

Record Number:

Author, Monographic: Couillard, D.//Tyagi, R. D.//Grenier, Y.

Author Role:

Title, Monographic: Extraction des métaux lourds en vue de la valorisation des boues d'épuration - Avis scientifique et technique

Translated Title:

Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec

Publisher Name: INRS-Eau

Date of Publication: 1987

Original Publication Date:

Volume Identification:

Extent of Work: ii, 68

Packaging Method: pages incluant 3 annexes

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, rapport scientifique

Series Volume ID: 227 f

Location/URL:

ISBN: 2-89146-224-6

Notes: Rapport annuel 1986-1987

Abstract: Rapport rédigé pour le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB)
10.00\$

Call Number: R000227 f

Keywords: rapport/ ok/ dl

AVIS SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
(dossier no TR 86-0047)

EXTRACTION DES MÉTAUX LOURDS
EN VUE DE LA
VALORISATION DES BOUES
D'ÉPURATION

présenté
au
CENTRE QUÉBÉCOIS DE VALORISATION DE LA BIOMASSE

par
Pr. Denis Couillard, Ing., Ph.D.
Pr. Rajeshwar Dayal Tyagi, Ing., Ph.D.
M. Yvon Grenier, Ing., M.Sc.A.

Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau)
Université du Québec
2700, rue Einstein, C.P. 7500
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Rapport scientifique No 227 ♡

Mars 1987

Le présent avis technique TR 86-0047 commandé par le CQVB auprès de l'INRS-Eau a pour objectif de cerner grossièrement la problématique posée au Québec par la présence des métaux lourds dans les boues provenant du traitement des effluents urbains, industriels ou agricoles et d'envisager les potentiels d'utilisation de ces boues détoxifiées.



TABLE DES MATIÈRES

| | Pages |
|--|-------|
| 1. PROBLÉMATIQUE | 1 |
| 1.1 Volume de boues au Québec | 1 |
| 1.2 Problème des métaux lourds dans les boues | 2 |
| 1.3 Techniques de disposition des boues résiduaires .. | 3 |
| 1.4 Objectif du projet | 4 |
| 2. PROCÉDÉS D'ENLÈVEMENT DES MÉTAUX LOURDS | 5 |
| 2.1 Procédé physique | 5 |
| 2.2 Procédés chimiques | 7 |
| 2.3 Procédés biologiques | 10 |
| 2.4 Comparaison des procédés | 12 |
| 3. ÉTAT DE LA R & D AU QUÉBEC | 14 |
| 3.1 Université McGill | 14 |
| 3.2 Institut Armand-Frappier | 15 |
| 3.3 Éco-Énergie | 15 |
| 3.4 Université Laval | 16 |
| 3.5 Centre Spécialisé en Technologie Minérale de Thetford-Mines | 16 |
| 3.6 INRS-Eau | 17 |
| 3.7 Résumé de la situation | 18 |

TABLE DES MATIÈRES (suite)

| | Pages |
|--|-------|
| 4. INTÉRÊT ET BESOINS DES MINISTÈRES QUÉBÉCOIS | 19 |
| 4.1 Séminaire sur la valorisation des déchets urbains. | 19 |
| 4.2 Minéralisation de l'azote | 20 |
| 4.3 Compostage des boues | 21 |
| 4.4 Chimie et spéciation des métaux | 22 |
| 4.5 Autres métaux (Al, Fe, Na) | 22 |
| 4.6 Expérimentation sur le terrain et en laboratoire . | 23 |
| 4.7 Résumé des besoins | 23 |
| 5. RECOMMANDATIONS | 25 |
| 5.1 Organisme retenu | 25 |
| 5.2 Programme d'actions et méthodologie | 27 |
| 5.2.1 Procédés d'enlèvement des métaux lourds ... | 29 |
| 5.2.1.1 Procédés physico-chimiques | 29 |
| 5.2.1.2 Procédés biologiques | 30 |
| 5.2.2 Utilisation des boues purifiées | 30 |
| 5.2.2.1 Compostage | 30 |
| 5.2.2.2 Potentiel fertilisant | 30 |
| 5.2.3 Actions futures pour prise de décision | 31 |
| 5.3 Concertation | 31 |
| 6. ÉCHÉANCIER | 33 |
| 7. CONCLUSION | 35 |
| 8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 36 |
| ANNEXE 1: Fichier sur les organismes contactés | A1 |
| ANNEXE 2: Mandat pour la réalisation de l'avis technique | A17 |
| ANNEXE 3: Lettre de concertation de M. J.M. Plourde | A20 |

1. PROBLÉMATIQUE

Le Centre Québécois de Valorisation de la Biomasse (CQVB) s'intéresse à la valorisation des déchets urbains (CRIQ, CQVB et Gouvernement du Québec, 1986). Puisque les boues résiduelles font partie de cette catégorie de produits, le CQVB veut cerner les solutions optimales quant à leur gestion compte-tenu du fait qu'elles contiennent des métaux lourds toxiques qui nuisent à leur valorisation en tant que fertilisant organique forestier et agricole.

1.1 Volume de boues au Québec

Depuis quelques années, le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) a investi beaucoup pour l'épuration des eaux usées avant leur rejet dans les cours d'eau (Couillard et al., 1986). Cependant, l'implantation d'usines d'épuration a fait apparaître un nouveau problème, celui de la disposition des boues. En effet, les usines d'épuration produisent une grande quantité de boues dont on ne sait pas encore comment disposer car, ces sous-produits risquent de devenir à leur tour une source de pollution.

D'après Vergès (1984), la valeur moyenne de production de boues est de 50 grammes de matière sèche par personne par jour, ce qui représente un volume de 1 à 2 litres de boues liquides par personne par jour. À l'échelle du Québec, si on admet que

5 200 000 personnes, soit 85% de la population, peuvent être raccordés à des stations d'épuration, on peut estimer que le programme d'assainissement va conduire à la production annuelle de 95 000 tonnes de matières sèches, ce qui équivaut à un volume de boues liquides de 1 900 000 m³/an à une concentration de 5%. On constate dès lors l'ampleur de la situation.

1.2 Problème des métaux lourds dans les boues

Lorsqu'un effluent d'eaux usées passe à l'intérieur d'une station d'épuration, à peine 1% du débit total de l'effluent est converti en boues. Cependant, ces boues contiennent environ 50 à 80% de la quantité totale de métaux lourds admis à cette station. De plus, le contenu en métaux lourds de ces mêmes boues est de l'ordre de 0,5 à 2% en poids sec (Henry et Wong, 1984) et peut atteindre quelquefois 4% (Lester et al., 1983). Ce phénomène de concentration de métaux dans les boues, jusqu'à un niveau significativement élevé, s'avère problématique lorsqu'on doit établir un mode d'élimination de ces boues contaminées qui minimise les impacts environnementaux.

Les boues épandues sur les sols cultivés peuvent engendrer la contamination des végétaux terrestres et aquatiques, posant ainsi des risques pour la santé publique quand l'assimilation de ces

métaux lourds les fait remonter la chaîne alimentaire jusqu'aux consommateurs humains.

1.3 Techniques de disposition les plus répandues

L'élimination en mer, dans les dépotoirs à déchets solides, et l'épandage sur les terres agricoles constituent trois moyens de disposition des boues qui sont largement utilisés dans le monde.

Si les boues contaminées par les métaux sont déversées en mer, elles risquent de provoquer un effet toxique sur la vie aquatique. De plus, aucune valeur supplémentaire leur est ajoutée puisqu'elles sont considérées comme des déchets et simplement éliminées. La décharge dans les dépotoirs a également le même désavantage. Cela va à l'encontre de l'objectif de valorisation des déchets souhaité par CRIQ, CQVB et Gouvernement du Québec (1986).

L'épandage des boues sur les sols cultivables attribue aux boues une valeur économique mais peut générer des risques potentiels pour la santé publique car il facilite l'assimilation des métaux par les plantes et leur accumulation subséquente à l'intérieur de la chaîne alimentaire (Suttle et al., 1975). De plus, les fortes concentrations de métaux lourds créent un effet néfaste sur la croissance des récoltes (Lester et al., 1983). Ce moyen d'élimination des boues constitue un danger potentiel de transport des métaux lourds, retenus dans les boues, vers les eaux de surface et

les eaux souterraines. La contribution du ruissellement direct et des réseaux de drainage au phénomène de transport augmentent substantiellement les risques de contamination de ces eaux et peuvent avoir de graves conséquences si elles constituent une source d'approvisionnement en eau potable (Förstner et Wittmann, 1979). Selon les directives de l'épandage des boues sur les terres agricoles, les boues à faible contenu en métaux peuvent être épanchées sur les sols, mais la fréquence de l'épandage des boues est régie par la charge cumulée des métaux ajoutés aux sols.

1.4 Objectif du projet

Le Gouvernement du Québec (1984; 1983) et Environnement Canada (1985) ont reconnu que le recyclage des boues résiduares pour leur valorisation agricole était l'avenue privilégiée à leur gestion, ce qui est appuyé par CRIQ, CQVB et Gouvernement du Québec (1986) concernant le recyclage dans son ensemble. Cependant, tous reconnaissent les risques associés aux métaux lourds qu'elles contiennent. Par conséquent, si la quantité de métaux associés aux boues était diminuée, un plus grand volume de boues pourrait être utilisé pour fertiliser les terres agricoles et forestières sans risquer des augmentations dans les sols de ces métaux indésirables. Il faut donc viser à les éliminer et c'est l'un des objectifs de ce projet.

2. PROCÉDÉS D'ENLÈVEMENT DES MÉTAUX LOURDS

La réduction du contenu en métaux lourds dans les boues résiduelles peut être faite de trois façons:

- a) à la source, ce qui réduit la quantité des métaux lourds entrant dans le système d'égout (et qui se retrouveront ultérieurement dans les boues);
- b) avant qu'ils atteignent le système de traitement des eaux usées;
- c) dans les boues.

Concernant le contrôle à la source, le problème principal est d'identifier les responsables de rejets chargés en métaux. De plus, même si les apports industriels sont les plus importants, leur élimination complète, à la source, ne règle pas à elle seule le problème parce que les eaux domestiques (et même de ruissellement urbain (Couillard, 1982; Couture et al., 1981)) sont chargées de métaux toxiques. Il faut donc plutôt aller vers le traitement des boues et/ou des effluents qui arrivent à l'usine de traitement.

2.1 Procédé physique

Des procédés physiques de filtration et d'adsorption peuvent être faits sur les effluents avant qu'ils atteignent le traitement

biologique des eaux. Ces techniques utilisent la tourbe ou le charbon activé. Au Québec, Coupal et Lalancette (1976) ont travaillé avec la tourbe. Les métaux dissous de l'effluent sont précipités sous forme de sulphures ou d'hydroxydes et sont adsorbés sur la tourbe. Il est à noter que le verrou est au niveau du Cr(VI). Celui-ci peut diminuer les rendements des traitements biologiques. Il est précipité par Na_2S et FeCl_3 et les agglomérats ainsi formés sont retenus dans la tourbe par filtration. Pour les métaux restés en solution, ils sont adsorbés sur les sites polaires de la tourbe, principalement sur la lignine qui représente un important constituant de la tourbe.

Lecours (1987) s'est aussi penché sur ce problème en utilisant de la tourbe brute et de la tourbe traitée avec H_2SO_4 pour enlever le Cr(VI) d'un effluent synthétique. Il a trouvé que, à $\text{pH} = 2,0$, il y avait enlèvement quasi complet du Cr(VI) présent dans l'effluent et que la tourbe traitée était plus efficace que la tourbe brute. Par contre, la lenteur du procédé de l'ordre de plusieurs jours, est un facteur limitant quand vient le temps de traiter des volumes importants d'effluents.

Les résultats obtenus par le procédé physique (Coupal et Lalancette, 1976) sont encourageants: la plupart des métaux sont enlevés à plus de 90% et la teneur, après traitement, rencontre les normes fixées par l'Agence de Protection de l'Environnement américaine (EPA). Coupal et Lalancette (1976) ne donnent pas

d'indices sur les coûts d'un tel traitement, mais lors de l'entrevue (voir annexe 1) Dr. Coupal (Institut de Recherche en Biotechnique de Montréal) a mentionné que les recherches sur la tourbe ont été abandonnées parce que le matériel était devenu trop dispendieux.

2.2 Procédés chimiques

Plusieurs méthodes chimiques de solubilisation des métaux lourds des boues d'épuration ont été suggérées (Scott et Horling, 1979; Bloomfield et Pruden, 1975; Oliver et al., 1975; Cornwell et al., 1980; Hayes et al., 1980; McNulty et al., 1977; Wozniak et Huang, 1982; Jenkins et al., 1981). Une des meilleures méthodes utilise le EDTA ("ethylene-diamine-tetraacetic-acid"), un agent chélateur puissant. Cette méthode est très efficace pour enlever le Cd, le Pb et le Cu (Jenkins et al., 1981), mais moins efficace pour le Fe, le Ni et le Cr. Hayes et al. (1980) ont développé une méthode d'extraction à l'acide utilisant une digestion aérobie thermophile générant sa propre énergie, connue sous l'appellation "aerobic autoheated thermophilic digestion (AATD)". Cette méthode, encore expérimentale, exploite des conditions aérobies pour produire assez d'activité biologique qui maintient les conditions thermophiles. En général, le procédé AATD donne de meilleurs résultats d'enlèvement des métaux que les autres procédés utilisant seulement de l'acide avec des boues non digérées ou digérées anaérobies.

La littérature sur la solubilisation des métaux rapporte que différentes boues (primaires, activées ou digérées) ne présentent pas toutes les mêmes taux de solubilisation lorsque soumises à différents traitements. Les différences d'efficacité de la solubilisation des métaux peuvent être expliquées en grande partie par la présence de formes inorganiques sous certaines conditions aérobies et anaérobies (Hayes et Theis, 1978). Lors de la digestion anaérobie, la chimie des métaux lourds n'est pas seulement contrôlée par la solubilité des précipités inorganiques, mais aussi par la sorption et l'incorporation subséquente des métaux dans la biomasse du digesteur. Il y a des faits qui suggèrent que les métaux lourds associés à la fraction organique des boues sont moins disponibles que les précipités inorganiques (Leeper, 1972; Chaney, 1973). Dans les environnements acides plus particulièrement, les précipités inorganiques pourraient être solubilisés rapidement, ce qui n'est pas le cas si les métaux sont liés organiquement comme dans les boues. Selon Theis et Hayes (1978), dans les boues anaérobies les sulfures, sauf ceux du Cr, contrôlent la solubilité des formes inorganiques. Le Cr ne forme pas de sulfures stables, mais est plutôt contrôlé par la forme hydroxyde (Cr III) (Hayes et al., 1980). Pour le Cu, il semble que Cu_2S contrôle la solubilité de ce métal, tandis que pour Cd, Ni, Pb et Zn, ces métaux formeraient des sulfures simples (Theis et Hayes, 1978).

La solubilité des métaux est régie principalement par le pH, mais ce n'est pas le seul facteur. Parmi les autres facteurs importants, il y a le potentiel d'oxydo-réduction (POR) de la boue, les concentrations des métaux et des ligands (anions ou molécules neutres). Theis et Hayes (1978) ont observé que le seul abaissement du pH d'une boue anaérobie ne provoque pas une solubilisation des métaux présents, sous forme de sulfures, vers une forme ionique soluble si l'acidification n'est pas précédée d'une augmentation du potentiel d'oxydo-réduction de la boue, sauf pour quelques métaux, par exemple le Zn, qui solubilise en diminuant le pH sans augmenter le POR.

Le POR des boues digérées est de l'ordre de -300 à -520 mV. Si le potentiel est porté au-dessus de +100 mV, il est prévu que du Cd^{2+} sera formé en abaissant le pH sous 4,0 (Theis et Hayes, 1978; Hayes et al., 1980). Ainsi, les procédés de solubilisation exigent un ajustement optimal du POR et du pH pour favoriser au maximum la formation des ions métalliques solubles. Le POR des boues anaérobies peut être augmenté par voies d'oxydations chimiques ou biologiques. L'oxydation chimique peut être faite par aération ou par ajout d'agents oxydants. Avec l'aération, le taux d'oxydation est très lent.

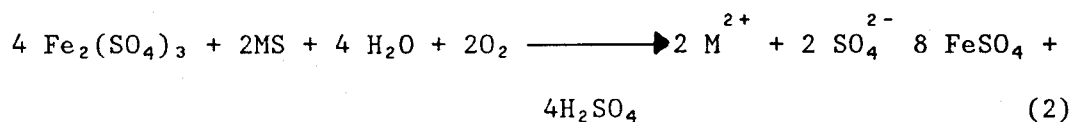
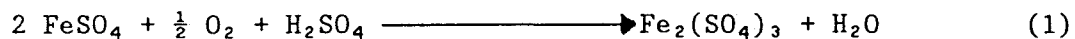
Concernant les oxydants chimiques, le coût de l'énergie encourue ou des produits chimiques [coûts correspondants à l'achat de l'acide sulfurique (peu élevé) et de l'EDTA (très élevé) selon les cas] et les changements de la valeur fertilisante de la boue traitée (appauvrissement en N, P, K) représentent des facteurs défavorisant ce procédé.

2.3 Procédés biologiques

Hayes et al. (1980) ont augmenté le POR à l'aide d'un traitement biologique aérobie précédant l'acidification et ont obtenu une excellente solubilisation des métaux. Les sulfures des métaux dans les boues digérées peuvent être oxydés en sulfates solubles, augmentant du même coup le POR et cela par l'action du lessivage microbien. Cette technique est utilisée pour dissoudre les sulfures en sulfates des minéraux dans les mines. Les deux espèces microbiennes associées au lessivage biologique sont Thiobacillus ferrooxidans et Thiobacillus thiooxidans. Ces organismes sont autotrophes, nécessitent du CO₂ comme source de C et l'énergie pour fixer le CO₂ est fournie par l'oxydation du soufre et des composés réduits du S en sulfates. Les équations suivantes représentent les réactions:

Procédé indirect:

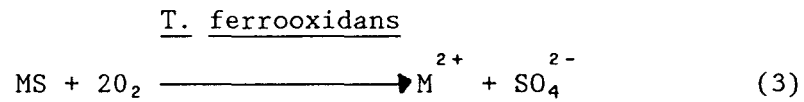
T. ferrooxidans



La réaction 1 a lieu avec la participation obligatoire de T. ferrooxidans, alors que la réaction 2 n'est que chimique, sans aucune participation des bactéries. Une boucle entre les réactions 1 et 2 s'amorce, ce qui solubilise de plus en plus de métaux, le tout étant favorisé par la génération continue de H_2SO_4 . (Dans ces équations, MS représente le sulfure du métal et M^{2+} la forme ionique soluble de ce métal).

Procédé direct:

Dans ce procédé, les sulfures de métaux non-ferreux sont oxydés directement par T. ferrooxidans en sulfates solubles selon l'équation 3:



Il faut cependant noter que T. thiooxidans ne peut pas oxyder le Fe; il est plutôt reconnu pour sa capacité à croître sur des composés de S élémentaires.

Le seul désavantage signalé est la lenteur du procédé. Cet inconvénient pourrait être contré si de nouvelles souches de bactéries étaient développées (ce qui pourrait être exécuté par l'Institut Armand-Frappier (IAF): Chahal, Bisailon et coll.) et si les conditions du procédé dans le bioréacteur étaient optimisées.

2.4 Comparaison des procédés

Les traitements physiques de filtration/adsorption à la tourbe ont un point positif très important concernant le Cr(VI), car ce métal peut nuire considérablement à la bonne marche d'un traitement biologique. Il pourrait donc être incorporé à une chaîne de traitements s'il y a du Cr en concentrations suffisantes dans l'effluent, ce qui reste à vérifier.

Les traitements à l'acide donnent de bons résultats d'enlèvements des métaux, mais des facteurs tels que les coûts, les difficultés d'opération, les grandes quantités d'acide nécessaires (0,5 à 0,89 g H₂SO₄/g de boue séchée), les grandes quantités de chaux requises à la fin du traitement et dans certains cas des solubilisations partielles des métaux rendent les applications pratiques à grande échelle de ces procédés complètement désuètes.

La méthode d'extraction des métaux lourds par des processus biologiques impliquant Thiobacillus ferrooxidans et T. thiooxidans est plus simple que les méthodes chimiques. Elle requiert moins d'acide pour le lessivage et moins de base pour remonter le pH. La dilution initiale de la boue n'est pas nécessaire et par la suite, les coûts d'épaississement de la boue décontaminée sont réduits. Des taux substantiels de solubilisation sont atteints, par exemple 96% pour le Zn, 75% pour le Cu, 55% pour le Pb et 50% pour le Cd. La boue purifiée est sans odeur et n'entraîne donc aucun problème de manutention. Elle peut être épandue sur les terres en plus grandes quantités sans risquer d'accumuler trop de métaux toxiques. Le coût des produits chimiques nécessaires permet de réaliser des économies de l'ordre de 80% sur les méthodes chimiques et le procédé biologique ne requiert pas d'équipement hautement résistant à la corrosion.

3. ÉTAT DE LA R & D AU QUÉBEC

La recherche et développement au Québec sur l'enlèvement des métaux lourds des boues et de leur valorisation en agriculture et en foresterie est encore actuellement à un stade embryonnaire, (excepté certains cas spécifiques mentionnés ci-dessous), bien que la solution au problème s'avère des plus pressantes. Dans l'ordre décroissant d'importance des travaux en laboratoire et de la mise en application (études sur le terrain), on peut citer les travaux des équipes de l'INRS-Eau, du Centre Spécialisé en Technologie Minérale (CSTM) de Thetford Mines, du département des ressources renouvelables de l'Université McGill, ainsi que ceux de l'équipe de l'IAF. Pour ces équipes, la disponibilité des résultats a permis de broser un tableau plus précis et détaillé que pour les autres où les résultats des travaux à l'état embryonnaire n'ont pas fourni de réponses aux informations requises.

3.1 Université McGill

Au département de génie chimique, l'équipe du professeur Volesky utilise des souches de Rhizopus pour des recherches en "biosorption". Ce phénomène concentre sur la biomasse bactérienne morte des ions métalliques présents dans l'eau de mer ou des effluents miniers ou de réacteurs nucléaires (Treen-Sears et al., 1985; 1984; Volesky, 1986). D'autres recherches portent sur des algues marines pour concentrer des métaux précieux (or et platine)

sur la biomasse. Les recherches sont encore au niveau du laboratoire. Ces recherches sont fort intéressantes, mais vont à l'opposé de l'objectif du présent mandat qui vise à éliminer les métaux des cellules bactériennes (des boues) et non à les concentrer et aucun procédé de séparation n'est encore au point.

Au département des ressources renouvelables, l'équipe du professeur Jones a mené des essais sur le terrain. Ceux-ci ont porté sur la fertilisation de peupliers hybrides par des boues résiduaires (Schuan, 1987). Les recherches ont donc dépassé l'étape du laboratoire.

3.2 Institut Armand-Frappier

Actuellement, à l'IAF, les professeurs Chahal et Bisailon travaillent surtout sur la bioconversion, à l'aide de microorganismes, du matériel cellulosique et des déchets, comme le purin de porc, en matériel protéinique pour l'alimentation animale.

Une collaboration entre l'IAF et l'INRS-Eau est en cours: elle concerne l'isolation d'une souche de Thiobacillus plus efficace (performante) pour réaliser le lessivage des métaux, mais les travaux en sont à leurs débuts. Le niveau atteint est encore celui du laboratoire.

3.3 Éco-Énergie

Cette firme privée de Montréal s'est penchée sur l'enlèvement des métaux des effluents industriels contenant de fortes concentrations de métaux. Des procédés utilisant des techniques catalytiques et électrochimiques ont été appliquées. Des calculs de coûts ont été effectués sur ces procédés extrapolés à pleine échelle: les usines pilotes n'ont pas encore été construites. Aucune étude n'a porté sur l'enlèvement des métaux des boues résiduelles.

3.4 Université Laval

À l'Université Laval, le Pr. Ramalho, avec un étudiant, a examiné la possibilité de réduire les concentrations de Cr d'un effluent en le faisant circuler dans la tourbe. Cela semble réalisable malgré la lenteur du procédé. Rien n'est fait concernant les traitements aux boues résiduelles elles-mêmes. Les travaux sont au niveau du laboratoire.

3.5 Centre Spécialisé en Technologie Minérale de Thetford-Mines

L'équipe du professeur Lacroix utilise des boues résiduelles pour remettre en végétation les collines stériles de la région de l'Amiante. Les travaux en sont à leurs débuts, mais sont prometteurs. Plusieurs phases du projet impliquent des essais sur le

terrain et ont donc dépassé le stade du laboratoire. Cette équipe a récemment déposé une proposition de recherche pour l'étape III du projet de revégétation des haldes minières au CQVB.

3.6 INRS-Eau

Utilisant une culture mixte, soit T. ferrooxidans et T. thiooxidans, l'INRS-Eau a obtenu des résultats de solubilisation de 97% pour le Zn, 75% pour le Cu, 55% pour le Pb et 50% pour le Cd après 12 jours d'expérimentation (Tyagi et Couillard, 1987). Les taux de solubilisation obtenus ont rendu la boue apte à être valorisée en agriculture, dû à la diminution importante du Cu et Pb qu'elle contenait. Ces résultats sont présentés au tableau 1. De plus, le Centre de recherche a déjà exécuté des recherches utilisant les boues résiduaires comme fertilisant forestier.

Tableau 1: Taux de solubilisation obtenus avec une culture mixte de T. ferrooxidans et T. thiooxidans après 12 jours (en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de matière sèche)

| Métal | Concentration initiale | Concentration finale | Pourcentage d'enlèvement | Teneur admissible Flynn et al. (1984) |
|-------|------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Cd | 10 | 5 | 50 | 10 |
| Cu | 2 300 | 575 | 75 | 600 |
| Pb | 465 | 253 | 55 | 300 |
| Zn | 640 | 19 | 97 | 1 750 |

Grenier (1985) a fertilisé des mélèzes laricins croissant en serres. Le Centre a aussi développé un modèle pour l'évaluation des sites d'épandage des boues d'épuration (Giroux, 1986). Les recherches ont donc dépassé le niveau du laboratoire.

3.7 Résumé de la situation

Les recherches actuellement en cours au Québec sur les procédés d'enlèvement des métaux lourds se concentrent surtout au niveau du laboratoire et aucune n'est parvenue à l'étape de mise à l'échelle. Concernant l'application de boues sur le terrain, les équipes du CSTM et du département des ressources renouvelables de l'Université McGill ont dépassé les étapes laboratoire/serres, tandis que l'INRS-Eau est au niveau des serres. Cependant, aucune des institutions n'a encore d'interventions qui peuvent vraiment être qualifiées de mise à l'échelle.

Par contre, au Québec, l'INRS-Eau est le seul organisme qui fait des recherches utilisant le lessivage bactérien pour éliminer les métaux lourds des boues résiduelles et qui s'est engagé activement dans des procédés de valorisation agricole et forestière. L'INRS-Eau serait aussi intéressé à travailler de concert avec le groupe de Thetford-Mines, par exemple, pour la valorisation des boues d'épuration sur des déchets miniers. La coopération et la participation des ministères impliqués constituera un apport indispensable à la réussite d'une telle concentration.

4. INTÉRÊTS ET BESOINS DES MINISTÈRES QUÉBÉCOIS

Quatre ministères du gouvernement du Québec sont concernés par le problème des boues d'épuration, soit le ministère de l'Environnement (MENVIQ), le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) et le ministère des Affaires municipales (MAM). Le MENVIQ favorise le recyclage et la récupération des déchets; il lui échoit donc de gérer les boues résiduelles de la façon la plus rationnelle possible sans encourir de risques environnementaux. Le MAPAQ et le MER sont identifiés comme des utilisateurs de boues résiduelles et désirent aussi utiliser des boues qui présentent un minimum de risques. Le MAM s'occupe de l'aspect législatif concernant la disposition des déchets. Globalement, le Gouvernement est d'accord pour valoriser les déchets et a affirmé que son appui financier et technique est disponible pour tout projet allant dans ce sens, comme des projets de démonstration ou différentes études (CRIQ, CQVB et Gouvernement du Québec, 1986).

4.1 Séminaire sur la valorisation des déchets urbains

Le CQVB, avec la collaboration du CRIQ et du Gouvernement du Québec, a organisé une table ronde à l'automne 1986 qui a réuni, outre les représentants des organisateurs, les plus importantes firmes de consultants, des industriels et des représentants du gouvernement (MENVIQ, MAPAQ, MER et MAM et Énergie, Mines et

Ressources Canada) intéressés dans la gestion des déchets urbains. La conclusion principale qui se dégage de cette rencontre est que l'élimination des métaux lourds est un point commun dans la valorisation de tous les déchets et que tout projet de recherche et développement en ce sens doit être développé. La planification de la valorisation des déchets implique plusieurs intervenants, d'où la suggestion de travailler en collaboration entre organismes.

4.2 Minéralisation de l'azote

Puisque le but ultime de la valorisation agricole ou sylvicole est de profiter des avantages fertilisants des boues, le MENVIQ, le MAPAQ et le MER souhaitent que soit étudiée l'évolution de l'azote, élément le plus important, contenu dans les boues purifiées. Il est généralement admis que le taux de minéralisation ($N\text{-org} \rightarrow NH_4^+$ et NO_3^-) est de 15 à 20% par an. Si ce taux augmente, y aura-t-il trop de pertes de N par lessivage (de NO_3^-) ou s'il diminue la valeur fertilisante sera-t-elle encore acceptable? De plus, les études devraient vérifier si cette période de minéralisation correspond à celle où les cultures en ont le plus besoin. Ces besoins sont fonction des types de cultures et des types de sols. Le MAPAQ préconise l'utilisation des boues pour la production de maïs-grain et d'ensilage de céréales et de foin. Des essais au champ devraient donc porter sur ces cultures.

4.3 Compostage des boues

Le MER (section forêt) propose l'utilisation des boues pour l'amendement des sols sableux. Aussi, ce ministère préconise l'étude du compostage des boues parce que, d'après eux, un compost fait de boue et de déchets ligneux serait plus efficace pour structurer et améliorer un sol sableux ou un sable qu'une boue utilisée seule. Les professionnels de ce ministère craignent que la boue seule sur sable laisse percoler trop de N, avis qui est partagé par le personnel du MENVIQ pour les NO₃. Le MER a déjà identifié des groupements forestiers dans les régions de Beauce et de l'Assomption qui ont des problèmes d'aménagement du territoire et de lutte à la pollution. Le compostage pourrait aussi remettre en valeur des sites perturbés (déchets de mines, carrières abandonnées) où la réfection du couvert végétal est l'objectif du MER, section mines. Il n'est pas certain que l'utilisation de boue seule rencontrerait cet objectif. La question se résume donc à vérifier, par des études au champ, si une boue modifiée biologiquement par l'enlèvement des métaux peut être compostée, ce qui n'a pas encore été vérifié et s'il est ensuite possible d'en faire un bon fertilisant.

4.4 Chimie et spéciation des métaux

Parallèlement à l'enlèvement des métaux lourds, leur chimie et leur spéciation devraient être étudiées. Les métaux les plus concernés comprennent le Cd, le Cr et le Zn. Cet aspect est peu cité dans la littérature qui rapporte presque essentiellement des concentrations en métal total. Il n'est pas certain que leur présence soit nuisible s'ils ne sont pas disponibles et s'ils ne le deviennent pas. Aussi, en regard de ce problème, le pH doit-il être maintenu à 6,0 et plus. Il est rapporté que les chélates empêcheraient le passage des métaux dans la plante. Des essais sur le terrain devraient être faits pour lever ces interrogations.

4.5 Autres métaux (Al, Fe, Na)

Puisqu'il est prévu que beaucoup de boues seront flocculées à l'alun, le MENVIQ suggère d'étudier l'Al, tant avec l'enlèvement des métaux lourds que son évolution dans le sol. Les études devraient aussi porter sur le Fe, car il semblerait que, par action bactérienne, le fer bloque les dispositifs de drainage artificiel des terres agricoles. On sait pertinemment que les processus biologiques d'enlèvement des métaux des boues nécessitent des quantités non-négligeables de Fe. Finalement, le Na devrait être suivi, car des craintes sont formulées à son sujet concernant l'augmentation de salinité des sols.

4.6 Expérimentation sur le terrain et en laboratoire

Les moyens mis en oeuvre consistent à effectuer des tests avec différents types de culture, incluant des cultures forestières. Un point important souligné par les représentants des ministères est la présence pour ces essais de spécialistes, soit des agronomes pour le volet agricole et des ingénieurs forestiers pour le volet forestier. De plus, puisque le MENVIQ et le MAPAQ ont préparé un guide de valorisation agricole des boues, des essais au champ permettrait de le valider ou d'y apporter des corrections.

Puisque les boues, en raison de l'hiver, devront être entreposées plusieurs mois par année et possiblement déshydratées ou épaissies, que restera-t-il de leur valeur fertilisante, surtout en N? Des essais en laboratoire répondront à ces questions.

4.7 Résumé des besoins

Dans ce chapitre, nous avons exposé la position des organismes publics et gouvernementaux concernés par le problème des métaux lourds. Les besoins exprimés par ces intervenants sont résumés dans le fichier des organismes contactés.

Malgré tous les avantages reliés à la valorisation des boues, les quatre ministères (cités plus haut) concernés par le problème des métaux lourds, expriment leurs craintes sur les effets néfastes potentiels que représentent les métaux lourds qu'elles contiennent. Ils sont donc en plein accord avec l'arrivée sur le marché des boues exemptes ou à teneur réduite en métaux lourds, ce qui représente une diminution importante des risques potentiels à leur utilisation et les incite davantage à les utiliser.

Par contre, beaucoup d'inconnues restent à lever, comme la minéralisation de N, les effets du compostage et l'évolution des métaux résiduels. Ces interrogations pourront être levées par des expériences in-situ, tel que proposé au chapitre suivant.

5. RECOMMANDATIONS

Les recommandations formulées dans ce chapitre sont le fruit des consultations menées auprès des représentants des ministères québécois et autres organismes impliqués dans la valorisation ou le traitement des boues résiduaires. Elles visent à cerner la meilleure stratégie possible pour réaliser cette valorisation.

5.1 Organisme retenu

Le tableau 2 schématise les besoins exprimés par les ministères et l'état actuel des recherches sur l'enlèvement des métaux lourds (voir détails en annexe).

La conclusion principale est que l'INRS-Eau est le seul organisme qui exécute des recherches dans les 2 domaines à la fois. Par contre, il est bien entendu que l'INRS-Eau n'agirait pas seul dans le projet. C'est pourquoi il est suggéré d'associer d'autres organismes et équipes de chercheurs à la nôtre, tel que souhaité par le document CRIQ, CQVB et Gouvernement du Québec (1986), dans le cadre d'une action concertée pour profiter au maximum de leurs expériences.

Le schéma fourni plus loin donne un aperçu du genre de collaboration suggérée. Par exemple, l'Institut Armand-Frappier (Chahal, Bisailon et coll.) pourrait fournir des souches de

Tableau 2: Résumé de la situation au Québec

| ACTIVITÉS DES ORGANISMES CONSULTÉS | | |
|-------------------------------------|--|---|
| Organisme | Recherches sur l'enlèvement des métaux | Recherches sur la valorisation et l'usage des boues |
| MER-section forêts | NON | OUI |
| MER-section mines | NON | OUI |
| MAPAQ | NON | OUI |
| MENVIQ | NON | OUI |
| McGILL | | |
| - Dépt. de génie chimique | OUI | NON |
| - Dépt. de ressources renouvelables | NON | OUI |
| LAVAL | OUI | NON |
| SHERBROOKE | NON | NON |
| FIRMES PRIVÉES | | |
| - Groupe Poulin Thériault | NON | OUI |
| - Éco-Énergie | OUI | NON |
| CSTM | NON | OUI |
| IRBM | NON | NON |
| UQAM | NON | OUI |
| IAF | OUI | NON |
| INRS-Eau | OUI | OUI |

Thiobacillus plus efficaces (performantes); l'Université Laval (Ramalho et coll.) pourrait être chargée de l'enlèvement des métaux lourds des effluents à l'aide de lits de tourbe et l'UQAM (Jaouich et coll.) pourrait étudier les applications agricoles. Les divers ministères impliqués pourraient également amener leurs expertises et leur financement.

5.2 Programme d'actions et méthodologie

La figure 1 illustre le schéma d'intervention pour le programme de recherche proposé. Afin de tirer le meilleur parti de la présence et de l'expérience des intervenants, il est à suggérer de mener le maximum d'études à la fois en répartissant le travail qui peut être fait de façon simultanée entre les intervenants selon leurs compétences.

Le travail se divise globalement en deux grandes parties: il y a d'abord les traitements des effluents ou des boues pour les débarrasser des métaux lourds et ensuite il y a l'utilisation de boues purifiées en vue de leur valorisation.

SCHEMA D'INTERVENTION POUR PROGRAMME DE RECHERCHE SUR L'UTILISATION
DES BOUES D'EPURATION

EXTRACTION DES METAUX LOURDS EN VUE
DE LA VALORISATION DES BOUES D'EPURATION

LEGENDE

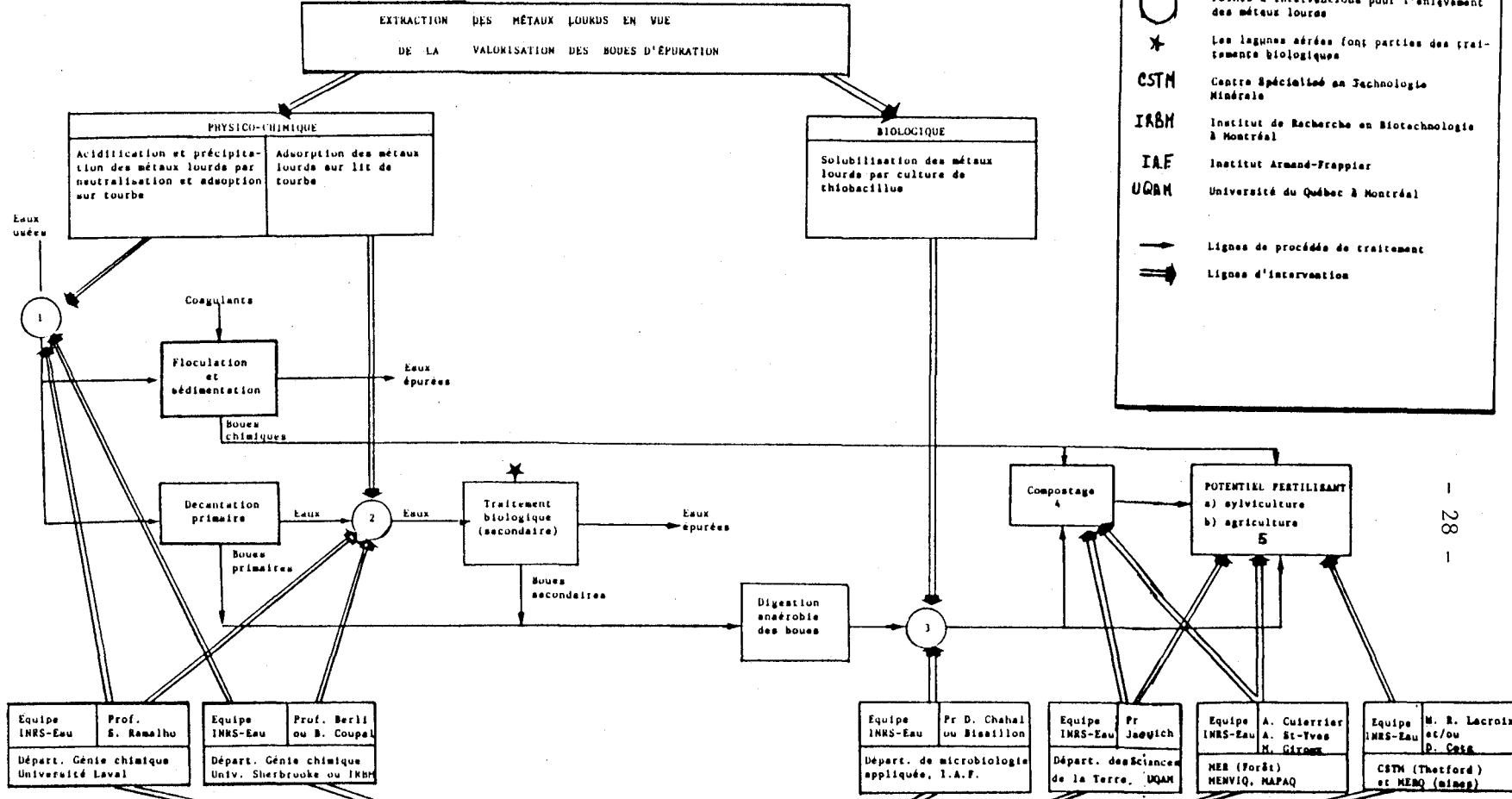
- Points d'intervention pour l'enlèvement des métaux lourds
- ★ Les lagunes aérées font parties des traitements biologiques
- CSTM Centre Spécialisé en Technologie Minérale
- IABM Institut de Recherche en Biotechnologie à Montréal
- IAF Institut Armand-Frappier
- UQAM Université du Québec à Montréal
- Lignes de procédés de traitement
- ⇒ Lignes d'intervention

PROCÉDÉS D'INTERVENTION

POINTS D'INTERVENTION SUR LA CHAÎNE DE TRAITEMENT

CHAÎNE D'ÉPURATION PHYSICO-CIMIQUE DES EAUX USÉES

CHAÎNE D'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX USÉES



INTERVENANTS POTENTIELS INSTITUTIONS

OBJECTIF DE L'INTERVENTION

STRATÉGIE D'ACTION FUTURE

ETUDE TECHNIQUE-ÉCONOMIQUE COMPARATIVE
(Consultant potentiel: Firmo Poulin-Thériault)

IDENTIFICATION DE LA
FILIÈRE LA PLUS PERFORMANTE

STRATÉGIE DE MISE
À L'ÉCHELLE

5.2.1 Procédés d'enlèvement des métaux lourds

5.2.1.1 Procédés physico-chimiques

Intervention sur les eaux usées brutes

Un procédé physico-chimique nécessitant l'acidification suivie d'une précipitation des métaux lourds par neutralisation peut être appliqué sur les eaux brutes qui entrent à l'usine de traitement. Ensuite, l'eau usée traitée peut être filtrée sur la tourbe où les métaux précipités seront adsorbés. L'INRS-Eau réalisera cette partie du mandat avec la collaboration éventuelle des équipes des Universités Laval ou Sherbrooke.

Intervention sur les eaux usées traitées

Un procédé physico-chimique impliquant les eaux usées qui ont subi une décantation primaire peut être réalisé par adsorption des métaux sur des lits de tourbe. L'INRS-Eau réalisera cette partie du mandat avec la collaboration de l'équipe de l'Université Laval ou celle de l'Université de Sherbrooke.

5.2.1.2 Précédés biologiques

Un procédé biologique impliquant des cultures de Thiobacillus peut être appliqué sur une boue anaérobie pour solubiliser les métaux qu'elle contient. Cette portion du mandat sera réalisée de concert par les équipes de l'INRS-Eau et de l'IAF.

5.2.2 Utilisation des boues purifiées

Les trois étapes précédentes visent à fournir des boues exemptes de métaux lourds. Il faut donc ensuite vérifier le comportement de ces boues modifiées pour les usages agricoles ou sylvicoles auxquels elles sont destinées.

5.2.2.1 Compostage

Le compostage de tous les types de boues produites sera expérimenté. La réalisation de cette partie du mandat se fera avec la collaboration de l'UQAM, du MER (section forêt), du MENVIQ et du MAPAQ.

5.2.2.2 Potentiel fertilisant

Une fois le compostage réalisé, il faut vérifier la valeur fertilisante de la boue compostée. C'est le but de cette partie.

En plus, le potentiel de la boue détoxifiée qui n'aura pas passé par l'étape du compostage sera testé pour évaluer la pertinence de cette opération. Les essais porteront sur des cultures agricoles et sylvicoles, sur des taux de minéralisation ou autre sujet d'intérêt pour les ministères, tel que vu au chapitre précédent. Les essais seront menés en champ, en serres et au laboratoire. Cette partie du mandat sera réalisée avec la collaboration de l'UQAM, du MER (section forêts et section mines), du MAPAQ, du MENVIQ et du Centre Spécialisé en Technologie Minérale (CSTM).

5.2.3 Actions futures pour prise de décision

Ultérieurement, une fois que toutes les expériences seront terminées, les résultats de tous les procédés testés seront rassemblés et étudiés pour cerner la faisabilité et le rendement économique des opérations. Ce mandat pourrait être confié à une firme privée spécialisée, par exemple le Groupe Poulin-Thériault. Le tout débouchera sur l'identification de la filière la plus performante permettant de songer à une stratégie de mise à l'échelle du procédé retenu.

5.3 Concertation

Le programme d'action et la méthodologie proposée sont préliminaires. Étant donné le nombre d'organismes intéressés dans la gestion et la valorisation des boues résiduelles, on propose

d'organiser une réunion préliminaire où les représentants des organismes intéressés seraient réunis. On y invitera aussi des gens du secteur privé, comme par exemple la firme Groupe-Poulin-Thériault, qui s'intéresse à la valorisation des boues résiduelles éventuellement produites à Québec (Communauté Urbaine de Québec-CUQ) et l'Association des Récupérateurs du Québec, qui a un projet de compostage des boues de la CUQ. À ces invités pourraient s'ajouter les représentants des municipalités aux prises avec la gestion des boues, comme par exemple la Communauté Régionale de l'Outaouais (CRO), qui est sans aucun doute la plus concernée actuellement puisqu'elle gère la plus grosse usine d'épuration des eaux usées du Québec. On y exposera les conclusions et recommandations acquises suite à la table ronde organisée par le CQVB dans le cadre des déchets urbains. Une de ces recommandations spécifie clairement la priorité de l'enlèvement des métaux lourds des boues d'épuration. De plus, cette recommandation est reprise dans une lettre de M. Jean-Maurice Plourde (CQVB) à M. Clermont Gignac, sous-ministre adjoint à la gestion de l'assainissement de l'eau (MENVIQ). (Voir copie en annexe 3). Cette réunion préliminaire serait à même de faire connaître les divers points de vue des organismes impliqués et leurs attentes concernant les projets proposés afin d'en arriver à un consensus sur la méthodologie finale à employer.

6. ÉCHÉANCIER

Le tableau 3 présente le calendrier des opérations pour mener à terme le projet recommandé au chapitre précédent. Selon les étapes retenues au schéma de la figure 1, les coûts reliés au projet varieront entre 300 000 \$ et 475 000 \$.

Tableau 3: Calendrier des opérations sur 2 années.

| ACTIVITIÉS | INTERVENANTS POTENTIELS | 1987 | | | | | | | | | | | | 1988 | | | | | | | | | | | | 1989 | | | |
|---|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------|------|--|--|--|
| | | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J | F | M | A | | | |
| Réunion préliminaire des intervenants | Tous | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Réunions périodiques et discussion des rapports d'étapes avec CQVB et intervenants | | | | | | X | | | | | X | | | | | | | | | | X | | | | X | | | | |
| Étude des résultats disponibles et décision à prendre pour les procédés physico-chimiques | INRS-Eau G. Chimique (Laval) ou G. Chimique (Sherbrooke) | _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Optimisation des conditions du procédé biologique | INRS-Eau IAF | _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Études en bio-réacteurs | INRS-Eau | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Production des boues nécessaires (exemptes de métaux) | INRS-Eau | | | | | | X | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| Études de la valeur fertilisante de la boue lessivée sur la croissance des plantes et des arbres (serres et/ou terrain) | INRS-Eau MENVIQ MER MAPAQ UQAM CSTM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Effets des applications de boues sur la concentration des métaux dans le sol | INRS-Eau UQAM MENVIQ MER MAPAQ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Études technico-économiques | Firme Poulin-Thériault | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -- optionnel -- | | | | |
| Rapports d'étapes | INRS-Eau | | | | | X | | | | | X | | | | | | | | | | | X | | | X | | | | |
| Table ronde et décision sur la filière la plus performante; stratégie de mise à l'échelle | Tous | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |

7. CONCLUSION

Il faut bien se rendre à l'évidence qu'actuellement, au Québec, malgré que certaines usines d'épuration des eaux usées soient déjà en fonction, qu'il n'y a aucun moyen de disposition des boues résiduelles ni d'action concertée entre les intervenants pour y parvenir. Cependant, tous s'entendent à dire que la concertation entre tous les intervenants concernés est nécessaire de façon à optimiser cette ressource que sont les boues résiduelles.

Le programme suggéré dans le chapitre précédent (recommandations) permettra au CQVB et aux ministères impliqués dans la gestion et l'utilisation des boues de même qu'aux organismes de recherche impliqués dans l'amélioration du produit en cause de faire front commun pour amener sur le marché des boues qui devraient être exemptes (ou du moins à teneurs réduites) de métaux toxiques. Cela constitue un premier pas essentiel en vue de leur valorisation agricole ou sylvicole puisque les risques de détérioration à l'environnement sont minimisés.

Une fois ces étapes franchies, une étude technico-économique identifiera la filière la plus performante; il restera ensuite à trouver un contractant pour la mise en place d'une usine pilote. Le tout se déroulera en même temps que de nouvelles usines de traitement des eaux usées seront mises en service et qui deviendront éventuellement preneuses de nos innovations pour le mieux-être de la collectivité québécoise.

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BLOOMFIELD, C. et G. PRUDEN. (1975). The effect of aerobic and anaerobic incubation on extratability of heavy metals in digested sludge. Environ. Pollut. 8: 217-232.

CHANEY, R.L. (1973). Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents on land. National Association of State University and Land-Grant Colleges, Washington, D.C., 129 pages.

CORNWELL, D.A., G.P. WESTERMOFF et G.C. CLINE. (1980). Batch feasibility testing of heavy metals removal from wastewater sludge with liquid - ion exchange. Proc. Mid Atlantic Waste Conf. 12 TM Bucknell Univ., Lewisburg, PA., Jul. 13-15, pp. 111-119.

COUILLARD, D. (1982). Toxicité des eaux de ruissellement de la fonte de neige en milieu urbain. Water Research. 16(7): 1197-1205.

COUILLARD, D., M. CROWLEY et J.L. SASSEVILLE. (1986). Technological public choice in practice: the case of wastewater treatment facilities. Journal of Environmental Management. 22(2): 133-145.

COUPAL, B. et J.M. LALANCETTE. (1976). The treatment of waste-waters with peat moss. Water Research. 10: 1071-1076.

COUTURE, P., COUILLARD, D. et G. CROTEAU. (1981). Un test biologique pour caractériser la toxicité des eaux usées. Environmental Pollution, série B, 2(3): 217-222.

CRIQ (CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC), CQVB (Centre Québécois de Valorisation de la Biomasse) et Gouvernement du Québec. (1986). Valorisation des déchets urbains. Compte-rendu du séminaire du 6 novembre 1986, 9 pages + 3 annexes.

ENVIRONNEMENT CANADA. (1985). L'épandage des eaux usées traitées et des boues d'épuration d'origine urbaine. Service de protection de l'Environnement, guide SPE 6-EP-84-1, 190 pages.

FLYNN, F., J.M. JALBERT, A. ST-YVES, A. TERRAULT et G. TRUDEL. (1984). Rapport sur la qualité des boues des stations d'épuration et autres boues. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement.

FÖRSTNER, V. et G.T.W. WITTMANN. (1979). Metal pollution in aquatic environment. Springer - Verlag, New York.

GIROUX, I. (1986). Évaluation des sites pour l'épandage des boues d'épuration. Université du Québec, INRS-Eau, mémoire de maîtrise.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. (1984). Bilan du programme de l'assainissement des eaux. Allocution du Ministre de l'Environnement monsieur Adrien Ouellette lors du Colloque de l'Union des municipalités du Québec sur l'assainissement des eaux. Montréal, 6-7 septembre 1984, 14 pages.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. (1983). Document de politique sur la gestion des boues provenant de l'épuration des eaux usées. Ministère de l'Environnement, 22 pages.

GRENIER, Y. (1985). La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux en fertilisation forestière. Université du Québec, INRS-Eau, mémoire de maîtrise, 290 pages.

HAYES, T.D. et T.L. THEIS. (1978). The distribution of heavy metals in anaerobic digestion. J. Water Pollut. Control Fed. 50(1): 61-72.

HAYES, T.D., W.J. JEWELL et R.M. KABRICK. (1980). Heavy metals removal from sludges using combined biological/chemical treatment. Proc. 34th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., West Lafayette, Ind. 1979. (Ann Arbor, MI Science Publishing).

HENRY, J.G. et L. WONG. (1984). Commercial mining technique offers a new approach to removing heavy metal from sludges. Water Pollution Control, 122(3): 56-61.

JENKINS, R.L., J.S. BENJAMIN, L.S. MARUIN, B. RODGER, M.P. LO et R.T. HUANG. (1981). Metals removal recovery from municipal sludge. J. Water Pollut. Control. Fed. 53(1): 25-32.

LECOURS, M. (1987). Adsorption du chrome hexavalent en solution aqueuse sur la tourbe et sur un résidu solide de l'hydrolyse de la tourbe. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Sainte-Foy (en rédaction).

LEEPER, G.W. (1972). Reactions of heavy metals with soils with special regard to their application in sewage water. Special report prepared for the U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

LESTER, J.N., R.M. STERRITT et P.W.W. KIRK. (1983). Significance and behaviour of heavy metals in wastewater treatment processes. The Science of Total Environment, 30: 45-53.

McNULTY, K.J., A.T. MALARKEY, R.L. GOLDSMITH et M.A. FREMONT. (1977). Development of a new process for sludge conditioning: a paper presented at the National Conference on composting of municipal residues and sludges, Rockville, Md., August 23-25 1977.

OLIVER, J.W., W.C. KREYE et P.M. KING. (1975). Heavy metal release by chlorine oxidation of sludge. J. Water Pollut. Control Fed. 47: 2490-2497.

SCOTT, D.S. et H. HORLINGS. (1979). Removal of phosphates and metals from sewage sludges. Environ. Sci. and Technol. 9(9): 849-855.

SCHUAN, T.D. (1987). The effect of sewage sludge and chemical applications on soils and on the growth yield of hybrid poplar. University McGill, Collège McDonald, thèse de maîtrise.

SUTTLE, N.F., B.J. ALLOWAY et I. THORNTON. (1975). An effect of soil ingestion on the utilisation of dietary copper in sheep. J. Agr. Sci. Camb. 84: 249-254.

THEIS, T.L. et T.D. HAYES. (1978). Chemistry of heavy metals in anaerobic digestion. In Chemistry of wastewater technology. A.J. Rubin (eds), Ann Arbor Science Publisher Inc., Ann Arbor, MI, pp. 403-419.

TREEN-SEARS, M.E., S.B. MARTIN et B. VOLESKY. (1985). Control of Rhizopus biosorbents' quality during propagation. Int. Symp. Biohydrometallurgy, Vancouver, B.C., August 21-24 1985, pp. 305-308.

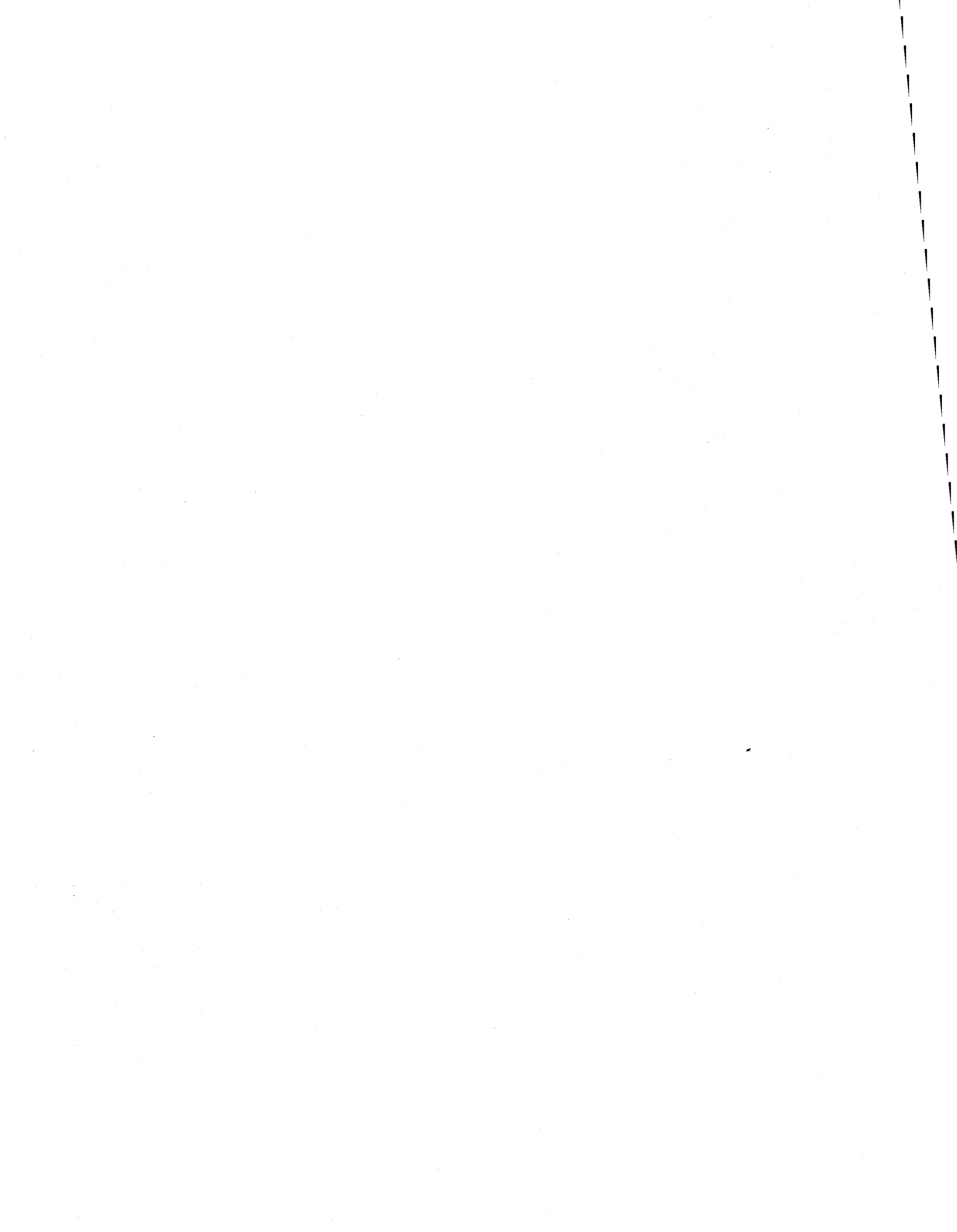
TREEN-SEARS, M.E., S.B. MARTIN et B. VOLESKY. (1984). Propagation of Rhizopus javanicus biosorbent. Applied and Environmental Microbiology. 48(1): 137-141.

TYAGI, R.D. et D. COUILLARD. (1987). Heavy metals removal from anaerobically digested sludge by chemical and microbiological methods. Water Research (soumis pour publication).

VERGÈS, G. (1984). La disposition des boues des stations d'épuration. Colloque sur l'assainissement des eaux, U.M.Q., septembre 1984, 11 pages.

VOLESKY, B. (1986). Biosorbent materials. Biotechnology and Bioengineering Symp. No 16. John Wiley and Sons, Inc. pp. 121-126.

WOZNIAK, D.J. et J.Y.C. HUANG. (1982). Variables affecting metals removal from sludge. J. Water Pollut. Control Fed. 54: 1574-1580.



ANNEXE 1

FICHER SUR LES ORGANISMES CONTACTÉS

Organisme : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de
l'Alimentation du Québec (MAPAQ).

Personne contactée: Marcel Giroux.

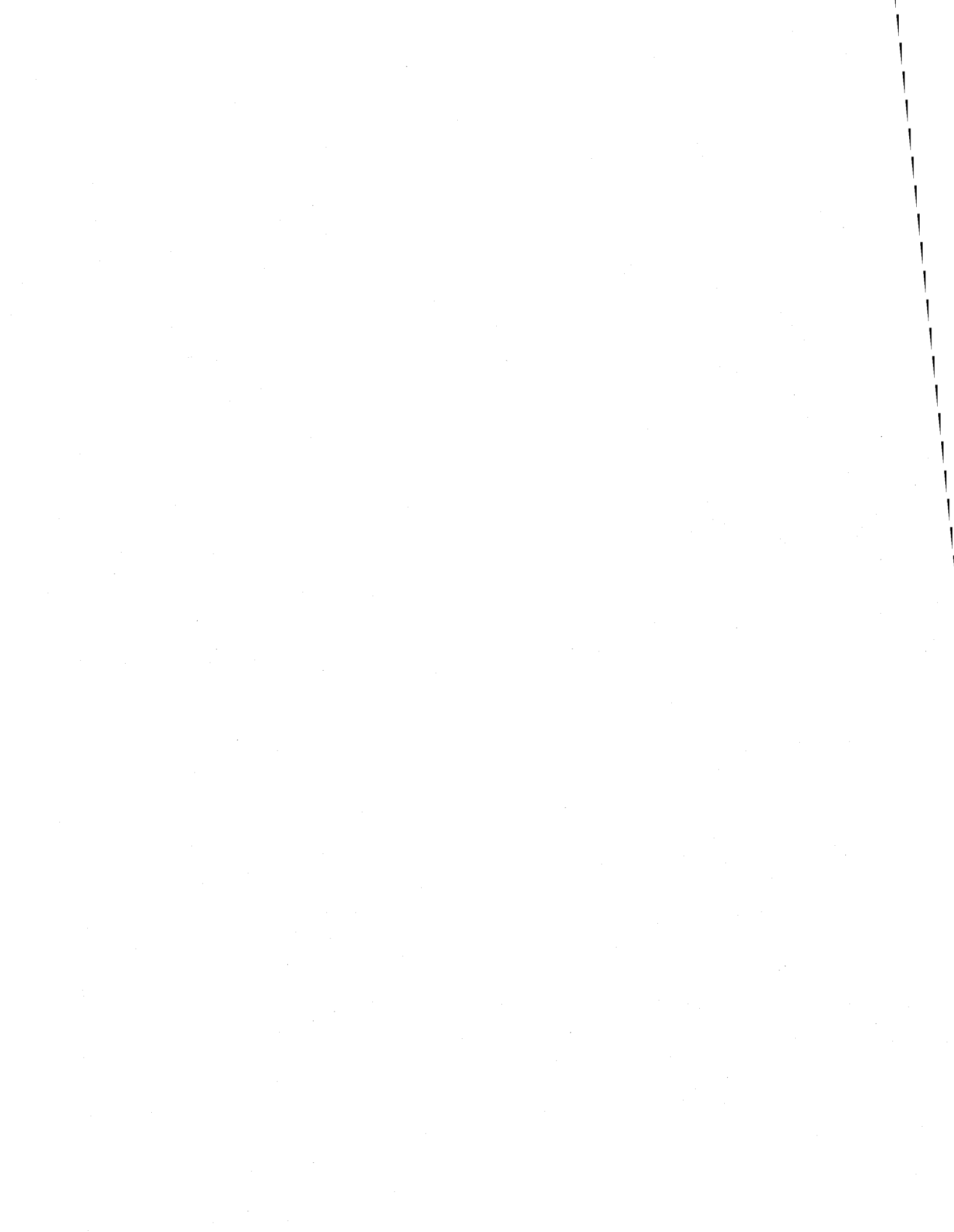
Service : Service de recherches en sols.

Besoins

- taux de minéralisation NPK.
- concordance avec les besoins des plantes.
- spéciation des métaux lourds.

Suggestions

- essais avec du maïs, des céréales, du foin.
- présence essentielle d'agronomes.



Organisme : Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) (section forêt).

Personne contactée: Alain Cuierrier et Harold Tremblay.

Service : Service de transfert technologique.

Besoins : Compostage avec des déchets ligneux.

Suggestions : Amélioration des sols sableux.

Organisme : Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ).

Personne contactée: Angèle St-Yves

Service : Service de l'assainissement agricole.

Besoins : Études sur toxiques organiques (BPC, HPA, etc.)
Études sur les métaux lourds et Fe, Na, Al.

Suggestions : Disponibilité de N et P après lessivage bactérien.
Minéralisation de N.
Pertes de N par épaissement des boues.

Organisme : Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) (section mines).

Personne contactée: Denis Côte

Service : Service de technologie minière.

Besoins : Remise en valeur des déchets miniers.

Suggestions : Contacter le Centre Spécialisé en Technologie Minérale (CSTM) du Cégep de Thetford-Mines qui a déjà des essais en place.

Organisme : Éco-Énergie.

Personne contactée: Robert Magny

Service : Firme privée.

Activités : Enlèvement des métaux des effluents industriels par
procédés électrochimiques et catalytiques.

Organisme : Groupe Poulin-Thériault

Personne contactée: Danielle Cossette

Service : Firme privée.

Activités : Gestion de déchets urbains, économique, génie conseil,
environnement.

Organisme : Cégep de l'Amiante.

Personne contactée: M.R. Lacroix

Département : Centre Spécialisé de Technologie Minérale (CSTM).

Activités : Revégétation des déchets miniers d'amiante.

Commentaires : Il travaille en collaboration avec le MER (section mines).

Organisme : Université du Québec à Montréal (UQAM).

Personne contactée: Dr. A. Jaouich

Département : Département des sciences de la terre.

Activités : Hydrocarbures, boues résiduelles, aménagement du territoire.

Équipe : Renseignements non-disponibles.

Commentaires : Il est intéressé par l'aspect agronomique des boues.

Organisme : Université Laval

Personne contactée: Dr R.S. Ramalho

Département : Département de génie chimique

Activités : Effluents industriels, réacteurs anaérobiques.

Équipe : 1 professeur.
1 assistant de recherche à temps partiel.
3 étudiants.

Commentaires : Aucun travail sur les boues.

Organisme : Institut Armand-Frappier (IAF)

Personnes contactées: Dr D.S. Chahal et J.G. Bisailon

Département : Centre de recherches en microbiologie appliquée.

Activités : Biomasse, bioconversion, procédés de transformation, micro-organismes.

Équipe : 4 professeurs (Chahal, Bisailon, Audet et Ishaque).
6 techniciens.
2 étudiants.

Commentaires : Aucun travail sur les boues.

Organisme : Université du Québec

Personne contactée: Dr Denis Couillard

Département : Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau).

Activités : Assainissement des eaux, optimisation des procédés de traitement, lessivage microbiologique, valorisation des boues.

Équipe : 2 professeurs (Couillard, D. et Tyagi, R.D.).
1 assistant de recherche.
7 étudiants.

Organisme : Université McGill

Personne contactée: Dr B. Volesky

Département : Département de génie chimique

Activités : Fermentation du petit lait, adsorption biologique sur la biomasse bactérienne, fermentation pour tirer des solvants industriels des ressources renouvelables, optimisation des processus de fermentation.

Équipe : Renseignements non-disponibles.

Commentaires : Aucun travail sur les boues résiduares.

Organisme : Université McGill

Personne contactée: Dr A.R.C. Jones

Département : Département des ressources renouvelables

Activités : Boues d'épuration comme fertilisant forestier.

Équipe : Renseignements non-disponibles.

Organisme : Institut de Recherche en Biotechnique de Montréal (IRBM).

Personne contactée: Dr B. Coupal

Commentaires : Abandon complet des recherches sur la tourbe parce que le matériel est devenu trop dispendieux.

Organisme : Université de Sherbrooke

Personne contactée: Dr M. Beerli

Département : Département de génie chimique.

Activités : Décontamination des sols; eaux de lixiviation.

Équipe : 4 professeurs.
12 étudiants.

Commentaires : Les recherches sur l'enlèvement des métaux par la tourbe sont terminées depuis une dizaine d'années, mais des étudiants s'intéressent encore ponctuellement à cette question; la reprise de cette activité les intéresseraient.

ANNEXE 2

MANDAT POUR LA RÉALISATION DE L'AVIS TECHNIQUE

**MANDAT POUR LA REALISATION
D'UN AVIS TECHNIQUE**

1. Titre

Extraction de métaux lourds en vue de la valorisation des boues d'épuration biologiques.

2. Objectif

Par la mécanique de cet avis technique, le CQVB veut cerner grossièrement la problématique posée au Québec par la présence des métaux lourds dans les boues provenant de traitements biologiques des effluents urbains, industriels ou agricoles, et envisager par après les potentiels d'utilisation de ces boues détoxifiées.

3. Mandat du consultant

La problématique posée par la présence des métaux lourds sera cernée par le consultant, en faisant ressortir toutes les implications.

3.1 Le consultant présentera l'état de la situation sur les procédés d'enlèvement des métaux lourds au Québec et ailleurs les plus récemment connus (cinq dernières années) incluant les procédés non biologiques. A ce niveau, le consultant aura à présenter le degré d'avancement en terme de R&D pour chaque procédé en y mettant en relief la caractéristique majeure et les verrous technologiques rencontrés. Ce survol de la littérature conduira à l'identification d'un ou des procédés jugés les plus pertinents au regard de l'objectif ci-haut.

3.2 Le consultant brossera l'état actuel de la R&D et des installations opérant présentement au Québec. Il précisera le niveau de développement (lab-scale, PDU, échelle-pilote, unité commerciale) de celles-ci.

Dans ce cadre-ci, le consultant présentera la liste des groupes de recherche au Québec intéressés et oeuvrant dans le contexte des métaux lourds. Un cheminement opérationnel doit y être présenté et sur lequel sera illustré schématiquement le niveau d'intervention de chacun de ces groupes afin de déterminer le degré de concertation, si concertation il y a.

Sur le plan de cet inventaire seront précisées, pour chaque groupe, les ressources humaines oeuvrant dans le domaine, les ressources financières (provenance et utilisation des fonds) et enfin les dossiers majeurs ayant fait l'objet de subventions (actions structurantes, thématiques, propositions spontanées, etc.).

- 3.3 Le consultant ira sonder le point de vue des organismes gouvernementaux publics et para-publics pour recueillir leur feedback sur les procédés ci-haut identifiés, ainsi que les approches que ces organismes entendent favoriser ou exploiter. Il est aussi recommandé au consultant de pousser l'investigation plus loin pour savoir quelles seront les meilleures solutions envisagées par ces organismes pour l'utilisation ultérieure des boues détoxifiées.

Dans ce cadre-ci, le consultant doit prendre en considération les résolutions du séminaire sur les déchets urbains auquel le Centre a participé en novembre dernier.

- 3.4 A partir de toutes les informations recueillies, le consultant recommandera le ou les alternatives les plus prometteuses, compte tenu des contraintes propres au Québec. Il présentera aussi une esquisse de stratégie d'action concertée impliquant les intervenants québécois identifiés ci-haut: table-ronde, séminaire, programme de recherche structurante, etc.

4. Ressources humaines

Le consultant mettra le personnel nécessaire à la réalisation de cet avis technique et informera le chargé de projet du Centre sur son profil technique.

ANNEXE 3

LETTRE DE CONCERTATION DE Mr. JEAN-MAURICE PLOURDE (CQVB)

Sainte-Foy, le 11 février 1987

Monsieur Clermont Gignac
Sous-ministre adjoint à la gestion
et à l'assainissement de l'eau
Ministère de l'environnement
du Québec
3900, rue Marly, 6^e étage
Sainte-Foy (Québec)
G1X 4E4

Monsieur,

J'accuse réception de la lettre que vous m'adressiez à la fin du mois de janvier dernier relativement au projet de recherche et de démonstration des techniques de valorisation agricole des boues d'épuration municipales. Je note aussi que dans cette lettre vous avez indiqué un montant qui pourrait correspondre à la participation financière attendue de la part de notre organisme dans le consortium mis en place pour assurer le financement d'un tel projet de recherche et de démonstration.

En réponse à votre demande, nous aimerions, dans un premier temps, préciser la forme de contribution que nous pensons apporter à ce projet et les motifs qui nous incitent à y participer d'une manière significative quoique minoritaire. Par la suite, dans le but de situer l'action du CQVB dans l'ensemble des dossiers de recyclage et de transformation des résidus organiques faisant appel à l'utilisation de la technologie du compostage, nous voudrions vous faire part des orientations que notre organisme veut se donner en ce domaine. Cette stratégie globale d'intervention en matière de compostage fournit un éclairage sur l'importance relative de notre participation dans le projet de valorisation des boues d'épuration, lequel projet privilégie l'épandage c'est-à-dire le compostage de surface comme technologie de valorisation de cette biomasse.

Notre participation est effectivement limitée par le fait que ce projet se situe parmi de nombreux autres projets à l'intérieur desquels la technologie du compostage, principalement le compostage en tas et non celui de surface, peut être utilisée pour permettre la valorisation de différents résidus organiques en des produits commerciaux à valeur ajoutée et qui peuvent être destinés au marché non seulement de la valorisation agricole mais aussi de la valorisation horticole.

Monsieur Clermont Gignac

- 2 -

Le 11 février 1987

En tout premier lieu concernant le sujet qui fait l'objet de votre lettre, j'aimerais vous confirmer notre intention de participer financièrement à la réalisation d'un tel projet impliquant des ministères, des organismes et une compagnie. Outre cette concertation fort recherchée, notre participation est principalement motivée par le fait que le projet touche une technologie que nous voulons explorer, c'est-à-dire le compostage. Bien que ce projet fasse appel à un seul type d'intrant, soit les boues urbaines, qu'il utilise une technologie connue, l'épandage, dont la mise à l'échelle n'a pas à être démontrée et qu'il débouche sur un produit dont la valeur ajoutée reste à être mesurée, le CQVB est toutefois conscient que des efforts doivent être consacrés pour mettre au point cette technologie en tenant compte des caractéristiques de nos boues d'épuration et des particularités de notre climat.

En conséquence, dans le but de réaliser ce projet et plus particulièrement l'ensemble des tests prévus au point 2.3 du plan de travail soumis, lors de la réunion du 14 janvier dernier, nous vous confirmons que notre participation financière pourrait atteindre la somme maximale de 60 000,00\$, répartie au cours des trois prochaines années. Par ailleurs, une forme additionnelle de collaboration peut être envisagée comme nous l'avons mentionné lors de cette réunion. En effet, le CQVB entend faire démarrer, à courte échéance, un projet de recherche portant sur les métaux lourds et à l'intérieur duquel il serait possible d'inclure des activités de recherche qui pourraient satisfaire les fins du projet de valorisation des boues urbaines. Nous vous proposons donc d'organiser, une fois élaborée avec l'équipe de recherche le plan de travail que nous voulons lui confier, une rencontre où il pourrait être question d'agencement des activités de recherche requises dans la poursuite des deux projets: celui sur la valorisation des boues d'épuration et celui du CQVB sur l'extraction des métaux lourds. Cette contribution additionnelle aurait donc pour effet d'augmenter indirectement notre participation financière dans le projet des boues urbaines. Notre implication financière totale au projet au cours des trois prochaines années dépasserait ainsi la somme de 60 000 \$ mentionnée précédemment.

Pour terminer cette lettre, nous voudrions vous présenter la position que le CQVB désire prendre lorsqu'il sera question de valorisation de certains résidus. Tout d'abord, pour ce qui est de la valorisation des déchets organiques de bas-de-gamme de types fumiers, boues d'épuration et déchets urbains, le CQVB

Monsieur Clermont Gignac

- 3 -

Le 11 février 1987

compte adopter une stratégie qui aurait pour but de favoriser le développement d'une expertise dans le domaine de la mise à l'échelle et la mise au point de procédés applicables à plusieurs types de déchets, tels les procédés de compostage, de production de protéines et d'extraction des métaux lourds.

Compte tenu que la valeur ajoutée demeure dans plusieurs cas assez faible, le Centre ne prévoit pas privilégier la valorisation d'un type de déchet de bas-de-gamme au détriment d'un autre. En somme, nous voulons accorder la priorité au procédé plutôt qu'au substrat.

D'autre part, en matière de compostage plus précisément, nous tenons cependant à souligner, et cela conformément à notre mandat qui consiste à financer la mise à l'échelle de procédés prometteurs, que la technologie dans laquelle nous voulons principalement nous impliquer est celle du compostage en tas grâce à laquelle il est possible de faire intervenir divers intrants et de produire un produit fini ayant une valeur ajoutée éventuellement supérieure comme, par exemple, en fabriquant des terreaux spécialisés. Le choix de cette technologie comparativement à celle du compostage de surface s'explique par le fait que nous désirons vérifier la faisabilité technologique de ce procédé en analysant les résultats de mélanges de divers types d'intrants que peuvent constituer les déchets de bas-de-gamme mais aussi les déchets ou résidus de haut-de-gamme que sont notamment les sciures et copeaux de bois, les sous-produits du lait, les résidus des usines de transformation des produits de la pêche. L'ensemble de ces essais devrait donc nous permettre, nous l'espérons, d'avoir une idée assez précise des différents produits que l'on pourrait avoir en bout de course et qui pourraient toucher aussi bien le domaine de la valorisation agricole que celui de la valorisation horticole.

C'est d'ailleurs dans cette ligne de pensée que nous pourrions supporter un projet qui viserait à mettre en place une infrastructure expérimentale sur le compostage où il serait alors possible de mieux vérifier et contrôler les différentes variables assurant la production d'un produit fini de qualité. Ce projet nous l'avons d'ailleurs évoqué lors de la réunion convoquée dernièrement par le Ministère de l'Energie et des Ressources concernant la récupération et la valorisation des résidus organiques et leur utilisation en milieu agricole et forestier et à laquelle assistaient des représentants de différents ministères et organismes concernés par la question dont Monsieur Carol Emond du MENVIQ.

.../4

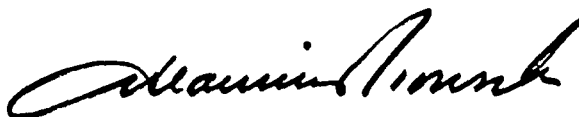
Monsieur Clermont Gignac

- 4 -

Le 11 février 1987

Le leadership exercé par votre ministère demeure un atout précieux pour mener à bien et à terme le projet de recherche et de démonstration des techniques de valorisation agricole des boues d'épuration. Pour réaliser ce mandat, nous tenons à vous assurer de notre entière collaboration et, pour la poursuite du dossier, nous invitons vos collaborateurs à communiquer directement avec monsieur Denis Morrissette, chargé de projet à la planification.

Veillez agréer, Monsieur le Sous-ministre, l'expression de mes meilleurs sentiments.



Jean-Maurice Plourde
Directeur de la planification
et de l'administration

JMP/hc

c.c. B. Benabdallah, dir. des opérations
D. Morrissette, chargé de projets