude de cas, basée sur les données particulières de l'Abattoir Bienvenue de Saint-Valérien, a été également réalisée dans le cadre du présent projet. Cette étude visait à vérifier la faisabilité technique et les implications économiques du chaulage des boues d'abattoirs. Les faits saillants de cette étude sont présentés dans le présent rapport.

## 4. PHASE I - REVUE DE LITTÉRATURE

### 4.1 Objectifs

La phase I de ce projet visait, par une revue de littérature dirigée, à identifier les organismes pathogènes potentiellement présents dans les boues d'abattoirs de porcs et de volailles et à établir les seuils sécuritaires probables, s'il y a lieu, pour la valorisation agricole de ces boues.

Les organismes pathogènes visés sont ceux qui peuvent être particuliers aux boues d'abattoirs, comparativement à ce que l'on peut retrouver dans les boues d'épuration municipales et les boues de fosses septiques.

### 4.2 Plan de travail

Dans le but d'atteindre les objectifs visés, la recherche d'informations a été réalisée selon les étapes suivantes:

Tout d'abord, une équipe de spécialistes-collaborateurs a été formée dans le but d'aider à la recherche d'information, procéder à l'interprétation des renseignements obtenus et à déterminer les pathogènes à retenir pour le banc d'essais. Cette équipe d'experts était composée de:

- **Dr. Camille Moore**, médecin vétérinaire et expert en production porcine, agissait en même temps à titre d'interlocuteur principal entre le consultant et l'équipe de spécialistes;
- **Dr. Robert Gauthier**, médecin vétérinaire, expert en production avicole;
- **Dr. Robert Higgins**, microbiologiste à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal.

La recherche d'informations a principalement visé la revue des principaux documents reliés à l'assainissement des eaux en rapport avec les eaux usées d'abattoirs. Il s'agissait de réviser les documents les plus accessibles.

La recherche en bibliothèque au Collège Macdonald de l'Université McGill et à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal a d'abord été effectuée afin d'obtenir le maximum d'informations possible.

Pour obtenir des informations concernant l'utilisation de la chaux dans les abattoirs nord-américains ou des situations similaires, la National Lime Association a été contactée.

D'autre part, le département de médecine vétérinaire des universités de Montréal, de Guelph ainsi que leurs équivalents agronomiques au Collège Macdonald et à l'Université Laval, ont été contactés.

Enfin, le département de Santé et Bien-Etre Canada a été rejoint afin d'obtenir tout renseignement ayant relié des boues d'abattoirs et/ou produits similaires à des causes d'infestation ou autres. Il en a été de même pour les départements d'inspection des viandes des gouvernements fédéral, provincial et de la Ville de Montréal.

Sans s'y limiter, mais basées sur l'expérience et le professionnalisme des personnes consultées, les discussions et les recherches effectuées aux étapes précédentes visaient à:

- s'informer sur les causes d'infestations humaine et animale suite au contact avec ces boues;
- définir les pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs;

- définir les doses infectieuses et les niveaux de réduction de ces pathogènes suite aux procédés de traitement;
- établir les conditions de survie et/ou les conditions de destruction de ces microorganismes dans l'environnement.

**Les conclusions et recommandations dégagées ont été principalement basées sur la revue de littérature et sur les recommandations des professionnels consultés.** La section qui suit présente donc la synthèse de cette revue et des informations recueillies auprès des experts consultés. Une lettre préparée par ces collaborateurs et appuyant les aspects microbiologiques de la phase I de l'étude est présentée à l'annexe B de ce rapport.

#### **4.3 Synthèse des informations recueillies**

##### **4.3.1 Organismes pathogènes**

Cette section présente une revue des organismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs de porcs et de volailles. Ces organismes appartiennent à quatre groupes microbiologiques, soit: les bactéries, les virus, les helminthes et les protozoaires (Moore et al., 1991).

Un bref aperçu des pathogènes généralement retrouvés dans les boues d'épuration municipales et les boues de fosses septiques est également présenté à l'annexe A de ce rapport et ce, à titre indicatif.

#### 4.3.1.1 Bactéries

Les bactéries sont les agents pathogènes les plus susceptibles d'être rencontrés dans les boues d'abattoirs. Basé sur les maladies actuellement rencontrées au Québec chez le porc et la volaille, les bactéries pouvant théoriquement se retrouver dans les boues d'abattoirs sont présentées au tableau 4.1 (Moore et al., 1991).

De façon générale, les informations présentées dans ce tableau confirment celles qui ont été obtenues auprès des organismes consultés (Hampson, 1991; Friendship, 1991; Régimbald, 1991).

La littérature rapporte certains organismes qui ont déjà été isolés de carcasses de porcs ou de volailles à l'abattoir ou de boues d'abattoirs. Par exemple, on rapporte que 50% des carcasses de volaille sont porteuses de *Salmonella spp* à l'abattoir (Mafu et al., 1989). *Clostridium perfringens* a été retrouvé sur 66% des carcasses de porcs à l'abattoir et *Yersinia* sur 2.5% dans un cas et 19% dans un autre (Mafu et al., 1989). *Campylobacter spp* et *Erysipelothrix rhusiopathiae* ont déjà été isolés de carcasses à l'abattoir (Genigeorgis et al., 1986; Smeltzer, 1981; Agriculture Canada, 1990). Pour leur part, *Salmonella spp*, *Campylobacter*, *Clostridium perfringens*, *Listeria spp* et *Erysipelothrix rhusiopathiae* ont déjà été cultivés dans des boues d'abattoirs (A.E.E.M.A., 1985, Renieri et al., 1988; Mafu et al., 1989; Smart et al., 1979).

Une caractérisation exhaustive de boues physico-chimiques, en provenance d'un abattoir de volailles, a été réalisée récemment aux Etats-Unis (Pancorbo et Barnhard, 1990). Les résultats obtenus ont révélé des concentrations bactériologiques élevées de l'ordre de  $10^6/100$  ml (*Salmonella*) à  $10^9/100$  ml (coliformes et streptocoques fécaux). Les auteurs de l'étude ont conclu que ce type de boues devrait être stabilisé avant l'épandage, afin de minimiser les risques environnementaux qui y sont associés.

**TABEAU 4.1: BACTERIES POTENTIELLEMENT PRESENTES DANS LES BOUES D'ABATTOIRS DE PORCS ET DE VOLAILLES**

PORCS	VOLAILLES
<p><u>Système digestif:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Salmonella spp</i></li> <li>- <i>Yersinia enterocolitica</i></li> <li>- <i>Treponema hyodysenteriae</i></li> <li>- <i>Campylobacter spp</i></li> <li>- <i>Clostridium perfringens</i></li> <li>- <i>Bacteroides spp</i></li> <li>- <i>Escherichia coli</i></li> </ul>	<p><u>Système digestif:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Salmonella spp</i></li> <li>- <i>Campylobacter jejuni</i></li> <li>- <i>Escherichia coli</i></li> <li>- <i>Clostridium perfringens</i></li> </ul>
<p><u>Système respiratoire:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Pasteurella multocida</i></li> <li>- <i>Actinobacillus pleuropneumoniae</i></li> <li>- <i>Actinobacillus suis</i></li> <li>- <i>Haemophilus suis</i></li> <li>- <i>Streptococcus suis</i></li> </ul>	<p><u>Système respiratoire:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Pasteurella multocida</i></li> <li>- <i>Pasteurella haemolytica</i></li> <li>- <i>Bordetella avium</i></li> <li>- <i>Yersinia pseudotuberculosis</i></li> <li>- <i>Haemophilus paragallinarum</i></li> <li>- <i>Chlamydia psittaci</i></li> </ul>
<p><u>Système génito-urinaire:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Leptospira spp</i></li> <li>- <i>Streptococcus suis</i></li> <li>- <i>Escherichia coli</i></li> <li>- <i>Eubacterium suis</i></li> <li>- <i>Actinobacillus rossii</i></li> </ul>	<p><u>Système hémapoiétique:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Borrelia anserina</i></li> <li>- <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i></li> <li>- <i>Listeria monocytogenes</i></li> </ul>
<p><u>Système tégumentaire:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Staphylococcus aureus</i></li> <li>- <i>Staphylococcus hyicus</i></li> <li>- <i>Streptococcus spp</i></li> <li>- <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i></li> </ul>	<p><u>Divers systèmes:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Staphylococcus aureus</i></li> <li>- <i>Streptococcus zooepidemicus</i></li> <li>- <i>Escherichia coli</i></li> <li>- <i>Shigella spp</i></li> <li>- <i>Enterococcus spp</i></li> <li>- <i>Mycobacterium avium</i></li> <li>- <i>Mycoplasma spp</i></li> </ul>

Source: Moore et al., 1991.

Au Canada, une caractérisation microbiologique des eaux usées de 14 abattoirs (11 en Alberta et 3 en Ontario) de boeufs, de porcs et de volailles a déjà été réalisée (Environnement Canada, 1976). Cette caractérisation a permis de mesurer de fortes concentrations de coliformes et de streptocoques fécaux ( $10^6$  à  $10^8/100$  ml) et de détecter la présence de salmonelles dans les rejets de 11 des 14 abattoirs étudiés. Les chercheurs ont donc fortement recommandé de désinfecter les effluents d'abattoirs, afin de minimiser la dissémination des organismes pathogènes dans l'environnement et particulièrement de la *Salmonella*.

#### 4.3.1.2 Virus

Plutôt que d'examiner les virus qui pourraient se retrouver dans les boues d'abattoirs, il est suggéré d'examiner leurs caractéristiques physiologiques. Tout d'abord, il est impossible au virus de se répliquer et de se multiplier à l'extérieur de la cellule hôte (Bertoldi et al., 1991; Environnement Canada, 1985; U.S. EPA, 1989). En conséquence, il ne peut y avoir de multiplication virale dans les boues d'abattoirs. Les virus sont aussi très fragiles et les cellules dans lesquelles ils sont contenus le sont tout autant. En effet, les informations disponibles actuellement indiquent une faible résistance aux divers procédés de traitement et une période de survie dans le sol relativement courte (Lehmann et Wallis, 1982). La majeure partie des virus rencontrés chez le porc et la volaille, pour ne pas dire tous, sont spécifiques d'hôtes et ne peuvent donc se transmettre aux humains (Moore et al., 1991).

Compte tenu de ces facteurs, il est très peu probable de contaminer un pâturage ou un sol avec des agents viraux provenant de boues d'abattoirs (Moore et al., 1991). S'il n'y a pas de contamination du sol et des plantes, il est donc peu probable d'avoir recontamination d'animaux ou d'êtres humains. Pour ces raisons, il a été décidé de ne pas accorder une attention plus approfondie à cette catégorie de pathogènes.

#### 4.3.1.3 Helminthes

Les seuls helminthes qui méritent d'être considérés comme pathogènes potentiels dans les boues d'abattoirs sont les *Ascaris* de porcs (Moore et al., 1991). Ceux-ci sont de plus très résistants dans l'environnement. En effet, la littérature fait état d'une survie des oeufs d'*Ascaris* dans le sol pouvant atteindre 5 à 7 ans, même si, en général, cette durée est plus courte (2 ans) (U.S. EPA, 1989; Reimers et al., 1979). Ils seront donc présents dans les boues d'abattoirs de porcs et pourront contaminer l'environnement récepteur.

Une importante étude a été réalisée pour évaluer la présence d'oeufs d'helminthes dans les boues de stations municipales au sud des Etats-Unis (Reimers et al., 1979). Parmi les stations étudiées, les boues provenant d'une seule station contenaient des concentrations trop élevées en oeufs d'*Ascaris*. Cette station recevait les rejets d'un important abattoir de porcs et affichait des teneurs en *Ascaris* de l'ordre de 80,000 oeufs par kilogramme de matière sèche de boues (kg m.s.). Ceci se compare à une moyenne de 8,000 oeufs par kg m.s., pour les stations qui ne desservaient pas d'abattoirs. Il s'agissait aussi principalement d'oeufs d'*Ascaris suum* en provenance de porcs contaminés.

Ces résultats se comparent bien à ceux obtenus par des chercheurs européens (Liebmann, 1964) qui indiquent que près de 90% des oeufs présents dans les boues d'épuration municipales de certaines villes d'Europe Centrale sont de source animale (abattoirs). D'autre part, Liemers et al. (1979) et Prestwood (1980) ont indiqué que les rejets d'abattoirs contribuaient de façon importante à la quantité de parasites de source animale présente dans les boues d'épuration municipales.

#### 4.3.1.4 Protozoaires

Les protozoaires suivants pourraient se rencontrer dans les boues d'abattoirs de porcs et de volailles (Moore et al., 1991).

PORCS	VOLAILLES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Balantidium coli</i></li> <li>- <i>Giardia</i></li> <li>- <i>Coccidies</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Coccidies</i></li> </ul>

#### 4.3.2 Répercussions sanitaires

La présente section décrit le cheminement potentiel des pathogènes dans l'environnement, ainsi que les répercussions sanitaires qui pourraient en résulter. Elle identifie également certains cas d'infestation rapportés dans la littérature.

##### 4.3.2.1 Cheminement potentiel des pathogènes

Le contact des humains avec les organismes pathogènes présents dans les boues d'abattoirs peut survenir par un cheminement direct ou indirect. La figure 4.1 illustre le cheminement potentiel des organismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs. Ce cheminement comprend les voies de contact suivantes (U.S. EPA, 1979; U.S. EPA, 1989):

##### Contact direct

- . Contact par inadvertance lors de l'opération d'épandage des boues.
- . Accès du public à un secteur traité (champ agricole, site boisé, site dégradé, etc.) suite à l'épandage des boues.
- . Inhalation de microbes disséminés dans l'air (dérive d'aérosols, poussière, etc.) lors ou après l'opération d'épandage.

### Contact indirect

- . Consommation de légumes, fruits ou autres végétaux contaminés provenant de champs traités avec des boues d'abattoirs.
- . Consommation de lait, de viande ou d'autres produits contaminés en provenance d'animaux alimentés avec des fourrages contaminés.
- . La manutention de sols ou de plantes contaminés en provenance de champs traités.
- . Ingestion d'eau de surface ou d'eau souterraine contaminée par les écoulements en provenance des sites d'épandage de boues.
- . Consommation de poissons contaminés et mal cuits, pêchés dans un cours d'eau pollué par les eaux d'écoulement provenant de champs voisins traités avec des boues d'abattoirs.
- . Contact avec les boues ou pathogènes qui ont été transportés à partir des sites d'épandages par des animaux sauvages, des insectes ou autres vecteurs de transmission.

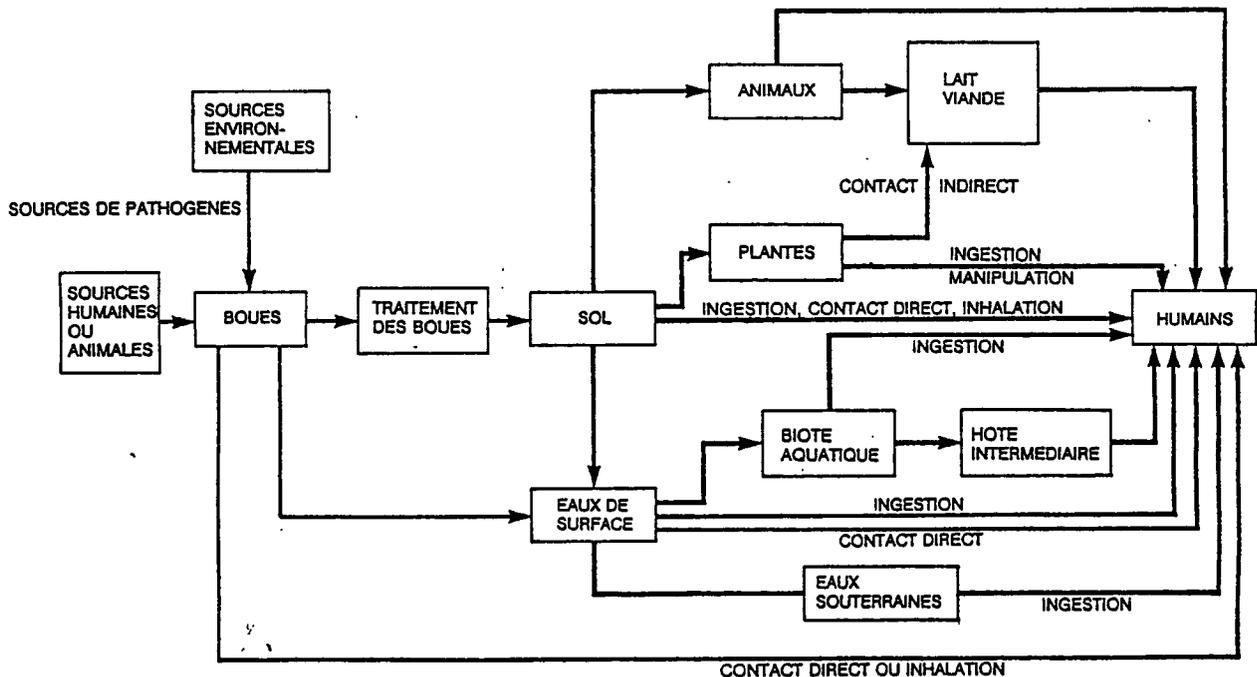


Figure 4.1: Cheminement potentiel des pathogènes

#### 4.3.2.2 Causes d'infestation

Le tableau 4.2 présente une description des causes d'infestations humaines et des maladies qui pourraient résulter suite à un contact direct ou indirect avec les boues d'abattoirs de porcs et de volailles.

**TABLEAU 4.2: CAUSES D'INFESTATIONS HUMAINES ET MALADIES POSSIBLES**

ORGANISME PATHOGENE	MALADIE
<i>Salmonella spp</i>	Gastro-entérite sévère, fièvre typhoïde.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite.
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite.
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastro-entérite, intoxication alimentaire.
<i>Escherichia coli</i>	Gastro-entérite.
<i>Leptospira spp</i>	Syndrome grippal; possiblement déficience hépatique et rénale; atteinte nerveuse possible.
<i>Streptococcus suis</i>	Méningite, septicémie, endocardite.
<i>Pasteurella multocida</i>	Infections des plaies et affections respiratoires.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Intoxication alimentaire.
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Erysipeloïde chez l'humain entraînant infections cutanées et quelquefois septicémie.
<i>Listeria monocytogenes</i>	Infections périnatales et cutanées et quelquefois septicémie.
<i>Mycobacterium avium</i>	Infection granulomateuse des ganglions et infection chronique.
<i>Chlamydia psittacii</i>	Syndrome grippal.
<i>Ascaris</i>	Parasitose chez l'humain.
<i>Giardia</i>	Gastro-entérite.
<i>Balantidium coli</i>	Amibiose.

Sources: Moore et al., 1991; Reilly et al., 1981; Higgins, 1991 et Youmans et al., 1985.

Parmi tous les agents énumérés au tableau 4.2, il n'y a pas de doute que les salmonelles sont les plus dangereuses et les plus souvent rencontrées lors d'infections humaines (A.E.E.M.A., 1985; Havelaar, 1991; Environnement Canada, 1985).

Le tableau 4.3 présente une description des causes d'infestations animales et des maladies qui pourraient résulter suite à un contact direct ou indirect avec des boues d'abattoirs de porcs et de volailles.

**TABLEAU 4.3: CAUSES D'INFESTATIONS ANIMALES ET MALADIES POSSIBLES**

ORGANISME PATHOGENE	MALADIE
<i>Salmonella spp</i>	Entérite, septicémie.
<i>Treponema hyodysenteriae</i>	Dysentérie porcine (spécifique à l'espèce porcine). Maladie avec entérite hémorragique.
<i>Campylobacter spp</i>	Responsable à l'occasion de diarrhée.
<i>Clostridium perfringens</i>	Entérotoxémie chez les porcelets, diarrhée chez le porc au sevrage et entérite nécrotique chez la volaille.
<i>Bacteriodes spp</i>	Colite chez le porc.
<i>Escherichia coli</i>	Divers types d'infections chez la volaille (omphalite, septicémie, cellulite). Colibacillose chez les porcelets et le veau. Maladie de l'oedème chez le porcelet et septicémie.
<i>Leptospira</i>	Avortements et infertilité chez les animaux domestiques.
<i>Streptococcus suis</i>	Méningite, septicémie, endocardite, arthrite et avortements chez le porc. Divers types d'infections chez les ruminants.
<i>Eubacterium suis</i>	Pyélonéphrite chez la truie.
<i>Actinobacillus rossii</i>	Avortements et infections génitales chez le porc.
<i>Pasteurella multocida</i>	Pneumonie chez plusieurs espèces animales et rhinite atrophique chez le porc.
<i>Actinobacillus pleuropneumoniae</i>	Pleuropneumonie porcine.
<i>Actinobacillus suis</i>	Septicémie chez le porc et problèmes respiratoires chez les chevaux.
<i>Haemophilus parasuis</i>	Maladie de Glasser chez le porc et polysérosite.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infections à caractère pyogène chez plusieurs espèces animales.
<i>Staphylococcus hyicus</i>	Epidermatite exsudative chez le porc; néphrite et arthrite chez le porc; problèmes cutanés chez les bovins et la volaille.
<i>Esysipelothrix rhusiopathiae</i>	Rouget (septicémie), endocardite et arthrite chez le porc. Septicémie chez le dindon.
<i>Ascaris suum</i>	Parasitose interne importante chez le porc.
<i>Coccidies</i>	Parasitose interne chez le porcelet et les volailles.
<i>Balantidium coli</i>	Entérite peu sévère chez le porc.

Sources: Moore et al., 1991.

La présence d'agents pathogènes dans les boues d'épuration n'implique pas nécessairement un risque sanitaire (Pike, 1991; Mustin, 1987). En effet, le degré de risque pour la santé humaine ou animale est déterminé par divers facteurs tels que le nombre et le type de pathogènes présents dans les boues, les doses d'épandage, le climat, les conditions du sol et l'utilisation ultérieure des terres. De plus, ce risque est aussi fonction du nombre de pathogènes ingérés et l'état de santé du sujet exposé.

Basé sur les connaissances des experts consultés (Moore et al., 1991) ainsi que sur la littérature consultée, il s'est avéré impossible de déterminer des doses critiques d'infestation pour les différents microorganismes cités aux tableaux 4.2 et 4.3. En effet, les informations nécessaires pour déterminer ces doses sont souvent inexistantes ou disponibles dans certains cas seulement et ce, de façon sommaire (Block, 1982; Lehmann et Wallis, 1982). Par exemple, Sorber (1982) rapporte que la dose infectieuse médiane chez les humains (probabilité d'infection de 50%) peut varier entre  $10^1$  à  $10^2$  pour la *Shigella*,  $10^5$  à  $10^8$  pour la *Salmonella* et  $10^1$  à  $10^2$  pour *Entamoeba coli*. Taylor et Burrows (1971) ont également rapporté que la dose infectieuse pour la *Salmonella* excédait  $10^6$  organismes. Cependant, ces auteurs indiquent que plusieurs facteurs (voie de contact, climat, système immunitaire de l'hôte, etc.) peuvent intervenir de façon à faire varier considérablement ces doses et la susceptibilité des hôtes.

D'autre part, l'Agence américaine de protection de l'Environnement (EPA) essaie présentement d'établir des seuils sécuritaires pour la valorisation agricole des boues municipales. Compte tenu qu'il n'est pas possible de déterminer de tels seuils pour tous les organismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues, l'approche proposée vise plutôt les indicateurs biologiques (*coliformes et streptocoques fécaux*)<sup>1</sup> ainsi que certains pathogènes d'importance (*Salmonella spp, kystes de protozoaires, etc.*). Les seuils sécuritaires proposés pour ces organismes sont présentés ci-après au tableau 4.4. Il est important de rappeler

---

<sup>1</sup> Indicateur biologique: organisme dont le dosage dans les boues indique la présence d'agents pathogènes, sans pour autant provoquer lui-même une maladie.

ici qu'il s'agit d'une approche qui est présentement à l'étude et qui n'est pas encore adoptée par l'EPA.

**TABLEAU 4.4: SEUILS SECURITAIRES POUR LA VALORISATION AGRICOLE DES BOUES: APPROCHE PROPOSEE PAR L'EPA**

CLASSIFICATION DES BOUES <sup>(1)</sup>	SEUILS SECURITAIRES	CRITERES ALTERNATIFS
	(Dénombrement/g solides volatiles)	
A	Salmonella spp: 3 Virus: 1 PFU Protozoaire: 1 Oeuf d'helminthes: 1	53°C pendant 5 jours, ou 55°C pendant 3 jours, ou 70°C pendant 30 minutes <200 coliformes fécaux <200 streptocoques fécaux
B	Salmonella: réduction de 2 log <sub>10</sub> Virus: réduction de 2 log <sub>10</sub>	Traitements biologiques, physiques ou chimiques <600 coliformes fécaux <600 streptocoques fécaux
C	Salmonella: réduction de 1.5 log <sub>10</sub> Virus: réduction de 1.5 log <sub>10</sub>	Traitements biologiques, physiques ou chimiques <630 coliformes fécaux <630 streptocoques fécaux

<sup>(1)</sup> Type A: Très peu de restrictions sur l'utilisation des boues.

Types B et C: Diverses restrictions sur l'utilisation des boues et l'accès aux sites d'épandage.

Source: Black and Veatch, 1989. Sludge regulations - update. Issue no 2.

#### 4.3.2.3 Cas d'infestation

Une revue de plusieurs études épidémiologiques réalisée par Block (1982) a indiqué que, lorsque les directives régissant la gestion des boues municipales sont respectées, les risques relatifs à leur manutention et utilisation subséquente en agriculture sont minimales. Une autre étude d'une durée de trois ans, réalisée par Hamparlam et al. (1982) auprès de fermiers exposés à des boues municipales, a permis de conclure que les risques de contamination étaient minimales. Par ailleurs, peu de rapports font état d'une contamination humaine

imputable à l'épandage des boues municipales selon les normes de bonnes pratiques (EPA, 1983; MENVIQ, 1991; Environnement Canada, 1984).

Selon le Dr. Todd (1991), il n'existe aucun cas rapporté au Canada permettant de prouver que l'épandage des boues d'épuration municipales ou même de boues d'abattoirs, soit à l'origine de poussées infectieuses chez les humains, particulièrement lorsque le traitement et l'épandage ont été soigneusement effectués et contrôlés.

La relation entre l'utilisation des boues municipales en agriculture et l'apparition de maladies chez les animaux domestiques a été étudiée de façon extensive en Europe, au cours des vingt dernières années (Pike, 1991). En Suisse, des vaches ont été infectées par un sérotype rare de salmonelle *S. tokoin* et ce, suite à la consommation de fourrages traités avec des boues municipales brutes quatre semaines plus tôt. En Hollande, des vaches laitières ont été infectées par la salmonelle *S. panama* suite à un retour prématuré au pâturage. Les informations disponibles indiquent que ces pâturages ont reçu de très grandes doses de boues à divers intervalles au printemps et en été et dans tous les cas, les vaches sont retournées au pâturage entre 8 et 21 jours après l'épandage. En Grande-Bretagne, seul un cas de salmonellose chez les vaches a été enregistré durant une période de dix ans de surveillance. Dans ce cas, l'infestation était causée par un épandage de boues contenant des rejets d'abattoirs et les vaches étaient retournées au pâturage dans les jours qui ont suivi l'épandage.

Les experts européens, chargés par la Communauté Economique Européenne (CEE) d'étudier les risques sanitaires associés à la valorisation agricole des boues municipales, ont conclu que si les critères et les normes de bonnes pratiques établis par la CEE avaient été respectés, tous les incidents susmentionnés auraient pu être évités (EEC, 1986). Ces mêmes experts ont également conclu que la salmonelle est le pathogène bactérien le plus important dans les boues d'épuration.

Plusieurs cas de cysticercose bovine ont déjà été rapportés en Europe et plus particulièrement au Danemark (Namsen et Henriksen, 1986). Cependant, une étude épidémiologique récente a démontré que la majeure partie de ces cas résultait de la dissémination dans l'environnement des oeufs de *Taenia saginata* par les effluents rejetés dans les cours d'eau et non par l'utilisation des boues d'épuration (Ilsoe et al., 1990). Par ailleurs, plusieurs cas d'infestation ont été également associés à l'épandage non contrôlé de boues de fosses septiques à l'état brut. Les chercheurs danois ont donc conclu que lorsque les normes d'épandage sont respectées, l'utilisation agricole des boues municipales ne présente pas de risques pour l'hygiène publique et ne devrait pas causer une intensification du cycle infectieux de *T. saginata* (Ilsoe et al., 1990).

En conclusion, le respect des directives régissant la valorisation agricole des boues d'épuration, combiné à une bonne gestion des boues et des sols, aurait permis d'éviter tous les cas d'infestation cités dans la littérature consultée.

#### 4.3.3 Persistance dans l'environnement

Cette section traite de la persistance des organismes pathogènes dans l'environnement et plus particulièrement dans le sol et à la surface des plantes. Le tableau 4.5 résume des données générales relatives à la persistance des principaux types d'organismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs soit: les bactéries, les virus, les helminthes et les protozoaires. Les temps spécifiques de survie au champ de certains pathogènes d'importance (*Salmonella*, oeufs d'*Ascaris*, kystes d'*Entamoeba*, etc.) sont aussi présentés au tableau 4.6.

La persistance des pathogènes dans le sol dépend: i) de la méthode d'épandage, ii) de la concentration des pathogènes dans les boues, iii) des caractéristiques du sol, iv) du climat et, v) du couvert végétal (Lehmann et Wallis, 1982).

Les principaux facteurs qui favorisent la destruction des pathogènes dans le sol sont la sécheresse, la chaleur et l'exposition aux rayons solaires. Par ailleurs, les pH extrêmes, l'absence d'un couvert végétal et la compétition des micro-organismes propres au sol (mieux adaptés aux conditions du milieu) ont pour effet de diminuer la persistance des pathogènes dans le sol.

**TABLEAU 4.5: TEMPS DE SURVIE DES PRINCIPAUX TYPES DE PATHOGENES DANS LE SOL ET A LA SURFACE DES PLANTES <sup>(1)</sup>**

PATHOGENE	SOL		PLANTES	
	MAXIMUM ABSOLU	MAXIMUM PROBABLE	MAXIMUM ABSOLU <sup>(2)</sup>	MAXIMUM PROBABLE
Bactéries	1 an	2 mois	6 mois	1 mois
Virus	6 mois	3 mois	2 mois	1 mois
Kystes de protozoaires <sup>(3)</sup>	10 jours	2 jours	5 jours	2 jours
Oeufs de helminthes	7 ans	2 ans	5 mois	1 mois

<sup>(1)</sup>: Source: U.S. EPA, 1989.

<sup>(2)</sup>: Le temps de survie pourrait être plus long sous certaines conditions agro-climatiques.

<sup>(3)</sup>: Peu ou pas d'informations sont disponibles concernant le temps de survie des kystes de *Giardia* et de *Cryptosporidium*.

TABLEAU 4.6: TEMPS DE SURVIE AU CHAMP DE CERTAINS ORGANISMES PATHOGENES

ORGANISME	MILIEU	TEMPS DE SURVIE (JOURS)
Coliformes	Surface du sol	38
	Légumes	35
	Herbe et trèfle	6-34
Streptocoques	Sol	35-63
<i>Salmonella typhi</i>	Sol	1-120
	Légumes	< 1-68
<i>Salmonella</i> , autres que <i>typhi</i>	Sol	15-> 280
	Légumes et fruits	3-49
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Sol	> 180
	Pâturage	60-180
Oeuf d' <i>Ascaris</i>	Sol	jusqu'à 7 ans
	Légumes et fruits	27-35
Kystes d' <i>Entamoeba histolytica</i>	Sol	6-8
	Légumes	< 1-3
Entérovirus	Sol	8-12
	Légumes	4-6

Source: Environnement Canada, 1985.

Les paragraphes qui suivent traitent de la persistance des pathogènes spécifiques aux boues d'abattoirs dans l'environnement<sup>(2)</sup>.

De façon générale, il existe peu de données disponibles concernant le temps de survie dans l'environnement, des pathogènes retrouvés chez les animaux domestiques. Pour les salmonelles, on a rapporté que les pâturages pouvaient être infectieux jusqu'à 24 semaines après l'épandage de fumier contaminé avec *Salmonella dublin* (A.E.E.M.A., 1985; Findlay, 1972; Williams, 1975). *Salmonella dublin* est une bactérie qui se rencontre principalement chez les bovins, mais il semble réaliste d'anticiper que la survie des salmonelles du porc et de la volaille dans l'environnement pourrait être similaire.

<sup>(2)</sup> Source: Moore et al., 1991; sauf lorsque autrement indiqué.

Des bactéries comme *Lysteria monocytogenes* peuvent également survivre dans l'environnement pendant plusieurs mois. D'autre part, la littérature rapporte des infections à *Mycobacterium* suite à l'épandage de boues municipales contaminées sur les sols agricoles. Cependant, cette bactérie étant spécifique aux ruminants, elle ne se retrouvera pas dans les boues d'abattoirs de porcs ou de volailles.

Chez le porc, *Treponema hyodysenteriae* survit à l'intérieur des porcheries pour des périodes de 50 à 70 jours en dehors de l'hôte. Bien qu'il n'existe pas de données spécifiques à cet effet, il est permis de croire que, si les conditions climatiques sont idéales, les *Treponema* pourraient demeurer vivants pour une période aussi longue dans l'environnement.

Les *Leptospires* pourraient survivre dans l'eau pour des périodes assez longues (semaines). Il en va de même pour *Campylobacter jejuni*. *Erysipelothrix rhusiopathiae* peut survivre pendant 15 jours dans les eaux d'égout. *Staphylococcus aureus* est aussi résistant dans l'environnement.

Compte tenu de leur fragilité et de leur spécificité d'espèce, il est peu probable que les autres bactéries pouvant se retrouver dans les boues d'abattoirs puissent survivre dans l'environnement.

Les oeufs d'*Ascaris* sont très résistants dans l'environnement. En effet, si aucun traitement n'est appliqué, ceux-ci pourraient demeurer vivants (dans les sols ayant reçu des boues d'épuration) pour des périodes pouvant atteindre de 5 à 7 ans, même si en pratique, cette période est généralement plus courte. En effet, des essais réalisés en Ontario ont indiqué qu'on retrouvait très peu d'oeufs viables dans le sol, un an et demi après l'épandage de boues municipales digérées (Sekla et al., 1982). D'autre part, une étude réalisée en Alberta, portant sur la survie des oeufs de nématodes dans le sol, a révélé que la quantité d'oeufs d'*Ascaris* dans le sol des champs traités avec des boues municipales digérées,

avait diminué de 70%, un an après l'épandage et était négligeable dix-huit mois après l'épandage (Lehmann et al., 1982).

En conclusion, la salmonelle et les oeufs d'*Ascaris* sont les organismes pathogènes les plus persistants dans l'environnement. Leur persistance dans le sol est donc un indicateur adéquat du risque potentiel pour la santé humaine et animale.

#### 4.3.4 Traitement des boues <sup>(3)</sup>

##### 4.3.4.1 Classification des procédés et limitations

Cette section présente une description des procédés de traitement couramment utilisés. Cette description est particulièrement axée sur la réduction de la teneur en organismes pathogènes (hygiénisation) et du pouvoir fermentescible des boues (stabilisation).

Dans plusieurs procédés, l'hygiénisation et la stabilisation sont intimement reliées, dû au fait que la réduction de la matière facilement biodégradable entraîne une réduction des organismes pathogènes qui ne peuvent plus y survivre. Cependant, certains procédés s'attaquent plutôt à désactiver les microorganismes sans effets sur la matière elle-même. C'est pourquoi il faut distinguer les deux termes "hygiénisation" et "stabilisation".

Selon l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (U.S. EPA, 1989), les procédés de traitement des boues peuvent être regroupés en deux catégories, soit: les procédés PSRP ("Processes to Significantly Reduce Pathogens") et les procédés PFRP ("Processes to Further Reduce Pathogens"). Cette classification est basée sur la performance des procédés par rapport à la réduction des niveaux de pathogènes présents dans les boues. Une brève description de ces procédés est présentés aux tableaux 4.7 et 4.8.

---

<sup>(3)</sup> Procédés couramment utilisés pour le traitement des boues des stations d'épuration municipales. Cependant, ces procédés sont également applicables aux boues provenant de l'industrie (e.g., industries agro-alimentaires: fromageries, abattoirs, conserveries, etc.).

---

**TABLEAU 4.7: DESCRIPTION DES PROCÉDES PSRP**


---

**Digestion aérobie:** Le procédé consiste à agiter les boues avec de l'air ou de l'oxygène de façon à maintenir des conditions aérobie avec un temps de rétention variant entre 40 jours à 20°C et 60 jours à 15°C et une réduction de matières volatiles de 38% ou plus.

**Séchage à l'air:** Les boues liquides sont déshydratées sur des lits de sable ou dans des bassins pavés ou non pavés dans lesquels l'épaisseur maximale des boues est de 23 cm. Une période minimale de 3 mois est requise au cours de laquelle la température moyenne journalière doit être supérieure à 0°C durant 2 mois.

**Digestion anaérobie:** Le procédé est réalisé en l'absence d'oxygène avec un temps de rétention variant entre 60 jours à 20°C et 15 jours à 35-50°C et une réduction de matières volatiles de 38% ou plus.

**Compostage:** Utilisant les techniques de compostage, un réacteur fermé ou en andains aérés ou retournés, les boues solides sont maintenues à des conditions minimales d'opération de 40°C pendant 5 jours durant lesquels la température du tas dépasse 55°C pour une période de 4 heures.

**Traitement à la chaux:** Une quantité suffisante de chaux est ajoutée aux boues afin d'atteindre un pH de 12 après 2 heures de contact.

**Autres méthodes:** D'autres méthodes ou conditions d'opérations pourraient être acceptables à la condition de réduire les pathogènes à des niveaux comparables à ceux obtenus avec les méthodes susmentionnées.

---

Source: U.S. EPA, 1989.

---

**TABLEAU 4.8: DESCRIPTION DES PROCÉDES PFRP**


---

**Compostage:** Pour le compostage en réacteur fermé, les boues sont maintenues à des conditions d'opérations de 55°C ou plus pendant 3 jours. Pour le compostage en andain aéré, les boues sont maintenues à des conditions d'opération de 55°C ou plus pendant 3 jours. Pour le compostage en andain retourné, les boues atteignent une température de 55°C ou plus pendant au moins 15 jours lors de la période de compostage. Un minimum de 5 retournements devrait être réalisé durant cette période.

**Séchage à l'air chaud:** Les boues déshydratées sont séchées par contact direct ou indirect avec de l'air chaud. L'humidité est réduite à 10% ou moins et les particules de boues atteignent des températures dépassant 80°C.

**Traitement thermique:** Les boues liquides sont chauffées à une température de 180°C pendant 30 minutes.

**Digestion aérobie thermophile:** Les boues liquides sont agitées avec de l'air ou de l'oxygène, afin de maintenir des conditions aérobies avec un temps de rétention de 10 jours à 55-60°C et une réduction des solides volatils de 38% ou plus.

**Autres méthodes:** D'autres méthodes ou conditions d'opération pourraient être acceptables, à la condition de réduire les pathogènes à des niveaux comparables à ceux obtenus avec les procédés susmentionnés.

Les procédés listés ci-après, lorsqu'utilisés, suite à un traitement PSRP, permettent de réduire les pathogènes en deçà des seuils de détection.

**Irradiation à rayon Béta:** Les boues sont irradiées avec des rayons Béta, à des dosages d'au moins 1,0 mégarad et à une température de 20°C.

**Irradiation à rayon Gamma:** Les boues sont irradiées avec des rayons Gamma de certaines isotopes, comme le <sup>60</sup>Cobalt et le <sup>137</sup>Cesium, à des dosages d'au moins 1.0 mégarad et à une température de 20°C.

**Pasteurisation:** Les boues sont maintenues pendant au moins 30 minutes à une température de 70°C.

---

Source: U.S. EPA, 1989.

Les procédés PSRP permettent de réduire les pathogènes présents dans les boues à des niveaux comparables à ceux obtenus avec un digesteur anaérobie bien opéré. Plus particulièrement, ils permettent de réduire la teneur des bactéries et des virus pathogènes de 90% ou plus ainsi que celle des parasites tels que les oeufs d'helminthes et ce, de façon plus ou moins importante selon le procédé utilisé.

Etant donné que les procédés PSRP permettent de réduire les pathogènes sans toujours les éliminer complètement, certaines restrictions ont donc été imposées par l'EPA concernant l'utilisation des boues et l'accès aux sites d'épandage, afin de minimiser les risques de contamination. Par exemple, un délai d'au moins douze mois doit s'écouler entre la date de l'épandage et l'accès du public (excluant les employés de ferme) à un site ayant reçu des boues traitées par un procédé PSRP. Dans le cas de pâturages, un délai minimal de un mois doit s'écouler entre le moment d'épandage et le retour du bétail à la paissance. Ce délai tient compte du temps de survie typique des bactéries pathogènes à la surface des plantes. Les champs ayant reçu des boues PSRP peuvent être utilisés pour la production de cultures destinées à la consommation humaine, à la condition d'éviter tout contact direct entre les boues et les portions comestibles des plantes. Dans l'éventualité où un tel contact est inévitable, un délai de 18 mois doit être respecté entre le moment de l'épandage et la période de semis ou de plantation. Ce délai tient compte de la persistance anticipée dans le sol des pathogènes les plus résistants dans l'environnement, soit les oeufs d'helminthes.

D'autre part, les procédés PFRP permettent de réduire ces niveaux de pathogènes présents dans les boues, en deçà des seuils de détection. Dans ce cas, aucune restriction n'est imposée concernant l'utilisation des boues, ou pour l'accès aux sites d'épandage. L'utilisation de ces procédés est particulièrement intéressante lorsque la distribution des boues et l'accès aux sites d'épandage ne peuvent être contrôlés (ex.: jardins domestiques, parcs, etc.), ou quand les boues sont appliquées sur des champs qui seront utilisés pour la production de cultures destinées à la consommation humaine au cours des 18 mois suivant la date

d'épandage (légumes et fruits dont les portions comestibles sont en contact direct avec les boues).

Dans la même optique, le groupe de travail européen sur la valorisation agricole des boues d'épuration a indiqué, dans son rapport final, que les procédés de stabilisation des boues peuvent être regroupés en trois catégories, en relation avec leurs effets d'hygiénisation (Havelaar et Bruce, 1982). Ce groupe a également suggéré des applications appropriées pour les divers degrés de réduction de pathogènes atteints. De façon générale, l'approche européenne est similaire à l'approche américaine décrite dans cette section. Par conséquent, elle ne sera pas discutée davantage.

#### 4.3.4.2 Réduction des pathogènes (hygiénisation)

Cette section présente les informations recueillies concernant le degré de réduction ou les probabilités de destruction des pathogènes dans les conditions particulières de plusieurs procédés de traitement couramment utilisés en épuration municipale. Le tableau 4.9 présente une comparaison de l'efficacité de ces différentes méthodes. Cette comparaison tient compte de la réduction des pathogènes, du pouvoir de putréfaction et des odeurs. La problématique relative à la réduction des odeurs sera cependant discutée à la section suivante.

**TABLEAU 4.9: REDUCTION DES PATHOGENES, DU POUVOIR DE PUTREFACTION ET DES ODEURS A L'AIDE DE DIVERS PROCEDES DE STABILISATION DES BOUES**

	EFFICACITE		
	INACTIVATION DES PATHOGENES	POUVOIR DE PUTREFACTION	ODEUR
Digestion anaérobie	Assez bonne	Bon	Bonne
Digestion aérobie	Assez bonne	Bon	Bonne
Traitement à la chaux	Bonne	Assez bon	Bonne
Pasteurisation (70°C)	Excellente	Médiocre	Mauvaise
Rayonnement ionisant	Excellente	Médiocre	Mauvaise
Traitement thermique (195°C)	Excellente	Médiocre	Mauvaise
Compostage (60°C)	Bonne	Bon	Bonne
Lagunage prolongé de boues digérées	Bonne	---	---

Source: Environnement Canada, 1985.

### Digestion anaérobie

Le tableau 4.10 indique que ce procédé permet une réduction de 1 à 2 log (90 à 99%)<sup>(4)</sup> des indicateurs biologiques (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux), de la salmonelle et des entérovirus. Des réductions de 1 log environ ont été également notées pour *Pseudomonas aeruginosa*. Les oeufs des helminthes sont capables de résister au procédé de digestion standard, tandis que les protozoaires sont réduits sous le seuil de détection (Wallis et Lehmann, 1982). En général, la digestion anaérobie permet une réduction d'environ 90% des bactéries et des virus pathogènes présents dans les boues (U.S. EPA, 1989).

<sup>(4)</sup> Un log correspond à la puissance du facteur 10. A titre d'exemple, une réduction de 1 log correspond à une réduction de 10<sup>1</sup> fois ou 90% de la quantité initiale de ce pathogène; une réduction de 3 logs correspond à une réduction de 10<sup>3</sup> fois (1000 fois) ou 99.9% de la quantité initiale de pathogènes.

Dans ce procédé, les deux principaux paramètres qui affectent le niveau de réduction des pathogènes sont le temps de rétention et la température du digesteur. En effet, Pedersen (1982) rapporte qu'il existe une corrélation positive entre le temps de rétention et la réduction des indicateurs biologiques et des pathogènes présents dans les boues.

Cependant, la température est le facteur principal qui contrôle la destruction des indicateurs biologiques, des bactéries pathogènes, des virus et des parasites. Pedersen (1982) a indiqué que la réduction de ces microorganismes était plus importante à 49°C qu'à 35°C. D'autre part, une réduction substantielle des oeufs d'helminthes pourrait être réalisée si le procédé est réalisé sous des conditions thermophiles (50°C ou plus) (U.S. EPA, 1989).

**TABLEAU 4.10: REDUCTION DES INDICATEURS BIOLOGIQUES DES BACTERIES ET DES VIRUS PATHOGENES SUITE A UNE DIGESTION ANAEROBIE DE 15 A 21 JOURS A 35°C**

Organisme	Dénombrement/100 ml	Réduction (log)	
		Moyenne	Ecart
Coliformes totaux	$3 \times 10^7$	2.05	1.78-2.30
Coliformes fécaux	$2 \times 10^6$	1.84	1.44-2.33
Streptocoques fécaux	$9 \times 10^5$	1.28	1.10-1.44
<i>Salmonella spp</i>	$3.7 \times 10^1$	1.63	0.91-2.08
<i>Ps. aeruginosa</i>	$6 \times 10^5$	0.58	0.15-1.0
Entérovirus	$7.9 \times 10^1$	1.21	1.05-1.36

Source: Pedersen, 1982.

### Digestion aérobie

La digestion aérobie mésophile permet de réduire les bactéries et les virus pathogènes d'environ 90% (U.S. EPA, 1989). Des chercheurs (Farell, 1979) ont reporté des réductions de 1 log (90%) ou plus de certains organismes (*E. coli* et

*Salmonella*) suite à un traitement aérobie mésophile des boues. La digestion aérobie mésophile permet de réduire les oeufs d'helminthes à des niveaux variables selon la résistance de l'espèce considérée et les conditions d'opération du digesteur. Une étude réalisée par Reimers et al., (1980) montre que ce procédé ne semble pas très efficace pour détruire les *Ascaris* lorsque le digesteur est alimenté de façon continue et opéré à 20°C. Cependant, des réductions de .5 à 1.4 log ont été observées lorsque le digesteur était opéré en fournée ("batch") à 28°C avec un temps de rétention de 10 à 20 jours. Cette même étude a indiqué que les oeufs de *Toxocara* ont été réduits d'environ 1 log lors d'un traitement aérobie à 35°C avec un temps de rétention de 10 jours.

Enfin, la digestion aérobie thermophile est un procédé de stabilisation PFRP (U.S. EPA, 1989). Par conséquent, ce procédé permet de réduire la teneur de pathogènes dans les boues d'épuration sous les seuils de détection.

#### Traitement à la chaux

Le procédé consiste à ajouter suffisamment de chaux pour que le pH soit à plus de 12, deux heures et préférablement 48 heures après le traitement. Des boues à pH 12 après 2 heures peuvent être considérées comme étant "hygiénisées" (U.S. EPA, 1989).

Le traitement à la chaux peut apporter une réduction de 1 à 7 log (90% à > 99.9%) des indicateurs biologiques, des bactéries et des virus pathogènes (Wallis et Lehmann, 1982; Westphal et Christengen, 1983). La figure 4.2 illustre l'effet du pH sur la teneur des indicateurs biologiques et des bactéries pathogènes dans des boues primaires traitées à la chaux. La densité des coliformes fécaux et des streptocopes fécaux n'est pas affectée par un pH de 10.5, mais elle est cependant réduite au fur et à mesure que le pH augmente pour atteindre 11.5 et plus (Farrell et al, 1974). La figure 4.3 illustre l'effet du pH sur le pourcentage de réduction des salmonelles présentes dans les boues.

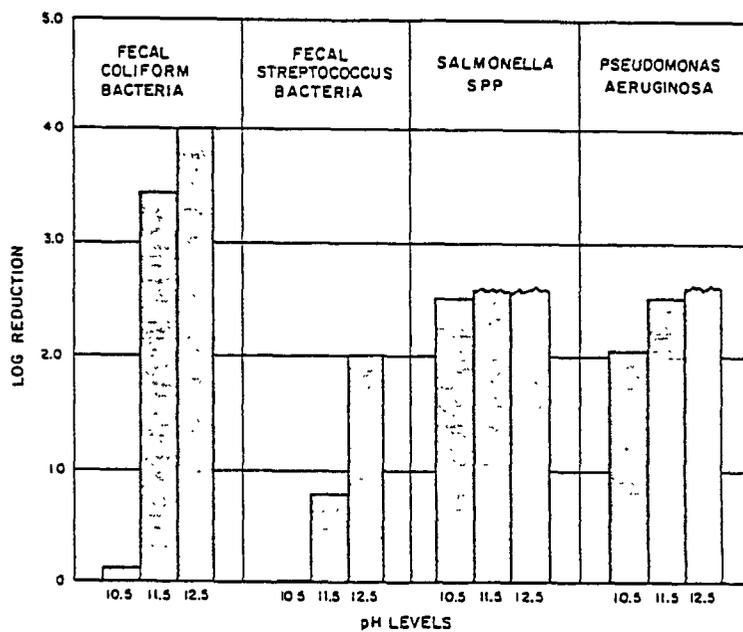


Figure 4.2: Effets du pH sur la réduction des pathogènes présents dans les boues (Perdersen, 1982)

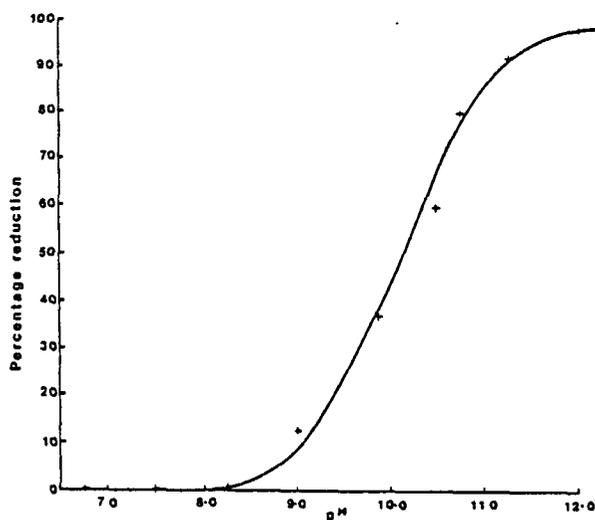


Figure 4.3: Effets du pH sur le pourcentage de réduction des salmonelles présentes dans les boues (Pedersen, 1982)

Le tableau 4.11 présente les résultats de stabilisation des boues obtenues à Lebanon, Ohio (U.S. EPA, 1979). Ces résultats indiquent que le chaulage permet une meilleure hygiénisation des boues que la digestion anaérobie.

**TABLEAU 4.11: EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES PATHOGENES A LEBANON, OHIO**

Type de boues <sup>(2)</sup>	Densité bactérienne, dénombrement/100 ml					
	Col. totaux	Col. fécaux	Streptocoques fécaux	Salmonella <sup>(1)</sup>	<i>Ps. aeruginosa</i>	
Brutes	Primaires	2.9 x 10 <sup>9</sup>	8.3 x 10 <sup>8</sup>	3.9 x 10 <sup>7</sup>	62	195
	Secondaires	8.3 x 10 <sup>8</sup>	2.7 x 10 <sup>7</sup>	1.0 x 10 <sup>7</sup>	6	5.5 x 10 <sup>3</sup>
Digérées anaérobies						
Mélange primaires secondaires	2.8 x 10 <sup>7</sup>	1.5 x 10 <sup>6</sup>	2.7 x 10 <sup>5</sup>	6	42	
Chaulées						
Primaires	1.2 x 10 <sup>5</sup>	5.9 x 10 <sup>3</sup>	1.6 x 10 <sup>4</sup>	<3	<3	
Secondaires	2.2 x 10 <sup>5</sup>	1.6 x 10 <sup>4</sup>	6.8 x 10 <sup>3</sup>	<3	13	

Source: U.S. EPA, 1979.

<sup>(1)</sup>: Limite de détection = 3

<sup>(2)</sup>: Boues primaires (décanteur primaire), boues secondaires (réacteur biologique/décanteur secondaire), boues chaulées (à pH supérieur à 12).

Le tableau 4.12 rapporte les résultats d'un projet réalisé en Norvège par la Norwegian Institute of Water Research (Eikum, 1979). Ces résultats indiquent que l'utilisation d'une dose adéquate de chaux permet d'hygiéniser les boues et de maintenir le pH lors de l'entreposage.

**TABLEAU 4.12: REDUCTION DES INDICATEURS BIOLOGIQUES ET DES PATHOGENES  
SUITE AU CHAULAGE DE BOUES PRIMAIRES**

Jours après chaulage	pH			Organismes par 100 ml								
				Coliformes fécaux			Streptocoques fécaux			Clostridium perfringens		
	Dosage g Ca(OH) <sub>2</sub> /kg M.S.			Dosage g Ca(OH) <sub>2</sub> /kg M.S.			Dosage g Ca(OH) <sub>2</sub> /kg M.S.			Dosage g Ca(OH) <sub>2</sub> /kg M.S.		
	0	50	200	0	50	200	0	50	200	0	50	200
0	5,4	9,5	12,4	2x10 <sup>7</sup>	1,1x10 <sup>7</sup>	ND	1,1x10 <sup>6</sup>	2,5x10 <sup>6</sup>	4x10 <sup>2</sup>	3,4x10 <sup>5</sup>	3,1x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>4</sup>
4	5,3	6,5	12,5	2,2x10 <sup>5</sup>	1,2x10 <sup>8</sup>	ND	2,7x10 <sup>4</sup>	6,6x10 <sup>7</sup>	ND	2,4x10 <sup>5</sup>	4,6x10 <sup>5</sup>	ND
7	5,3	6,3	12,4	1x10 <sup>4</sup>	6x10 <sup>7</sup>	ND	7,8x10 <sup>4</sup>	5,2x10 <sup>7</sup>	ND	5,1x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>5</sup>	ND
14	4,9	5,7	12,3	ND	2,5x10 <sup>7</sup>	ND	1,6x10 <sup>4</sup>	4,4x10 <sup>6</sup>	ND	3,5x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>5</sup>	ND
28	5,0	5,5	12,3	ND	2,3x10 <sup>7</sup>	ND	2x10 <sup>3</sup>	3,7x10 <sup>5</sup>	ND	2,7x10 <sup>5</sup>	6,6x10 <sup>6</sup>	ND

ND = Non détectable  
Source: Elkum, 1979.

Enfin, certains types de parasites seront détruits par le traitement à la chaux, tandis que d'autres ne seront pas affectés de façon substantielle (U.S. EPA, 1989). Des tests réalisés par Reimers et al. (1980) ont permis une importante réduction des oeufs d'*Ascaris* dans les rejets d'abattoirs de porcs (matériel intestinal), suite à un chaulage à des pH variant entre 9 et 12.5.

### Compostage

Lehmann et Wallis (1982) rapportent que des températures de compostage atteignant 60°C sont efficaces pour tuer ou inactiver la plupart des bactéries pathogènes, des virus et des parasites. Cependant, la croissance de champignons thermophiles est favorisée et on peut retrouver des formes pathogènes comme les espèces d'*Aspergillus*. Le plus important organisme à cet égard est *Aspergillus fumigatus* qui est omniprésent dans l'environnement. Une exposition à de fortes concentrations de cet organisme peut causer des problèmes de santé (irritation de la peau) chez les personnes qui ont un système immunitaire affaibli.

Un important projet de compostage de boues d'épuration a été réalisé récemment en Europe afin de mesurer le degré d'hygiénisation atteint par ce procédé (Bertoldi et al., 1991). Une attention particulière a été accordée aux pathogènes et aux indicateurs suivants: *Salmonella*, *Aspergillus fumigatus*, streptocoques fécaux et coliformes fécaux. Les divers procédés testés ont permis une excellente hygiénisation des boues et le compost produit était exempt de *Salmonella*. Par ailleurs, les streptocoques et les coliformes fécaux se sont avérés des indicateurs efficaces pour déterminer le degré d'hygiénisation obtenu en rapport avec les salmonelles (tableau 4.13).

**TABLEAU 4.13: NOMBRE DE BACTERIES (#/g de matière sèche) DANS LE MATERIAL INITIAL (boues + copeaux + sciure de bois) ET DANS LE COMPOST <sup>(1)</sup>**

Microorganisme	Matériel initial	Compost
<i>Salmonella spp</i>	$8.7 \times 10^2$	N.D.
Coliformes fécaux	$6.8 \times 10^8$	$9.5 \times 10^1$
Streptocoques fécaux	$5.1 \times 10^8$	$1.7 \times 10^2$

ND = Non détectable

<sup>(1)</sup>: Compost obtenu après 14 jours de traitement dans un réacteur fermé.

Source: Bertoldi et al., 1991.

### Autres techniques

Le tableau 4.14 présente un bref aperçu de l'efficacité de désinfection des autres procédés de traitement des boues qui pourraient également être applicables.

TABLEAU 4.14: EFFICACITE DES AUTRES PROCEDES DE DESINFECTION<sup>(1)</sup> DES BOUES

PROCEDES DE DESINFECTION	DESTRUCTION OU INACTIVATION			
	Indicateurs biologiques	Bactéries pathogènes (salmonelle)	Virus	Parasites (Ascaris lumbricoïdes)
<u>Entreposage anaérobie (6 mois)</u> <sup>(2)</sup>				
Résultats d'essais de laboratoire à 4°C	A	E	F	F
Résultats d'essais de laboratoire à 20°C	E	E	E	F
<u>Traitement température (chaleur) - temps</u>				
Pasteurisation (70°C, ½ à 1 h)	B	E	E	E
Pasteurisation (79°C, 1 à 2 h)	E	E	E	E
Traitement thermique (195°C)	E	E	E	E
Traitement à air chaud	E	E	E	E
<u>Traitement chimique</u>				
Chloration (CL <sub>2</sub> 1500 mg/l)	E	E	E	F
<u>Irradiation</u>				
Rayons Gamma (300-400 krad)	B	E	A	E
Rayons Gamma (300-400 Krad, 55°C)	E	E	E	E

Source: Reimers et al., 1979.

- <sup>(1)</sup>: Légende: F: Faible, réduction de moins de 1 log  
 A: Acceptable, réduction de 1 à 3 log  
 B: Bonne, réduction de plus de 3 log  
 E: Excellente, réduction en deça des seuils de détection

- <sup>(2)</sup>: Résultats d'essais de laboratoire seulement. Les effets de l'entreposage anaérobie au champ (sur la destruction des pathogènes) ne sont pas documentés dans la littérature consultée.

#### 4.3.4.3 Réduction du pouvoir fermentescible (stabilisation)

Il est important de rappeler ici qu'un des objectifs de la "stabilisation" des boues est de réduire le pouvoir fermentescible des boues et par conséquent, le dégagement d'odeurs nauséabondes. Selon la technique utilisée, la stabilisation a aussi pour effet de réduire de façon plus ou moins importante la quantité de microorganismes pathogènes présents dans les boues.

La stabilisation des boues peut être obtenue biologiquement par digestion aérobie ou anaérobie. Le traitement chimique par addition de chaux ou de chlore est

généralement appelé "stabilisation chimique". Cependant, comparativement à la stabilisation biologique, le traitement chimique ne diminue pas (ou très peu) la quantité de matières fermentescibles. L'ajout de réactifs chimiques crée plutôt un effet bactéricide et arrête ou diminue de façon importante l'activité bactérienne et donc la fermentation.

Les procédés de digestion biologiques (aérobie et anaérobie) permettent de réduire de façon importante (40 à 60%) la teneur des boues en solides volatils (Figure 4.4). Une boue digérée contient environ 40% (30% à 60%) de solides volatils, comparativement à 70% (60 à 80%) initialement. Par conséquent, une boue digérée ne subit que peu de fermentation ultérieure, ce qui diminue de façon appréciable le dégagement d'odeurs nauséabondes (U.S., EPA, 1979).

Le traitement à la chaux permet de réduire de façon substantielle le dégagement d'odeurs désagréables (Oerke, 1989). Selon Westphal et Christensen (1983), le chaulage permet de réduire le dégagement d'odeurs par un facteur de 10. En plus de l'arrêt de la fermentation, une des principales composantes odorantes des boues, l'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ), est complètement converti en forme ionique non volatile à des pH de 9 ou plus (Figure 4.5). Suite à l'évaluation de la performance d'une vingtaine de systèmes de chaulage en Norvège, les experts de la Norwegian Institute For Water Research ont conclu que le traitement des boues à la chaux réduisait de façon importante les problèmes d'odeurs, même dans les cas où les doses de chaux utilisées étaient insuffisantes (Eikum, 1979).

Parmi les autres procédés de stabilisation couramment utilisés, il est important de mentionner ici le compostage, un procédé biologique qui permet d'obtenir un produit stabilisé et hygiénisé. Ce procédé s'accompagne d'une réduction moyenne des solides volatils de 45% (Mustin, 1987).

Enfin, les autres techniques de traitement telles que l'irradiation et la pasteurisation permettent d'hygiéniser les boues (réduction de pathogènes) sans toutefois les stabiliser (réduction du pouvoir fermentescible).

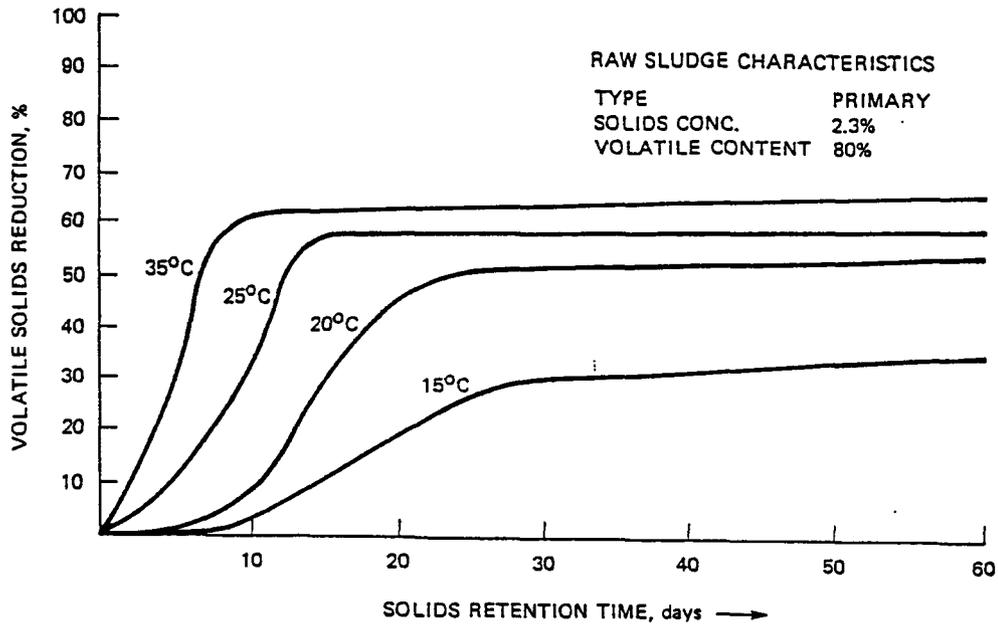


Figure 4.4: Effets du temps de rétention et de la température d'un digesteur anaérobie sur la réduction des solides volatils des boues (U.S. EPA, 1979)

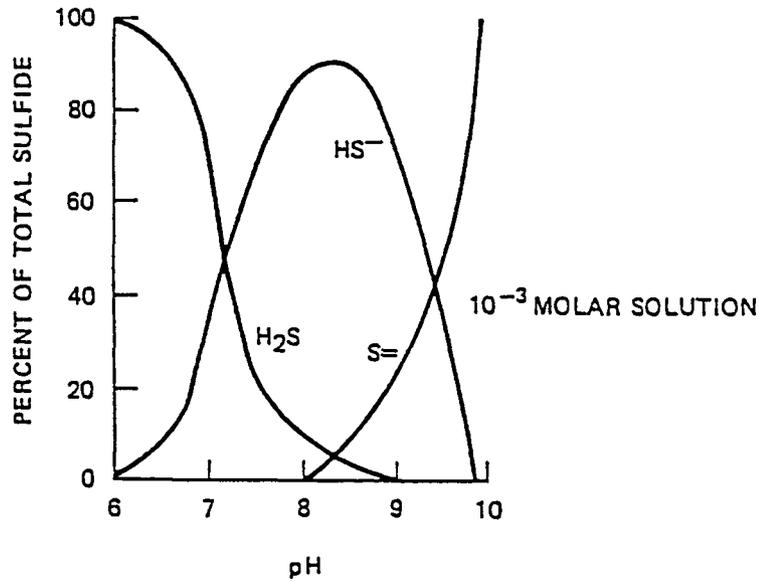


Figure 4.5: Effets du pH sur les dégagements d'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ) (U.S. EPA, 1979)

#### 4.3.5 Epandage des boues d'abattoirs aux Etats-Unis

Cette section présente, à titre indicatif, quelques exemples de projets de valorisation de boues d'abattoirs aux Etats-Unis.

Depuis 1988, la compagnie Townsends Inc. pratique l'épandage des boues provenant de son abattoir de poulets situé à Millsboro dans l'état du Delaware (Jones et Petitgout, 1989). Près de 22,500 m<sup>3</sup> de boues liquides sont épandues sur 70 ha annuellement. Ces boues proviennent d'un traitement biologique et sont stabilisées par la suite dans deux digesteurs en série avant l'épandage. Les gestionnaires de cette entreprise pratiquent l'épandage avec succès, selon un programme rigoureux, développé par des experts de chez Metcalf & Eddy Inc.

Un projet de chaulage des boues d'un abattoir de Tyson est actuellement en cours en Caroline du Nord. Ce projet est piloté par le Dr. Rubin, professeur à la North Carolina State University (Rubin, 1991). Selon le Dr. Rubin, les boues, en provenance d'un système de traitement physico-chimique opéré en floculation et flottation, sont déshydratées à une siccité de 18 à 20% et chaulées par la suite en ajoutant de la chaux vive à 200 à 400 livres par tonne humide. Ces doses de chaux sont relativement élevées et résultent en une importante élévation de température des boues pouvant atteindre 70°C et plus durant 1 à 2 heures. Le produit ainsi obtenu est hygiénisé et pourrait être utilisé en agriculture de façon sécuritaire.

En Virginie, deux abattoirs de volailles (Wampler Foods Inc. et Golden Acre Foods Inc.) ont mis en place un programme de valorisation des boues qu'ils produisent (Byerly, 1989). Ce programme permet de valoriser des boues (provenant de systèmes de traitement physico-chimique) sur des pâturages et du foin, en conformité avec les critères de bonnes pratiques établis par l'EPA pour la valorisation agricole des boues municipales. Ce programme opère de façon efficace et permet d'importantes économies par rapport aux autres alternatives d'élimination.

Une importante caractérisation microbiologique de boues physico-chimiques en provenance d'un abattoir de poulets a été réalisée récemment en Virginie (Pancorbo et Barnhard, 1989). Les chercheurs de l'Université de la Georgie ont conclu que, compte tenu des fortes concentrations de pathogènes, ces boues n'étaient pas aptes à la valorisation agricole et devraient donc être stabilisées. Présentement, l'évaluation de divers procédés de stabilisation est en cours, en vue de la valorisation agricole de ces boues.

#### 4.3.6 Restrictions à la paissance et à l'utilisation des récoltes de fourrage

Bien que pratique peu courante au Québec, les porcs ne devraient pas avoir accès à des pâturages où des boues d'abattoirs auraient été épandues <sup>(5)</sup>. Si une telle pratique était faite, on pourrait avoir contamination d'*Ascaris* chez les animaux pour une période relativement longue (maximum probable de deux ans). Au niveau du dindon, compte tenu des problèmes pouvant être rencontrés avec *Erysipelothrix rhusiopathiae*, des dindons ne devraient pas être élevés sur des pâturages où des boues d'abattoirs auraient pu être épandues. Principalement à cause des problèmes reliés aux salmonelles, les bovins ne devraient pas avoir accès aux pâturages où des boues d'abattoirs auraient été épandues dans un délai inférieur à six mois suivant l'épandage. Bien que l'Organisation mondiale de la santé recommande quatre semaines pour les bovins adultes et six mois pour les jeunes femelles gestantes, les experts consultés croient qu'un délai de six mois devrait être recommandé quel que soit l'âge des animaux.

A la lueur de nos lectures et en fonction de l'expérience des experts consultés, nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire d'établir diverses restrictions pour l'utilisation des boues d'abattoirs sur des sols destinés aux cultures pour consommation animale (maïs-grain, petites céréales, etc.). En ce qui concerne les prairies, les boues doivent être appliquées en début de saison ou dans les jours suivant immédiatement la fauche. Dans ce cas, un délai minimum de six semaines

---

<sup>(5)</sup> Référence pour ce paragraphe: Moore et al., 1991.

entre la date d'épandage et la récolte (ou consommation) des fourrages devrait être respecté.

#### 4.4 Orientation du projet

Les informations recueillies au cours de cette phase et les discussions précédentes ont rendu ainsi essentiel de procéder à la phase II du projet, dans le but de vérifier, en milieu réel, les pathogènes identifiés, leur niveau de destruction ou d'inactivation et le degré de réduction des odeurs que permet d'envisager le chaulage des boues.

Compte tenu de la diversité des pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs, des méthodes d'analyses disponibles et les coûts qui y sont associés, il n'est pas possible, ou même nécessaire, de sélectionner tous les organismes identifiés lors de la phase I du projet. Il s'agirait plutôt de définir des indicateurs biologiques adéquats ainsi que certains organismes représentatifs des divers types de pathogènes identifiés dans ce rapport.

Le tableau 4.15 présente les indicateurs biologiques et les organismes pathogènes devant être retenus pour le banc d'essais. Les indicateurs choisis sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. En plus d'être analysés par des tests simples et peu coûteux, ces organismes sont de bons indicateurs des niveaux de pathogènes présents dans les boues et de l'efficacité des procédés de traitement utilisés.

Quant au choix des organismes pathogènes, il a été basé sur leur incidence dans les boues d'abattoirs de même que sur le danger qu'ils engendrent pour la santé humaine et animale.

**TABLEAU 4.15: INDICATEURS BIOLOGIQUES ET ORGANISMES PATHOGENES RETENUS  
POUR LE BANC D'ESSAIS**

PORCS	VOLAILLES
Coliformes fécaux Streptocoques fécaux <i>Treponema hyodysenteriae</i> <i>Streptococcus suis</i> <i>Salmonella spp</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> <i>Giardia</i> <i>Ascaris suum</i>	Coliformes fécaux Streptocoques fécaux <i>Salmonella spp</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Enterococcus spp</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>

Source: Moore et al., 1991.

## 5. PHASE II: BANC D'ESSAIS DE CHAULAGE

### 5.1 Objectifs

La phase II du projet vise à vérifier si des boues non stabilisées d'abattoirs peuvent être rendues aptes à la valorisation agricole par l'ajout de chaux, à vérifier la faisabilité de la technique, à acquérir des connaissances et des données essentielles sur les qualités agronomiques, les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques du produit en vue de sa valorisation en agriculture.

D'autre part, cette phase vise à fournir rapidement le maximum de connaissances sur le produit avec le minimum de ressources et ce, afin d'orienter les futures étapes de développement.

De façon plus spécifique, les objectifs visés sont:

- procéder au chaulage des boues d'abattoirs en vue de les stabiliser;
- définir les caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et agronomiques des boues chaulées en vue de leur valorisation en agriculture;
- déterminer les doses de chaux à recommander pour la stabilisation et l'effet sur la réduction des pathogènes identifiés à la phase précédente;
- déterminer l'impact du chaulage sur la réduction du dégagement d'odeurs;
- procéder à une étude de cas pour les besoins de l'abattoir Bienvenue de St-Valérien et pour obtenir des faits saillants pour le présent projet.

## 5.2 Méthodologie expérimentale

### 5.2.1 Préambule

Le projet a été réalisé sur une échelle très réduite, de type "banc d'essais". Des installations ont été aménagées dans le seul but d'obtenir une certaine quantité de boues traitées pour fins d'analyses et de suivi.

Sans viser une analyse excessivement rigoureuse au niveau scientifique, la méthodologie comporte les bases minimales (échantillons composés et réplication) devant permettre une analyse rigoureuse des résultats et ainsi trancher sur certaines questions afin d'orienter les futurs développements.

Suivant les informations obtenues à ce jour, les boues récupérées des systèmes de prétraitement des abattoirs sont de type liquide, ayant un taux de siccité entre 3 et 8%. Dans certains cas, un épaissement secondaire permet d'obtenir des boues légèrement plus concentrées. Etant donné qu'il n'est pas d'usage courant de déshydrater les boues d'abattoirs, l'étude s'est donc penchée sur le fait qu'il est plus que probable que la manipulation des boues en agriculture se fera en utilisant des équipements d'entreposage et de manipulation adaptés à des boues liquides. Les différentes composantes de la méthodologie sont décrites ci-après.

### 5.2.2 Choix des abattoirs

Deux types d'abattoirs ont été sélectionnés, soit un abattoir de porcs et un de volailles. L'abattoir Bienvenue de Saint-Valérien a été retenu dans le cas du porc, tandis que pour la volaille, le choix a été arrêté sur l'abattoir Bexel de Marieville. Ces deux abattoirs utilisent un procédé physico-chimique opéré en floculation et flottation de type NIJHUIS pour le prétraitement de leurs eaux usées. Ce procédé implique l'utilisation de produits chimiques tels que le PRAESTOL 2540 (polymère) et le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) dans le processus de floculation. Ces deux abattoirs sont représentatifs de leur industrie respective.

### 5.2.3 Types de boues

Trois types de boues liquides ont été utilisés pour les essais, soit:

- . la boue telle que produite par le système de prétraitement de l'abattoir de porcs (**boue # 1**) (Abattoir Bienvenue de St-Valérien);
- . la boue telle que produite par le système de prétraitement de l'abattoir de volailles (**boue # 2**) (Abattoir Bexel de Marieville);
- . la boue combinée correspondant à un mélange de boue d'abattoir de porcs, de lisier sédimenté, de lisier de veaux et d'eau de précipitation contenu dans la fosse d'entreposage située sur le lot 234, rang VIII, à Saint-Valérien-de-Milton (**boue # 3**).

### 5.2.4 Méthodologie d'échantillonnage

Les eaux usées des abattoirs sont traitées en continu suivant le rythme d'abattage. En conséquence, la production de boue suit un rythme relié à la production de l'abattoir. Cependant, certaines particularités d'opération sont propres à chaque établissement.

#### Boue # 1 (Porcs)

Etant donné que la charge polluante des eaux usées est plus faible en fin de journée à l'abattoir Bienvenue, l'opérateur ajuste en conséquence la quantité de produits chimiques ajoutés. L'opérateur nous a indiqué que la majeure partie des boues (75%) était produite entre 7h00 et 15h00 alors que le reste (25%) était généré entre 15h00 et 18h00 (20%) et entre 18h00 et 24h00 (5%).

Les besoins du projet pour chaque série d'échantillonnage étaient de 90 litres. Afin d'appliquer des procédures d'échantillonnage pratiques, 67 litres étaient puisés avant 15h00 et 23 litres étaient puisés à partir de 16h30. Les boues ont

été puisées directement à la sortie du tuyau d'amenée des boues dans la citerne. La procédure consistait à puiser 8 litres à la fois, à intervalles de 5 minutes entre chaque prélèvement jusqu'à l'atteinte du volume visé. Les boues étaient ensuite entreposées (pour transport) dans un fût de plastique de 220 litres avec couvercle.

#### Boue # 2 (Volailles)

Dans le cas de l'abattoir de volailles, aucun ajustement n'est effectué au cours de la journée au niveau des produits chimiques. L'échantillonnage était donc effectué à partir de 10h00 et l'ensemble des besoins (90 litres) était récolté en suivant le rythme de 8 litres à intervalles de 5 minutes, puisés à la sortie du tuyau d'amenée des boues à l'entrée du bassin d'entreposage temporaire. (Voir schéma, annexe C).

#### Boue # 3 (Porcs, combinée)

Il était initialement prévu de puiser la boue combinée directement à partir de la fosse d'entreposage située sur le lot 234 du rang VIII de St-Valérien. Cependant, étant au mois de janvier, la couche glacée à la surface du réservoir empêchait la bonne homogénéisation de la fosse et par conséquent, la représentativité de l'échantillon puisé.

Il a donc été décidé de reconstituer l'échantillon suivant les proportions volumétriques de chaque constituant dans la fosse tels qu'ils seraient lorsque la fosse est pleine. A partir des informations obtenues de l'abattoir, des informations et calculs effectués sur la production de fumier, la cédule d'élevage et la gestion des eaux pour la grange-étable servant à l'engraissement des veaux et, finalement, des informations climatologiques, la composition (sur une base annuelle) de la boue # 3, dite boue "combinée", a été évaluée comme suit:

Boues provenant de l'abattoir de porcs de Saint-Valérien-de-Milton	76%
Lisier entreposé des porcs en attente à l'abattoir	13%
Lisier de veaux provenant de l'exploitation située sur le lot 234, rang VIII, à Saint-Valérien-de-Milton	4%
Précipitations nettes (Précipitations-évaporation)	7%

La boue était puisée telle que décrite pour la boue # 1. Le lisier a été puisé à la sortie de la pompe de vidange du réservoir à lisier sédimenté. Aucun brassage de ce réservoir n'a été effectué puisque l'évacuation se fait normalement sans brassage.

Dans le cas du lisier de veaux, une préfosse de rétention de la grange-étable emmagasine le lisier produit pendant environ 3 semaines. Après avoir homogénéisé la préfosse, le faible volume nécessaire au projet a été puisé en une fois à la sortie du tuyau d'évacuation vers la fosse d'entreposage.

Chaque constituant était apporté séparément au local d'expérimentation du consultant. Ce n'est qu'à cet endroit, après avoir homogénéisé chaque constituant, que le mélange "boue combinée" était reconstitué pour simuler le contenu de la fosse d'entreposage.

Un schéma d'écoulement illustrant le cheminement des eaux usées, des boues et du lisier produits à l'abattoir de Saint-Valérien-de-Milton est présenté à l'annexe C de ce rapport.

#### Répétition de la procédure

Afin de s'assurer de la représentativité des résultats dans le temps, trois séries d'échantillonnage ont été effectuées à une semaine d'intervalle, soit:

- Série # 1: 4 février 1992
- Série # 2: 11 février 1992
- Série # 3: 18 février 1992.

### 5.2.5 Tests préliminaires

Des essais préliminaires de chaulage sur des échantillons de 1 litre ont été effectués en utilisant les deux types de chaux, soit la chaux vive (CaO) et la chaux hydratée (Ca(OH)<sub>2</sub>). Ces essais avaient pour objectif de mieux cibler l'écart des besoins en chaulage par chacune des boues et le type de chaux à utiliser ainsi que sa forme (sèche ou en lait de chaux). Huit doses de chaux ont été suivies soit 0, 50, 75, 100, 150, 200, 300 et 400 mg de CaO-équivalent/g de matière sèche. A part les tests de taux de matière sèche des boues fraîches, le suivi des échantillons a été basé sur le pH. Des mesures de pH ont été effectuées suivant le chaulage, soit après 2, 24, 48 et 72 heures.

### 5.2.6 Essais de chaulage des boues

Suite aux essais préliminaires, quatre (4) traitements ont été retenus pour chaque type de boues. Ces traitements ont été répétés pour chaque série d'échantillonnage (3 répétitions). La description de ces traitements est présentée ci-après au tableau 5.1.

**TABLEAU 5.1: IDENTIFICATION DES TRAITEMENTS DE CHAULAGE**

NO.	CODE D'IDENTIFICATION	DOSAGE DE CHAUX (kg de CaO-Equ./tms de boue)
Abattoir de porcs (BP)		
1	BP0	0
2	BP75	75
3	BP150	150
4	BP225	225
Abattoir de volailles (BV)		
5	BV0	0
6	BV75	75
7	BV150	150
8	BV225	225
Boues combinées (BC)		
9	BC0	0
10	BC75	75
11	BC150	150
12	BC225	225

Le choix des doses a été basé sur les résultats des tests préliminaires (réf.: tableau 5.5). Pour les boues de l'abattoir de porcs, la dose de 150 kg/tms est la première dose qui a permis de maintenir un pH de 12 après 72 heures. Pour les boues de l'abattoir de volailles, la dose de 150 était plutôt sur la limite mais a été sélectionnée pour permettre une certaine uniformisation des procédures. Les deux autres doses ont été sélectionnées à 50% et 150% de la dose cible, afin de simuler une boue insuffisamment chaulée et une boue chaulée en excès.

Les essais ont été réalisés en atelier, à une température ambiante d'environ 20°C. Des contenants de 25 litres ont été utilisés pour les mélanges chaux-boues. Les mélanges ont été préparés à partir de 20 l de boues, auxquels de la chaux hydratée sous forme de lait de chaux a été ajouté (environ 1 litre). Ces mélanges ont été homogénéisés à l'aide d'un mélangeur à peinture (électrique) de 5 cm de diamètre. Puisque quatre traitements de chaulage sont appliqués à trois types de boues et que l'ensemble est répété trois fois (une fois par série d'échantillonnage), il en résulte 36 contenants d'essais.

### 5.2.7 Caractérisation physico-chimique

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées selon le programme décrit au tableau 5.2. Les Laboratoires Zénon, de Montréal ont été sélectionnés pour procéder à ces analyses. Les échantillons étaient prélevés et livrés au laboratoire le même jour. Tous les paramètres physico-chimiques apparaissant normalement sur les bulletins d'analyses des stations d'épuration ont été analysés, de même que certains paramètres particuliers aux boues d'abattoirs et jugés essentiels du point de vue agronomique.

L'évolution du pH des divers traitements en fonction du temps a été examinée. Le pH de l'ensemble (36) des mélanges boues-chaux a été mesuré 2 h, 24 h et 7 jours après l'ajout de la chaux. De plus, la 1ère série d'échantillonnage a fait l'objet de mesures de pH supplémentaires effectuées à différentes profondeurs dans les contenants d'essais et ce, 14 et 28 jours après l'ajout de la chaux.

TABLEAU 5.2: PROGRAMME D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

ITEM	PARAMETRES	# D'ECHAN-TILLONS
1. Caractérisation de la chaux	% CaO, % MgO, métaux lourds <sup>(1)</sup>	1
2. Caractérisation des boues brutes: 3 types de boues, 2 échantillons par type de boues <sup>(2)</sup>	Matières sèches, matières organiques, pH, NTK, NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub> , Ptotal, Ktotal, Ca, Mg, alcalinité, Fe total, Fe dissous, BPC, métaux lourds <sup>(1)</sup>	6
3. Caractérisation des boues chaulées: 3 types de boues, 1 échantillon par type de boues pour la dose la plus probable <sup>(3)</sup>	Matières sèches, matières organiques, pH, NTK, NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub> , Ptotal, Ktotal, Ca, Mg, alcalinité, Fe total, Fe dissous, BPC, métaux lourds <sup>(1)</sup>	3
4. Mesure de la siccité et du pH des boues au laboratoire, une semaine après le chaulage <sup>(4)</sup>	Matières sèches et pH	36

<sup>(1)</sup> Métaux lourds: As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Zn.

<sup>(2)</sup> Boues brutes de la 1ère et 2ième séries d'échantillonnage.

<sup>(3)</sup> Boues chaulées de la 2ième série d'échantillonnage.

<sup>(4)</sup> 1 sur chaque contenant d'essais.

### 5.2.8 Caractérisation microbiologique

Une caractérisation microbiologique a été réalisée pour tous les traitements. Les échantillons ont été prélevés une semaine après le chaulage des boues, selon le programme d'échantillonnage présenté ci-après au tableau 5.3. Après homogénéisation du contenant, un échantillon était prélevé et acheminé directement aux Laboratoires MDS de Montréal. En plus de posséder les capacités de réaliser ces analyses (tant en qualité qu'en nombre), les Laboratoires MDS participent à plusieurs programmes de contrôle de qualité, notamment: i) College of American Pathologists (CAP), ii) American Association of Bioanalysts (AAB), iii) Société Québécoise de la Biochimie Clinique (SQBC), iv) Laboratoire de Santé Publique du Québec et v) Programme interne de contrôle de qualité.

Chacun des échantillons prélevés a été analysé pour les microorganismes présentés au tableau 5.4 et sélectionnés lors de la phase I du projet.

**TABLEAU 5.3: PROGRAMME D'ECHANTILLONNAGE  
POUR LES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**

SERIE D'ECHANTILLONNAGE	NOMBRE D'ECHANTILLONS PRELEVES <sup>(1)</sup>			
	BOUE # 1	BOUE # 2	BOUE #3	TOTAL
# 1	4	4	4	12
# 2	4	4	4	12
# 3	4	4	4	12
Total du projet				36

<sup>(1)</sup> Un échantillon par traitement.

**TABLEAU 5.4: INDICATEURS BIOLOGIQUES ET PATHOGENES RETENUS  
POUR LES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**

BOUES # 1 ET # 3	BOUE # 2
Compte bactérien total Coliformes fécaux Streptocoques fécaux <i>Treponema hyodysenteriae</i> <i>Giardia</i> <i>Streptococcus suis</i> <i>Salmonella spp</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> <i>Ascaris suum</i>	Compte bactérien total Coliformes fécaux Streptocoques fécaux <i>Salmonella spp</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Enterococcus spp</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>

### 5.2.9 Tests d'odeurs

Tel que précisé précédemment, le niveau de nuisance olfactive des boues d'abattoirs a été quantifié selon un protocole établi par Météoglobe Canada Inc. et inspiré de recommandations internationales et de méthodes standardisées européennes touchant séparément l'olfactométrie et le flairage. De façon plus spécifique, cette méthode implique la participation d'un jury expérimental et la mesure de la nuisance olfactive est basée sur:

- l'évaluation d'exposition instantanée à l'intensité ambiante (olfactométrie);
- l'évaluation après exposition prolongée à l'odeur (flairage d'intensité);
- l'évaluation de l'irritation ou de l'inconfort causés par surexposition (flairage d'irritation) et;
- l'évaluation du caractère désagréable de l'odeur (flairage de qualité d'odeurs).

L'intensité est reconnue dans la littérature comme le facteur principal modulant la nuisance. L'olfactométrie à substance de référence permet d'obtenir des mesures directes et objectives de l'intensité ambiante. Le flairage, quant à lui, fournit des appréciations nominales et subjectives de l'odeur basées sur des échelles psychophysiologiques. Une description détaillée de la méthodologie utilisée est présentée avec les résultats de cette section à l'annexe B de ce rapport. Compte tenu de la problématique du dossier, les tests d'odeurs ont été réalisés sur les boues combinées (boue # 3) seulement. Divers cas de dégagements d'odeurs ont été simulés à l'aide d'échantillons de 20 l vieilliss de 4 semaines. Deux séries de mesures ont été réalisées, soit:

#### TESTS D'ODEURS

##### **SERIE 1:**

- . Boues combinées brutes et non brassées, BC0 (0 kg CaO/tms, pH 6-7)
- . Boues combinées chaulées et non brassées, BC75 (75 kg CaO/tms, pH 8-9)
- . Boues combinées chaulées et non brassées, BC150 (150 kg CaO/tms, pH $\geq$ 12)

##### **SERIE 2:**

- . Boues combinées brutes et brassée, BC0 (0 kg CaO/tms, pH 6-7)
- . Boues combinées chaulées et brassées, BC75 (75 kg CaO/tms, pH 8-9)
- . Boues combinées chaulées et brassées, BC150 (150 kg CaO/tms, pH $\geq$ 12)

### 5.3 Résultats et discussion

#### 5.3.1 Tests préliminaires

Des essais préliminaires ont été réalisés à l'atelier du consultant. Ces essais visaient à déterminer le type de chaux à utiliser, à préciser la technique de chaulage à retenir et à cibler les besoins en chaux pour chacune des boues. Les échantillons de boues nécessaires à ces tests préliminaires ont été recueillis le 21 janvier 1992.

##### Type de chaux et technique de chaulage

Avant de procéder aux prétests de chaulage destinés à établir le dosage minimum, diverses expériences pratiques ont été réalisées afin de déterminer le type de chaux à utiliser (vive ou hydratée) et de préciser la technique de chaulage à retenir. A ce titre, ces expériences comprenaient des essais tels que l'ajout direct de chaux sous forme solide, la préparation de lait de chaux en diverses concentrations, l'ajout de lait de chaux aux boues, le brassage de divers mélanges boues-chaux, suivi de pH, observations visuelles, etc. L'analyse des résultats de ces manipulations a permis les principales conclusions suivantes:

- Quel que soit le type de chaux à utiliser, il est préférable d'ajouter la chaux aux boues liquides sous forme de "lait de chaux". L'ajout de chaux en poudre aux boues amène presque inévitablement la formation de grumeaux. L'utilisation d'un lait de chaux permet donc une meilleure dispersion de la chaux et facilite l'homogénéisation et la rapidité du mélange boues-chaux. Il est donc recommandé, à grande échelle, d'incorporer la chaux aux boues sous forme liquide plutôt que sous forme solide.
- La chaux hydratée,  $\text{Ca(OH)}_2$ , réagit beaucoup plus rapidement que la chaux vive,  $\text{CaO}$ , en milieux aqueux, étant donné qu'elle a déjà subi un prétraitement d'hydratation chez le fabricant. Par conséquent, on peut obtenir un lait de chaux de haute qualité en mélangeant tout simplement du  $\text{Ca(OH)}_2$  avec de l'eau.

L'ajout d'un tel lait de chaux aux boues provoque une augmentation rapide du pH. Dans le cas de la chaux vive, la préparation d'un lait de chaux nécessite un prétraitement d'hydratation (slaker) sur place, si on désire obtenir un produit de bonne qualité. Cette préparation dégage une grande quantité de chaleur et implique, en pratique, la prise de précautions particulières et l'utilisation d'équipements spécialisés. A cause de ces conditions, l'augmentation du pH est beaucoup plus lente avant d'atteindre un niveau stable.

- L'activité de brassage s'est montrée dans plusieurs cas un élément important modifiant parfois la structure du matériel. En effet, un brassage trop vigoureux pouvait même mener à la formation d'un produit complètement "figé" dans le contenant. On peut avancer que les produits de réactions formés à partir de la chaux et des boues, associés à l'introduction d'air et l'activité de brassage favorisent cet état. Pour éviter des problèmes d'ordre pratique, il est recommandé de limiter l'action de brassage au minimum et garder le produit sous une forme "liquide" (non figé).

Ces informations confirment la littérature consultée qui indique que la pratique courante en Europe et aux Etats-Unis consiste à utiliser du lait de chaux préparé à partir de chaux hydratée lorsqu'il s'agit de chauler des boues liquides (Peschen 1987, U.S. EPA, 1979).

**Compte tenu des résultats obtenus et de la littérature consultée, il est recommandé d'utiliser un lait de chaux préparé à partir de la chaux hydratée ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) pour le chaulage des boues d'abattoirs à l'état liquide.**

#### Doses de chaux

Les prétests de chaulage avaient pour but de déterminer les doses de chaux nécessaire pour élever et maintenir le pH des boues à 12 ou plus, 2 heures et préférentiellement 48 heures après l'ajout de la chaux. Les tests ont été réalisés en utilisant de la chaux vive et hydratée à des doses de 0, 50, 75, 100, 150, 200, 300 et 400 kg de CaO-équivalent/tms de boue. Sur la base de la recommandation

précédente, seuls les résultats obtenus avec la chaux hydratée ajoutée en lait de chaux sont présentés au tableau 5.5.

Ces résultats indiquent que, pour les boues d'abattoirs de porcs (boue # 1) et les boues combinées (boue # 3), une dose de 150 kg/tms serait adéquate pour maintenir un pH supérieur à 12, 72 heures après l'ajout de la chaux. Dans le cas des boues d'abattoirs de volailles (boue # 2), cette dose se situe plutôt à 200 kg/tms. Cependant, la dose à 150 a tout de même permis d'élever le pH à 12 après 2 heures. Dépendant des conditions propres à chaque abattoir de volailles, une dose de 150 pourrait s'avérer adéquate.

Enfin, les doses inférieures n'ont pas permis d'atteindre le niveau de pH visé. Par contre, les doses de 300 et 400 kg/tms sont amplement suffisantes mais, compte tenu de la siccité initiale des boues et des quantités de chaux apportées dans ce cas, on obtient un produit final plus pâteux (semi-solide) qui risque de créer des problèmes de manutention lors du transport, de la reprise et de l'épandage au champ.

**TABLEAU 5.5: TESTS PRELIMINAIRES DE CHAULAGE:  
AJOUT DE CHAUX HYDRATEE EN LAIT DE CHAUX**

DOSE DE CHAUX (kg CaO- équivalent/tms)	pH *			
	2 heures	24 heures	48 heures	72 heures
<b>Boue # 1:</b>				
0	6.25	6.23	6.23	6.22
50	9.31	8.89	8.27	7.97
75	11.11	10.58	10.08	9.88
100	12.26	11.94	11.65	11.63
<b>150</b>	<b>12.57</b>	<b>12.39</b>	<b>12.29</b>	<b>12.34</b>
200	12.68	12.46	12.40	12.41
300	12.75	12.55	12.50	12.50
400	12.74	12.60	12.53	12.52
<b>Boue # 2:</b>				
0	5.66	5.78	5.45	5.47
50	6.87	6.38	6.20	6.19
75	8.54	7.50	7.49	7.41
100	9.77	9.29	9.00	8.86
150	12.15	11.96	11.85	11.72
<b>200</b>	<b>12.27</b>	<b>12.22</b>	<b>12.35</b>	<b>12.39</b>
300	12.36	12.35	12.55	12.54
400	12.42	12.43	12.57	12.55
<b>Boue # 3:</b>				
0	6.33	6.37	6.45	6.42
50	9.30	8.78	8.68	8.38
75	9.98	9.65	9.70	9.33
100	11.79	10.83	10.75	10.42
<b>150</b>	<b>12.47</b>	<b>12.38</b>	<b>12.41</b>	<b>12.32</b>
200	12.52	12.49	12.53	12.49
300	12.52	12.45	12.56	12.59
400	12.56	12.48	12.60	12.62

\* Température des contenants: 18-20°C.

### 5.3.2 Caractéristique de la chaux hydratée

Un échantillon de chaux hydratée,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , a été analysé afin de déterminer sa teneur en équivalent CaO. Les résultats obtenus indiquent que la chaux utilisée est de très bonne qualité puisque sa teneur en CaO est de 71.4%, ce qui

correspond aux spécifications minimales du fabricant (70% CaO). Le tableau 5.6 montre le contenu de la chaux en divers éléments dont les métaux lourds.

**TABLEAU 5.6: CARACTERISTIQUES DE LA CHAUX HYDRATEE <sup>(1)</sup>**

PARAMETRE	RESULTAT
CaO (%)	71.4
MgO (%)	0.6
P	730
K	1400
Ca	510000
Mg	3700
Al	1300
Fe	960
As	<0.5
B	<100
Cd	<10
Co	<50
Cr	<50
Cu	<50
Hg	<0.05
Mn	250
Mo	<10
Ni	<50
Pb	<100
Se	<0.5
Zn	110

<sup>(1)</sup> Résultats exprimés en mg/kg de matière sèche, sauf lorsqu'autrement indiqué.

### 5.3.3 Caractéristiques physico-chimiques des boues

Les résultats des analyses physico-chimiques des boues obtenus dans le cadre de la présente étude sont présentés dans cette section. L'interprétation de ces résultats est présentée ci-après.

#### 5.3.3.1 Valeur agronomique

Les résultats d'analyses pertinents à la valeur agronomique des boues apparaissent aux tableaux 5.7, 5.8 et 5.9. Les paragraphes qui suivent présentent une analyse de ces résultats.

##### Azote

Pour les boues d'abattoirs non chaulées, l'azote total Kjeldahl (NTK) varie entre 4% et 10% (base sèche) selon le cas. L'azote organique représente plus de 80% de l'azote total de ces boues, tandis que le reste (5 à 20%) se retrouve principalement sous forme ammoniacale. A titre de comparaison, l'azote total des boues d'épuration municipales varie entre 1% et 5%, alors que pour les lisiers et les fumiers, cette teneur varie entre 3 et 11% (base sèche).

Pour les boues chaulées, l'azote total se situe à environ 5%. On remarque donc une certaine diminution de l'azote total avec l'ajout de chaux. Cette diminution est attribuable à l'effet de dilution lors de l'ajout de la chaux, ainsi qu'à la volatilisation de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). En effet, le chaulage des boues, en élevant le pH, amène une volatilisation de l'ammoniac présent dans les boues. On observe ainsi une importante diminution de l'azote ammoniacal une semaine après l'ajout de la chaux (échantillons BP150, BV150 et BC150). Cet azote est volatilisé sous forme gazeuse et on peut anticiper, qu'après plusieurs semaines d'entreposage, les boues contiendraient très peu d'azote ammoniacal. D'autre part, les nitrites et nitrates se retrouvent en très faible quantité (<0.1%) dans les boues d'abattoirs.

Par conséquent, nous pouvons considérer qu'à long terme (principalement après brassage de la fosse d'entreposage), l'azote des boues chaulées se retrouvera principalement sous forme organique. Malgré les pertes de  $\text{NH}_4$ , ces boues demeurent une excellente source de fertilisant azoté<sup>(6)</sup>

### Phosphore

La teneur en phosphore des boues d'abattoirs varie entre 10000 et 15000 mg/kg de m.s. Ces teneurs se comparent généralement bien à celles des fumiers et des boues des stations d'épuration municipales. Suite au chaulage, on remarque une baisse de l'ordre de 10% de la teneur en phosphore des boues, principalement à cause de l'effet de dilution de la chaux. Malgré cette légère baisse, les boues chaulées demeurent une très bonne source de fertilisation phosphatée.

### Potassium

A l'instar des boues d'épuration municipales, les boues d'abattoirs contiennent peu de potassium. Ainsi, ces boues contiennent entre 1000 et 4000 mg de potassium/kg m.s., ce qui correspond à moins de 0.5%. Dans le cas des boues chaulées, la légère diminution de la teneur en potassium est également attribuable à l'effet de dilution de la chaux. Cependant, une fois ces résultats transformés en kg de  $\text{K}_2\text{O}$  par tms, on s'aperçoit que les boues d'abattoirs contiennent des quantités de potassium non négligeables pour la nutrition végétale.

### Autres éléments fertilisants

Les boues d'abattoirs contiennent également des oligo-éléments (B, Mn, Mo, Cu, Zn) et d'autres éléments majeurs (Ca, Mg) qui ne sont que très rarement considérés comme ayant une valeur commerciale, mais qui sont utiles aux plantes si le sol en est déficient.

---

<sup>(6)</sup> Remarque: L'observation d'une fermentation rapide dans les contenants de boues non chaulées et les formes organiques possibles de l'azote dans ces boues, font entrevoir un niveau de biodégradabilité élevé lorsqu'elles seront en contact avec les organismes du sol. Ainsi, il est à prévoir que la minéralisation de l'azote organique procédera de façon assez rapide dans le sol.

**TABLEAU 5.7: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES  
DES BOUES D'ABATTOIRS DE PORCS (BOUE # 1)**

PARAMETRES	RESULTATS		
	BPO Série # 1	BPO Série # 2	BP150 Série # 2
Siccité (%)	7.5	8	10
Matières organiques (%)	-	87	78
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	-	53000	-
pH	6.01	6.25	12.04
NTK (mg/kg sec)	104000	105000	47000
NH <sub>4</sub> (mg/kg sec)	4400	10888	1600
NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub> (mg/kg sec)	47	100	29
Ptotal (mg/kg sec)	12933	10125	8800
Ktotal (mg/kg sec)	1600	1750	1500
Ca (mg/kg sec)	14666	6000	82000
Mg (m/kg sec)	533	488	930
Alcalinité (kg CaCO <sub>3</sub> -équ./tms)	-	51.25	190

**TABLEAU 5.8: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES  
DES BOUES D'ABATTOIRS DE VOLAILLES (BOUE # 2)**

PARAMETRES	RESULTATS		
	BVO Série # 1	BVO Série # 2	BV150 Série # 2
Siccité (%)	8.1	7.7	9.8
Matières organiques (%)	-	87	74
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	-	60000	-
pH	5.70	5.75	12.04
NTK	41975	80519	43878
NH <sub>4</sub>	2840	18182	908
NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub>	37	94	45
Ptotal	9012	12987	11224
Ktotal	877	1208	969
Ca	3086	3636	89796
Mg	420	520	949
Alcalinité (kg CaCO <sub>3</sub> -équ./tms)	-	66	204

**TABLEAU 5.9: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES  
DES BOUES COMBINEES (BOUE # 3)**

PARAMETRES	RESULTATS		
	BCO Série # 1	BCO Série # 2	BC150 Série # 2
Siccité (%)	6.5	7.1	8.7
Matières organiques (%)	-	86	69
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	-	41000	-
pH	6.48	6.28	12.1
NTK	40000	84507	67816
NH <sub>4</sub>	9080	12958	4828
NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub>	49	52	43.7
Ptotal	14769	12394	11264
Ktotal	4000	3662	3103
Ca	15385	10423	89655
Mg	2154	1972	2069
Alcalinité (kg CaCO <sub>3</sub> -équ./tms)	-	62	207

### Matière organique

Les boues d'abattoirs contiennent naturellement d'importantes quantités de matière organique. Selon les résultats d'analyses obtenus, la teneur de ces boues en matière organique représente près de 85% de la teneur totale en matière sèche. La légère diminution observée avec les boues chaulées est attribuable à la "dilution" de la matière organique des boues par l'ajout de chaux, matière essentiellement minérale.

Compte tenu de la grande biodégradabilité anticipée, bien que ces boues contiennent un haut pourcentage de matière organique, il n'est pas possible actuellement de conclure sur les caractéristiques ou la contribution du matériel comme source d'amendement organique ou d'humus à long terme pour les sols.

### Valeur en amendement calcaire

La mesure de l'alcalinité des boues a été réalisée au laboratoire, de façon à obtenir une valeur en "équivalent de carbonate de calcium" (kg CaCO<sub>3</sub>-équ./tms). Les résultats obtenus indiquent qu'une boue d'abattoir chaulée à 150 kg "équivalent CaO/tms" affiche une valeur en amendement calcaire de l'ordre de 200 kg de CaCO<sub>3</sub>-équ./tms. Mentionnons que la valeur en amendement calcaire des boues est considérée comme le plus grand avantage de ces boues pour l'agriculture. En effet, dans les terres argileuses fortement cultivées et acides, comme c'est le cas dans la plaine du Saint-Laurent, la demande en amendement calcaire est continue et s'applique à la majorité des sols.

### Valeur agronomique globale

**Les résultats d'analyses obtenus dans le cadre de la présente étude indiquent que la valorisation agricole des boues d'abattoirs, lorsque chaulées, représente un intérêt agronomique certain, tant au niveau des apports en éléments fertilisants, en matière organique, qu'en amendement calcaire.**

## 5.3.3.2 Métaux lourds et BPC

### Métaux lourds

Les teneurs en métaux des boues d'abattoirs de porcs, de volailles et des boues combinées sont présentées respectivement aux tableaux 5.10, 5.11 et 5.12. Les valeurs maximales souhaitables et les valeurs maximales limites établies par le MENVIQ pour les boues d'épuration municipales apparaissent également dans ces tableaux, à titre d'information.

Les valeurs maximales souhaitables constituent le seuil le plus sécuritaire selon les connaissances actuelles. Dans le cas des boues plus chargées, l'application des valeurs maximales limites, plus permissives que les valeurs maximales

souhaitables, nécessite un suivi agronomique très strict quant à l'évolution des métaux lourds dans le sol.

**L'examen des résultats obtenus indique que la teneur des boues d'abattoirs en métaux lourds se trouve bien en deçà des valeurs maximales recommandées établies par le MENVIQ. Sur cette base, ces boues peuvent donc être considérées comme aptes à la valorisation agricole. En effet, la teneur de ces boues en métaux lourds est équivalente, sinon inférieure à celle des lisiers et des fumiers. <sup>(7)</sup>**

**TABLEAU 5.10: TENEURS DES BOUES D'ABATTOIRS DE PORCS EN METAUX LOURDS ET TENEURS MAXIMALES RECOMMANDEES PAR LE MENVIQ POUR LES BOUES D'EPURATION (mg/kg sec)**

ELEMENT DETECTE	BP0 Série # 1	BP0 Série # 2	BP150 Série # 2	VALEUR MAXIMALE SOUHAITABLE	VALEUR MAXIMALE LIMITE
As	<0.01	<0.01	<0.01	5	10
B	<1.2	<1.2	1.7	100	200
Cd	<0.2	0.25	<0.2	10	15
Co	3.2	3	2.4	50	100
Cr	33	34	26	500	1000
Cu	97	109	83	600	100
Hg	<0.3	<0.1	<0.1	5	10
Mn	100	102	120	1500	3000
Mo	3.6	3.5	2.9	20	25
Ni	3.9	4.5	3.2	100	180
Pb	7.3	3.1	<2	300	500
Se	<0.01	<0.01	<0.01	14	25
Zn	173	162	130	1750	2500

<sup>(7)</sup> Contenu (mg/kg sec) des lisiers en métaux lourds: B = 280, Cd = 2.45, Cu = 500-900, Mn = 170, Mo = 2.55, Pb = 7.6, Zn = 470-600, Ni = 27.3 (Source: références diverses UDA et ASAE).

**TABEAU 5.11: TENEURS DES BOUES D'ABATTOIRS DE VOLAILLES EN METAUX LOURDS ET TENEURS LIMITES RECOMMANDEES PAR LE MENVIQ (mg/kg sec)**

ELEMENT DETECTE	BV0 Série # 1	BV0 Série # 2	BV150 Série # 2	VALEUR MAXIMALE SOUHAITABLE	VALEUR MAXIMALE LIMITE
As	<0.01	<0.01	<0.01	5	10
B	<1.2	<1.3	1.0	100	200
Cd	0.3	0.4	0.38	10	15
Co	1.8	3.2	2.6	50	100
Cr	13.5	27.3	21.4	500	1000
Cu	18.5	32.5	24.5	600	100
Hg	<0.3	<0.1	<0.1	5	10
Mn	63	92	112	1500	3000
Mo	2.5	3.6	3.1	20	25
Ni	1.2	2.9	1.9	100	180
Pb	3.3	2.6	2.0	300	500
Se	<0.01	<0.01	<0.01	14	25
Zn	106	156	122	1750	2500

**TABEAU 5.12: TENEURS DES BOUES COMBINEES EN METAUX LOURDS ET TENEURS LIMITES RECOMMANDEES PAR LE MENVIQ (mg/kg sec)**

ELEMENT DETECTE	BC0 Série # 1	BC0 Série # 2	BC150 Série # 2	VALEUR MAXIMALE RECOMMANDEE	VALEUR MAXIMALE OBLIGATOIRE
AS	<0.01	<0.01	<0.01	5	10
B	<2.3	4.2	4.3	100	200
Cd	0.9	0.6	0.2	10	15
Co	3.2	3.0	2.3	50	100
Cr	29.2	29.6	28.7	500	1000
Cu	185	183	149	600	100
Hg	<0.3	<0.1	<0.1	5	10
Mn	141	138	149	800	1500
Mo	3.6	4.6	3.4	20	25
Ni	4.1	3.9	3.2	100	180
Pb	8.1	2.8	2.87	300	500
Se	<0.01	<0.01	<0.01	14	25
Zn	292	296	241	1750	2500

**BPC**

La teneur des boues d'abattoirs en biphényles polychlorés (BPC) est négligeable (tableau 5.13) et se situe sous le seuil de détection de l'appareil. Selon le guide de bonnes pratiques, les boues contenant une concentration inférieure à 10 mg de BPC/kg m.s. peuvent être valorisées.

**TABLEAU 5.13: TENEUR DES BOUES D'ABATTOIRS EN BPC<sup>(1)</sup>**

	<b>BP0</b>	<b>BP150</b>	<b>BV0</b>	<b>BV150</b>	<b>BC0</b>	<b>BC150</b>
Teneur (mg/kg sec)	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6

<sup>(1)</sup> Echantillons provenant de la 2<sup>ième</sup> série d'échantillonnage.

**5.3.3.3 Fer**

L'utilisation du chlorure ferrique dans la chaîne de prétraitement des eaux usées, amène une augmentation de la teneur en fer des boues. Dans le cas des boues brutes, la teneur en fer total se situe à près de 40000 mg/kg sec, tandis que pour les boues chaulées, elle est plutôt de l'ordre de 30000 mg/kg sec (tableau 5.14). La diminution observée avec les boues chaulées est attribuable à l'effet de dilution relatif à l'ajout de la chaux, une matière qui contient très peu de fer (<1000 mg/kg sec).

Le fer se retrouve principalement sous forme de chélate et la concentration en fer dissous est relativement faible. Ceci est surtout vrai pour les boues chaulées où l'ajout de la chaux provoque la précipitation de la presque totalité du fer dissous.

TABLEAU 5.14: TENEUR EN FER DES BOUES D'ABATTOIRS<sup>(1)</sup>

	BP0	BP150	BV0	BV150	BC0	BC150
(mg/kg sec)						
Fer total	43750	33000	41558	31633	35211	27586
Fe dissous	8875	14	5195	3.67	4225	7.9
Al total <sup>(2)</sup>	113	220	130	265	155	276

(1) Echantillons provenant de la 2ième série d'échantillonnage

(2) Concentrations présentées à titre indicatif. Ces concentrations sont négligeables et ne devraient causer aucun problème de phytotoxicité dans le sol.

Le fer n'est pas considéré comme un métal lourd et se retrouve en grandes quantités dans la plupart des sols. Selon Brady (1984), un sol typique d'Amérique du Nord contient près de 25000 ppm de fer, ce qui correspond à environ 55000 kg/ha. A titre indicatif, la teneur en fer d'une argile Ste-Rosalie peut atteindre 88000 kg/ha tandis que pour un limon sableux St-Benoit, elle se situe plutôt à 30000 kg/ha. (UDA, 1990). Le fer est également un des éléments mineurs les plus demandés par les cultures. Dans les plantes, le fer est impliqué dans la production de chlorophylle qui donne la couleur verte aux feuilles et qui assure la photosynthèse.

Les quantités de fer qui pourraient être apportées par les boues d'abattoirs sont relativement faibles par rapport à celles qui sont déjà présentes dans les sols à l'état naturel (<0.20%) <sup>(8)</sup> Il est donc peu probable, en théorie, que ces apports puissent augmenter de façon significative les risques de colmatage des drains agricoles associés à la formation d'ocre ou d'hydroxyde de fer. Cependant, la production et la déposition de l'ocre est un phénomène complexe qui dépend de l'interaction de diverses composantes, telles que la concentration en Fe<sup>++</sup>, le pH, la température, les bactéries ferrugineuses et la matière organique pour en citer

<sup>(8)</sup> Apport de Fer dans le cas de la boue combinée: 150 à 200 kg/ha, pour une dose de 75 à 100 m<sup>3</sup>/ha et une fréquence d'épandage de cinq ans dans le maïs.

quelques-unes (Asselin, 1985). En conséquence, on ne peut pas tirer une corrélation rapide et précise entre certains facteurs comme l'apport de fer total au sol et les risques de colmatage des drains.

Pour minimiser l'impact de ces incertitudes, l'opération de valorisation agricole de boues d'abattoirs et le choix des sols récepteurs devraient comprendre, entre autres, des observations visuelles au terrain (couleur de l'eau, sédiments d'ocre de fer dans les fossés, taches de rouille, concrétions de fer, etc.). Des mesures du contenu en ions ferreux ( $Fe^{++}$ ) et du pH des eaux de drainage peuvent être également réalisées. Ces mesures pourraient être interprétées en fonction des informations présentées ci-après au tableau 5.15. **Il s'agit surtout de s'assurer que le sol choisi ne fait pas déjà, de façon évidente, l'objet de problèmes d'ocre de fer ou de colmatage des drains.**

**TABLEAU 5.15: ESTIMATION DU RISQUE DE COLMATAGE DES DRAINS EN FONCTION DU CONTENU EN  $Fe^{++}$  ET DU pH DE L'EAU DE DRAINAGE**

Contenu en $Fe^{++}$ (mg/l)		Risque de colmatage
pH < 7	pH > 7	
<0,5	<1,0	nul
0,5 - 1,0	1,0 - 3,0	faible
1,0 - 3,0	3,0 - 6,0	moyen
3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	élevé
>6,0	>9,0	très élevé

Source: Kuntze, 1978. Iron Clogging. Diagnosis and therapy.

En conclusion, les quantités de fer qui pourraient être apportées par l'épandage des boues d'abattoirs sont relativement faibles par rapport à celles qui sont déjà présentes dans les sols à l'état naturel (moins de 0.2% par 5 ans). **Ces apports ne devraient donc pas augmenter de façon significative les risques de colmatage des drains agricoles. Cependant, un suivi minimal devrait accompagner l'opération de valorisation, afin de contrôler ce risque.**

## 5.3.4 Evolution du pH

Les mesures de pH prises dans les contenants d'essais sont présentées au tableau 5.16. Ces mesures indiquent que lorsqu'on ajoute suffisamment de chaux, comme c'est le cas pour les doses à 150 et 225 kg CaO/tms, le pH se maintient à plus de 12, une semaine après le chaulage des boues. Par contre, lorsque les quantités de chaux ajoutées ne sont pas suffisantes (75 kg CaO/tms), on obtient des pH de l'ordre de 10.5-11.0, 24 heures après le chaulage des boues. Par conséquent, l'activité bactérienne reprend graduellement, baissant davantage le pH et accentuant de plus en plus la reprise de la fermentation.

TABLEAU 5.16: SUIVI DU pH DES BOUES

TRAITEMENT	pH surface <sup>(1) (2)</sup>		
	2 HEURES	24 HEURES	7 JOURS
<u>Boue # 1</u>			
BP0	6.18	6.14	6.04
BP75	11.82	11.48	10.97
BP150	12.38	12.42	12.28
BP225	12.45	12.52	12.55
<u>Boue # 2</u>			
BV0	5.83	5.68	5.71
BV75	11.96	11.32	10.25
BV150	12.41	12.44	12.31
BV225	12.47	12.50	12.57
<u>Boue # 3</u>			
BC0	6.53	6.24	6.16
BC75	11.25	10.58	9.67
BC150	12.43	12.44	12.30
BC225	12.52	12.52	12.51

<sup>(1)</sup> Température ambiante de l'atelier: 20-22°C.

<sup>(2)</sup> Mesures de pH prises à la surface (0-5 cm) des bassins d'essais. Pour chaque traitement, la mesure rapportée correspond à la moyenne arithmétique des trois (3) répétitions.

**La chaux ajoutée aux boues d'abattoirs n'a pas tendance à sédimenter rapidement au fond des bassins d'essais.** En effet, l'apparence et la consistance des boues chaulées permettent de croire que ce problème ne devrait pas se poser. En plus de saturer la phase liquide des boues en ions ( $\text{OH}^-$ ), la chaux semble être intimement liée à la matière solide qui demeure en suspension, sous une forme plus ou moins gélatineuse, pendant une période relativement longue.

Les mesures de pH effectuées lors du suivi prolongé (tableau 5.17) permettent de confirmer les observations sus-mentionnées. Ainsi, pour les trois types de boues étudiées, le pH des boues traitées à 150 kg CaO/tms se maintient à plus de 12 à la surface, au milieu et au fond des bassins d'essais et ce, suite à une période d'entreposage de 1 mois à une température d'environ 20°C.

**En conclusion, le chaulage des boues d'abattoirs, à une dose égale ou supérieure à 150 kg CaO-équ./tms, a permis de maintenir un pH de l'ordre de 12 pendant plusieurs semaines <sup>(9)</sup>. Par conséquent, il est plus que probable qu'un tel niveau de pH pourrait se maintenir sur une période d'entreposage de plusieurs mois.**

---

<sup>(9)</sup> Rappel: Les doses de chaulage ont été appliquées sous forme de lait de chaux préparé à partir de la chaux hydratée ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

TABLEAU 5.17: EVOLUTION DU pH DES BOUES LORS DE L'ENTREPOSAGE <sup>(1)</sup>

PROFONDEUR <sup>(2)</sup> (A PARTIR DE LA SURFACE)	BOUE # 1		BOUE # 2		BOUE # 3	
	BP0	BP150	BV0	BV150	BC0	BC150
<u>2 heures</u>						
5 cm	6.18	12.39	5.84	12.59	6.58	12.44
<u>24 heures</u>						
5 cm	6.10	12.40	5.80	12.44	6.23	12.38
<u>7 jours</u>						
5 cm	5.99	12.50	5.63	12.49	6.16	12.41
<u>14 jours</u>						
5 cm	6.20	12.33	5.61	12.33	6.32	12.25
20 cm	6.16	12.50	5.56	12.53	6.32	12.34
30 cm	6.14	12.51	5.55	12.55	6.27	12.40
<u>21 jours</u>						
5 cm	6.25	12.27	5.58	12.43	6.30	12.28
20 cm	6.14	12.56	5.53	12.54	6.22	12.35
30 cm	6.11	12.60	5.52	12.57	6.21	12.44
<u>28 jours</u>						
5 cm	6.32	12.21	5.49	12.32	6.42	12.20
20 cm	6.18	12.52	5.45	12.46	6.34	12.29
30 cm	6.12	12.54	5.46	12.45	6.32	12.34

<sup>(1)</sup> Mesures de pH de la première série d'échantillonnage. Température ambiante de l'atelier: 20-22°C.

<sup>(2)</sup> Hauteur totale du liquide: 35 cm.

### 5.3.5 Caractéristiques microbiologiques

Les résultats des analyses bactériologiques des boues sont présentés ci-après au tableau 5.18. L'examen de ces résultats indique que le traitement à la chaux peut apporter une réduction de plus de 99% du compte bactérien total. Il indique également que les concentrations des indicateurs biologiques (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) dans les boues brutes sont de l'ordre de  $10^8$ /l. Ces concentrations sont relativement élevées et indiquent que les risques sanitaires relatifs à la présence probable de divers organismes pathogènes sont également élevés.

Dans le cas des boues d'abattoirs de porcs et des boues combinées, l'ajout de la chaux à 150 kg CaO/tms permet une réduction de 100% des coliformes et streptocoques fécaux. Pour les boues d'abattoirs de volailles, la dose nécessaire est plutôt de 225 kg CaO/tms. Compte tenu de la résistance des streptocoques aux divers procédés physico-chimiques, leur absence dans les boues chaulées est donc un excellent indicateur du fonctionnement et de l'efficacité de la technique utilisée.

Les résultats d'analyses obtenus indiquent également que plusieurs organismes pathogènes bactériens importants se retrouvent en grande quantité dans les boues d'abattoirs. En effet, les concentrations respectives des *Streptocoques suis*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* et *Enterococcus* sont de l'ordre de  $10^8$ /l de boues brutes. Le chaulage à 150 et 225 kg CaO/tms permet d'éliminer complètement ces organismes et assure donc une excellente hygiénisation de ces boues.

D'autre part, le reste des bactéries pathogènes retenus lors de la phase 1 de l'étude (*Campylobacter jejuni*, *Salmonella spp* et *Treponema hyodysenteriae*) n'ont pas pu être isolés. Etant donné qu'il n'y a pas eu de croissance directe sur les milieux sélectifs utilisés, le dénombrement de ces organismes n'a pas pu être réalisé. Toutefois, selon les experts consultés (Moore et al, 1991; Phaneuf, 1992),

ces organismes et particulièrement *Salmonella spp* sont probablement présents dans les boues d'abattoirs non chaulées. Ces experts ont également indiqué que les tests de dénombrement utilisés ne semblent pas être suffisamment sensibles pour isoler ces organismes et que des méthodes d'enrichissement auraient dû être utilisées. Cependant, les méthodes d'enrichissement permettent seulement de détecter la présence ou l'absence des pathogènes en question et ne sont pas adéquats pour le dénombrement réel.

TABLEAU 5.18: CARACTERISTIQUES BACTERIOLOGIQUES DES BOUES D'ABATTOIRS

TRAITEMENT	COMPTE BACTERIEN TOTAL	STREPTOCOQUES FECAUX	STREPTOCOQUES SUIS	COLIFORMES FECAUX	ESCHERICHIA COLI	CLOSTRIDIUM PERFRINGENS
	(DENOMBREMENT/LITRE) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>					
<b>BOUE D'ABATTOIRS DE PORCS</b>						
BP0	$>8.0 \times 10^8$	$2.0 \times 10^8$	$1.3 \times 10^8$	$3.0 \times 10^8$	$1.3 \times 10^8$	$2 \times 10^5$
BP75	$>2.0 \times 10^8$	$3.5 \times 10^8$	$1.7 \times 10^8$	$5.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5$	Ø
BP150	$4.0 \times 10^8$	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
BP225	$3.7 \times 10^8$	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
TRAITEMENT	COMPTE BACTERIEN TOTAL	STREPTOCOQUES FECAUX	COLIFORMES FECAUX	ENTEROCOCCUS	ESCHERICHIA COLI	CLOSTRIDIUM PERFRINGENS
	(DENOMBREMENT/LITRE) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>					
<b>BOUE D'ABATTOIRS DE VOLAILLES</b>						
BV0	$>8.0 \times 10^8$	$2.1 \times 10^8$	$4.3 \times 10^8$	$1.0 \times 10^8$	$5.0 \times 10^7$	$4.8 \times 10^7$
BV75	$>4.5 \times 10^8$	$3.3 \times 10^8$	$7.3 \times 10^7$	$1.7 \times 10^8$	$1.0 \times 10^7$	$8.3 \times 10^5$
BV150	$4.0 \times 10^8$	$1.7 \times 10^5$	Ø	$1.0 \times 10^5$	Ø	Ø
BV225	$3.7 \times 10^8$	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
TRAITEMENT	COMPTE BACTERIEN TOTAL	STREPTOCOQUES FECAUX <sup>(3)</sup>	STREPTOCOQUES SUIS	COLIFORMES FECAUX	ESCHERICHIA COLI	CLOSTRIDIUM PERFRINGENS <sup>(3)</sup>
	(DENOMBREMENT/LITRE) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>					
<b>BOUE COMBINEE D'ABATTOIRS DE PORCS</b>						
BC0	$>1.0 \times 10^9$	$4.7 \times 10^8$	$2.7 \times 10^8$	$4.0 \times 10^8$	$2.0 \times 10^8$	Ø
BC75	$>7.5 \times 10^8$	$5.0 \times 10^8$	$>3.4 \times 10^8$	$4.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$	Ø
BC150	$3.5 \times 10^8$	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
BC225	$2.3 \times 10^8$	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø

(1) Moyenne des trois échantillons

(2) Ø = Aucune croissance

(3) Moyenne de deux échantillons seulement (un échantillon rejeté)

Les résultats des analyses parasitologiques indiquent la présence de kystes de *Giardia* ( $\leq 20$  par lame) dans les boues d'abattoirs de porcs ainsi que dans les boues combinées. Le traitement de ces boues à la chaux permet de détruire ces parasites étant donné qu'aucune présence de kystes de *Giardia* n'est rapportée pour les traitements de 150 et 225 kg CaO/tms. D'autre part, aucune présence d'oeufs ou de vers d'*Ascaris* n'a été rapportée, tant dans les boues brutes que dans les boues chaulées.

**TABLEAU 5.19: PRESENCE DE GIARDIA DANS LES BOUES D'ABATTOIRS**

	BOUE # 1				BOUE # 3			
	BP0	BP75	BP150	BP225	BC0	BC75	BC150	BC225
Présence <sup>(1)</sup>	2/3	2/3	0/3	0/3	2/3	1/3	0/3	0/3

<sup>(1)</sup> Nombre d'échantillons affichant une présence de 20 kystes ou moins par lame par rapport au nombre total d'échantillons prélevés.

Il est intéressant de noter que suite à un chaulage à 225 kg CaO/tms, le compte bactérien "total", malgré une réduction de plus de 99%, présente encore une valeur de  $3.7 \times 10^6$ /l. Ainsi, bien que les pathogènes à haut risque soient généralement détruits, il reste encore divers types d'organismes, prêts à s'activer aussitôt que le pH est ramené à un niveau propice. C'est ce qui explique la reprise de la fermentation à un pH <11-12.

**En conclusion, le chaulage des boues d'abattoirs amène une réduction drastique des principaux indicateurs biologiques et organismes pathogènes d'importance et assure donc une excellente hygiénisation de ces boues.**

### 5.3.6 Tests d'odeurs

L'analyse détaillée des données recueillies est présentée à l'annexe D de ce rapport. Le texte qui suit se veut un résumé de cette analyse.

#### Résultats olfactométriques

Les résultats apparaissant au tableau 5.20 indiquent que **les boues chaulées à pH 12 (BC150) émettent 3 à 5 fois moins d'odeurs que les boues brutes, selon qu'elles soient brassées ou non**. Bien que ces résultats ont permis de dégager un ordre de grandeur, la réduction des odeurs était déjà un fait indéniable remarqué par les techniciens ayant procédé aux diverses manipulations des boues en cours de projet.

D'autre part, les résultats obtenus montrent que le niveau de nuisance olfactive des boues "mal chaulées" (BC75, pH 8-9) est comparable à celui des boues brutes (BC0, pH 6-7). Ceci pourrait être attribuable au fait que lorsque la chaux n'est pas ajoutée en quantité suffisante, l'activité bactérienne reprend, baissant davantage le pH et accentuant de plus en plus la fermentation.

#### Résultats de flairage

Le tableau 5.21 présente les résultats des essais de flairage pour les trois aspects considérés, soit: l'intensité après surexposition, le degré d'irritation de l'odeur et le caractère désagréable de l'odeur.

**Les émissions des boues chaulées à pH 12 sont perçues comme étant significativement moins intenses après exposition prolongée que les boues brutes et les boues "mal chaulées"**. En effet, les émissions des boues BC150 ont été à peine perceptibles. Par contre, l'intensité des boues BC0 et BC75 est plutôt perçue comme étant moyenne avec quelques pointes de forte intensité.

Il n'y aurait pratiquement pas d'irritation associée au dégagement d'odeurs des boues chaulées à pH 12 et vieilles de 4 semaines. Par contre, les boues BC0 et

BC75 semblent être plus irritantes que les boues BC150. Ces deux boues affichent également un degré d'irritation comparable.

**Le caractère désagréable des boues à pH 12 est aussi jugé très faible.** L'odeur était souvent jugée neutre, rappelant le savon ou le lait à certains membres du jury. Les boues BC0 et BC75 ont été jugées significativement plus désagréables que les boues BC150. L'odeur distincte de porcherie et d'étable à vache a été reconnue par trois membres du jury dans le cas de ces deux boues.

**En conclusion, les résultats obtenus indiquent que les boues combinées chaulées à 150 kg CaO-équ./tms (pH  $\geq$  12) sont beaucoup moins intenses, beaucoup moins irritantes et beaucoup moins désagréables que les boues brutes.** Ils indiquent également que le niveau de nuisance olfactive des boues "mal chaulées" est comparable à celui des boues brutes.

**TABLEAU 5.20: SOMMAIRE DES RESULTATS OLFACTOMETRIQUES**

TRAITEMENT	NOMBRE D'EVALUATIONS	EVALUATION <sup>(1)</sup> MOYENNE (Conc. éq. ppm)	ECART TYPE D'EVALUATION (Conc. éq. ppm)	ECART MAXIMAL D'EVALUATION (Conc. éq. ppm)	INTENSITE MOYENNE (ln Conc. éq. ppm)	ECART TYPE (Log Conc. éq. ppm)
<b>Série 1 (non brassée)</b>						
. BC150 (pH ≥ 12)	11	2.09	1.63	5.00	0.74	0.33
. BC75 (pH 8-9)	10	10.50	6.64	16.50	2.35	0.58
. BC0 (pH 6-7)	12	6.83	3.13	9.00	1.92	0.25
<b>Série 2 (brassée)</b>						
. BC150 (pH ≥ 12)	10	3.25	1.65	6.00	1.18	0.23
. BC75 (pH 8-9)	11	11.23	5.72	14.00	2.42	0.26
. BC0 (pH 6-7)	14	17.82	11.74	31.00	2.88	0.31

<sup>(1)</sup> Concentration équivalente de la substance de référence (1-butanol) utilisée pour mesurer l'intensité ambiante.

**TABLEAU 5.21: SOMMAIRE DES RESULTATS DE FLAIRAGE <sup>(1)</sup>**

TRAITEMENT	INTENSITE MOYENNE ECHELLE 0 A 5	ECART TYPE D'INTENSITE	IRRITATION MOYENNE ECHELLE 0 A 5	ECART TYPE D'IRRITATION	CARACTERE DESAGREABLE ECHELLE 0 A 5	ECART TYPE DE QUALITE DE L'ODEUR
<b>Série 1 (non brassée)</b>						
. BC150 (pH ≥ 12)	1.17	0.67	0.81	0.71	0.56	0.49
. BC75 (pH 8-9)	2.97	0.50	2.28	0.57	2.39	0.40
. BC0 (pH 6-7)	2.58	0.72	2.17	0.83	1.79	0.78
<b>Série 2 (brassée)</b>						
. BC150 (pH ≥ 12)	1.70	0.51	0.94	0.35	0.92	0.27
. BC75 (pH 8-9)	2.90	0.45	1.92	0.45	2.26	0.52
. BC0 (pH 6-7)	2.91	0.71	1.64	0.75	2.17	0.59

<sup>(1)</sup> Evaluation de l'intensité, de l'irritation et de la qualité d'odeur selon une échelle croissante (0 à 5).

#### 5.4 Considérations technico-économiques

Cette section présente les faits saillants pouvant être généralisés à partir de l'étude de cas réalisée dans le cadre du présent projet. En effet, bien que l'étude de cas a été réalisée dans le contexte d'un abattoir de porcs particulier, plusieurs informations peuvent, moyennant leur adaptation, être appliquées à la majorité des établissements similaires d'abattage.

Tout d'abord, plusieurs options s'offrent à l'abattoir pour le chaulage des boues liquides provenant d'un système de prétraitement physico-chimique. Selon l'option considérée, la chaux (lait de chaux préparé à partir de la chaux hydratée) peut être ajoutée à différents endroits de la filière de traitement (ligne d'amenée des boues brutes, structure de réception de ces boues à l'usine, fosse d'entreposage au champ, etc.). Cependant, l'ajout de lait de chaux directement sur la ligne d'amenée des boues s'avère plus pratique puisque le procédé peut être facilement mécanisé et la chaux proportionnée suivant l'arrivage des boues.

L'installation d'une filière de chaulage à l'abattoir comprend des équipements pour l'entreposage et la manipulation de la chaux, la préparation du lait de chaux (bassin de préparation, mélangeur à hélices, pompes, etc.) ainsi que des équipements divers (ventilation, quincaillerie, etc.). Les espaces disponibles à l'abattoir peuvent être aménagés à cette fin. De plus, l'opération de cette filière pourrait être confiée aux techniciens de l'abattoir.

D'autre part, une conclusion importante de l'étude veut que l'ensemble du contenu de la fosse soit maintenu à un pH de l'ordre de 12, ce qui implique que l'ensemble des produits qui y est entreposé doit être chaulé. Afin de diminuer les coûts reliés au stockage et à l'achat de la chaux, il peut être avantageux pour l'établissement de concentrer les activités de chaulage aux boues uniquement et d'entreposer à un autre lieu, les produits qui ne nécessitent aucun chaulage tel que le lisier sédimenté des porcs à l'aire de réception.

Le chaulage des boues d'abattoirs intervient dans une optique de réduction du risque lié aux éléments pathogènes de ces boues. Puisque le chaulage diminue significativement ce risque, il permet une flexibilité et une plus grande liberté au moment de l'épandage au champ. Cependant, un minimum de surveillance doit quand même être appliqué. **Tout d'abord, il faut s'assurer que le contenu de la fosse soit maintenu à un pH adéquat (de l'ordre de 12). D'autre part, les bonnes pratiques d'utilisation du contenu fertilisant des boues doivent être appliquées, de sorte qu'un plan agronomique et une surveillance des lieux et de la méthode d'épandage devront assurer un minimum de contrôle.**

Le tableau 5.22 présente une évaluation des coûts associés au procédé de chaulage en supposant un volume de boues de 4500 m<sup>3</sup> environ. Il faut comprendre que des coûts définitifs ne peuvent être obtenus qu'à la suite de la production des plans et devis complets du procédé pour l'établissement visé.

Il faut également mentionner que chaque cas sera particulier suivant son contexte, les terres disponibles, etc. En effet, les coûts présentés au tableau 5.22 concernent uniquement le procédé de chaulage à l'abattoir et ne comprennent pas les frais inhérents à l'entreposage des boues. Advenant que l'établissement soit dans l'obligation de posséder ses propres installations de stockage, il faut nécessairement ajouter la construction de fosses permettant un entreposage adéquat. Ceci influencera donc les coûts totaux associés à la filière de valorisation des boues.

**Ce tableau révèle que les investissements de départ seraient de l'ordre de 35 000\$, en plus des coûts des structures d'entreposage. Les coûts annuels d'opération, quant à eux, sont évalués à environ 15 000\$. Les coûts d'épandage seraient supportés par l'agriculteur en compensation pour la valeur fertilisante et la chaux.**

Enfin, il faut examiner la situation du chaulage à l'intérieur des possibilités qui s'offrent à l'abattoir pour ce type de produit. Actuellement, une des avenues

suggérées pour ce produit consiste à traiter les boues au fondoir. Etant donné qu'il s'agit d'un produit contenant 92% d'eau, le coût associé à ce procédé est onéreux puisqu'il se situe entre 50 et 80\$/m<sup>3</sup> de boue. La disposition au fondoir peut donc facilement représenter des coûts annuels de l'ordre de 150 000\$ à 250 000\$ pour un établissement représentatif. **En examinant les coûts au tableau 5.22, on se rend compte que le chaulage et la valorisation des boues en agriculture permettent, en plus de l'aspect récupération et recyclage, des économies plus que substantielles par rapport aux autres alternatives possibles.** Enfin, les coûts associés à la gestion des boues pourraient être influencés par la décision de déshydrater les boues d'abattoirs avant leur entreposage et leur valorisation. Cependant, cet aspect déborde du cadre de la présente étude.

**TABLEAU 5.22: EVALUATION PRELIMINAIRE DES COÛTS DE CHAULAGE**

<b>PROCEDE DE CHAULAGE A L'ABATTOIR</b>	
<u>Entreposage et manipulation de la chaux</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Achat de super-sacs (750 kg)</li> <li>- Appareil de vidange des sacs</li> </ul>	3,500\$
<u>Préparation du lait de chaux</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassin de préparation</li> <li>- Mélangeur à hélice</li> <li>- Pompe</li> <li>- Tuyauterie et quincaillerie</li> <li>- Contrôles et électricité</li> </ul>	10,000\$
<u>Autres équipements</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilation</li> </ul>	1,000\$
<u>Main-d'oeuvre spécialisée</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Electricien</li> <li>- Plombier</li> <li>- Ingénieur (plans et devis)</li> </ul>	10,000\$
<u>Contingence et taxes (30%)</u>	7,500\$
<b>INVESTISSEMENT DE DEPART</b>	<b>32,000\$</b>
<u>Frais à incidence annuelle</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Achat de la chaux (90 t x 100\$)</li> <li>- Plan agronomique, surveillance des conditions de pH, suivi au champ, etc.</li> </ul>	9,000\$  <u>4,000\$ - 7,000\$</u>  13,000\$ - 16,000\$

## 6. DISCUSSION

Naturellement, les boues d'abattoirs non stabilisées, à l'instar des boues de fosses septiques et des boues brutes en provenance des stations d'épuration, fermentent de façon incontrôlée, provoquant ainsi des dégagements d'odeurs nauséabondes. En effet, selon la littérature et, plus près de nous, selon des résultats d'analyses obtenus par le MENVIQ, le pouvoir fermentescible de ces boues est relativement élevé puisque les solides volatils y représentent près de 85% des solides totaux (MENVIQ, 1989). D'ailleurs, tant les opérateurs des systèmes de prétraitement aux deux abattoirs visités que le consultant UDA ont remarqué une fermentation très active et des dégagements d'odeurs intenses en moins de trois jours suivant la production des boues.

D'autre part, presque toutes les littératures et personnes consultées indiquent que plusieurs organismes pathogènes pourraient se retrouver dans les boues d'abattoirs. **Par conséquent, l'utilisation de ces boues non stabilisées sur des terres agricoles présente un risque potentiel pour l'hygiène du milieu, particulièrement en ce qui concerne la dissémination des organismes pathogènes dans l'environnement.**

L'opération de valorisation agricole devrait donc être gérée de façon à minimiser ce risque, tout en optimisant la valeur fertilisante de ces boues, le tout, au moindre coût possible. Dans cette optique, la valorisation agricole des boues d'abattoirs devrait être abordée en tenant compte du concept de gestion totale du risque, c'est-à-dire de l'abattoir jusqu'à la récolte. Un tel concept de gestion totale du risque implique les principes suivants, en tout ou en partie, combinées ou non (Pike, 1991; Havelaar, 1991):

- i) restrictions sur l'utilisation des boues;
- ii) décontamination des boues avant l'épandage;
- iii) respect des critères de bonnes pratiques relatifs à l'épandage;
- iv) restrictions sur l'utilisation et l'accès aux sites d'épandage.

Dans ce contexte, suivant l'abaissement du risque recherché et la situation possible à l'entreposage et aux champs, les efforts peuvent être appliqués, soit à l'hygiénisation et à la stabilisation de la boue uniquement (item ii); soit à une gestion très restrictive de

l'entreposage et de la valorisation agricole (items i et iv); soit à des proportions variables des deux énoncés précédents.

Tel que mentionné précédemment, les procédés PSRP (e.g., digestion, chaulage) permettent de réduire de façon importante les microorganismes présents dans les boues, sans toutefois les éliminer tous complètement. Par contre, les procédés PFRP (e.g., traitement thermique, pasteurisation) permettent de réduire tous les microorganismes en deçà des seuils de détection, mais à des coûts relativement élevés. Le présent projet a montré que malgré que le compte bactérien était encore élevé suite au procédé de chaulage, **la majorité des indicateurs biologiques et les principaux organismes "pathogènes", quant à eux, étaient réduits à des niveaux non détectables sinon nuls.**

**De façon à réduire les risques, à ce jour, la "pratique courante" a été d'utiliser les procédés de type PSRP, de concert avec certaines restrictions relativement à l'utilisation des boues et à l'accès aux sites d'épandage.** Cette approche permet de réduire les risques sanitaires et le potentiel de contamination de l'environnement à des niveaux jugés acceptables (U.S. EPA, 1989; Havelaar, 1991). Pour des raisons économiques, cette situation devrait persister dans l'avenir.

Les membres du groupe de travail no 3 de la CEE sur la valorisation agricole des boues (aspect relatif à l'hygiène du milieu, programmes COST 68/COST681) ont conclu que: "économiquement et pratiquement, un niveau de zéro-risque ne peut pas être atteint, bien qu'il pourrait l'être techniquement", et "la définition de seuils sécuritaires pour la valorisation agricole des boues est difficile à réaliser, et ces seuils ne peuvent pas être exprimés en termes absolus, mais pourraient dépendre de divers facteurs économiques, techniques et géographiques" (Pike, 1991).

Ainsi, selon les directives européennes, **les risques pour la santé humaine et animale peuvent être minimisés en ne permettant que l'épandage de boues traitées <sup>(10)</sup> et en respectant les critères de bonnes pratiques mises en place (Pike et Carrington, 1986).**

Cependant, les experts européens ne présentent pas de définitions exactes du seuil sécuritaire des divers pathogènes, compte tenu de la complexité de cet aspect. **Ils présentent plutôt, à l'instar des experts de l'EPA, une approche à suivre, afin de gérer les risques pour l'hygiène du milieu, de façon à les minimiser.**

**En conclusion, l'opération de valorisation agricole des boues devrait être abordée en tenant compte du concept de gestion du risque.** L'emphase devrait être mise sur l'utilisation optimale des boues tout en respectant les critères de bonnes pratiques établis par les autorités locales. La décision concernant le procédé de traitement à utiliser devrait tenir compte de l'utilisation agricole envisagée des boues, de même que des aspects techniques et économiques pour le producteur de boues. **La gestion du risque devrait donc être réalisée, d'une façon telle qu'elle pourrait optimiser les besoins des producteurs de boues, ceux des utilisateurs potentiels et les exigences de la population avoisinante.**

Pour appliquer un tel concept, il faut d'abord examiner les caractéristiques propres au milieu québécois. Tout d'abord, la valorisation agricole impliquera des superficies de sol en culture non négligeables. L'application de mesures très restrictives à l'accès aux champs et les besoins de contrôle et de surveillance qu'elle exigerait, font en sorte que cette avenue (extrêmes restrictions aux champs) est peu pratique dans le contexte québécois où les champs ont généralement un accès aux chemins publics et, où les sites d'épandage peuvent être différents d'une année à l'autre pour maximiser l'utilisation des éléments fertilisants des boues et assurer un temps de repos (sous forme de rotation) adéquat pour les superficies réceptrices. Si l'opération de valorisation ne nécessitait qu'une très petite superficie (ex: 1 à 3 ha), sur laquelle des boues seraient épandues

---

(10) Note: Le mot "traité" réfère à un procédé biologique, chimique ou physique permettant de réduire, "de façon significative", les pathogènes et le pouvoir fermentescible des boues.

année après année, la mise en place de contrôles strictes aux champs aurait pu être envisagée, mais tel n'est pas le cas.

D'autre part, cette proximité des chemins publics et la population qu'on y trouve, font en sorte que la gestion des odeurs est une composante non négligeable du contexte de valorisation des boues en milieu agricole. Il existe, bien sûr, certaines méthodes ayant le potentiel de diminuer les odeurs telles que l'ajout de paille ou de tourbe en surface de la structure d'entreposage. Cependant de telles mesures ne diminuent pas le risque environnemental relié aux pathogènes.

**En conséquence, le traitement des boues (stabilisation ou hygiénisation) doit être envisagé et bien qu'il existe plusieurs procédés disponibles, la phase II du présent projet démontre que le traitement à la chaux apparaît avantageux, tant aux niveaux technique, économique, qu'environnemental, pour le producteur de boues, le producteur agricole et les résidents avoisinants.**

Le traitement à la chaux a le potentiel de réduire drastiquement la plupart des organismes pathogènes et indicateurs biologiques et d'arrêter le processus de putréfaction, si le pH est maintenu à plus de 12.0.

Par conséquent, tel que la littérature le laissait entrevoir, le niveau de dégagement d'odeurs peut être altéré de façon significative. Les résultats de l'étude démontrent que le chaulage des boues réduit de 3 à 5 fois les dégagements d'odeurs nauséabondes. Bien que l'approche scientifique a permis de dégager l'ordre de grandeur, la réduction des odeurs était déjà un fait indéniable remarqué par les techniciens ayant procédé aux diverses manipulations des boues en cours de projet.

**Dans le contexte de gestion totale du risque et des conditions de l'agriculture québécoise, il est recommandé de mettre l'accent sur le contrôle de la qualité des boues (hygiénisation) et permettre ainsi un certain relâchement de la gestion aux champs, favorisant ainsi la viabilité à long terme de l'organisation mise en place. Une**

telle méthodologie devrait aussi permettre au producteur de boue une plus grande flexibilité dans le choix des lieux d'épandage.

Le MENVIQ publie depuis quelques années, un "Guide des bonnes pratiques" concernant la valorisation agricole des boues issues des stations d'épuration des eaux usées municipales. Ce guide présente diverses restrictions qui visent la préservation et/ou la protection du sol, des plantes, des animaux et des humains, contre les risques pouvant être générés par des teneurs trop élevées en organismes pathogènes, de même que par des apports trop importants en métaux lourds.

Sur la base des critères du guide tel qu'appliqué aux boues municipales, le présent projet démontre le haut niveau d'hygiénisation qu'un chaulage adéquat  $\geq$  ( $\text{pH} \geq 12.0$ ) a pu permettre. De plus, les caractéristiques physico-chimiques des boues d'abattoirs chaulées, notamment leur contenu en métaux lourds, combiné à l'état hygiénisé du matériel, font en sorte que ces boues représentent un niveau de risque global inférieur à celui des fumiers et lisiers, de même qu'à celui des boues des stations municipales.

Cependant, les risques associés aux boues à l'état brut (non chaulées) incitent à proposer une saine prudence. D'autre part, une utilisation rationnelle du produit et une gestion adéquate du risque impliquent que toute l'activité se doit d'être surveillée et contrôlée de façon professionnelle, ce qui permet également de retracer diverses activités réalisées.

**Dans ce contexte, les boues d'abattoirs chaulées devraient être assujetties à la majorité des critères de bonnes pratiques mentionnées dans le guide des boues municipales du MENVIQ, en prenant soin d'alléger, de modifier ou supprimer certaines restrictions, sur la base qu'elles sont indûment trop restrictives ou inappropriées, compte tenu des caractéristiques des boues d'abattoirs.**

**Enfin, on ne peut trop insister sur le besoin d'un contrôle professionnel (suivi technique, plan agronomique, tenue de registres d'épandage, etc.) dans le but de**

**s'assurer que les conditions du milieu sont maintenues et que les bonnes pratiques d'épandage sont appliquées <sup>(11)</sup>.**

---

(11)

Cette recommandation est basée sur l'étude des boues d'abattoirs de porcs et de volailles. Cependant, cette même approche de gestion pourrait être probablement appliquée à tout type de boues similaires (ex.: abattoirs de boeufs, de chevaux, etc.).

## 7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'analyse des informations présentées dans ce rapport permet les conclusions suivantes:

### Phase I - Revue de littérature

- CO-1** Les organismes pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs appartiennent à quatre groupes microbiologiques, soit: les bactéries, les virus, les helminthes et les protozoaires. Cependant, les bactéries sont les agents pathogènes les plus susceptibles d'être rencontrés dans ces boues.
- CO-2** L'utilisation des boues d'abattoirs non stabilisées sur des terres agricoles présente un risque potentiel pour l'hygiène du milieu, particulièrement en ce qui concerne la dissémination des organismes pathogènes dans l'environnement. Cependant, le degré de ce risque dépend de plusieurs facteurs tels que le nombre et le type de pathogènes présents dans les boues, les doses d'épandage, le climat, l'état de santé du sujet exposé, etc.
- CO-3** Les boues d'abattoirs non stabilisées, à l'instar des boues de fosses septiques et des boues brutes en provenance des stations d'épuration, fermentent de façon incontrôlée, provoquant ainsi des dégagements d'odeurs nauséabondes. Le pouvoir fermentescible de ces boues est relativement élevé puisque les solides volatils y représentent près de 85% des solides totaux.
- CO-4** Les procédés de stabilisation tels la digestion anaérobie, le compostage, le chaulage, etc., permettent de réduire le pouvoir fermentescible des boues d'abattoirs et par conséquent, le dégagement d'odeurs nauséabondes. Selon le procédé utilisé, la stabilisation permet également de réduire de façon plus ou moins importante le nombre de pathogènes présents dans ces boues.

Phase II - Banc d'essais

- CO-5** Le chaulage des boues d'abattoirs à une dose égale ou supérieure à 150 kg CaO-équ./tms, permet de maintenir un pH de l'ordre de 12 pendant plusieurs semaines. Par conséquent, il est plus que probable qu'un tel niveau de pH pourra se maintenir sur une période d'entreposage de plusieurs mois.
- CO-6** Le chaulage des boues d'abattoirs amène une réduction drastique des principaux indicateurs biologiques et organismes pathogènes et assure donc une excellente hygiénisation de ces boues.
- CO-7** Le chaulage, lorsqu'il maintient un pH de l'ordre de 12.0, réduit de façon significative (3 à 5 fois) les dégagements d'odeurs nauséabondes.
- CO-8** Les résultats d'analyses obtenus indiquent que la valorisation agricole des boues d'abattoirs, lorsque chaulées, représente un intérêt agronomique certain, tant au niveau des apports en éléments fertilisants, en matière organique, qu'en amendement calcaire.
- CO-9** La teneur des boues d'abattoirs (chaulées ou non) en métaux lourds se trouve bien en deçà des valeurs maximales souhaitables établies par le MENVIQ. Sur cette base, ces boues peuvent donc être considérées comme aptes à la valorisation agricole. De plus, la teneur de ces boues en métaux lourds est équivalente, sinon inférieure à celle des fumiers et des lisiers.
- CO-10** Les quantités de fer qui pourraient être apportées par l'épandage des boues d'abattoirs sont relativement faibles par rapport à celles qui sont déjà présentes dans les sols à l'état naturel. Ces apports ne devraient donc pas augmenter de façon significative les risques de colmatage des drains agricoles. Cependant, un suivi agronomique minimal devrait accompagner l'opération de valorisation, afin de contrôler ce risque.

**CO-11** Le chaulage des boues d'abattoirs s'avère techniquement et économiquement faisable pour les abattoirs.

Les conclusions présentées précédemment permettent les recommandations suivantes:

- R-1** L'opération de valorisation agricole des boues d'abattoirs devrait être abordée en tenant compte du concept de gestion totale du risque. A cause des difficultés qu'apporte une gestion trop stricte aux champs, ce concept favorise plutôt de concentrer les efforts sur le traitement des boues, d'autant plus si les odeurs représentent une considération importante. De cette façon, il est possible de minimiser les risques pour l'hygiène du milieu, tout en optimisant la valeur fertilisante de ces boues, le tout au moindre coût possible.
- R-2** Il est recommandé que toutes boues issues des systèmes de prétraitement des abattoirs de porcs et de volailles soient stabilisées par chaulage lorsque la valorisation agricole est envisagée afin de diminuer les risques associés à la propagation des pathogènes et la production d'odeurs nauséabondes. Dans tous les cas, des prétests devraient cependant être réalisés afin de préciser les doses de chaux à utiliser.
- R-3** Compte tenu de l'origine des boues d'abattoirs, compte tenu de leurs caractéristiques physico-chimiques en termes de métaux lourds et d'éléments fertilisants, et lorsque ces boues sont adéquatement chaulées et gérées en milieu agricole, il est recommandé qu'elles soient assujetties aux mêmes règles que les boues d'épuration municipales, en allégeant, modifiant ou supprimant certaines restrictions pouvant être jugées inappropriées au cas particulier des boues d'abattoirs.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

Agriculture Canada. Direction générale de la production et de l'inspection des aliments, 1990. Objectif salubrité. Bulletin # 15.

Asselin, R., 1985. Le colmatage des réseaux de drainage souterrain par l'hydroxyde de fer; une revue de littérature. Présentée au 12e Colloque du génie rural sur la recherche en drainage souterrain.

Association pour l'Etude de l'Epidémiologie des Maladies Animales (A.E.E.M.A.) 1985. Epidémiologie et santé animale. Bulletin publié par l'A.E.E.M.A. avec l'aide de la Fondation Marcel Merieux.

Bertoldi, M., Civilini, M. and Manzano, M., 1991. Sewage sludge and agricultural waste hygienization through aerobic stabilization and composting. In Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes. Ed. P. L'Hermite, Commission of the European Communities, Elsevier Applied Science.

Black and Veatch, 1989. Sludge regulations update. Issue no 2.

Block, J.C., 1982. A review of some problems related to epidemiological studies. In Biological health risks of sludge disposal to land in cold climates. Ed. Wallis, P. and Lehman, D. University of Calgary Press.

Brady, N.C., 1984. The nature and properties of soils. Ninth Edition. Macmillan Publishing Company.

Byerly, N.S., 1989. Land application of daf sludge. In Proceedings of the 1989 Food Processing Waste Conference, Atlanta, Georgia. Georgia Tech Press Publication.

Eikum, A.S., 1979. Lime stabilization of sewage sludges. In Sludge characteristics and Behavior. Ed. Carberry, J. and Englande, J., Martinus Nijhoff Publishers.

Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement, 1985. L'épandage des eaux usées traitées et des boues d'épuration d'origine urbaine. Guide SPE 6-EP-84-1

Environment Canada, Environmental Protection Service, 1976. A bacteriological investigation of meat and poultry packing plant effluents with particular emphasis on salmonella. EPS 3-WP-76-9.

European Economic Community (EEC). Council directive of 12 June 1986 on the protection of the environment and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC). Official Journal of European Communities, No L181, 4 July 1986, pp. 6-12.

Farell, J.R. 1979. Processes to Significantly Reduce Pathogens: Aerobic Digestion. In house Report submitted to E. Lazar, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. 30 July 1979.

Findlay, C.R., 1972. The persistence of *Salmonella* dublin in slurry, in tanks and on pasture. *The Veterinary Record*, 91, 233-235.

Friendship, R., Ontario Veterinary College, University of Guelph. Communications personnelles, 1991.

Genigeorgis, C. Hassuneh, M., Collins, P. 1986. *Campylobacter jejuni* infection on poultry farms and its effects on poultry meat contamination during slaughtering. *J. of Food protection*, Vol. 49, No. 11, 895-903.

Hamparian, V.V., Ottolenghi A.C., and Hughes J.H. (1982). Viral infections in farmers exposed to sewage sludge. *Abstracts of the Annual Meeting of the American Society for Microbiology*, p. 211.

Hampson, R.J., Veterinary and Laboratory Services, University of Guelph. Communications personnelles, 1991.

Havelaar, A. H., 1991. Pathogens in sewage sludge: An EC perspective. In *Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes*. Ed. P. L'Hermite, Commission of the European Communities, Elsevier Applied Science.

Havelaar, A.H. and Bruce, A.M. 1982. Disinfection of sewage sludge. An enquiry among member countries of the EEC and some other countries. In: *Disinfection of sewage sludge: technical, economic and microbiological aspects*. Ed. A.M. Bruce, A.H. Havelaar and P. l'Hermite, pp. 245-252. Dordrecht, D. Reidel, 1982.

Higgins, R. 1991. La leptospirose. Présenté à la réunion semi-annuelle de l'Association des médecins microbiologistes infectiologues du Québec, Janvier 1991. Montréal.

Ilsoe, B., Kyvsgaard, N., Henriksen, S.A. and Nansen, P. 1991. *Taenia Saginata* and bovine cysticercosis in Denmark - A review of the present epidemiological situation with special regard to the potential risk of spreading tapeworm eggs through sewage sludge. In *Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural waster*. Ed. P. L'Hermite, Commission of the European Communities, Elsevier Applied Science.

Jones, F., Godfree, A.F., Rhodes, P. and Watson, D.C. 1982. *Salmonella* and sewage sludge - microbiological monitoring, standards and control in disposing sludge through agricultural land. In *Biological health risks of sludge disposal to land in cold climates*. Ed. Wallis, P. and Lehman, D. University of Calgary Press.

Jones, B.W. and Petitgout, G. 1989. In-House sludge management for poultry waste utilizing land application: A case study. In *Proceedings of the 1989 Food processing waste conference*, Atlanta, Georgia. Georgia Tech Press Publication.

Kuntze, H., 1978. Iron Clogging - Diagnosis and Therapy. In the *Proceeding of the International Drainage Worksop*. Publication 25, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, pp. 452-467.

- Lehmann, D.L., and Wallis, P.M., 1982. Summary of the bacteriological and fungal aspects of the land disposal of sludge. In *Biological health risks of sludge disposal to land in cold climates*. Ed. Wallis, P. and Lehman, D. University of Calgary Press.
- Liebmann, H. 1964. Parasites in sewage and the possibilities of their extinction. *Adv. Water. Poll. Res.* 2:269-276.
- Mafu, A., Higgins, R., Nadeau, M. and Cousineau, G. 1989. The incidence of *Salmonella*, *Compylobacter*, and *Yersinia enterocolitica* in swine carcasses and the slaughterhouse. *Environment. J. of Food Protection*, Vol. 52, No. 9, 642-645.
- MENVIQ, 1991. Guide de bonnes pratiques. Valorisation agricole des boues de stations d'épuration des eaux usées municipales.
- MENVIQ, 1989. Résultats d'analyses de boues d'abattoirs de porcs et de volailles.
- MENVIQ, 1988. Guide sur la gestion des boues de fosses septiques.
- Moore, C., Higgins, R. et Gauthier, R. 1991. Pathogènes susceptibles d'être présents dans les boues d'abattoirs de porcs et de volailles. Rapport préparé dans le cadre de l'étude "Chaulage et valorisation des boues d'abattoirs", pour Urgel Delisle et Associés.
- Mustin, M. 1987. *Le Compost: gestion de la matière organique*. Editions François Dubusc, Paris.
- Nansen, P. and Henriksen, 1986. The epidemiology of bovine cysticercosis in relation to sewage and sludge application to farmland. In *Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge: Knowledge and needs*. Ed. Block, Havelaar and L'Hermite.
- Oerke, D.W. 1989. The Role of lime stabilization processes in wastewater processing and disposal. Presented at the National Lime Association Seminar, Alexandria, Virginia. June 7-8. 1989.
- Pancorbo, O.C. and Barnhart, H.M., 1989. Microbiological characterization of raw and treated poultry processing wastewater and sludge: Preliminary assessment of suitability for land application. In *proceedings of the 1989 Food processing waste conference*, Atlanta, Georgia, Georgia Tech. Press Publication.
- Pedersen, D.C., 1982. Effectiveness of sludge treatment processes in reducing levels of bacteria, virus and parasites. In *Biological health risks of sludge disposal to land in cold climates*. Ed. Wallis, P. and Lehman, D. University of Calgary Press.
- Pike, E. 1991. Risk assessment of the occurrence of pathogens in sewage sludge and effluents from livestock. In *Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes*. Ed. P. L'Hermite, Commission of the European Communities, Elsevier Applied Science.

Pike, E.B. and Carrington, E.G. (1986). Stabilization of sludge by conventional and novel methods - a healthy future. In Symposium on the agricultural use of sewage sludge. Ed. P. L'Hermite and H. Ott., D. Riedel Publishing Co., Dorchecht.

Prestwood, A.K. 1980. Disease transmission in wild animals from sludge-amended land. In: Sludge-Health risks of land application. Ed. Bitton, G., Damron, B.L., Edds, G.T. and Davidson, J.M., Ann Arbor Science Publishing Inc., Ann Arbor, Michigan.

Reilly W. J., 1981. Human and animal salmonellosis in Scotland associated with environmental contamination, 1973-79. *The Veterinary record*, 108, 553-555.

Reimers, R.S., Leftwich, D.B., Englande, A.J., Little, M.D., Bowman D.D. and Wilkinson R.F., 1979. Fate of parasite in sewage sludge. In *Sludge characteristics and behavior*. Ed. Carberry, J. and Englande, J., Martinus Nijhoff Publishers.

Riemers, R.S., Little, M.D., Leftwich, D.B., Bowman, D.D., Englande, A.J. and Wilkinson, R.F. 1979. Investigation of parasite in southern sludges and disinfection by standard sludge treatment processes. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.

Riemers, R.S., Little, M.D., Englande, A.J., Leftwich, D.B., Bowman, D.D. and Wilkinson, R.F., 1980. Parasites in Southern Sludges and Disinfection by Standard Sludge Treatment. In preparation, EPA Grant No. R-805-107-01, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. 190 pp.

Régimbald, R., 1991. Rapport sur les condamnations de porcs et de volailles au Québec en 1990. Agriculture Canada, Direction générale de la production et l'inspection des viandes, Ottawa.

Renieri, G., Rindi, S., Gerri, D. and Lazzorini, L., 1988. Investigation on salmonella spp., Yersinia enterocolitica and thermophilic campylobacters in effluent from cattle and pig farms and public and private abbatoirs. *Rivista Italiana d'Igiene*, 48: 1/2, 29-54.

Rubin, R. North Carolina State University. Extension Service. Communications personnelles, 1991.

Sekla, L., Wallis, P.M. and Lehmann, D. 1982. Summary of the parasitological aspect of the land disposal of sludge. In *Biological health risks of sludge disposal to land in cold climates*. Ed. Wallis, P. and Lehman, D. University of Calgary Press.

Smart, J.L., Roberts, T.A., Stringer, M.F. and Shah, N. 1979. The incidence and serotypes of clostridium perfringens on beef, pork and lamb carcasses. *Journal of Applied Bacteriology*, 1979, 46, 377-383.

Smeltzer, T.I. 1981. Isolation of campylobacter jejuni from poultry carcasses. *Australian Veterinary Journal*, Vol. 75, November 1981.

Sorber, C.A. 1982. Public health aspects of agricultural reuse applications of wastewater. *American Society of Chemical Engineers Newsletter*, n° 57, pp.4-13.

Taylor, R.J. and M.R Burrows. 1971. The survival of *Escherichia coli* and *Salmonella dublin* in slurry on pasture and the infectivity of *S. dublin* for grazing calves. Brit. Vet. J. 127:530-543.

Todd, Dr., Santé et Bien-être Canada, Ottawa. Communications personnelles, 1991.

UDA, 1992. Étude de cas: Abattoir Bienvenue de St-Valérien. Réalisée dans le cadre de l'étude de faisabilité sur le chaulage et la valorisation agricole des boues d'abattoirs au Québec.

UDA, 1990. Recherche sur les effets d'entreposage des boues d'épuration et comparaison des valeurs fertilisantes des boues liquides versus les boues déshydratées. Phase 3: essais en parcelles au Québec.

U.S. Environmental Protection Agency (1989). Environmental regulations and technology. Control of pathogens in municipal wastewater sludge. EPA/625/10-89/006. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.

U.S. Environmental Protection Agency (1983). Process design manual: Sludge treatment and disposal. EPA 625/1-83-016. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.

U.S. Environmental Protection Agency (1979). Process design manual. Sludge treatment and disposal. EPA 625/1-79-011. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.

Westphal, A. and Christensen, G.L. (1983). Lime stabilization: Effectiveness of two process modifications. Journal Water Pollution Control Federation, 55, 1381.

Williams, B. M. 1975. Environmental considerations in salmonellosis. Veterinary Record, 96, 318-321.

Youmans, G.P., Paterson, P.Y., and Sommers, H.M. 1985. The biological and clinical basis of infectious diseases, third edition. W.B. Saunders Company, Philadelphia.

Le 15 avril 1992

## **ANNEXES**

**ANNEXE A**  
**PATHOGÈNES RETROUVES DANS LES BOUES D'EPURATION MUNICIPALES**  
**ET LES BOUES DE FOSSES SEPTIQUES**

## PATHOGENES RETROUVES DANS LES BOUES D'EPURATION MUNICIPALES

TYPES D'ORGANISMES	PATHOGENES	TEMPS DE SURVIE DANS LE SOL (mois)	MALADIES
Bactéries	<i>Salmonella</i> <i>Mycobacterium</i> <i>Shigella</i> <i>Echerichia coli</i> <i>Leptospira</i>	jusqu'à 10 jusqu'à 6  jusqu'à 8	fièvre typhoïde et salmonellose tuberculose shigellose et dysenterie gastro-entérite
Virus	Entérovirus Poliovirus Adenovirus Virus de l'hépatite	jusqu'à 3	polio, méningite et gastro-entérite maladie respiratoire aiguë hépatite
Protozoaires	<i>Toxoplasma</i> <i>Giardia</i>		toxoplasmose giardiase
Nématodes (vers ronds)	<i>Ascaris</i> <i>Toxocara</i>	jusqu'à 84	ascariase larves migratoires dans les viscères
Cestodes (vers plats)	<i>Taenia</i>	3 à 12 (pâturage)	taeniase (ver solitaire)

Source: MENVIQ, 1991

## PATHOGENES RETROUVES DANS LES BOUES DE FOSSES SEPTIQUES

PARAMETRES	FOURCHETTES (DENOMBREMENT/100 ml)
Coliformes totaux	$10^7 - 10^9$
Coliformes fécaux	$10^6 - 10^8$
Streptocoques fécaux	$10^6 - 10^7$
<i>Ps. Aeruginosa</i>	$10^1 - 10^3$
<i>Salmonella Sp.</i>	$1 - 10^2$
Parasites  <i>Toxacara, Ascaris, Lumbricoides, Trichuris Trichiura, Trichuris Vulpis</i>	Présents

Source: MENVIQ, 1988.

**ANNEXE B**  
**LETTRES DES COLLABORATEURS**



# Dr CAMILLE MOORE

MÉDECIN VÉTÉRINAIRE

2505 Place Gullbault, Saint-Césaire (Québec) J0L 1T0 TEL.: (514) 489-2171

St-Césaire, le 22 novembre 1991

Monsieur Elie Kodsi, M.Sc. Agr.  
**URGEL DELISLE & ASSOCIES**  
Ingénieurs Consultants en Agriculture  
426, chemin des Patriotes  
St-Charles-sur-Richelieu, Qc  
J0H 2G0

---

OBJET: CHAULAGE ET VALORISATION AGRICOLE DES BOUES D'ABATTOIR  
Phase 1 - Mandat d'étude  
Votre dossier: 91-2250

---

Cher Monsieur Kodsi,

Suite au mandat qui m'avait été confié par Monsieur Cournoyer pour le projet cité en rubrique, vous trouverez ci-inclus mon rapport et mes recommandations.

Pour l'élaboration de cette étude, j'ai contacté le Docteur Robert Higgins, Ph.D., microbiologiste à la Faculté de Médecine Vétérinaire de St-Hyacinthe, le Docteur Alain Villeneuve, Ph.D., parasitologiste à la Faculté de Médecine Vétérinaire de St-Hyacinthe ainsi que le Docteur Robert Gauthier, expert en production avicole à l'emploi de Nutribec Ltée.

Le rapport se divise en quatre sections soit: la première où je répons aux interrogations soumises; la deuxième contenant les informations fournies par le Docteur Higgins; la troisième contenant la copie du rapport fourni par le Docteur Gauthier; et finalement la quatrième contenant une copie de tous les articles consultés. En plus des articles contenus à la section 4, le livre "Diseases of swine" 6e édition de Leman et autres a été consulté.

Espérant que le tout sera à votre entière satisfaction, veuillez agréer, Monsieur Kodsi, mes sentiments les plus distingués.

DR CAMILLE MOORE  
Médecin vétérinaire



# Dr CAMILLE MOORE

MÉDECIN VÉTÉRINAIRE

2005 Place Guillaume I, Saint-Césaire (Québec) J0L 1T0 TEL.: (514) 485-8171

St-Césaire, 13 avril 1992

Monsieur Eile Kodsi, M.Sc. agr.  
**URGEL DELISLE ET ASSOCIÉS**  
426, Chemin des Patriotes  
Saint-Charles-sur-Richelieu, Qc  
J0H 2G0

---

**SUJET:** Étude de faisabilité: chaulage et  
valorisation des boues d'abattoirs

---

Monsieur Kodsi,

La présente fait suite à votre demande de vérification de la phase I de votre rapport portant sur la revue de littérature et l'identification des microorganismes à être sélectionnés pour la phase II du projet.

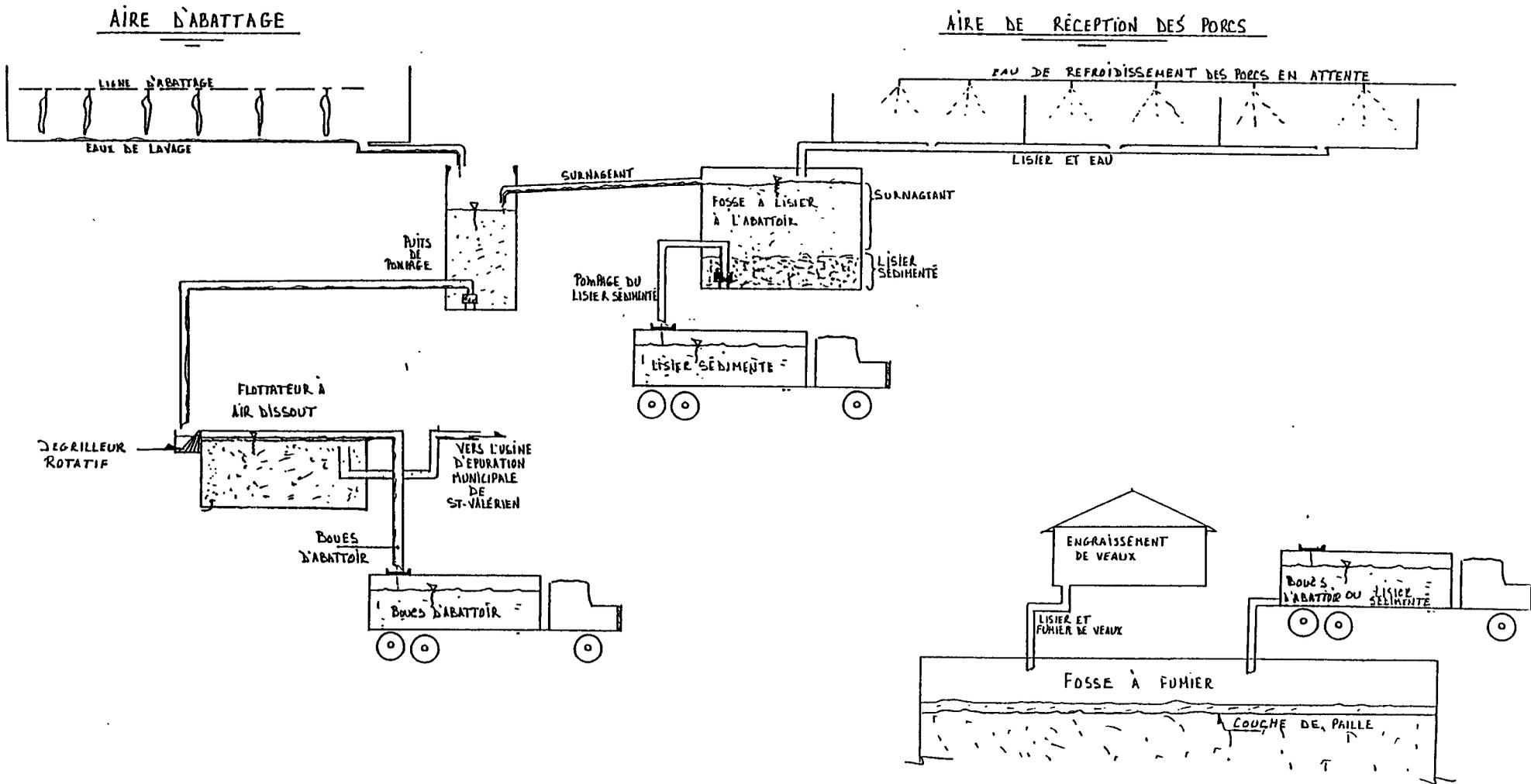
A défaut de signer l'ensemble de votre rapport puisque certains sujets outrepassent mon mandat et/ou mes qualifications professionnelles, par la présente, j'estime que les propos contenus dans le document que je vous ai présenté ont été rapportés et utilisés correctement et j'appuie les aspects microbiologiques présentés ou reliés à la phase I de votre rapport.

Veuillez agréer, Monsieur Kodsi, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

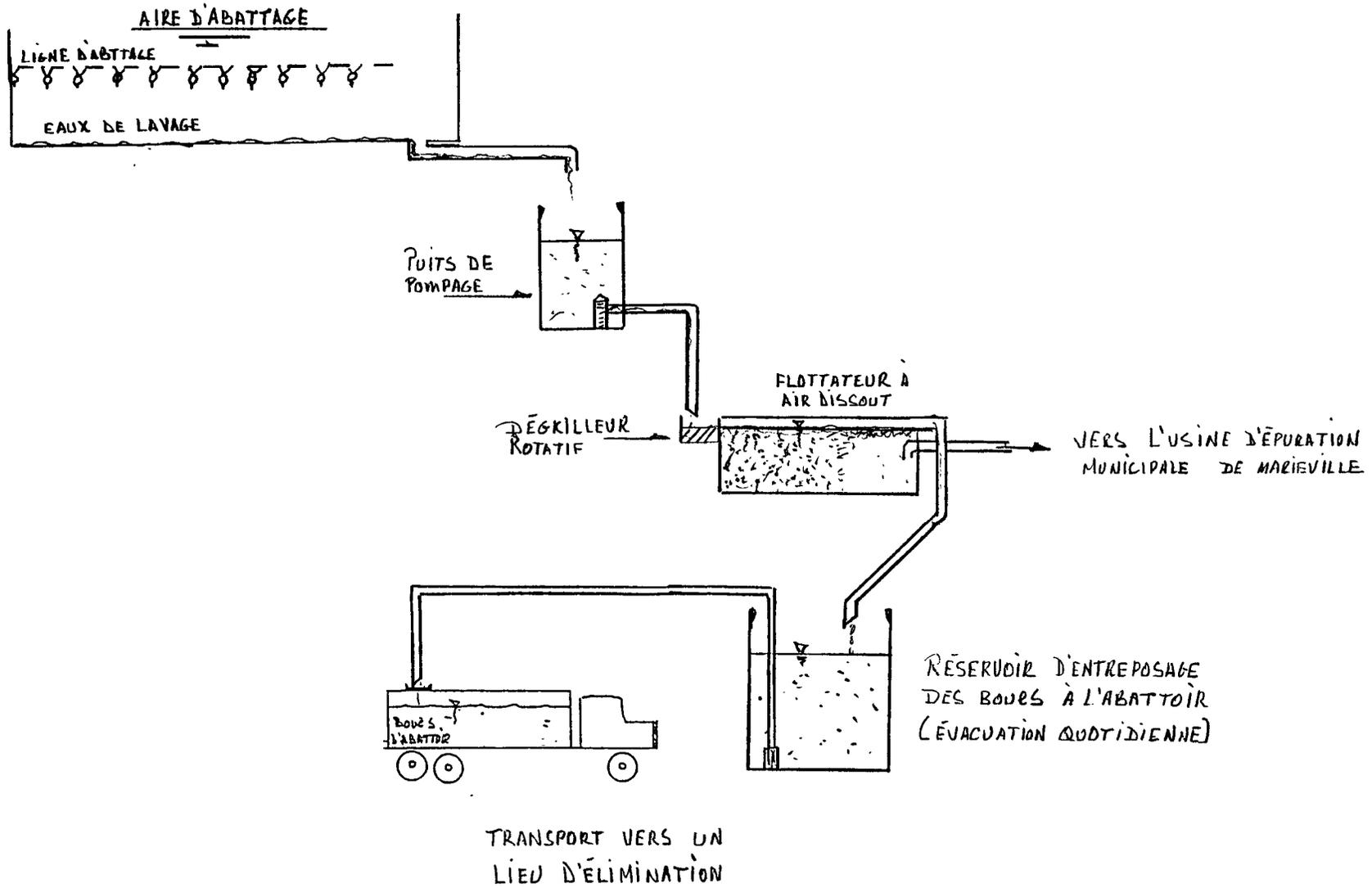
  
DR CAMILLE MOORE, M.V.

**ANNEXE C**  
**SCHÉMA D'ÉCOULEMENT DES BOUES AUX ÉTABLISSEMENTS ÉTUDIÉS**

SCHEMA D'ECOULEMENT DES EAUX USEES  
 ABATTOIR BIENVENUE: ST-VALERIEN



SCHEMA D'ECOULEMENT DES EAUX USEES  
ABATTOIR BEXEL, MARIEVILLE.



**ANNEXE D**  
**TESTS D'ODEURS**  
**METHODOLOGIE ET RESULTATS**

**MESURES PAR OLFACTOMÉTRIE ET FLAIRAGE  
DU DÉGAGEMENT D'ODEUR EN AIR CONFINÉ  
DE BOUES COMBINÉES D'ABATTOIRS BRUTES  
ET CHAULEES**

**RAPPORT FINAL**

**Dossier 91-2250**

présenté à

Eli Kodsi, M.Sc. Agronomie

de

**URGEL DELISLE ET ASSOCIÉS**

**426 Chemin de Patriotes**

**St -Charles sur Richelieu, Qc**

PAR

Lysane Lavoie, M.Sc. Environnement

de

**MÉTÉOGLOBE CANADA INC.**

**1601 Boul. St Régis**

**Dollard-Des-Ormeaux, Qc, H9B 3H7**

Dollard-Des-Ormeaux, le 24 mars 1992.

## TABLE DES MATIERES

1- Contexte.....	3
2- Mandat de mesure d'odeur.....	3
3- Protocole de simulation d'un réservoir rempli aux trois quarts de boues combinées .....	3
4- Protocole de mesure d'odeur proposé par Météoglobe.....	4
4.1 L'olfactomètre.....	5
5- Méthodologie de mesure d'odeur détaillée.....	6
5.1 Combinaison de la mesure olfactométrique et de flairage .....	7
5.2 Aménagement du site de mesure par Urgel Delisle et Associés.....	7
5.3 Sélection et entraînement du jury.....	7
5.4 Méthodologie de mesure avec jury.....	9
6- Sommaire et interprétation des résultats.....	10
6.1 Résultats de mesures olfactométriques.....	10
6.2 Résultats de mesures de flairage au-dessus des boues .....	11
6.3 Résultats sur l'évolution des paramètres ambiants durant l'évaluation des boues .....	13
6.4 Résultats additionnels de flairage en position assise autour des boues.....	13
7- Conclusion et recommandations .....	13
Liste des Figures et des Tableaux .....	16

## **1- Contexte**

Dans le cadre d'un mandat de recherche portant sur l'effet du chaulage sur les boues d'abattoirs, Urgel Delisle et Associés, avait proposé de procéder à une étude sur le dégagement d'odeurs de certains contenants de boue du banc d'essai. Urgel Delisle et Associés a alors mandaté Météoglobe Canada inc. sur la base de son expertise pertinente avec des produits connexes.

## **2- Mandat de mesure d'odeur**

Le mandat de Météoglobe Canada inc. a été de quantifier objectivement le niveau de nuisance olfactive de boues combinées d'abattoirs brutes, chaulées et vieilles de 4 semaines afin de permettre à Urgel Delisle et Associés d'évaluer les effets de la chaux sur le niveau de nuisance olfactive. Pour ce faire, il a été convenu de simuler divers cas de dégagement d'odeur de boues combinées, brutes, chaulées, brassées et non brassées et d'en mesurer la nuisance par un jury humain. La mesure de nuisance devait se faire sur la base d'évaluation sensorielle soit d'une façon objective par olfactométrie et d'une façon plus subjective au moyen d'échelles psychophysiologiques de flairage. Météoglobe devait utiliser une technologie et une méthodologie qu'elle avait développées dans le cadre d'un projet de mesure d'odeur en milieu rural subventionné par Environnement Québec.

Le mandat devait se terminer par la production d'un sommaire comparatif et une illustration graphique des résultats. Météoglobe devait interpréter les résultats et conclure sur le niveau de nuisance de boues mal chaulées et vieilles comparativement à celui de boues brutes ou parfaitement chaulées à pH12. L'effet aggravant du brassage sur le niveau de nuisance olfactive devait aussi être démontré. Météoglobe n'avait pas la responsabilité d'extrapoler ou d'anticiper le taux de nuisance "au champ" ni d'estimer les bienfaits ou rapport coûts/bénéfices environnementaux associés au chaulage des boues d'abattoirs préconisé par Urgel Delisle et Associés.

## **3- Protocole de simulation d'un réservoir rempli aux 3/4 de boues combinées**

Tous les cas de dégagement d'odeur ont été simulés à l'aide de chaudières de 20 litres échantillonnées depuis 4 semaines. Le jury humain se tenant au-dessus et autour des chaudières de boues devait simuler la population en bordure immédiate d'un réservoir. Le protocole de simulation de base était de comparer trois types: des boues brutes, des boues

(24/03/92)

**Météoglobe Canada inc.**

mal chaulées à pH 9 et des boues chaulées à pH 12. Le protocole visait également à simuler l'effet sur le dégagement d'odeur d'un brassage actif des boues dans un réservoir à ciel ouvert.

- Série 1:. Boues combinées brutes non brassées, " 0 Kg/tms " (pH 6-7), 20 C  
 Boues combinées mal chaulées non brassées, "75 Kg/tms " (pH9), 20 C  
 Boues combinées bien chaulées non brassées, "150 Kg/tms "(pH12), 20 C
- Série 2 Les mêmes boues brutes brassées, " 0 Kg/tms" (pH 6-7), 20 C  
 Les mêmes boues mal chaulées et brassées, "75 Kg/tms" (pH 9). 20 C  
 Les mêmes boues bien chaulées et brassées, "150 Kg/tms" (pH12), 20 C

La nuisance de ces boues devait être quantifiée en air confiné dans des conditions quasi constantes. Météoglobe a offert de faire un monitoring du taux d'émissions à la source mais celui-ci n'a pas été exigé. Les chaudières étaient introduites une à une dans l'enceinte et évaluées séparément.

#### 4- Protocole de mesure d'odeur proposé par Météoglobe

L'évaluation de la nuisance olfactive résulte de l'action combinée d'au moins 4 facteurs importants qui sont :

- 1- l'évaluation sensorielle d'exposition instantanée à l'intensité ambiante (olfactométrie)
- 2- l'évaluation sensorielle après exposition prolongée à l'odeur (flairage d'intensité)
- 3- l'évaluation sensorielle de l'irritation ou inconfort causé par surexposition (flairage d'irritation)
- 4- l'évaluation sensorielle du caractère désagréable de l'odeur (flairage de qualité d'odeur)

L'intensité est reconnue dans la littérature comme le facteur principal modulant la nuisance. L'olfactométrie à substance de référence fournit ces mesures **directes et objectives d'intensité** ambiante. Le flairage fournit quant à lui des **appréciations nominales et subjectives** de l'odeur qui sont du type dose/réponse. Par exemple, l'irritation des voies nasales se traduit par des maux de tête, de nez et de gorge alors que le caractère désagréable de l'odeur dépend des apprentissages et des conditionnements antérieurs de chacun et se traduit également par des nausées, maux de tête et réactions allergènes de toutes sortes.

L'évaluation **objective et comparative** de l'intensité par olfactométrie a été effectuée à hauteur fixe, soit à la hauteur normale d'une personne, à 95 cm au-dessus de la surface émettrice des chaudières. Les tests olfactométriques d'un jury de 5 personnes ont pris environ 1 heure par chaudière à raison de 10 minutes par individu.

Le flairage s'est fait en parallèle des tests olfactométriques à partir du même jury. Trois flaireurs s'amènent tous ensemble à 95 cm au-dessus de la chaudières de boues à peu près en même temps que l'autre membre du jury effectue ses tests olfactométriques. La fréquence du flairage debout est de 5 minutes. Pendant cet intervalle, les membres du jury doivent également flairer en position assise autour de la chaudière à une distance variable d'environ 75 cm de la source. Ils comparent leurs perceptions en position debout et assise et fournissent 2 mesures de flairage en même temps. Le flairage ne demande aucun appareillage.

#### **4.1 L'olfactomètre**

Météoglobe Canada a développé un olfactomètre pour mesurer l'intensité d'odeur qui est encore à l'état de prototype. Il avait toutefois subi une validation en air ambiant sur un site de porcherie à l'été 1991. Sa reproductibilité et sa fiabilité ont été vérifiées et démontrées dans un rapport soumis par Météoglobe au Ministère de l'Environnement du Québec en décembre 1991.

Le principe de base est de diluer une substance de référence dans l'air pur laquelle sert d'étalon de mesure pour quantifier l'intensité ambiante. On ramène ainsi l'évaluation variable de la nuisance extérieure à une même échelle de mesure livrée de façon constante. Un jury se voit administrer une série **inconnue** de courts stimuli de cette substance de référence qu'il compare brièvement à l'intensité ambiante. Entre deux tests, le membre du jury doit purger ses muqueuses nasales dans un cône inhalateur alimentant de l'air pur afin de ramener ses muqueuses à un niveau d'excitation zéro. Un seul membre du jury respire à la fois l'intensité au-dessus de la chaudière, la compare à celle de référence de l'olfactomètre et donne son évaluation (<,=,>) laquelle est ensuite enregistrée sur ordinateur par un opérateur. Après une succession de 6 ou 8 dilutions inconnues, le membre du jury se retire et une rotation du jury s'effectue. L'appareil muni de sondes de température et d'humidité relative enregistre également en continu toute fluctuation dans les conditions ambiantes de température, d'humidité relative et de pression nécessaire à l'interprétation des résultats.

L'olfactomètre contient deux circuits d'air séparés: un pour le circuit d'approvisionnement en air pur seulement et un pour la dilution dynamique de la substance de référence. L'air pur de dilution est véhiculé à un certain débit alors qu'un débit d'une quantité variable de substance de référence prédiluée est acheminé par une autre voie parallèle jusqu'à une chambre de dilution mixte. La substance de référence qui a été utilisée ici est le 1-butanol.

Lorsque l'ensemble du jury a été testé, il est possible d'obtenir une intensité moyenne de nuisance durant une période T (heure) à partir des N évaluations individuelles:

$$I_{\text{moy de 1 boue par période T}} = \frac{\sum_{m=0}^N \sum_{t=0}^{m\Delta t} I(\Delta t)_{\text{moy subs référence (ppm)}}}{N \times T \text{ (hre)}}$$

Lorsque la nuisance ambiante varie, les résultats individuels permettent de détecter cette évolution dans le temps et d'en dégager la tendance. Les résultats individuels sont toutefois moins précis que la moyenne de l'ensemble du jury.

Rappelons que la perception de l'intensité I d'un mélange ambiant est modulée par des centaines de composants chimiques comme suit:

$$I = K \ln (C_1, C_2, \dots, C_n)^p \quad (1)$$

où K et p sont des constantes spécifiques au mélange odorant et  $C_1, C_2, \dots, C_n$  sont les concentrations respectives de toutes les substances chimiques 1, 2... et n.

Ces composants chimiques ont des relations fonctionnelles croisées et non-linéaires entre eux suite à des réactions chimiques et des effets le plus souvent réducteurs et hypoadditifs. Il ne sert à rien de mesurer des composants individuels et d'essayer de les corrélérer entre eux. Par contre, dans le cas d'une substance odorante pure dans l'air, la relation I versus C est souvent logarithmiquement linéaire et une comparaison directe de l'intensité du mélange ambiant avec une substance de référence est donc possible.

## 5- Méthodologie de mesure d'odeur détaillée

### **5.1 Combinaison de la mesure olfactométrique et de flairage**

Le protocole de mesure pré-établi par Météoglobe est inspiré et adapté des recommandations internationales et de méthodes standardisées européennes touchant séparément l'olfactométrie et le flairage. Météoglobe a proposé la combinaison de ces deux méthodes de mesure tout en incorporant des principes nouvellement admis en psychologie de l'évaluation sensorielle. Ainsi, conformément aux recommandations internationales, l'ordre ascendant du niveau de nuisance olfactive a été respecté. Il a été présumé que la nuisance augmente quand le pH des boues diminue. Le jury ne connaissait pas le protocole de simulation. L'influence possible des expérimentateurs sur le jury a été éliminée en demandant au jury de porter des lunettes opaques et des bouchons d'oreille. L'influence croisée des autres sens sur l'odorat a du fait même été minimisée.

### **5.2 Aménagement du site de mesure par Urgel Delisle et Associés**

Une roulotte a été louée et mise à l'entière disposition de Météoglobe et du jury (voir diagramme de la page suivante). La salle vide a été tapissée d'un recouvrement d'aluminium pour éliminer toute odeur de fond interférente. L'évaluation d'odeur en air confiné, nécessitant habituellement un système de ventilation efficace entre 15 L/Min et 120 L/Min, a cette fois bénéficié d'une ventilation de 5 ou 10L/min qui a été jugée suffisante pour la chaudière de boues brutes. De l'air frais extérieur et "sans odeur" était alimenté en continu par une fenêtre. Il fallait veiller à ce que toute entrée d'air odorant ou toute surconcentration d'odeur dans l'enceinte en fonction du taux d'émissions des chaudières soit éliminée.

Des chaufferettes électriques à contrôle manuel ont été installées près de la prise d'air froid extérieur afin de maintenir la température constante dans la roulotte. Les boues étaient maintenues à 20 C à l'aide d'un chauffe-eau. L'humidité relative était maintenue constante grâce au taux de ventilation constant de l'air et au bassin d'eau dans lequel les chaudières étaient plongées.

### **5.3 Sélection et entraînement du jury**

Parmi les 15 à 20 candidats convoqués par Urgel Delisle et Associés pour constituer le jury, 5 membres du jury ont été sélectionnés avec 1 membre substitut appelé à l'occasion. Ces candidats ont été sélectionnés à partir de tests sensoriels effectués avec une série de dilutions

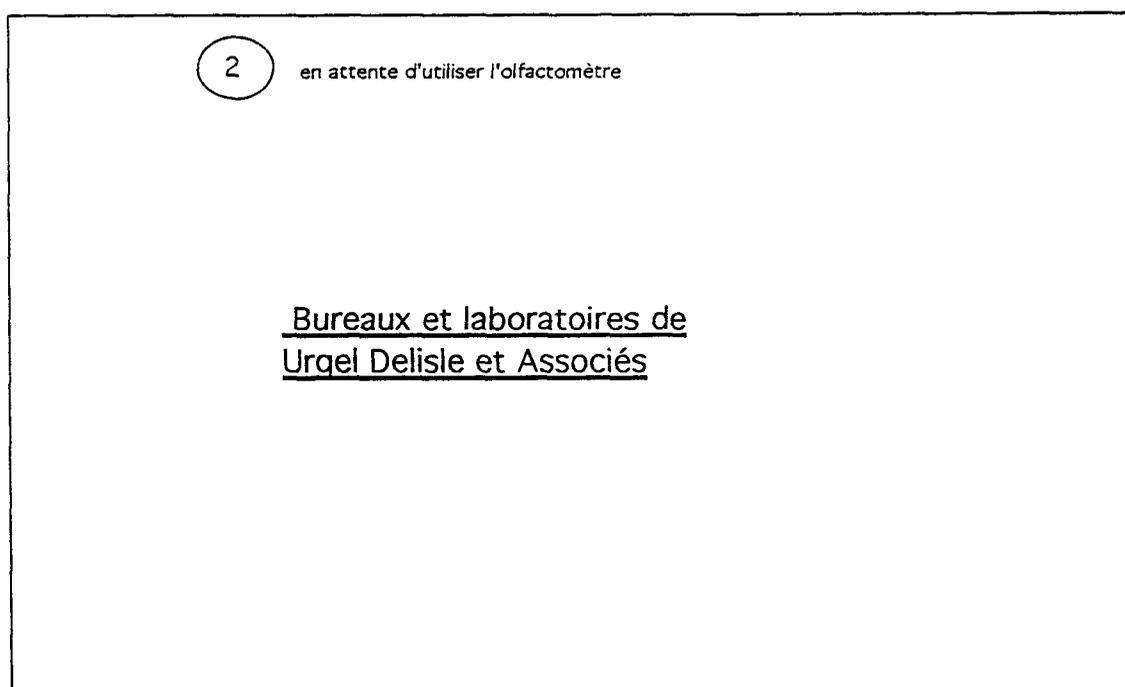
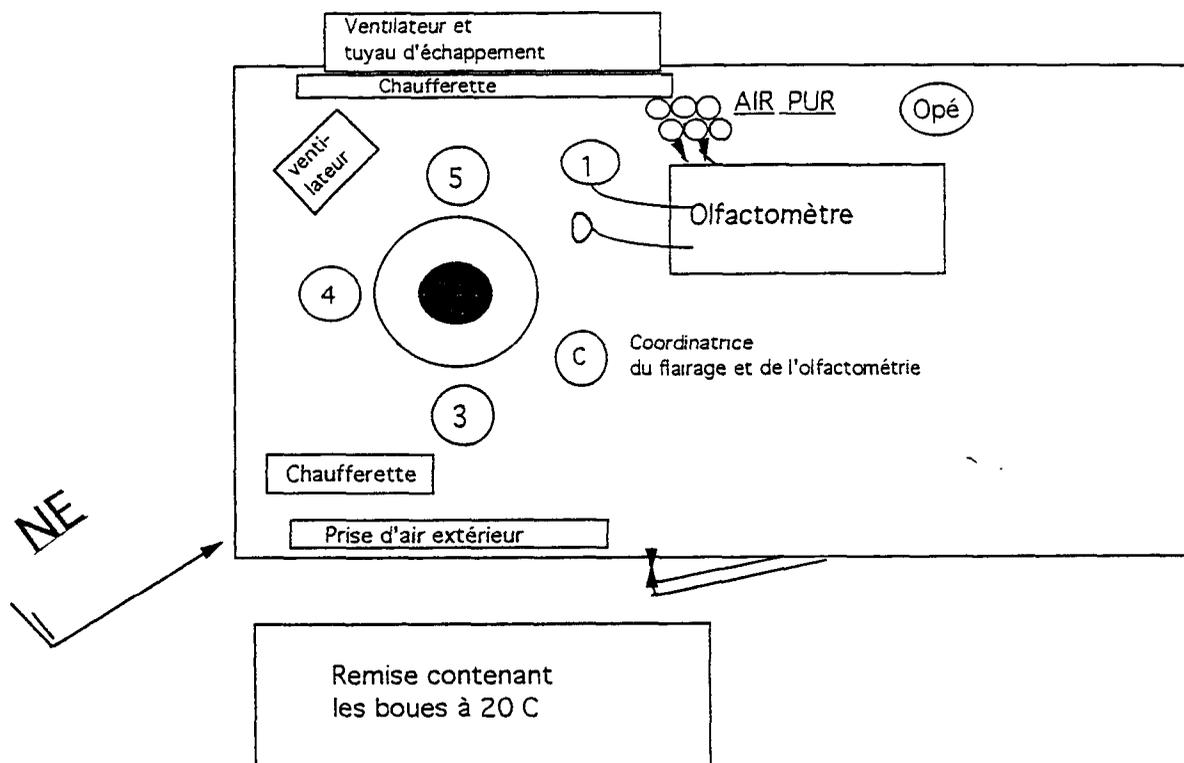


Diagramme simplifié de l'aménagement du site et  
montrant le début du processus de mesure

statiques de substances odorantes. Des séries similaires ont par la suite servi à l'entraînement du jury pour le flairage.

Le jury permanent était constitué de 2 hommes et 3 femmes âgés entre 18 et 32 ans dont 3 fumeurs (1 régulier et 2 occasionnels). Ils avaient tous obtenu des résultats dans la moyenne supérieure lors des tests de sélection et ce, par rapport à des données sur l'ensemble d'une population préconstituées par Météoglobe. Ils se sont vus assigner des numéros de 1 à 5 (qui correspondaient à leur insu à l'ordre décroissant de leurs résultats aux tests de sélection). Ils ont conservé le même numéro tout au cours des tests de mesure d'odeur et la rotation s'est toujours effectuée de la même façon. Les candidats ont été avertis de respirer normalement, de ne pas fumer ou boire de breuvages odorants (café ou thé) au cours des tests, de manger à des périodes régulières des aliments faciles à digérer et non épicés et de ne pas se parfumer.

Le jury s'est vu expliquer l'utilisation simple de trois échelles psychophysiologiques de flairage pour l'intensité, l'irritation et le caractère désagréable d'odeur:

#### ÉCHELLE D'INTENSITÉ DE FLAIRAGE

0 -	odeur imperceptible	moins de 0,8 ppm de butanol
P1-	intensité très faible	(équivalente ici à 1-5 ppm de butanol)
P2-	intensité faible	(équivalente ici à 6-10 ppm de butanol)
P3-	intensité moyenne	(équivalente ici à 11-20 ppm de butanol)
P4-	intensité forte	(équivalente ici à 21-30 ppm de butanol)
P5-	intensité très forte	(équivalente ici à 31-60 ppm de butanol)

#### ÉCHELLE D'IRRITATION OU CHEMOSENSORIELLE

R0-	<u>narines claires</u>
R1-	<u>irritation très très faible</u> légers chatouillements ou picotements au nez ou à la gorge, envie de moucher.
R2-	<u>irritation faible</u> sécrétions ou assèchements aux narines (selon l'humidité ambiante), début d'irritation faible au nez ou à la gorge.
R3-	<u>irritation moyenne et croissante</u> , début de maux de nez ou de yeux ou de gorge
R4-	<u>irritation soutenue</u> net inconfort, maux de yeux ou de tête ou de gorge plus prononcés, assèchements ou sécrétions abondantes des narines (selon l'humidité ambiante), somnolence, pertes de concentration.
R5-	<u>irritation devenant de plus en plus insoutenable</u> altération de la perception d'odeur, maux de tête et de gorge, hauts-le-coeur. Avisez l'opérateur.

## ECHELLE DE QUALITÉ D'ODEUR OU DU CARACTÈRE DÉSAGRÉABLE

- D0- neutre ou acceptable
- D1- faiblement désagréable - vivrait et travaillerait dans ce type d'air et s'y habituerait probablement à la longue
- D2- moyennement désagréable - vivrait et travaillerait dans ce type d'air pendant quelques heures seulement par jour
- D3- fortement désagréable - inacceptable en continu et empêcherait une certaine qualité de vie au travail ou pendant les loisirs
- D4- extrêmement désagréable - inacceptable pour tout type d'exposition
- D5- insupportable - donne la nausée, empêche toute concentration ou donne lieu à des réactions physiologiques diverses. Avertissez l'opérateur.

Des cartons aides-mémoires et des formulaires ont été remis à chaque membre du jury. Le jury inscrit son évaluation de flairage, le temps d'exposition, les lectures de température de l'air et de l'eau et ses commentaires particuliers sur l'intermittence de l'odeur ou l'évaluation comparative et subjective des boues.

### 5.4- Méthodologie de mesure avec jury

Les tests ont été effectués le 4 et 5 mars. Une chaudière était introduite une à une dans la roulotte. Chaque chaudière prenait environ 60 à 75 minutes à être évaluée. Le processus rotation des membres du jury occasionnait des délais de moins de 5 minutes et un couvercle était mis sur la boue chaque fois. La salle était épongée par le jury avant l'introduction d'une nouvelle chaudière de boues de façon à éliminer toute interférence résiduelle de la précédente.

Le diagramme d'aménagement du site montre le début d'évaluation d'une chaudière de boues. A la fin du test olfactométrique, le jury # 1 cède sa place à l'olfactomètre au jury # 2 qui est envoyé à la roulotte par le jury # 3; le # 1 prend alors le siège du no 5 alors que les no 4 et 5 se décalent vers la gauche d'un siège. Chaque membre du jury de flairage a été ainsi exposé pendant environ 45 minutes. Le membre du jury en attente de l'olfactomètre qui retournait aux bureaux était chargé de s'assurer en passant si le vent venait toujours du même côté et si un changement des conditions météorologiques ne causait pas un retour d'air vicié du côté de la prise d'air frais. Les conditions météorologiques ont toujours été favorables et cette situation ne s'est jamais produite.

Trois chaudières ont été analysées le premier jour et 4 chaudières le deuxième (dont une chaudière en duplicata soit celle des boues à pH 12 brassées). Parce que les différents types de boues présentaient une différence marquée de qualité d'odeur, la chaudière contenant le même type de boues (brassées et non brassées) était analysée en séquence avec une interruption de quelques minutes pour permettre le brassage de la chaudière et le lavage de l'intérieur de la roulotte.

Une coordinatrice chronométrait et surveillait les opérations et guidait au besoin les membres du jury dans leur positionnement face à la chaudière et au point de repère au-dessus de celle-ci. Les membres du jury de flairage ne se consultaient pas pendant les tests. Ils se retournaient à 180 degrés sur leurs bancs, enlevaient leurs lunettes, notaient leurs résultats de flairage, remettaient leurs lunettes puis refaisaient face à la chaudière de boues.

## **6- Sommaire et interprétation des résultats**

Les données ont subi un contrôle de qualité et une double vérification. Des calculs statistiques simples ont ensuite été effectués sur les résultats d'olfactométrie et de flairage. Le faible nombre de données par type de boues et l'absence de duplicata empêchaient tout traitement statistique fouillé soit par analyse de variance et intervalles de confiance.

### **6.1 Résultats olfactométriques**

Le tableau 1 montre la moyenne comparée des résultats olfactométriques obtenus pour chaque type de boues. Les boues chaulées à pH 12 émettent significativement moins que les deux autres (2 à 3 fois moins). L'écart-type est considérable pour toutes les boues car les émissions des boues mal chaulées et brutes ont été très variables dans le temps. Les boues à pH 12 n'ont pas montré de variations notables des émissions d'ammoniaque en fonction du temps. Si leur écart-type est considérable c'est sans doute en bonne partie parce que l'intensité très faible a été voisine du seuil olfactif de perception du butanol des membres du jury (autour de 1 ppm).

La Fig. 1 est une illustration graphique des résultats du tableau 1. L'intensité de nuisance en noir augmente lorsque le pH des boues diminue sauf dans le cas des boues à pH 6-7 au repos. Ces boues émettent un peu moins que leur contrepartie, les boues mal chaulées au repos. D'une part les boues mal chaulées sont liquides et s'évaporent plus facilement que les

boues brutes. D'autre part, les boues brutes au repos possèdent une pellicule séchée à la surface qui nuit au dégagement d'odeur. L'augmentation des émissions d'odeur par brassage n'est évidente que pour les boues brutes. En considérant l'écart-type (montré en blanc), ces différences notées entre les boues mal chaulées et brutes deviennent non significatives. Ces boues ont la même intensité moyenne qu'elles soient brassées ou non.

La Fig. 2 illustre la superposition graphique des résultats olfactométriques individuels par type de boues. Chacun des membres du jury reporté en abscisse a fourni deux évaluations aux dix minutes excepté pour le jury # 1 qui en a fournies 4. Les symboles en forme de triangles représentent les boues brutes, les losanges les boues mal chaulées et les carrés les boues parfaitement chaulées. Ce graphique montre clairement que la variation temporelle du comportement de chacune des boues (ou intravariabilité) est plus importante que l'intervariabilité entre les boues. L'arrivée du jury # 3 à l'olfactomètre se faisait environ 30 minutes après le début des tests. Or, un pic d'émissions apparaît à cette période dans le cas des boues brutes ou mal chaulées. Ce pic a ensuite tendance à s'atténuer pour les boues brutes à l'arrivée du jury # 5. La performance des membres du jury n'est pas du tout remise en cause. Ce pic d'émissions est réel et s'expliquerait par deux phénomènes possibles: il y aurait eu surconcentration d'odorants suite à une ventilation insuffisante ou il y aurait eu un phénomène transitoire d'émissions dans les boues brutes ou mal chaulées seulement ou les deux ensemble. Le pic d'émissions ne semble pas provenir de l'action du brassage.

## 6.2 Résultats de flairage au-dessus des boues

Les résultats moyens de flairage à 95 cm au-dessus de chaque type de boues sont compilés sur le Tableau 2. Les trois catégories d'évaluations de flairage sont montrées soit l'intensité après surexposition, le degré d'irritation à l'odeur et le caractère désagréable de l'odeur. Les émissions des boues chaulées à pH 12 y sont perçues comme étant significativement moins intenses après exposition prolongées que les autres boues. Leurs émissions ont été à peine perceptibles. L'intensité des autres boues est plutôt perçue comme étant de faible à moyenne avec quelques pointes de forte intensité. L'écart-type est ici d'une demi-unité d'échelle ce qui est très acceptable pour des données de flairage.

Il n'y aurait pratiquement pas d'irritation associée au dégagement d'ammoniaque des boues vieilles à pH 12. Par contre, les boues mal chaulées semblent plus irritantes en moyenne que

les boues brutes. L'irritation causée par les boues brutes est toutefois plus variable chez chaque individu.

Le caractère désagréable des boues à pH 12 est aussi jugé très faible. L'odeur était souvent jugée neutre rappelant le savon ou le lait à certains membres du jury. Les boues mal chaulées ont été jugées significativement plus désagréables que les autres donnant même des hauts-le-coeur à un membre du jury. L'odeur distincte de porcheries et d'étables à vaches a été reconnue par trois autres membres du jury dans le cas des boues brutes et mal chaulées.

La Fig. 3 illustre les résultats de flairage du Tableau 2. Les boues mal chaulées montrent une nuisance globale (dose/réponse à l'intensité, l'irritation et la qualité d'odeur) plus prononcée que les deux autres types de boues. Les composés volatiles émis par les boues brutes sont moins nombreux que ceux des boues mal chaulées qui incluent davantage d'ammoniaque et résultent en un sous-groupe de substances plus percutantes pour l'odorat humain. Les émissions de boues brutes seraient moins nuisibles sans doute parce que des effets hypoadditifs et réducteurs surviennent lorsqu'une plus large gamme de composés odorants son présents (principe de la désodorisation).

La Fig. 4 illustre la superposition graphique des résultats d'intensité de flairage. L'abscisse indique lequel membre du jury qui était absent pour l'olfactométrie. Le numéro de jury suivant était en attente d'utiliser l'olfactomètre et donc absent du groupe de flaireurs. Les symboles en forme de triangles représentent encore une fois les boues brutes, les losanges les boues mal chaulées et les carrés les boues parfaitement chaulées. Ce graphique suggère qu'un pic d'émissions est aussi survenu une trentaine de minutes après le début de chaque expérience avec différentes boues chaulées et différentes boues brutes. Aucun des membres du jury n'a cependant eu l'impression nette et consciente d'une augmentation d'intensité dans ses commentaires.

Les graphiques des Fig. 5 et 6 montrent respectivement la superposition des résultats d'irritation et du caractère désagréable de l'odeur. Il n'y a pas évidence de variations temporelles marquées pour ces facteurs de nuisance sauf pour les boues brutes. Les courbes de boues mal chaulées ne se confondent avec les courbes de boues brutes qu'en début d'expérience.

### **6.3 Résultats sur l'évolution des paramètres ambiants durant l'évaluation des boues**

Le Tableau no 3 montre un sommaire des enregistrements de température de l'eau et de l'air et de l'humidité de l'air enregistrés de façon synchrone aux mesures olfactométriques et de flairage. La température des boues aurait varié significativement lors de la deuxième journée de mesure favorisant ainsi des fluctuations importantes dans le taux d'émissions. Ces variations ont toutefois été aléatoires. La température de l'air indiquait 1 à 4 degrés de moins que la température moyenne du bain d'eau contenant les boues. Ceci correspond à des conditions d'entreposage printanières dans les réservoirs plutôt qu'estivales. Les variations temporelles de température de l'air, de l'eau ou de l'humidité ne montrent aucune corrélation positive et significative avec les variations temporelles observées par le jury olfactométrique et de flairage.

### **6.4 Résultats additionnels de flairage en position assise autour des boues**

Le tableau no 4 et la Fig. 7 corroborent les résultats de flairage obtenus en position debout. Les résultats de flairage en position assise tendaient à être légèrement supérieurs à ceux en position debout conséquemment à un effet de ventilation. Comparativement aux résultats obtenus avec le flairage en position debout, l'intensité des boues mal chaulées a été jugée nettement plus forte que celle de toutes les autres boues. L'évaluation moyenne de l'irritation et le caractère désagréable ne montrent pas d'autres changements notables ou significatifs comparativement aux résultats discutés en section 6.2.

## **7- Conclusion et recommandations**

Les résultats de mesure de nuisance suggèrent fortement que les boues à pH12 soient beaucoup moins intenses, beaucoup moins irritantes et beaucoup moins désagréables de façon générale que les autres boues brutes ou mal chaulées. Bien que les différences entre les boues mal chaulées et les boues brutes ne soient pas statistiquement significatives, les boues mal chaulées ont laissé l'impression nette aux flaireurs d'être plus intenses et les plus désagréables. Ceci ne semble pas coïncider avec le fait d'avoir évalué les boues mal chaulées à un jour d'intervalles et à des heures différentes du jour où l'odorat est plus aiguisé.

L'effet d'aggravation du dégagement d'odeur par brassage ne semble pas significatif pour tous les types de boues.

La possibilité de surconcentration d'odeur à l'intérieur de la roulotte a été écartée pour les raisons suivantes:

- le graphique superposé des courbes olfactométriques de toutes les boues montre souvent une baisse d'intensité à l'arrivée du jury # 5 alors que le taux de ventilation lui ne changeait jamais ;
- aucune corrélation positive faible n'a été trouvée entre la durée d'exposition des flaireurs et l'intensité de flairage qu'ils ont perçues (sauf pour les boues brutes brassées);
- certains membres du jury de flairage ont parfois ajouté en remarque que l'odeur leur semblait inégale ou intermittente.

Il ne s'agit pas non plus de différences marquées dans la perception de certains membres du jury. En effet, le graphique superposé des courbes d'intensité de flairage au-dessus des boues abonde dans le même sens que le graphique superposé des courbes olfactométriques bien que des membres du jury différents aient fourni ces mesures.

Les courbes de performance de l'olfactomètre en cours d'expérience n'ont indiqué aucun signe de défaillance.

Le phénomène transitoire observé dans les résultats olfactométriques individuels superposés n'est donc attribuable qu'à un taux variable d'émissions déclenché à toutes les 30 minutes. Ces variations temporelles du taux d'émissions sont très ennuyeuses et il aurait fallu bénéficié à tout le moins de données analytiques d'émissions afin de pouvoir normaliser les résultats olfactométriques. Les résultats actuels ne permettent pas d'affirmer hors de tout doute qu'il y a un net avantage à chauler les boues à pH12 du seul point de vue de la nuisance olfactive. En effet, les premières trente minutes montrent très peu d'intervariabilité entre les boues.

Le brassage n'a pas causé le pic d'émissions observé vers la fin des tests de chacune des boues brutes ou mal chaulées. Ce pic est en effet présent sur les courbes de boues non brassées. Un cycle d'émissions de 30 minutes ne peut être commun à toutes. Un changement aléatoire de température des boues ne peut pas avoir systématiquement produit ce phénomène cyclique. La cause est donc d'ordre expérimental.

Il se peut que le fait d'avoir couvert les boues lors de la rotation du jury pendant 3 à 5 minutes afin d'empêcher ce dernier de voir la couleur des boues ait été le facteur déclenchant du taux variable d'émissions observées. En effet, un couvercle étanche était mis sur les boues permettant à l'air frais de la pièce de se réchauffer près de la surface des boues et causant un déficit passager en oxygène. Ces conditions étaient propices à faire augmenter les émissions par une élévation de température de l'air à 20 C. Les résultats montrés auparavant suggèrent que, lorsque la température de l'air devient égale ou supérieure à la température des boues, une amplification importante de la nuisance olfactive de boues mal chaulées ou brutes se produit relativement à celle de boues chaulées. Ainsi, dans des conditions estivales, les émissions des boues entreposées à pH 12 pourraient s'avérer dans les faits significativement moins nuisibles que les boues mal chaulées ou brutes.

Les résultats olfactométriques en air ambiant recueillis par Météoglobe l'an dernier à côté de lagunes et de fosses à purin ont donné des écarts maximaux de +/- 2 ou 3 ppm dans les évaluations individuelles. Pourtant les variations temporelles de paramètres ambiants et à la source étaient beaucoup plus évidentes. La simulation d'un réservoir par la petite surface d'une chaudière de 20 L peut mettre à tort l'accent sur des comportements inhomogènes de surface tant dans le taux d'émissions que dans leur profil vertical d'émissions et de dispersions.

Il est donc recommandé de reprendre ces tests de façon plus approfondie dans des conditions estivales bien ventilées et propices à l'émission et à la dispersion. De nombreux duplicatas de bassins de boues à plus grande surface d'émissions devraient alors être utilisés.

## TABLEAU 1

Sommaire des résultats olfactométriques pour toute chaudière de boues combinées évaluées à 95 cm au-dessus de la surface d'émissions

TYPE DE BOUES BRUTES OU CHAULEES	NOMBRE D'EVALUATIONS	EVALUATION MOYENNE (Conc. éq. ppm)	ECART-TYPE D'EVALUATION (Conc. éq. ppm)	ECART MAXIMAL D'EVALUATION	INTENSITE MOYENNE (ln C eq. ppm)	ECART-TYPE INTENSITE (log C eq. ppm)
pH11-12 non brassées	11.00	2.09	1.63	5.00	0.74	0.33
pH11-12 brassées	10.00	3.25	1.65	6.00	1.18	0.23
pH9-10 non brassées	10.00	10.50	6.64	16.50	2.35	0.58
pH9-10 brassées	11.00	11.23	5.72	14.00	2.42	0.26
brutes non brassées	12.00	6.83	3.13	9.00	1.92	0.25
brutes brassées	14.00	17.82	11.74	31.00	2.88	0.31

## Sommaire des résultats objectifs obtenus par olfactométrie

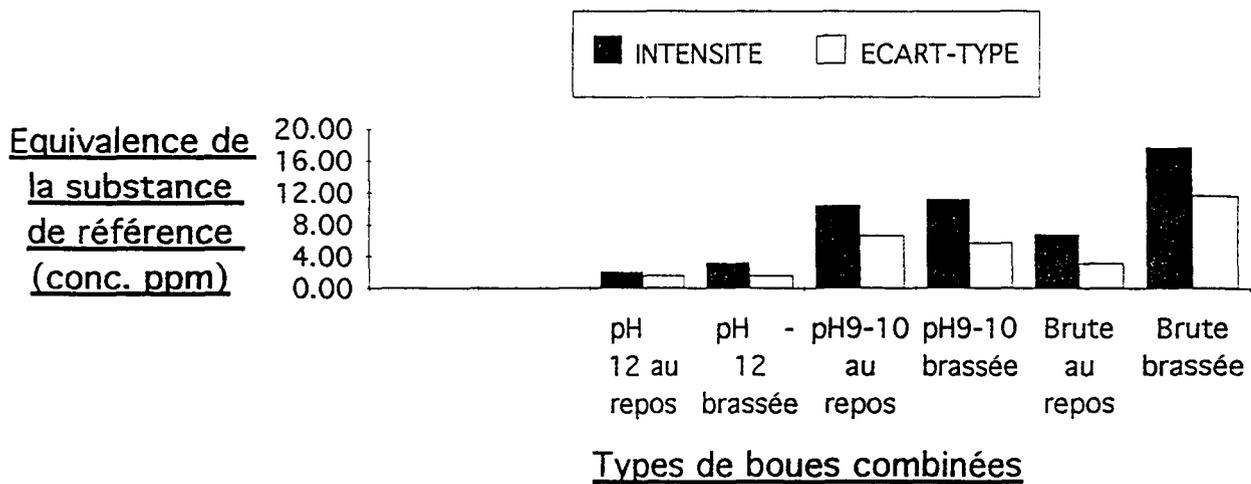


Figure 1

Intensité olfactométrique des boues: pH11-12 non brassées (carrés noirs), pH11-12 brassées (carrés blancs), pH9-10 non brassées (losanges noirs), pH9-10 brassées (losanges blancs), brutes non brassées (triangles noirs), brutes brassées (triangles blancs)

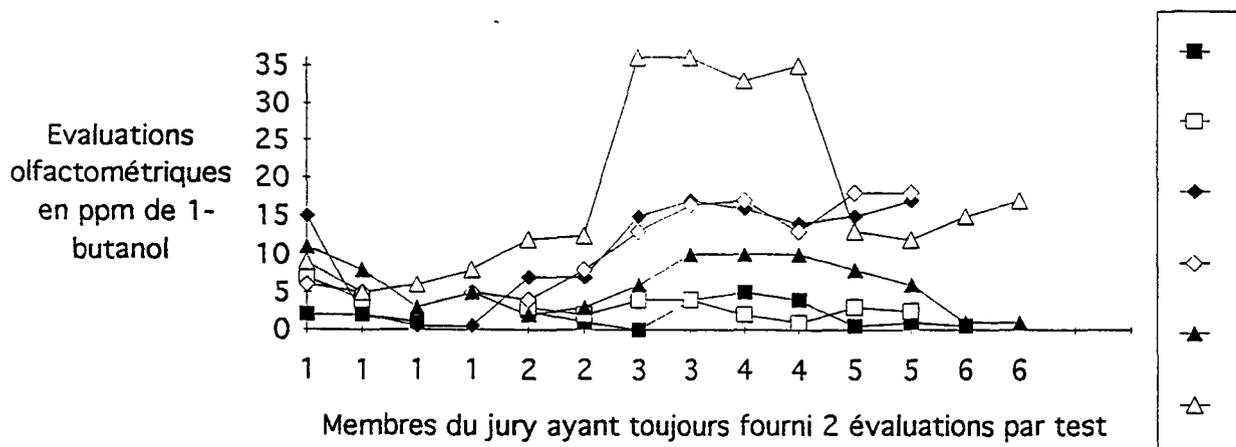


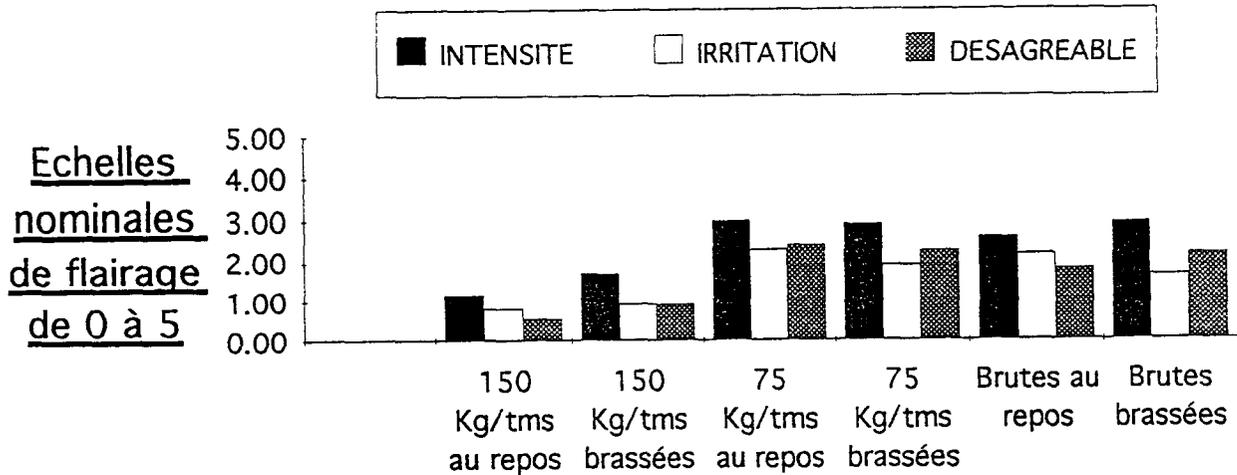
Figure 2

## TABLEAU 2

Sommaire des résultats de flairage pour toutes les chaudières de boues combinées  
évaluées à 95 cm au-dessus de la surface d'émissions

TYPE DE BOUES BRUTES OU CHAULEES	INTENSITE MOYENNE échelle 0 à 5	ECART-TYPE D'INTENSITE	IRRITATION MOYENNE échelle 0 à 5	ECART-TYPE DE L'IRRITATION	CARACTERE DESAGREABLE échelle 0 à 5	ECART-TYPE DE QUALITE D'ODEUR
pH 12 non brassées	1.17	0.67	0.81	0.71	0.56	0.49
pH 12 brassées	1.70	0.51	0.94	0.35	0.92	0.27
pH9-10 non brassées	2.97	0.50	2.28	0.57	2.39	0.40
pH9-10 brassées	2.90	0.45	1.92	0.45	2.26	0.52
brutes non brassées	2.58	0.72	2.17	0.83	1.79	0.78
brutes brassées	2.91	0.71	1.64	0.75	2.17	0.59

### Sommaire des résultats de flairage



### Types de boues combinées

Figure 3

Intensité de flairage: boues à pH 12 non brassées (carrés noirs) et brassées (carrés blancs), pH9-10 non brassées (losanges noirs) et brassées (losanges blancs), brutes non brassées (triangles noirs) et brassées (triangles blancs)

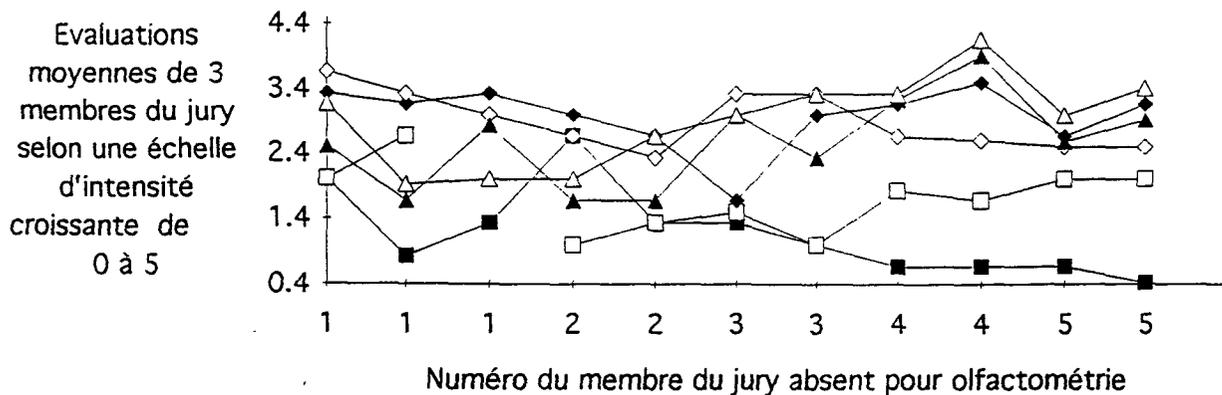


Figure 4

Irritation moyenne durant le flairage: boues à pH 12 (carrés noirs) et brassées (carrés blancs), pH9-10 non brassées (losanges noirs) et brassées (losanges blancs), brutes non brassées (triangles noirs) et brassées (triangles blancs)

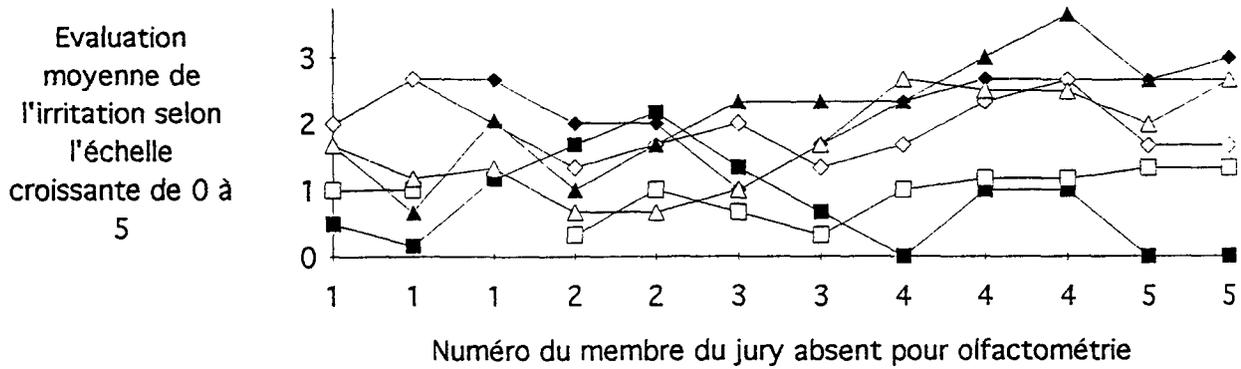


Figure 5

Caractère désagréable des boues: à pH 12 au repos (carrés noirs) et brassées (carrés blancs), à pH9-10 au repos (losanges noirs) et brassées (losanges blancs), brutes au repos (triangles noirs) et brassées (triangles blancs)

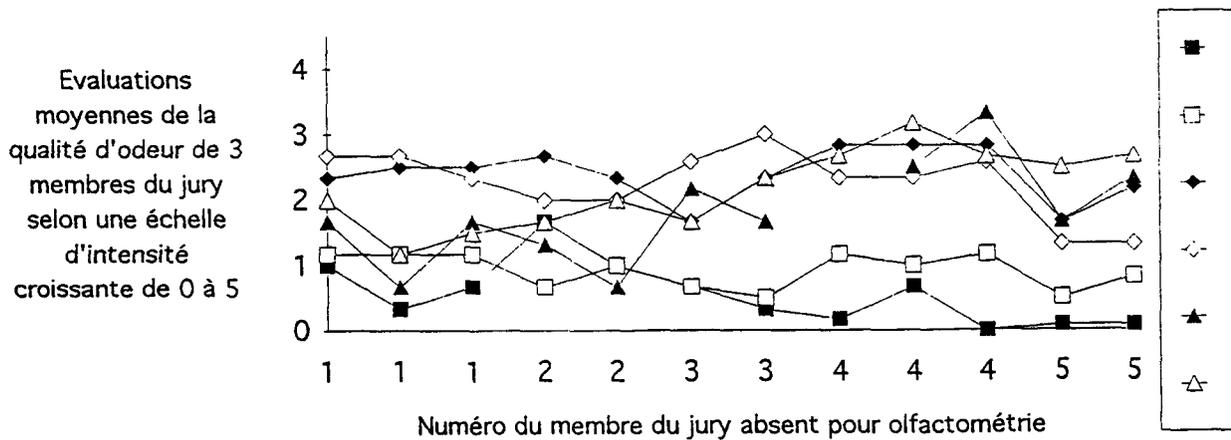


Figure 6

### TABLEAU 3

Sommaire des conditions ambiantes moyennes enregistrées pendant la mesure d'odeur.  
Aucun monitoring parallèle du taux d'émissions à la source n'a été demandé.

TYPE DE BOUES BRUTES OU CHAULEES	TEMPERATURE DU BAIN D'EAU THERMOSTATE (C)	ECART-TYPE DE TEMPERATURE DU BAIN	TEMPERATURE DE L'AIR DANS L'ENCEINTE (C)	ECART-TYPE DE LA TEMPERATURE DE L'AIR (C)	HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR (%)	ECART-TYPE DE L'HUMIDITE (%)	PRESSION DE L'AIR (kPA)	ECART-TYPE DE PRESSION (kPA)
pH 12 non brassées	21.75	1.15	18.82	0.63	37.66	1.66	98.43	0.05
pH 12 brassées	20.00	0.00	17.69	0.55	26.77	1.68	98.67	0.05
pH9-10 non brassées	20.00	0.00	17.30	0.50	23.96	0.55	98.50	0.05
pH9-10 brassées	20.08	0.19	16.72	0.35	30.58	0.52	98.38	0.04
brutes non brassées	20.10	0.20	16.86	0.64	33.35	2.99	98.39	0.06
brutes brassées	19.03	0.80	17.97	0.80	36.13	3.97	98.37	0.07

## TABLEAU 4

Sommaire des résultats de flairage pour toutes les chaudières de boues combinées évaluées en position assise dans un rayon d'environ 75 cm autour de la chaudière

TYPE DE BOUES BRUTES OU CHAULEES COMBINEES	INTENSITE MOYENNE échelle 0 à 5	ECART-TYPE D'INTENSITE	IRRITATION MOYENNE échelle 0 à 5	ECART-TYPE DE L'IRRITATION	CARACTERE DESAGREABLE échelle 0 à 5	ECART-TYPE DE QUALITE D'ODEUR
pH 12 non brassées	0.99	0.56	0.76	0.67	0.58	0.44
pH9-10 non brassées	3.94	0.45	2.76	0.40	2.71	0.51
pH9-10 brassées	3.99	0.32	2.55	0.49	2.92	0.35
brutes non brassées	3.15	0.66	2.17	0.49	2.49	0.43
brutes brassées	3.27	0.62	1.90	0.48	2.59	0.46

### Sommaire de flairage prolongé en position assise

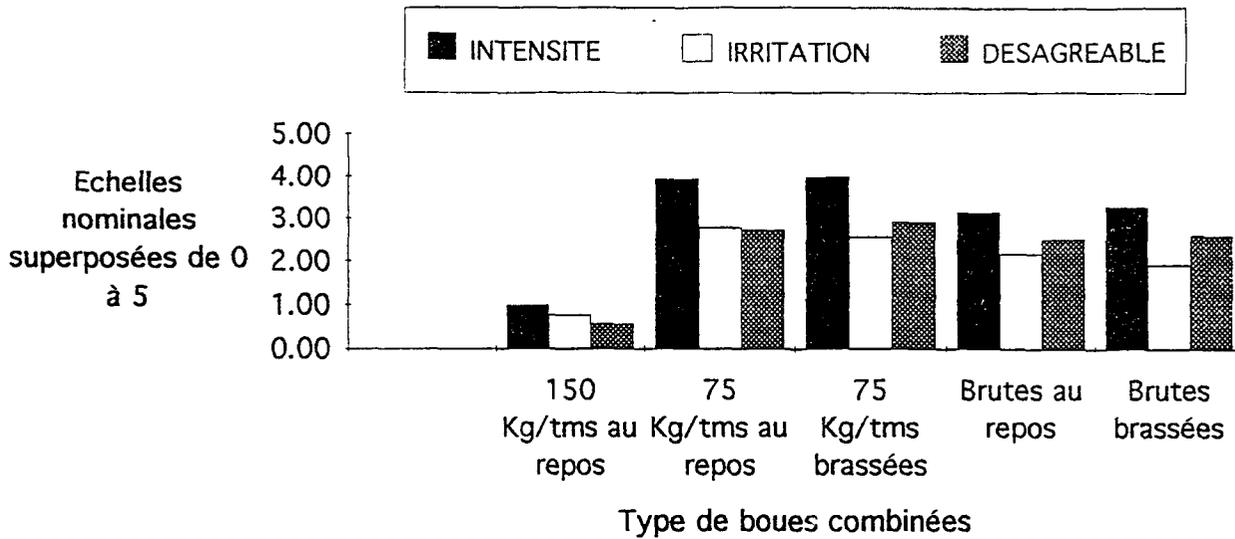


Figure 7

### Ecart-types dans les évaluations individuelles de flairage de différents types de boues

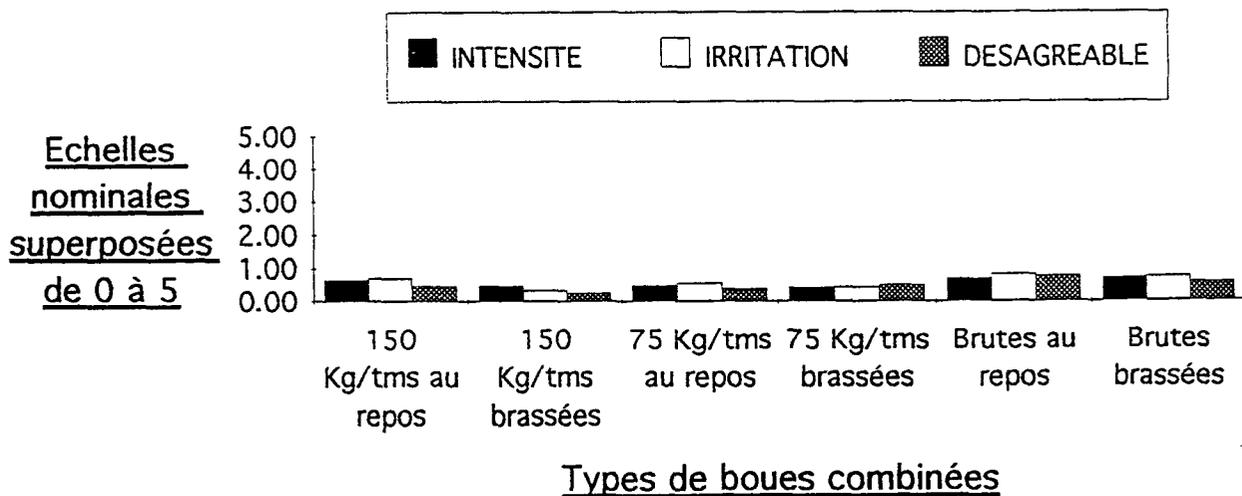


Figure 8

(24/03/92)

Météoglobe Canada inc.

**ANNEXE E**  
**PHOTOGRAPHIES**

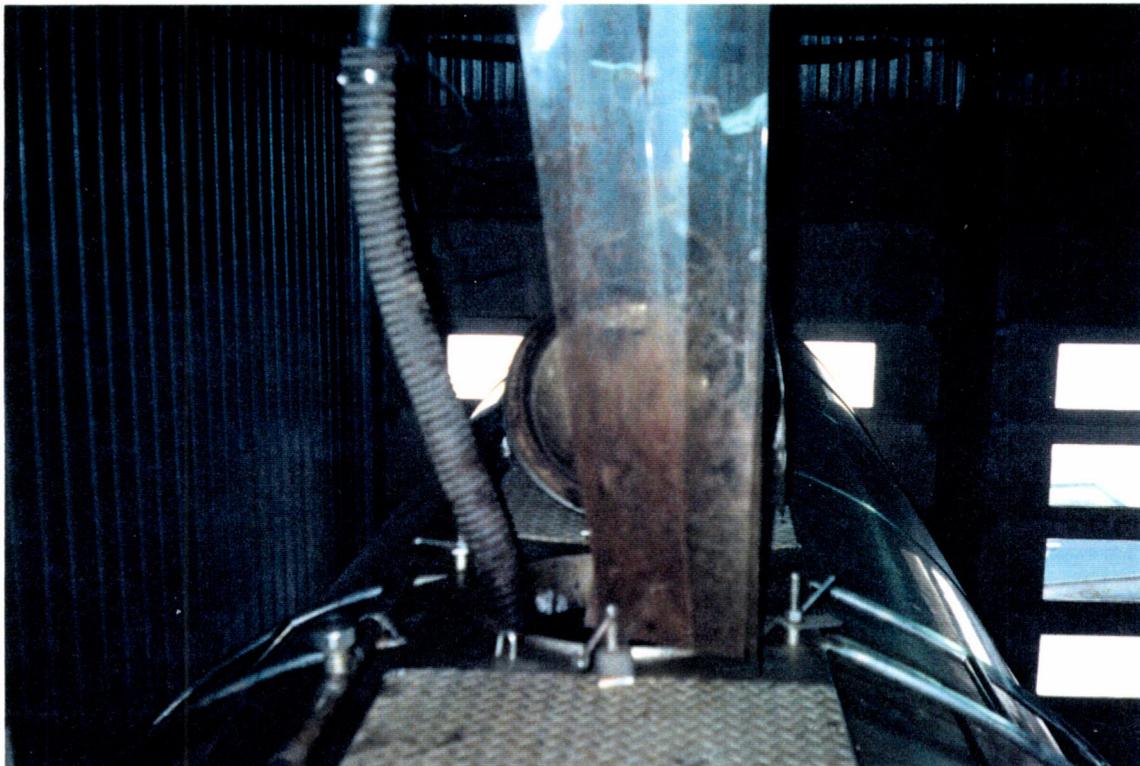


Figure 1: Site d'échantillonnage des boues à l'abattoir de porcs



Figure 2: Site d'échantillonnage des boues à l'abattoir de volailles



Figure 3: Une série de prétests (au fond, boues d'abattoir de porcs, au milieu, boues d'abattoir de volailles et boues combinées devant)



Figure 4: Suivi du pH à différentes profondeurs

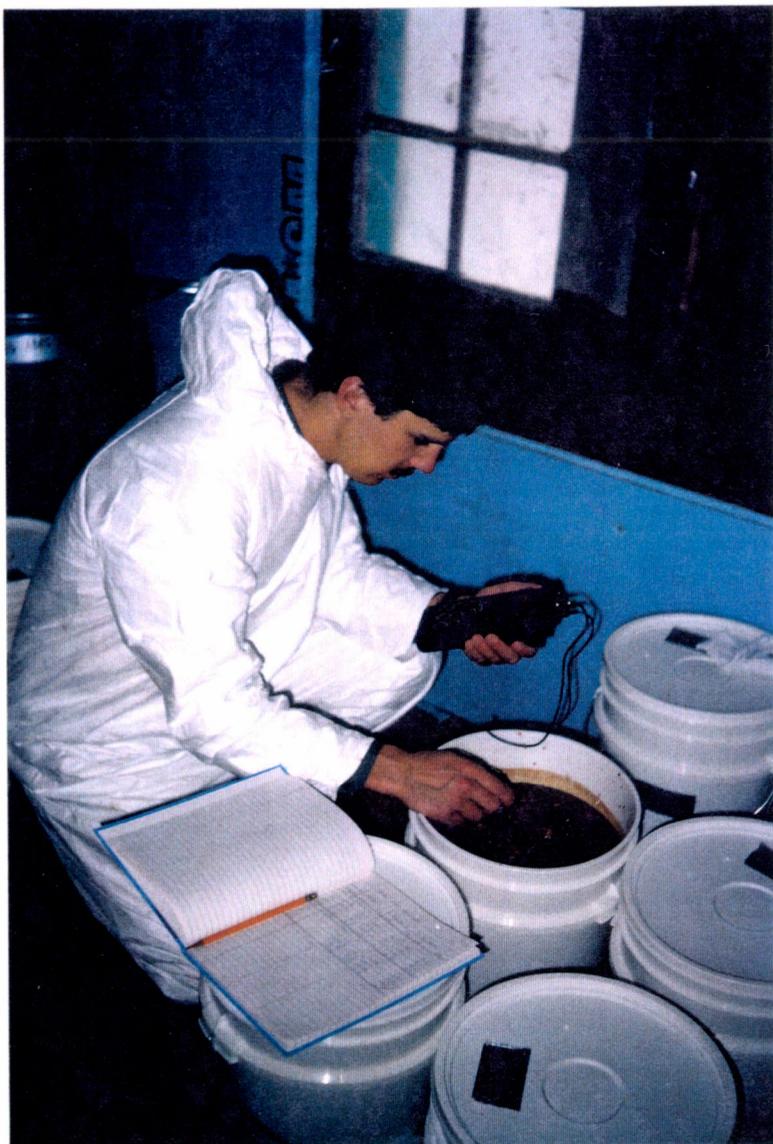


Figure 5: Suivi des pH



Figure 6: Homogénéisation d'un échantillon



Figure 7: Prélèvement d'échantillons pour les analyses microbiologiques



Figure 8: Apparence de la boue de volaille non chaulée (gauche) et et chaulée à 75 kg CaO/tms (droite), une semaine après le chaulage



**Figure 9: Apparence de la boue de volaille chaulée à 150 kg CaO/tms, une semaine après le chaulage**



**Figure 10: Apparence de la boue de volaille non chaulée, après deux semaines**



Figure 11: Apparence de la boue combinée chaulée à 150 kg CaO/tms, une semaine après le chaulage

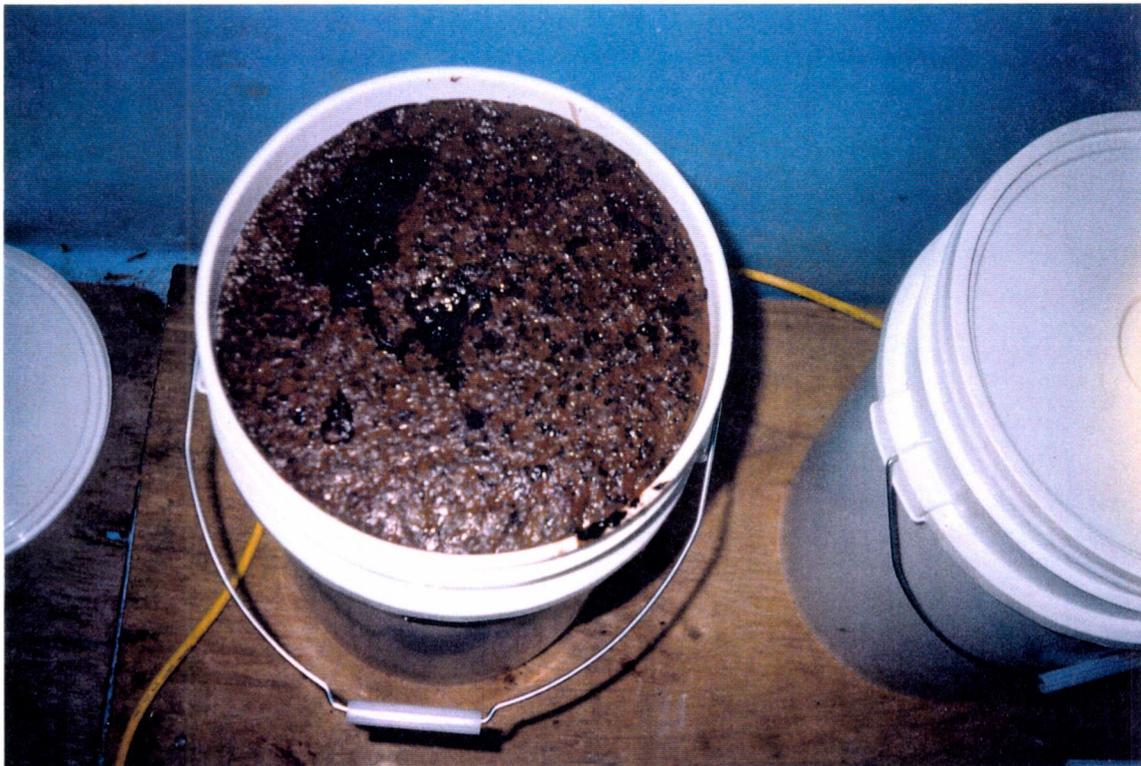


Figure 12: Apparence de la boue combinée non chaulée une semaine après l'échantillonnage