

ANNEXE K. INVENTAIRE DES MODES DE VALORISATION DES BOUES

Cette annexe présente une revue des diverses possibilités de traitement, de valorisation et d'élimination des boues qui s'offrent aux gestionnaires municipaux. Il s'agit cependant d'un inventaire non exhaustif. En effet, il est possible que certaines technologies ou méthodes n'aient pas été répertoriées. De plus, il faut noter que les noms d'entreprises, de marques de commerce et autres ne sont mentionnés qu'à titre indicatif, et qu'il est possible que d'autres entreprises offrent des technologies et des services, similaires ou non.

Pour chacune des possibilités considérées ici, les points suivants sont abordés :

- La description de la technologie ;
- Les avantages et inconvénients ;
- Les installations requises ;
- Les coûts d'investissement et d'exploitation (lorsque l'information existe) ;
- Les risques pour la santé et pour l'environnement ;
- Le mode de gestion ;
- Les marchés actuels et potentiels locaux, régionaux et québécois ;
- L'approbation sociale.

Le choix des possibilités de traitement, de valorisation et d'élimination des boues municipales et de fosses septiques dépend principalement de deux facteurs : le budget disponible et les résultats des analyses de la composition des boues. L'origine des boues ne constitue pas un critère de sélection de la stratégie à employer, mais plutôt leur composition et leur consistance. En effet, peu importe s'il s'agit de boues d'origine municipale ou de fosses septiques, la stratégie sélectionnée découlera de facteurs tels que la siccité, les concentrations en métaux lourds et en micro-organismes pathogènes, le pH, etc.

Il existe donc différentes technologies reliées au traitement, à la valorisation et à l'élimination des boues municipales et de fosses septiques. Le traitement consiste à conférer aux boues les caractéristiques nécessaires à leur valorisation ou leur élimination. Il regroupe diverses étapes plus ou moins complexes de stabilisation, de conditionnement, de déshydratation et de séchage thermique. La valorisation vise à détourner les boues de l'élimination en les utilisant à d'autres fins, telles que le compostage, l'épandage agricole et sylvicole, la réhabilitation de sites, la production de combustibles, la valorisation énergétique, la fabrication de matériaux de construction, etc. Enfin, l'élimination, qui constitue la solution privilégiée à l'heure actuelle en raison de son accessibilité et de son faible coût, regroupe l'enfouissement sanitaire et l'incinération.

1. TRAITEMENT

À la source, les boues d'épuration et de fosses septiques sont de forme liquide et présentent une forte charge en matières organiques hautement fermentescibles, ce qui impose des contraintes importantes, non seulement sur le plan de la réglementation en vigueur (les règles établies pour la valorisation ou l'élimination des boues, par exemple), mais également sur celui du choix de leur destination. Il devient donc nécessaire de mettre en place une filière de traitement plus ou moins complexe. Il existe deux grands types de traitements des boues : la stabilisation et le traitement, ainsi que la déshydratation et le séchage.

La stabilisation et le traitement des boues consistent à réduire le pouvoir fermentescible et les odeurs des matières organiques présentes dans les boues brutes et, selon la technique employée, à diminuer la quantité de micro-organismes pathogènes ou de substances potentiellement toxiques. L'étape de stabilisation est indispensable à tout projet de valorisation des boues (Gouvernement du Québec, 1991).

La déshydratation et le séchage des boues visent à réduire la teneur en eau (et, par conséquent, le volume) des boues destinées à la valorisation ou à l'élimination, en plus d'en améliorer les caractéristiques physiques.

1.1 MÉTHODES DE TRAITEMENT

DIGESTION ANAÉROBIE

Généralement appliquée dans les stations d'épuration de moyenne à grande capacité de traitement, la digestion anaérobie est un procédé de dégradation de la matière organique contenue dans les boues par digestion à l'abri de la lumière et de l'air, à l'intérieur de cuves étanches. Ainsi, la digestion se produit suivant trois étapes, s'étendant sur une période approximative de 30 jours :

1. Les composés organiques complexes de la partie solide des boues subissent une transformation en composés organiques complexes solubles ;
2. Sous l'action des micro-organismes anaérobies, les molécules organiques complexes sont converties en acides gras volatiles, des composés plus simples ;
3. Les acides gras se minéralisent afin de former du méthane, du dioxyde de carbone ainsi que du sulfure d'hydrogène, dont la production dépend de la température et du temps de séjour des boues à l'intérieur du digesteur.

La mise en œuvre de la digestion anaérobie exige des ouvrages importants, soit un digesteur clos ou deux digesteurs en série (scindant le procédé en deux étapes), occasionnant ainsi des coûts d'investissement élevés comparativement aux techniques de digestion aérobie (voir section suivante). Il en coûte donc environ 445 \$ par tonne de boues sèches (tbs) pour une station d'épuration d'une capacité de 1 tbs par jour, et 183 \$/tbs pour une station ayant une capacité de 5 tbs par jour. Or, le méthane produit pendant la fermentation des boues peut être utilisé comme combustible et contribuer ainsi à diminuer les coûts énergétiques de chauffage des installations de la station d'épuration.

Cette technique de stabilisation est utilisée depuis longtemps, mais les dernières décennies ont été marquées par une baisse significative de son utilisation. En effet, le faible coût des ressources énergétiques, la sensibilité de ce procédé aux conditions de traitement telles que le pH, le débit d'entrée, la température, etc., l'instauration de traitements primaires chimiques ou encore, l'augmentation de la complexité des déchets industriels influençant les caractéristiques des boues sont autant de raisons qui ont réduit l'usage de la digestion anaérobie. Ce type de traitement détient toutefois un fort pouvoir de destruction cellulaire grâce à la fermentation méthanique qu'il occasionne, permettant ainsi l'élimination d'une grande quantité de matière organique. Par ailleurs, ce procédé génère des quantités relativement faibles de biomasse et est très efficace en tant que stabilisateur biologique.

DIGESTION AÉROBIE

Visant à réduire l'émission d'odeurs nauséabondes, la concentration de micro-organismes pathogènes et la putrescibilité des boues, la digestion aérobie consiste à effectuer le brassage des boues en leur injectant de l'air de manière à terminer la digestion des matières organiques encore présentes. Ce procédé de stabilisation, réalisable sur les boues secondaires ou mixtes (primaires et secondaires), produit du dioxyde de carbone, des nitrates, de l'eau ainsi que des boues stabilisées biologiquement.

La digestion aérobie est habituellement implantée dans des stations d'épuration ayant des capacités inférieures à 38 000 m³/jour et nécessite des installations importantes. Les coûts énergétiques sont en général élevés et les coûts globaux varient d'environ 236 \$/tbs pour une station ayant une capacité de 1 tbs/jour à 109 \$/tbs pour une station ayant une capacité de 5 tbs/jour.

Il existe quatre variantes du procédé de digestion, accroissant ainsi sa popularité et son utilisation. Il s'agit des procédés suivants :

Procédé conventionnel : Se faisant à température ambiante, ce procédé comporte des bassins aérés par des diffuseurs submergés ou par des aérateurs mécaniques de surface. Il a pour avantages, par rapport à la digestion anaérobie, d'être simple et, par conséquent, de présenter moins de risques d'instabilité. D'autre part, une plus grande partie de la valeur fertilisante est conservée pendant ce procédé, lequel requiert une moins grande concentration de boues pour fonctionner, évitant ainsi l'ajout d'une étape d'épaississement. Enfin, les coûts en capitaux pour la construction des digesteurs aérobies sont moins élevés que ceux des digesteurs anaérobies. Les coûts d'exploitation sont toutefois forts élevés en raison de la grande demande énergétique occasionnée par l'aération des bassins et aucune récupération d'énergie n'est envisageable. D'autre part, la performance dépend grandement de la température ainsi que des conditions climatiques.

Procédé thermophile autothermique : La digestion est réalisée à l'intérieur de digesteurs isolés, permettant de contrôler la température en la rendant indépendante de celle du milieu environnant. La chaleur occasionnée par les réactions d'oxydation de la matière organique et par l'accroissement des boues jusqu'aux températures thermophiles (hautes températures variant de 45 °C à 65 °C), peut donc être conservée. Ce type de traitement permet une digestion plus rapide ainsi qu'une diminution du temps de séjour

des boues à l'intérieur du digesteur (moins de sept jours). Les températures très élevées produites pendant la digestion entraîne une destruction très efficace des micro-organismes pathogènes. Étant donné l'absence du phénomène de nitrification en conditions thermophiles, le système nécessite moins d'oxygène. De plus, la digestion effectuée grâce à ce procédé permet de réduire la production de biomasse. Le désavantage réside dans la nécessité d'intégrer au système des boues à teneur en solides élevée afin d'atteindre les températures thermophiles.

Procédé de digestion mixte : Ce procédé associe la digestion autothermique et une étape de digestion anaérobie mésophile (températures moyennes) selon deux variantes. La première consiste en une prédigestion aérobie thermophile, suivie d'une digestion anaérobie mésophile, tandis que la seconde inverse les étapes.

Procédé anoxie-aérobie : Il s'agit d'une digestion à aération intermittente permettant de diminuer les coûts énergétiques inhérents à l'aération des digesteurs aérobies. Le principe de base associé à cette approche réside dans l'utilisation par les micro-organismes des gaz dégagés par la digestion dans des conditions où la disponibilité en oxygène est limitée et entraîne conséquemment des conditions anoxiques. Le traitement des boues se fait donc par alternance de conditions d'aération et de non-aération.

LAGUNAGE

Le lagunage est une technique permettant de laisser stabiliser les boues à l'intérieur de fossés d'oxydation artificiels ou naturels. Il en existe diverses variantes, dont le lagunage aérobie (utilisé pour l'épuration biologique des substances organiques non décantées ou non dissoutes contenues dans les eaux résiduaires préépurées mécaniquement dans des étangs de décantation ou par un autre procédé), le lagunage facultatif et le lagunage anaérobie (utilisé pour diminuer la teneur en substances organiques d'eaux résiduaires brutes ou clarifiées mécaniquement).

La mise en œuvre de ce procédé nécessite la construction d'au moins un étang, d'une profondeur minimale de 1,5 m, devant comporter un minimum de deux cellules, être muni de déversoirs ajustables, être facilement accessible pour l'entretien et avoir une capacité d'entreposage de trois à cinq ans. Les matériaux utilisés doivent également être suffisamment imperméables pour limiter l'infiltration des liquides dans l'environnement. D'autre part, les étangs doivent obligatoirement être situés à un minimum de 150 m des habitations et ils nécessitent l'aménagement de fossés de dérivation des eaux de surface au pourtour de leur structure afin d'éviter tout débordement (MENV). Le lagunage présente des coûts relativement faibles, selon une étude de l'INRS-Eau, et il s'agirait d'un traitement économique de divers déchets résidentiels, municipaux, industriels et agricoles.

Étant une technique performante en ce qui a trait à la stabilisation biologique des boues d'épuration et de fosses septiques, le lagunage nécessite toutefois des volumes importants. En ce qui concerne plus particulièrement le lagunage anaérobie, où les étangs sont aérés artificiellement, il est possible d'observer une meilleure absorption, distribution et utilisation de l'oxygène. Par ailleurs, cette méthode permet de contrôler l'apport d'oxygène ainsi que le rendement d'épuration, en plus de procurer une certaine indépendance par rapport aux facteurs naturels non maîtrisables.

STABILISATION CHIMIQUE

Cette technique permet de diminuer, du moins temporairement, le pouvoir fermentescible des boues, par l'addition de réactifs chimiques, en combinaison ou non avec un traitement thermique. Il en existe trois catégories : le traitement alcalin, le traitement neutre et le traitement acide.

Le traitement alcalin consiste à stabiliser les boues liquides ou déshydratées par l'apport de chaux. Afin que la désinfection se fasse adéquatement, les boues sont amenées à un pH de 12 pendant un minimum de 12 heures (préférentiellement pendant 24 heures). Les avantages relatifs à l'usage de cette technique de traitement résident dans le coût réduit de la chaux et dans le fait que cette dernière, grâce à son alcalinité, a un effet favorable sur la structure physique des boues. Cependant, il n'y a aucune réduction de la matière organique biodégradable contenue dans les boues, d'où une reprise possible de la fermentation si les conditions du milieu le permettent ultérieurement. De plus, l'ajout de la chaux augmente la masse des boues, puisqu'il en faut 108 kg à 162 kg par tonne de boues sèches. Le coût total du traitement par chaulage est estimé, selon l'INRS-Eau, à 164 \$/tbs pour une station ayant une capacité de 1 tbs/jour, et à 74 \$/tbs pour une station ayant une capacité de 5 tbs/jour. D'après les données de l'an 2000 de Ressources naturelles Canada, il en coûterait 70,80 \$ pour une tonne de chaux vive en vrac à haute teneur en calcium, et 80,40 \$ pour une tonne de chaux hydratée en vrac à haute teneur en calcium.

Le traitement neutre utilise deux procédés : le procédé CCBA, qui utilise un réactif à base d'argile et d'alun absorbant les métaux, et le procédé *Wet Chlorine Oxidation*, qui est peu efficace pour la stabilisation et la désinfection des boues.

Une méthode de **traitement acide** a été suggérée en 1994 par des chercheurs de l'INRS-Eau. Il s'agit d'acidification des boues par l'ajout d'acide sulfurique jusqu'à un pH de 2,0 ou 2,5, entraînant ainsi une diminution importante des solides contenus dans les boues, à la suite d'une hydrolyse et d'une minéralisation rapide d'une partie de leur matière organique. Il s'agit d'un procédé simple et efficace, pouvant s'appliquer aux différents types de boues municipales et industrielles et pouvant s'intégrer aux chaînes actuelles de traitement et de stabilisation des boues d'épuration. Afin d'acidifier les boues à un pH de 2,5, il faut entre 143 kg et 214 kg d'acide sulfurique par tonne de boues sèches, et le coût d'une tonne d'acide se chiffre à 125 \$.

STABILISATION THERMIQUE

La stabilisation thermique consiste à chauffer les boues en présence d'air sous de très fortes pressions, pouvant atteindre jusqu'à 20 Mpa et plus, dans le but de réaliser une oxydation poussée de la matière organique, simultanément à une transformation physique des matières en suspension. Les boues ainsi traitées peuvent aisément être filtrées et elles donnent une siccité de gâteaux entre 40 % et 70 %. En plus de stabiliser les boues, cette technique permet de les conditionner, c'est-à-dire de leur donner une consistance davantage solide. En Hollande, la stabilisation thermique est réalisée en puits profond, ce qui permet de récupérer l'énergie en réutilisant la chaleur. Cette technique donne par ailleurs la possibilité de traiter 62,5 tbs/jour au coût de 378 \$ (CAN)/tbs.

STÉRILISATION

Il existe différentes techniques de stérilisation : la pasteurisation, la radiation ionisante et la pressurisation.

La pasteurisation consiste à chauffer les boues à près de 70 °C pendant un minimum de 30 minutes afin de les aseptiser. Ce type de traitement nécessite l'usage d'une chaudière autonome et d'un échangeur de chaleur eau-boues ou encore, d'un brûleur à gaz immergé dans les boues. Dans une station ayant une capacité de 1 tbs/jour, il peut en coûter 302 \$ pour pasteuriser une tonne de boues sèches, alors que dans une station de 10 tbs/jour, il en coûterait 82 \$/tbs.

La radiation ionisante permet de désinfecter les boues déshydratées en les pressant en couches de moins de 5 mm d'épaisseur puis en les irradiant, à raison de 10 tbs/jour ou 50 t de boues humides par jour avec un accélérateur d'électrons (l'appareil ionisant) d'une puissance de 50 kW. Certains auteurs suggèrent de combiner cette technologie à un postcompostage rapide des boues.

La pressurisation consiste en l'application de pressions importantes sur les boues en autoclave (récipient métallique à fermeture extérieure hermétique, résistant à des pressions élevées), permettant de les désinfecter. Des études ont par ailleurs été menées au sujet de la performance de cette technologie et elles ont permis de constater que l'application d'une pression de 6 000 bars ne nécessitait que le dixième de l'énergie nécessaire pour la stérilisation par chauffage. Cependant, les coûts d'investissement sont importants et ne justifient pas l'usage de cette technique à l'échelle industrielle.

DÉCONTAMINATION

L'objectif principal de la décontamination vise à réduire les concentrations de métaux toxiques pouvant être présents dans les boues. La Corporation Biolix, en partenariat avec les chercheurs de l'INRS-Eau, commercialise des technologies de traitement et de décontamination des boues d'épuration des usines de traitement municipales et industrielles, dont notamment les technologies Métix et Stabiox.

Les **technologies Métix** permettent d'extraire les métaux toxiques de manière sécuritaire pour l'environnement, en plus d'assainir et de stabiliser les boues. Le procédé se réalise en une seule étape, permettant de réduire substantiellement la teneur en métaux lourds des boues d'épuration, de diminuer leur biomasse et de détruire les micro-organismes pathogènes ainsi que les odeurs qu'elles dégagent, afin de produire des boues de haute qualité. Les variantes du traitement Métix peuvent s'adapter pour répondre à chaque situation pouvant exister dans une station d'épuration des eaux usées. Le choix du traitement le mieux adapté dépend de facteurs comme la conception de l'usine, le coût et la disponibilité des produits utilisés dans la procédure de traitement et les critères de valorisation des boues. Voici donc ces variantes :

Métix BS ou biolixiviation-digestion avec soufre, qui exploite la présence d'une microflore indigène à l'intérieur des boues capable d'oxyder le soufre élémentaire en acide sulfurique, entraînant ainsi une diminution du pH et une hausse des conditions oxydantes du milieu. Cela a pour effet de solubiliser de façon importante les métaux toxiques et de stabiliser efficacement les boues. Notons cependant que la concentration

initiale en solides des boues doit se situer entre 30 g/L et 40 g/L afin de respecter les conditions optimales de ce procédé. Deux types d'installations peuvent être utilisés : le bioréacteur à cuve agitée et aérée avec addition de soufre élémentaire en poudre ou encore, les colonnes aérées avec soufre granulaire immobilisé. Le temps de traitement par digestion est de l'ordre de 8 à 12 jours. D'après l'INRS-Eau, les coûts exigés pour l'application de cette variante varient entre 476 \$/tbs pour une station d'une capacité de 1 tbs/jour, et 216 \$/tbs pour une station d'une capacité de 5 tbs/jour.

Métix BF ou biolixiviation avec sulfate ferreux. Ce procédé fait appel au pouvoir acidifiant d'une bactérie présente à l'intérieur des boues (*Thiobacillus ferrooxidans*) et à un résidu de l'industrie de la sidérurgie afin de solubiliser et récupérer la plupart des métaux lourds présents dans les boues d'épuration municipales. Dans un bioréacteur aérobique en mode continu, on combine une culture de bactéries et un sulfate ferreux, servant de source d'énergie pour les bactéries. Après l'ajout d'une petite quantité d'acide sulfurique afin d'amorcer le procédé, l'acide produit par les bactéries abaisse le pH des boues tout en accroissant les conditions oxydantes, permettant ainsi le passage en solution de la plupart des métaux lourds, tels que le cuivre, le manganèse, le cadmium et le zinc. Un filtre-pressé à plateaux permet ensuite la séparation des boues décontaminées et du liquide contenant les métaux. Ces derniers peuvent par la suite être précipités sélectivement, selon ceux que l'on veut éventuellement recycler. Initialement, les boues doivent toutefois contenir entre 20 g/L et 25 g/L de solides pour des résultats optimaux. L'usage de cette technologie pour le traitement de boues aérobiques non digérées a permis d'obtenir, après un temps de résidence de 24 heures, des pourcentages de solubilisation variant de 60 % à 95 %, selon le type de métaux, leurs concentrations, leur forme chimique, etc. L'application de Métix BF coûterait entre 294 \$/tbs pour une station d'une capacité de 1 tbs/jour, et 154 \$/tbs pour une station de 5 tbs/jour.

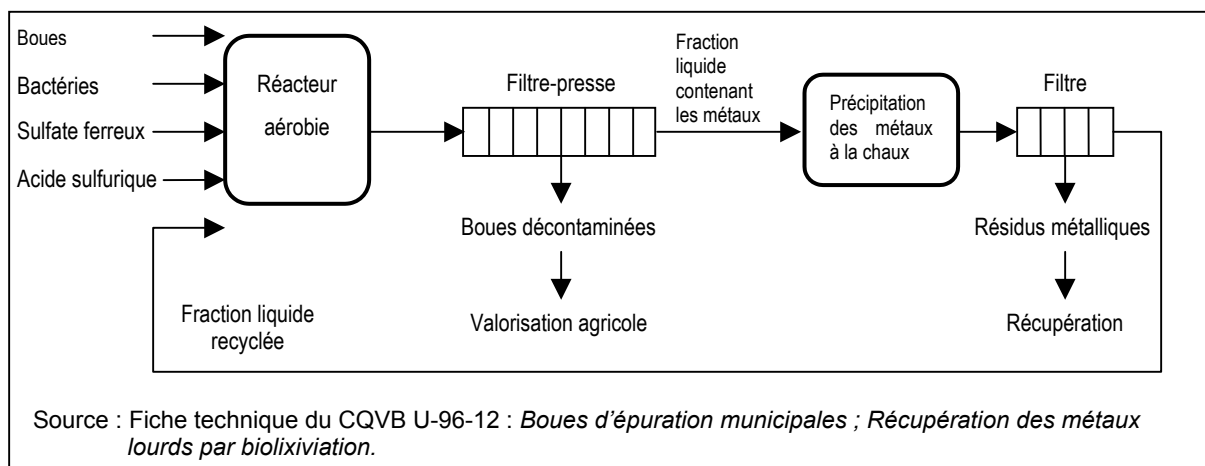


Figure D.1. Schéma du procédé de biolixiviation des métaux lourds

Métix AC ou lixiviation chimique utilise un acide inorganique et un agent oxydant. Ce dernier, ajouté aux boues acidifiées permet d'accélérer la solubilisation des métaux lourds et empêche la solubilisation des éléments nutritifs. La concentration de solides doit varier entre 30 g/L et 40 g/L, et le temps de traitement est compris entre 0,5 heure et 6 heures selon le cas. Cette variante permet donc d'enlever adéquatement les métaux toxiques,

d'éliminer efficacement les micro-organismes pathogènes, et ce, dans un réacteur de type cuve agitée en mode cuvée, semi-continu ou continu. Les coûts sont de l'ordre de 214 \$/tbs pour une station d'une capacité de 1 tbs/jour, et de 103 \$/tbs pour une station d'une capacité de 5 tbs/jour.

Métix BC permet de tirer profit des avantages des procédés biologiques (faibles coûts en produits chimiques) et chimiques (investissement moindre attribuable à un court temps de traitement, stabilité des réactions, meilleur contrôle des intrants, résistance aux variations des conditions d'exploitation, etc.).

En ce qui concerne la **technologie Stabiox**, elle consiste en une séquence d'opérations précédant la déshydratation mécanique des boues, permettant leur stabilisation microbiologique et la conservation de leur valeur fertilisante, tout en facilitant leur déshydratation sans hausser la quantité de solides à gérer. Elle permet également une économie de coûts, tout en favorisant l'enlèvement des odeurs et une stabilisation à long terme par un procédé simple.

OXYDATION HUMIDE ASSISTÉE PAR PLASMA (OHAP)

Ce procédé de traitement est destiné à oxyder les boues de provenances diverses, incluant les boues municipales, industrielles et agroalimentaires, à l'intérieur d'un four rotatif équipé d'un générateur de plasma à air chauffant à 600° C. Ce dernier est conçu pour traiter les boues émanant des procédés de séchage conventionnels et contenant au moins 20 % de matière organique. Tout d'abord, les boues sont acheminées à l'intérieur du four, qui fonctionne continuellement, à l'aide d'un convoyeur à vis. La charge organique est alors détruite par la présence de l'air et de la chaleur, produisant ainsi des cendres granulaires inertes, stériles et sans odeur, potentiellement valorisables.

L'OHAP permet une réduction économique significative du volume des résidus ultimes (95 % de réduction) et des gaz à effet de serre (GES). En effet, cette technologie n'utilise pas de brûleur à combustibles fossiles et elle produit des niveaux de NO_x plus bas que les incinérateurs conventionnels. À titre indicatif, l'OHAP génère 46 % moins de GES par rapport à l'incinération directe, 31 % moins que le séchage suivi par l'incinération, 144 % moins que l'enfouissement et 1 % moins que le compostage. D'autre part, il est possible de récupérer l'énergie thermique des boues, et ce, en récupérant la chaleur produite par condensation de la vapeur d'eau, pour non seulement réchauffer les boues qui entrent dans le four, mais également les bâtiments. Il s'agit par ailleurs d'une technologie peu énergivore permettant de traiter les boues concentrées entre 20 % et 35 % pour lesquelles il n'existe aucune technologie de traitement autre que l'enfouissement et le compostage.

Les systèmes de contrôle utilisés sont prévisibles, simples, stables et ne présentent que très peu de risques pour l'opérateur et les installations. Les coûts d'exploitation s'avèrent modiques, soit 6,62 \$/t de boues humides pour une unité industrielle de traitement d'une capacité de 150 t de boues humides par jour. Pour ce qui est des coûts globaux (investissement, capital et exploitation), ils se trouvent être inférieurs à ceux de l'incinération. Par ailleurs, les coûts d'acquisition et d'exploitation du four se comparent favorablement au coût moyen d'épandage et d'enfouissement des boues. Le coût en capital se chiffrerait à 1 805 000 \$ pour une unité de cette taille.

1.2 MÉTHODES DE CONDITIONNEMENT

Le conditionnement constitue un prétraitement spécifique permettant le bon fonctionnement des appareils de déshydratation mécanique. Ceux-ci donnent alors aux boues une consistance plus ou moins solide. Cette méthode consiste donc en une floculation de la boue, qui permet de casser la stabilité colloïdale et d'augmenter artificiellement la taille des particules, et ce, en ayant recours à des procédés de nature physique (thermique principalement) ou chimique.

ÉPAISSISSEMENT

La plupart des circuits de traitement des boues commencent par une étape d'épaississement, qui permet d'améliorer le rendement de la digestion (si elle est prévue), en plus de réduire les coûts d'investissement, de stabilisation et de déshydratation, de diminuer le volume des boues à disposer, ainsi que de favoriser l'économie des systèmes de déshydratation. Différentes techniques sont employées : la décantation ou l'épaississement gravitaire, la flottaison à air dissous, la centrifugation, le drainage et le système BEST.

La décantation ou l'épaississement gravitaire consiste en un tassement des boues, dont le temps de séjour est assez élevé. Peu coûteuse, elle est largement répandue pour l'épaississement des boues primaires. Ainsi, il en coûte 90 \$/tbs pour une usine d'une capacité de 1 tbs/jour, et 48 \$/tbs pour une usine de 5 tbs/jour.

La flottaison à air dissous est généralement utilisée dans le cas des boues activées afin de les épaissir et les clarifier. Cette technique entraîne une dépense énergétique supérieure à la décantation, mais ses performances au chapitre de l'épaississement et donc, de la chaîne entière de traitement, compensent largement cette dépense. Son coût total est estimé à 97 \$/tbs pour une station d'une capacité de 1 tbs/jour, et à 45 \$ pour une station de 5 tbs/jour.

La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, de deux à trois phases (liquide-liquide, liquide-solide, liquide-liquide-solide), entraînées dans un mouvement de rotation à l'intérieur de décanteuses cylindriques continues à buses.

Le drainage est un procédé qui peut être utilisé dans les petites stations. Après floculation, les boues sont épaissies par un apport de polymère et un drainage sur un champ horizontal de grilles fines, raclé en permanence par des lames de caoutchouc.

Le système BEST a été mis au point au Japon. Cette technique combine, dans une seule étape, l'épaississement et la floculation chimique. Elle consiste donc en l'ajout d'un coagulant métallique avec l'apport de polymères causant la formation de gros floccs de boues qui sont aisément séparés de l'eau intersticielle. Ce système est plus fiable et performant que l'épaississement gravitaire, mais son coût en est supérieur de 20 %. L'épaississement est réalisé dans un réacteur agité, muni d'un système spécialement conçu pour cette étape du processus de traitement des boues.

CONDITIONNEMENT CHIMIQUE

Il est possible de conditionner les boues en leur ajoutant consécutivement des sels métalliques (électrolyte ou polyélectrolyte) et de la chaux afin d'en améliorer la filtrabilité et d'augmenter la taille des particules. Cette floculation des boues s'effectue dans des bacs agités en série, le premier servant pour le sel métallique et le second pour la chaux. Les temps de séjour sont de l'ordre de 5 à 10 minutes. Or, une agitation prolongée et trop forte pourrait, dans certains cas, détériorer la filtrabilité des boues conditionnées. En effet, étant donné la fragilité parfois très grande des floccs obtenus, il est nécessaire d'éviter les cuves à agitation trop violente, les temps de floculation trop longs et les pompes destructrices des boues conditionnées. L'association de deux polyélectrolytes permet, sur certaines boues, de réduire le coût global du conditionnement ou d'obtenir une floculation plus efficace. Par ailleurs, il existe de nos jours une gamme de polyélectrolytes très étendue, ce qui est très avantageux du fait de la diversité de la qualité des boues. Enfin, dans une station ayant une capacité de 1 tbs/jour, il en coûte 97 \$/tbs pour ce type de conditionnement, alors qu'il en coûte 54 \$/tbs dans une station d'une capacité de 5 tbs/jour.

CONDITIONNEMENT THERMIQUE

L'augmentation de la température des boues conduit à une transformation irréversible de leur structure physique, surtout si elles contiennent une forte proportion de matières organiques et colloïdales. Ainsi, durant le chauffage, les gels colloïdaux sont éliminés et la quantité d'eau contenue dans les particules diminue fortement ; il en résulte donc un épaississement important et rapide, avec l'obtention de boues décantées à plus de 120 g de matières en suspension (MES)/L et même 200 g MES/L. La structure des boues s'en trouve améliorée, de sorte qu'une filtration sans apport de réactifs est toujours possible. Cette technique permet d'atteindre de très fortes siccités de gâteaux à la suite de leur passage dans les filtres-presses.

Le conditionnement thermique est applicable à toutes les boues à prédominance organique et présente des performances relativement stables comparativement au conditionnement chimique. Les hautes températures employées, variant entre 150 °C et 200 °C, permettent également de stériliser les boues, d'autant plus que le temps de cuisson varie entre 30 et 60 minutes. Les investissements reliés à cette technique s'avèrent cependant coûteux par rapport au conditionnement chimique.

AUTRES TECHNIQUES DE CONDITIONNEMENT

Une revue de littérature a permis de dénombrer quelques techniques de conditionnement supplémentaires, bien qu'elles ne soient pas très explicitées. En voici les grandes lignes :

Conditionnement par congélation : D'une durée de une à quatre heures et employant des températures variant entre - 10 °C et - 20 °C, cette technique est applicable aux boues à prédominance minérale, difficiles à déshydrater. Bien qu'elle permette de réduire efficacement la quantité d'eau liée à la matière et de regrouper les particules de façon stable, ce type de conditionnement est très énergivore et, par conséquent, assez coûteux. On l'associe souvent à la filtration sous vide et on utilise habituellement un système de fréon-glycol.

Conditionnement par charges : Cette technique consiste à ajouter des matières sèches aux boues, de l'ordre de 20 % à 40 % des matières en suspension initiales. Cela permet d'améliorer la texture des gâteaux afin d'en faciliter la manutention ou une exploitation optimale des équipements de déshydratation. La combinaison de boues minérales avec des boues biologiques est profitable pour ce type de conditionnement.

Conditionnement électro-acoustique-osmose : Cette amélioration du conditionnement chimique entraîne l'eau en surface par un traitement aux ultrasons. Il s'agit cependant d'une technique très coûteuse.

Conditionnement par solvants ou huiles : Ce type de conditionnement consiste à ajouter une huile ou un solvant aux boues, dans certaines conditions de température, afin de séparer plus facilement par voie mécanique les matières sèches tout en ayant la possibilité de récupérer une bonne partie du solvant. Sa faisabilité technico-économique n'a toutefois pas été démontrée à l'échelle industrielle et son utilisation s'avère onéreuse.

1.3 MÉTHODES DE DÉSHYDRATATION

La déshydratation permet de donner aux boues une consistance physique plus solide afin de faciliter le conditionnement, la manutention et le transport du résidu final en utilisant divers systèmes mécanisés.

CENTRIFUGATION

La centrifugation permet non seulement d'épaissir les boues, mais également de les déshydrater en séparant les phases solides et liquides qui les composent. Ainsi, les boues sont insérées dans une centrifugeuse en rotation où les matériaux plus denses sont séparés des premiers puis, éjectés du système. Ce système permet de travailler en mode continu dans une enceinte close et compacte, et ainsi de réduire les inconvénients associés aux odeurs. Or, il est nécessaire de procéder à l'isolation phonique de la salle de déshydratation.

Le rendement typique de la centrifugation varie entre 18 % et 31 % de déshydratation et il s'agit d'une technique performante pour la séparation de solides de différents types de boues. En ce qui concerne la centrifugeuse, elle consiste en un tambour ou un bol cylindrique tournant sur lui-même afin de créer une force de séparation. Les plus courantes regroupent les centrifugeuses à convoyeur et à bol, à bol perforé ainsi qu'à disques. Pour les boues résiduelles d'assainissement, on emploie habituellement la centrifugeuse continue à bol cylindro-cônique d'axe horizontal. D'autre part, il existe des centrifugeuses à bol cylindrique à forte capacité qui, malgré leur coût important, permettent de diminuer les coûts des étapes de traitement en aval.

Ce procédé de déshydratation ne nécessite que très peu de surveillance, mais la main-d'œuvre doit être davantage qualifiée que pour un système de filtration. Enfin, les coûts varient entre 191 \$/tbs et 62 \$/tbs, selon qu'il s'agit respectivement d'une station ayant une capacité de 1 tbs/jour ou 5 tbs/jour.

PRESSOIR ROTATIF

Afin de concentrer les solides des boues, ces dernières sont acheminées dans un canal rectangulaire situé à la périphérie d'une roue, dont les parois latérales sont constituées d'éléments filtrants rotatifs laissant passer le liquide et retenant les solides. Ce procédé donne des rendements inférieurs lorsqu'il est alimenté avec des boues contenant peu d'eau libre, mais il est possible d'atteindre des taux de déshydratation élevés, soit jusqu'à 45 % de siccité avec certains types de boues municipales. Par ailleurs, ce procédé simple peut être utilisé en mode continu dans un système complètement fermé réduisant la production d'odeurs.

Il existe six modèles de presses rotatifs de dimensions différentes, dépendant du type de boues et des débits à traiter. Ainsi, le poids des presses peut varier entre 170 kg et 10 000 kg, et il est possible de traiter 300 L à 50 000 L de boues à l'heure, selon l'équipement et le type de boues. De construction robuste, le presse rotatif comporte un nombre limité de pièces mécaniques dont le fonctionnement et l'entretien ne présentent aucune difficulté particulière. D'autre part, parce qu'il fonctionne en système fermé, ce procédé est peu bruyant, peu encombrant et consomme très peu d'énergie (10 kW/h par tonne de matière sèche traitée). Son fonctionnement requiert peu d'intervention humaine et les opérateurs n'ont pas à porter d'équipement de protection particulier. En ce qui concerne les coûts, ils varient entre 565 \$/tbs et 1 085 \$/tbs, incluant l'exploitation et l'amortissement sur le capital.

Ce sont les Industries Fournier inc. (situées à Black Lake) qui, au Québec, commercialisent ce type de procédé. Actuellement, 12 unités sont exploitées, notamment à l'usine d'épuration de la Rive-Sud, à Longueuil, à l'usine d'épuration d'Auteuil, à Laval, au Centre de traitement des boues de fosses septiques de Deschambault et à la Communauté urbaine de Montréal.

LIT DE SÉCHAGE

Le séchage des boues s'effectue sur des lits de sable drainés en deux étapes : le drainage puis l'évaporation-filtration. Dans les régions tempérées, le temps de séchage varie habituellement entre trois semaines et un mois et demi pour 30 cm à 40 cm de boues, et ce, selon les conditions climatiques. Par ailleurs, ce procédé nécessite une emprise au sol considérable, du personnel pour la maintenance (ce qui entraîne une dépense en main-d'œuvre) et son utilisation est limitée puisqu'on ne peut l'utiliser qu'avec des boues stabilisées. Il est envisageable d'atteindre des siccités entre 40 % et 60 % en cas d'ensoleillement maximum. D'autre part, il est possible d'en améliorer le rendement en ajoutant des polyélectrolytes aux boues, ce qui a pour effet de hausser la vitesse de drainage. Les coûts engendrés par cette technique en régression varient entre 113 \$/tbs et 86 \$/tbs, selon qu'il s'agit d'une station de traitement d'une capacité de 1 tbs/jour ou 5 tbs/jour.

LIT DE CONGÉLATION OU TRAITEMENT GEL – DÉGEL

Cette technique, favorisant le drainage et la déshydratation des boues, peut être combinée à la méthode du lit de séchage, ce qui constitue une possibilité particulièrement intéressante au Québec. Ainsi, le lit de séchage peut s'utiliser en période estivale, alors que l'hiver favorise l'usage du lit de congélation, ce qui permet l'obtention de siccités plus

élevées qu'avec tout autre technique de déshydratation. L'effet conditionnant du traitement par gel-dégel tient du fait de la séparation solide-liquide s'effectuant pendant la cristallisation de l'eau contenue dans les boues. Les cristaux de glace en formation repoussent les impuretés qui sont ainsi concentrées, ce qui favorise leur agglomération. Les floccs produits sont par la suite déshydratés puis compactés sous l'effet de la progression de la glace vers eux. Après le dégel, le drainage très rapide de l'eau à travers les granules laisse un résidu final ayant l'apparence typique du café moulu.

Grâce à ce type de traitement, il est possible d'obtenir des teneurs finales en solides se situant entre 24 % et 40 %, ce qui représente une siccité relativement importante. D'autre part, il s'agit d'une technique efficace pour tous les types de boues aqueuses, en autant qu'elles aient complètement gelé. De plus, elle modifie complètement la structure des boues et produit, après drainage, un résidu granulaire très perméable et peu odorant. Son efficacité est accrue d'autant avec des boues dont la granulométrie des floccs est fine. L'efficacité de la méthode de gel-dégel ne se trouve pas influencée par la siccité initiale des boues, ni par leur vitesse de décongélation. Cependant, plus le gel est rapide, moins le conditionnement est efficace.

Afin d'assurer des résultats optimums, les lits de congélation doivent avoir une profondeur suffisante pour permettre un remplissage de 30 cm à 60 cm de boues et ils doivent être en mesure de contenir le volume total de boues produites pendant un an. Ils doivent également être divisés en plusieurs cellules pour faciliter le nettoyage et l'entretien des installations, en plus d'être munis d'un système de distribution permettant l'épandage uniforme des boues, ainsi que d'un système de drains collecteurs sous une couche de sable filtrant. Le sol sous les lits doit être suffisamment imperméable afin de limiter toute infiltration. Ainsi, le traitement par gel-dégel requiert au moins un bassin rectangulaire en béton, assez profond pour recevoir plusieurs couches de boues (8 cm à la fois).

L'exploitation de cette méthode se chiffre à 255 \$/tbs, et ce, sans considérer les coûts d'installation. Des essais de gel-dégel ont été effectués à Sainte-Julie sur des boues chimiques d'étangs aérés facultatifs et les résultats sont très prometteurs. Effectivement, des siccités atteignant près de 44 % ont pu être observées. Or, la méconnaissance du procédé par gel-dégel fait qu'il n'existe pas à ce jour, en sol québécois, d'installations conçues spécifiquement pour le traitement des boues de fosses septiques. Des tests ont tout de même été effectués sur ce type de boues à la station d'épuration de Saint-Gabriel-de-Brandon.

FILTRATION SUR BANDES PRESSEUSES

La technique utilisée consiste à presser les boues entre deux toiles filtrantes qui sont comprimées progressivement et qui s'enroulent successivement autour de tambours perforés et de rouleaux dont la disposition varie selon le type de filtre. La filtration sur bandes presseuses se caractérise donc par une certaine facilité d'exploitation, la continuité du procédé, la simplicité de la mécanique, et un faible coût d'exploitation, soit 217 \$/tbs pour une station ayant une capacité de 1 tbs/jour, et 79 \$/tbs pour une station de 5 tbs/jour. Les boues résultant de ce type de filtration sont pelletables et les résultats sont satisfaisants pour la grande majorité des boues organiques. En effet, les siccités obtenues sont proches des teneurs limites, soit entre 21 % et 26 %.

Il existe plusieurs types de filtres à bandes presseuses. Dans le cas de stations à forte et moyenne capacités, on utilise habituellement les filtres superpress tels que ST, SP, SPI, SL, HD et DEG, alors que pour les petites stations, on préconise le GD-Press ou le T-DEG. L'entreprise Berlie Technologies, de La Prairie, fabrique des unités de filtration stationnaires d'une capacité variant de 1 000 kg/h à 8 000 kg/h d'évaporation d'eau, ainsi que des unités semi-mobiles de 500 kg/h à 1 000 kg/h. De telles installations ont par ailleurs été mises en œuvre à la Régie d'assainissement de bassin de La Prairie, à la CUQ, à Magog, Granby et à La Baie. D'autre part, le procédé de filtration sur bandes presseuses fait partie de divers systèmes de déshydratation des boues expérimentés au Québec. À titre d'exemple, Hydro-Québec a mis sur pied une étude pilote combinant une étape de séchage par radiation infrarouge et la filtration sur bandes presseuses. Également, une technique québécoise de déshydratation de boues de fosses septiques appelée DAB_{mc} combine des procédés d'épaississement et de filtration donnant des boues de fosses septiques déshydratées à des siccités entre 19 % et 24 %.

FILTRATION SOUS PRESSION EN CHAMBRES ÉTANCHES

La filtration sous pression en chambres étanches consiste à appliquer sur le gâteau de boue des pressions très élevées se situant entre 5 et 15 bars, ce qui permet d'obtenir des siccités supérieures à 30 %. Diverses installations peuvent être utilisées : les filtres-presses à plateaux chambrés classiques ; les filtres-presses à plateaux membranes ; les filtres-presses automatiques permettant de réduire les coûts de main-d'œuvre. En moyenne, le coût d'exploitation de cette technologie varie entre 79 \$/tbs et 217 \$/tbs.

DÉSHYDRATATION DES BOUES PAR LITS DE SÉCHAGE PLANTÉS DE ROSEAUX

Les lits de séchage plantés de roseaux constituent un véritable réseau de drainage de l'eau, laquelle s'égoutte ainsi plus rapidement et plus complètement des boues. Celles-ci se concentrent mieux une fois égouttées et se minéralisent progressivement dans le temps grâce à la double action de l'air (maintien de conditions aérobies) et des bactéries (forte densité au voisinage des racines). L'alimentation des lits en boues fraîches se fait directement par pompage du bassin d'aération de la station d'épuration selon une fréquence adaptée. Les rhizomes progressent dans la boue au fur et à mesure que son niveau s'élève.

Les lits plantés de roseaux sont des ouvrages étanches qui ont à leur base un massif drainant reposant sur un plancher aéré. Le massif permet l'épaississement des boues tout en facilitant l'évacuation de l'eau interstitielle. Il est en outre naturellement ventilé. Sa bonne aération permet l'obtention de percolats aérobies, lesquels sont recyclés en tête de station d'épuration sans nuire à son fonctionnement.

Pour le bon fonctionnement des lits, des cycles alternant des périodes d'alimentation et de repos sont pratiqués. Le dimensionnement des ouvrages est calculé sur la charge limitante hivernale. Les roseaux, dont la partie aérienne se développe du printemps à l'automne, restent en place pendant l'hiver, alors lequel les racines conservent une activité suffisante. Le procédé a été éprouvé pendant plusieurs années à différents sites.

Le roseau développe un réseau très dense de racines appelé rhizosphère. Celle-ci améliore le drainage des boues par circulation d'eau le long des tiges et des rhizomes.

Elle permet une pénétration d'oxygène au cœur des boues en favorisant la ventilation naturelle du massif filtrant. Enfin, l'activité bactérienne intense le long des racines aboutit à une minéralisation importante des boues. Il en résulte l'absence d'odeur et une capacité de stockage accrue.

Conçue pour stocker les boues d'une station d'épuration pendant plusieurs années (5 à 10 ans, selon les conditions climatiques), l'évacuation des boues pour épandage agricole devient peu fréquente. Après la vidange d'un lit, la reprise des pousses de roseaux s'opère naturellement, à partir des rhizomes résiduels qui demeurent sur le massif filtrant. En outre, l'épandage sur des terres agricoles, en fin de période estivale de préférence, ne pose aucun problème particulier.

SÉCHAGE THERMIQUE

Le séchage thermique permet d'évacuer, par évaporation, l'eau interstitielle présente dans les boues. S'il n'est pas suivi par l'incinération, il peut s'effectuer lorsque le produit final est dédié à la valorisation agricole ou sylvicole, ou lorsque les conditions d'enfouissement imposent une structure solide aux boues à éliminer (Blais, 1996). Le séchage à haute température peut augmenter la teneur en matière sèche à 90 % à 95 % et produit une substance sous forme de poudre ou de granules (gouvernement du Québec, mai 1991).

SÉCHAGE PAR CONTACT OU SÉCHAGE INDIRECT

Cette méthode de séchage fait usage de séchoirs constitués d'une enveloppe cylindrique fixe souvent chauffée dans laquelle tournent un ou plusieurs rotors. Ces derniers comportent des unités de malaxage creuses, dans lesquels circule de la vapeur sous pression ou une huile chaude. De ce procédé résulte un produit final granulé non poussiéreux, homogène, de taille définie et pouvant être entreposé sans inconvénient. Il est possible d'utiliser des boues d'origines variées et les granules obtenues peuvent être valorisées en agriculture ou comme combustible, ou encore, être revendues comme engrais. Pour ce qui est plus spécifiquement du procédé, l'aspiration d'air en continu assure le nettoyage à fond de toutes les pièces et le bon fonctionnement du système, d'autant plus que la circulation de l'air de séchage en circuit fermé élimine toute émanation d'odeurs. D'autre part, le mode de fabrication des granules minimise les frais d'entretien des équipements. En termes de performance, le séchage par contact diminue au maximum le volume de boues et permet l'obtention d'une matière granulée stable, pasteurisée et homogène ayant une siccité de 92 % à 95 %.

Or, le rendement optimal de cette technique implique que les boues doivent avoir une siccité appropriée au départ, se situant entre 15 % et 40 % de matières sèches (site Internet d'Enviro-Accès). De plus, le collage des boues sur les parois et le rotor entraîne un mauvais transfert de chaleur, diminuant ainsi les performances du système.

Le séchage indirect requiert l'installation d'un tambour sécheur rotatif, dont les divers types peuvent s'adapter aux différents besoins de traitement :

- **Unités stationnaires**, ayant une capacité de 1 000 kg /h à 6 000 kg/h d'évaporation d'eau ;

- **Unités mobiles**, pouvant traiter jusqu'à 1 000 kg/h d'évaporation d'eau ;
- **Unités semi-mobiles**, ayant une capacité variant de 500 kg/h à 1 000 kg/h d'évaporation d'eau.

À titre indicatif, une unité de 1 000 kg/h occupe un bâtiment de 11 m par 19,5 m. Le fonctionnement de ces installations ne nécessite les services d'un opérateur que quelques heures par jour, d'où des coûts de main-d'œuvre réduits. D'autre part, aucune mesure de protection spécifique n'est requise pour l'opérateur. Les boues sont alimentées directement à partir des équipements de déshydratation à l'intérieur d'une trémie, puis dans le séchoir. L'alimentation énergétique de ce dernier est adaptée en fonction des carburants disponibles.

Au Québec, la technologie de séchage indirect est commercialisée entre autres par Berlie Technologies inc., sous le nom de Technologie Swiss Combi. Elle est par ailleurs utilisée par la Communauté urbaine de l'Outaouais, la Ville de Smiths Falls, la Communauté urbaine de Montréal, la Ville de Laval et la Ville de Québec.

SÉCHAGE PAR CONVECTION OU SÉCHAGE DIRECT

Dans ce cas spécifique de séchage, l'évaporation de l'eau s'effectue par contact direct des boues avec des gaz chauds ou de la vapeur. Les gaz ainsi extraits sont principalement constitués par l'eau d'évaporation et les gaz de séchage. Lorsqu'elle est utilisée en circuit ouvert, cette technique produit un volume considérable de fumées malodorantes. De plus, elle nécessite des installations onéreuses pour l'enlèvement des poussières fines, le lavage ainsi que la désodorisation. Entre autres installations pouvant être utilisées, notons le séchoir rotatif tubulaire, le séchoir à lit fluidisé, le séchoir *flash*, le séchoir *ring* et le séchoir à soles étagées. La Communauté urbaine de l'Outaouais utilise un séchoir à circulation d'air en circuit fermé permettant d'obtenir des granules considérés comme étant un excellent fertilisant.

RÉACTEUR DE TYPE *LIT-À-JET*

Le Centre de recherche en génie des procédés de l'environnement et des biotechnologies (BIOPRO) de l'École polytechnique a adapté la technologie du réacteur de type *lit-à-jet*, déjà utilisée pour le séchage de particules grossières, telles que les grains de céréales, au séchage et à la granulation des boues municipales et industrielles. Il a par ailleurs été démontré que cette technologie est efficace pour l'enrobage simultané des granules de boue avec des éléments fertilisants.

Le procédé de séchage nécessite, à la base, des boues ayant une siccité se situant entre 20 % et 35 %. Ainsi, les particules de boue acheminées dans le réacteur, sous l'action d'un jet d'air chaud ascendant, sont projetées vers le haut du réacteur afin de perdre une partie de leur humidité, puis elles retombent à la surface du lit. Les granules se forment sous l'action vigoureuse de la recirculation des solides et sous l'effet du jet d'air chaud qui les mobilise. Le dépôt des éléments fertilisants sur les granules se fait à l'aide d'un injecteur installé dans le courant d'air chaud et il résulte de l'évaporation des gouttelettes qui adhèrent à la surface des particules. Le temps total de résidence des boues dans le réacteur est d'environ 30 minutes.

Il résulte du procédé des granules dont le diamètre varie entre 1 mm et 3 mm et dont le contenu en matière sèche se situe entre 75 % et 95 %. Grâce à une bonne circulation des solides, l'adhérence des boues humides aux parois du réacteur ainsi que l'agglomération des granules sont évitées. D'autre part, la simplicité du réacteur de type *lit-à-jet* permet de l'intégrer facilement dans une chaîne industrielle de traitement des boues. Selon BIOPRO, un coût de séchage et de granulation variant de 80 \$/tbs à 120 \$/tbs est envisageable. L'enrobage des boues avec des éléments fertilisants est possible dans la mesure où les boues sont exemptes de contaminants chimiques. De plus, il est envisageable d'enrober les granules de boues avec d'autres substances que des matières fertilisantes, ce qui permettrait de créer de nouvelles applications.

À l'heure actuelle, les travaux de recherche n'en sont qu'au stade de la mise au point et des démarches sont en cours pour la conception et l'exploitation d'une unité de démonstration pouvant sécher cinq tonnes de boues préconcentrées par jour.

AUTRES TECHNIQUES DE SÉCHAGE

Le séchage sans air constitue une nouvelle approche par vapeur d'eau surchauffée et par compression mécanique de la vapeur (supérieure à la pression atmosphérique). Cette technique produit un très bon transfert de masse entre le matériel à sécher et la vapeur surchauffée. Elle permet également d'avoir un rendement élevé de récupération énergétique (90 %). Les installations requises se composent d'un séchoir isolé, alimenté par un gaz de combustion et contenant un ventilateur interne. Le séchage par infrarouge permet, quant à lui, d'atteindre une déshydratation à plus ou moins 95 % de siccité. À titre d'exemple, Hydro-Québec a déjà envisagé de combiner une étape de séchage par radiation infrarouge à la filtration sur bandes presseuses.

2. LA VALORISATION

Le *Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles 1998-2008* mise principalement sur une meilleure gestion des ressources que sont ces matières afin d'utiliser les ressources naturelles de façon durable. Des mesures ont donc été mises de l'avant afin de valoriser plus de 65 % des matières résiduelles pouvant être mises en valeur annuellement. Ainsi, 60 % du verre, du plastique, du métal, des fibres, des objets encombrants et des matières putrescibles devront être valorisés. Par conséquent, les boues municipales et de fosses septiques, devront nécessairement faire partie des efforts de mise en valeur, d'autant plus qu'elles possèdent un potentiel de valorisation. Cette valorisation vise principalement à les détourner du site d'enfouissement sanitaire, conformément aux objectifs de la *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008*.

2.1 LE COMPOSTAGE

La technique du compostage consiste en la décomposition et la stabilisation, par voie biologique aérobie thermophile, de la matière organique contenue à l'intérieur de résidus solides. Cette matière subit une oxydation par des micro-organismes, laquelle s'accompagne d'une augmentation de la température pouvant aller jusqu'à 70 °C (d'où

l'appellation de phénomène thermophile). Il est possible d'observer une réduction du volume des résidus en raison de la dégradation de l'ensemble des composantes fermentescibles. Le compost ainsi obtenu peut servir en agriculture, en horticulture et en pépinière, et être vendu au détail. Il peut également être obtenu en mélangeant, dans le cas présent, des boues municipales ou de fosses septiques avec de nombreux autres résidus, tels que les fumiers, la fraction organique des ordures ménagères, les résidus verts, les résidus de récolte, les cendres, les sciures de bois, etc.

Grâce aux températures élevées atteintes pendant le processus de dégradation de la matière organique, les germes pathogènes sont efficacement détruits et il est possible d'observer une diminution appréciable de l'humidité du produit. Entre autres avantages, l'usage de compost augmente la capacité du sol à retenir l'humidité, il en améliore la structure, en plus de tamponner les sols présentant des pH très élevés. La teneur en micro-organismes du compost contribue à minéraliser les éléments nutritifs non disponibles présents dans le sol, les rendant ainsi disponibles pour les besoins des végétaux, d'autant plus que le compost constitue une source d'éléments nutritifs qui peut servir pendant une longue période de temps.

Le compostage, bien qu'il produise un amendement bénéfique pour l'environnement, génère des odeurs suscitant une forte opposition de la part des riverains des sites où il se fait. De plus, les matières organiques contenues dans le substrat sont susceptibles d'attirer des oiseaux ainsi que des rongeurs, apportant ainsi des nuisances supplémentaires dans le voisinage. Dans le cas plus spécifique du compostage de boues, la présence potentielle de contaminants nuisibles n'assure pas inévitablement des débouchés pour les produits qui en découlent, ce qui retournerait les boues à l'enfouissement malgré les efforts déployés pour les en détourner. Le compostage est également limité par le fait qu'il doit nécessairement s'effectuer à partir de boues déshydratées qui sont elles-mêmes difficilement compostables en raison de leur porosité déficiente, de leur faible rapport carbone/azote, de leur tendance à la compaction ainsi que de leur structure déficiente. Il devient alors nécessaire d'ajouter un élément structurant aux boues (copeaux de bois, sciures...), lequel doit répondre à certaines exigences, telles qu'une teneur en eau de 50 % à 70 %, un rapport carbone/azote de 25 % à 35 % et une porosité de 35 % à 40 %.

Au Québec, diverses technologies sont utilisées. Il s'agit du compostage passif, du compostage en andains et du compostage par silo-couloirs.

Le compostage passif est une simple accumulation des matières putrescibles sous la forme de tas, ne nécessitant qu'un minimum de gestion et d'agitation, mais beaucoup de temps.

Le compostage en andains consiste en la disposition de matières putrescibles en de longs tas minces qui sont complètement et fréquemment retournés à l'aide de machinerie, spécialisée ou non. Il est également possible d'aérer mécaniquement les andains au moyen de tuyaux d'aération installés sous la structure du compost afin d'éliminer la nécessité de retourner la matière.

Le compostage par **silos-couloirs** s'effectue dans des contenants fermés, où l'air est contrôlé et la matière retournée.

Le compostage de boues peut s'avérer coûteux en raison du grand volume à traiter et des frais de transport à leur site. Or, le coût de ce procédé varie entre 15 \$/t et 25 \$/t de boues humides pour une méthode de compostage extérieur sur plates-formes étanches. Une autre technique, le compostage en usine fermé, occasionne des coûts situés entre 60 \$/t et 70 \$/t humide. Plusieurs organisations sont actives dans le domaine du compostage au Québec. Notons, entre autres :

- Biomax inc., qui commercialise des technologies d'andainage par air forcé ou en silo-couloir ;
- La société Transform Compost Systems, une entreprise ontarienne qui commercialise particulièrement une technologie de compostage en récipient ainsi qu'une retourneuse de compost transportable ;
- Le Centre de recherche industrielle du Québec, Division environnement, qui participe à la mise au point de plusieurs technologies novatrices de compostage efficace de résidus variés, dont les boues de fosses septiques et municipales, et qui offre de la formation en cette matière ;
- Dessau-Soprin, qui possède une expertise dans le domaine du compostage et de la valorisation des matières résiduelles ;
- La Plomberie St-Jovite, qui a mis sur pied un système de compostage en andains de boues de fosses septiques ;
- Outarde Environnement inc., qui a expérimenté le compostage de boues mélangées avec des copeaux de bois ;
- Les Composts du Québec inc., qui font l'exploitation de deux procédés, soit le compostage extérieur en piles et le compostage en usine fermée. Cette entreprise exploite par ailleurs une usine à l'Ange-Gardien, dans l'Outaouais.

2.2 L'ÉPANDAGE AGRICOLE

La valorisation des boues en milieu agricole consiste à épandre des boues préalablement stabilisées sur des sols présentant des besoins en fertilisants. Il s'agit d'un mode de disposition final écologique et économique, conforme au principe du développement durable et réduisant la quantité de boues enfouies. La valeur fertilisante des boues améliore la structure des sols ainsi que leur pouvoir de rétention de l'eau et des éléments minéraux.

D'autre part, la valorisation agricole est une technique accessible et simple en raison de l'accessibilité des terres agricoles, de la disponibilité de la machinerie et de la facilité d'épandage des boues. Elle favorise également la création d'emplois dans divers

secteurs tels, que la chimie, l'agronomie et les biotechnologies, en plus d'inciter la concertation entre les différents intervenants du milieu (producteurs, utilisateurs, etc.).

Le ministère de l'Environnement du Québec a mis sur pied des critères provisoires de valorisation des matières résiduelles fertilisantes, lesquels établissent les teneurs limites à observer pour les métaux lourds (les normes québécoises qui en définissent les concentrations maximales sont parmi les plus strictes au monde), les agents pathogènes et les dioxines et furannes contenus dans les boues. Ces critères visent à limiter le taux d'application et la charge en éléments nutritifs afin de répondre adéquatement aux besoins nutritifs des cultures visées, de restreindre les risques de contamination de l'eau par les éléments nutritifs (en particulier les nitrates et les phosphores), ainsi que de limiter l'apport de métaux lourds dans les écosystèmes. Il est donc fondamental de les respecter lors de l'épandage des boues. De plus, des certificats d'autorisation sont requis pour chaque dossier de valorisation et une série de documents doivent être produits pour faire une demande d'autorisation au ministère de l'Environnement.

L'épandage agricole constitue cependant un mode de valorisation saisonnier nécessitant une solution alternative pour la période hivernale. D'autre part, il est impossible de valoriser les boues dans certaines régions, car elles sont trop difficiles d'accès ou en situation de surplus de lisier animal. Des critères biophysiques ont été établis pour la présélection des sites où les épandre :

- Les cours d'eau, puits et prises d'eau doivent être protégés d'une migration des éléments polluants. Une pente de 6 % ou moins doit être respectée ;
- Les dépôts doivent avoir une profondeur d'au moins 1,5 m jusqu'à la roche mère ;
- Le sol doit avoir une bonne perméabilité ainsi qu'une infiltration rapide mais non excessive ;
- Les cultures à privilégier sont le maïs-grain, le maïs-ensilage, les céréales pour animaux, les pâturages, les prairies et le gazon, tandis que les cultures de fruits et de légumes, les céréales destinées à la consommation humaine et le tabac doivent être exclus.
- Distances minimales d'épandage devant être respectées en bordure des cours d'eau :

Pente	Distance (m)
0 % à 3 %	60
3 % à 6 %	120
6 % ou +	Aucune valorisation

- Distances minimales d'épandage devant être respectées par rapport aux infrastructures (ministère de l'Environnement, juillet 1991) :

Infrastructures	Distance (m)
Développement résidentiel	500
Institution, zone récréative	200
Habitation ou édifice isolé	90
Route	10

Il est très important de faire un suivi et un contrôle rigoureux de la qualité des boues puisqu'elles peuvent présenter des risques pour la santé humaine et pour l'environnement. À l'heure actuelle, des incertitudes scientifiques planent quant à la possibilité que les métaux lourds pouvant être contenus dans les boues se retrouvent dans la chaîne alimentaire humaine si les normes prescrites ne sont pas respectées. Les risques pour l'homme peuvent également résulter d'une contamination directe (en particulier les intervenants de la filière d'épandage), découler d'une dégradation de la qualité des aliments ou encore, provenir de la contamination de la nappe phréatique par les micro-organismes pathogènes ou les métaux lourds. L'ingestion directe du sol par les enfants représente aussi un risque potentiel. En ce qui concerne les risques pour la santé des animaux et des cultures, ils peuvent être liés à des contaminations directes, comme l'ingestion d'herbe souillée par le bétail, et pourraient se traduire par un risque économique potentiel pour les agriculteurs. L'ensemble de ces risques réitère donc l'importance de respecter les règles de l'art lors de l'épandage, c'est-à-dire la fréquence, les milieux récepteurs potentiels selon la qualité des boues, la stabilisation des boues, etc.

Selon le type de boues, divers équipements d'épandage sont requis. Dans le cas des boues liquides, il est possible d'utiliser l'équipement conventionnel employé pour l'épandage des lisiers ou encore, des citernes automotrices de 6 800 L ou plus, munies de pneus à grande surface portante, afin d'éviter la compaction du sol. Pour transporter les boues sur de moyennes distances jusqu'au site de valorisation, on utilise généralement un camion doté d'une citerne de 11 300 L à 15 000 L. Pour les courtes distances, les citernes peuvent être tirées par des tracteurs. Pour ce qui est des boues solides (ayant plus de 25 % de matières solides), qui occasionnent d'ailleurs des coûts annuels d'utilisation moins élevés que les boues sous forme liquide, l'épandage peut s'effectuer en apportant quelques modifications aux équipements utilisés à la ferme pour épandre les fumiers solides. D'un point de vue économique, la valeur des boues varie entre 18 \$/t et 60 \$/t sèche, selon leur type et leur teneur en éléments fertilisants.

2.3 ÉPANDAGE SYLVICOLE

La valorisation sylvicole vise à épandre des boues stabilisées sur des sols où l'on pratique la sylviculture (milieu forestier, plantation d'arbres de Noël, érablière, etc.) présentant des besoins en fertilisants. Cela a pour effet de maintenir ou d'améliorer la fertilité des sols, à court et à long termes, surtout dans les stations forestières où leur faible fertilité constitue un frein à la croissance des arbres naturels ou plantés. Ainsi, il est possible d'augmenter la production de matière ligneuse grâce à l'ajout d'un amendement organique aux sols forestiers permettant d'équilibrer leur bilan humique, de maintenir leur

structure (c'est-à-dire leur pouvoir de rétention de l'eau et des éléments nutritifs, tout comme leur activité biologique) et d'améliorer leur fertilité. Il va sans dire que les arbres traités avec des boues sont en général plus hauts, plus gros et plus vigoureux, présentent une couleur plus foncée et que leur biomasse semble plus importante que celle des arbres laissés à eux-mêmes.

La qualité des boues utilisées pour ce type de valorisation peut être légèrement moindre que celle qu'exigent les sols destinés aux cultures vivrières. De plus, la forte production de biomasse des écosystèmes forestiers fait en sorte qu'ils ont une plus grande capacité d'intégration et d'accumulation des éléments nutritifs, d'autant plus que les sols forestiers sont moins enclins au ruissellement de l'eau en surface en raison de leur importante densité de plantation, d'où une diminution des risques de contamination et une conservation des éléments nutritifs à l'endroit où ils ont été épandus.

Tout comme dans le cas de la valorisation agricole, toute activité d'épandage sylvicole doit faire l'objet d'une demande d'autorisation au ministère de l'Environnement et respecter ses critères provisoires de valorisation des matières résiduelles fertilisantes. De plus, ce type d'épandage requiert l'analyse du milieu récepteur ainsi qu'un suivi technique et agronomique. La faisabilité technique de l'épandage en milieu forestier représente un défi de taille, étant donné la présence d'arbres et de conditions topographiques qui restreignent grandement les possibilités de circulation de la machinerie et de l'équipement d'épandage. D'autre part, l'épandage sylvicole constitue une pratique peu recommandable en pré-plantation ou sur de très jeunes peuplements, car il favorise la compétition avec les mauvaises herbes et risque d'entraîner des dommages causés par le broutage et les mulots.

Les connaissances actuelles en ce qui a trait au comportement à long terme de métaux ajoutés aux sols forestiers par l'épandage de boues sont encore très limitées. Il n'en demeure pas moins que les risques de contamination de la population humaine sont moins grands qu'en milieu agricole en raison de l'éloignement des sites sylvicoles par rapport aux zones habitées. Les risques de contamination du sol et des eaux de ruissellement et de percolation par les éléments nutritifs et les métaux augmentent avec la dose d'épandage, d'où la nécessité de respecter les critères. Des mesures de sécurité doivent également être prises, comme le port d'un équipement de protection complet par le personnel pendant l'épandage ou encore, la restriction de l'accès au site pendant un an suivant l'épandage des boues.

En général, on préconise les sols présentant une faible teneur en matière organique pour la valorisation sylvicole des boues urbaines. Le traitement est donc appliqué en sablières ou dans des plantations et des peuplements forestiers dégagés, établis sur des sols sablonneux. On choisit préférentiellement des emplacements situés près des centres de production des boues, accessibles et peu accidentés afin d'éviter les difficultés techniques reliées à l'usage de la machinerie. Lorsque les sites d'épandage et les moyens techniques sont adéquats, la valorisation sylvicole constitue une solution économiquement viable. À ce sujet, une évaluation faite dans l'État du Michigan indique que le coût total du transport en forêt des boues à valoriser, normalement payé par la station, se compare avantageusement à des pratiques plus traditionnelles, telle que l'enfouissement. Aucune valeur monétaire précise n'a toutefois été évoquée.

À l'heure actuelle, l'expertise québécoise dans le domaine de la valorisation sylvicole des boues urbaines se limite à la recherche et au développement, ou à la démonstration. Par exemple, l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) a réalisé des travaux ayant pour but de valider les pratiques de valorisation sylvicole des boues d'épuration par la mesure des conséquences de ces pratiques sur le sol et sur l'eau de ruissellement et de percolation. L'entreprise Tecsub a également participé à une recherche sur la valorisation sylvicole des boues usées et ses effets sur la faune, alors que des essais de valorisation ont été effectués par le Consortium GL-UDA sur des peuplements de sapins baumiers, de pins gris et de feuillus ainsi que sur des sites à reboiser avec trois types de boues à Saint-Charles-sur-le-Richelieu. Enfin, le Groupe HBA, de Drummondville, a mis au point un équipement d'épandage en milieu forestier.

La réceptivité du public joue un rôle de premier plan lorsque l'on envisage la valorisation sylvicole. Beaucoup de gens considèrent les boues comme des rejets malodorants et contaminés d'agents pathogènes et chimiques. Les citoyens sont souvent préoccupés par les risques pour la santé humaine et l'environnement, tels que les effets sur la qualité de l'eau, la provenance des boues, les effets sur la faune et la flore, la non-accessibilité des sites ou le contenu des boues. La clé du succès d'un programme de valorisation réside donc dans l'information et l'implication du public dès le début du programme.

2.4 RÉHABILITATION DE SITES ET VÉGÉTALISATION

À la suite de gros travaux d'aménagement, tels que les talus routiers et autoroutiers, la réhabilitation de friches industrielles ou urbaines ou de sites d'enfouissement, la création de pistes cyclables, etc., le sol a parfois disparu. Il devient alors nécessaire de réhabiliter ces sites par l'apport massif de matière organique permettant au couvert végétal de se réinstaller et au paysage de cicatiser. Les boues, une fois traitées afin de leur conférer une qualité réglementaire, sont donc utilisées comme matériaux de remblayage ou de recouvrement pour la réhabilitation de tels sites. Ce type de valorisation peut être ponctuel, ne nécessitant qu'un épandage unique pratiqué pour implanter un couvert végétal ou encore, dans le cas où la biomasse est exploitée ou exportée, l'apport de boues peut devenir régulier, proportionné aux besoins des végétaux et des sols reconstitués. Dans le premier cas, il faut une bonne programmation pour mobiliser, au moment voulu, les quantités de boues nécessaires à la réhabilitation.

2.5 PRODUCTION DE COMBUSTIBLES ET VALORISATION ÉNERGÉTIQUE

Le procédé de valorisation énergétique le plus répandu au Québec est l'incinération, qui consiste à brûler les boues afin de produire assez de chaleur pour vaporiser l'eau contenue dans des bassins. Cette vapeur alimente ensuite des turbines qui produisent alors de l'énergie électrique. À cette fin, les boues doivent tout d'abord être déshydratées jusqu'à une siccité d'environ 30 %. Ensuite, elles sont séchées à 90 % de siccité, pour finalement prendre la forme de gâteaux ou de granules destinés à la combustion.

Les boues impropres à d'autres types de valorisation peuvent éviter l'enfouissement grâce à la valorisation énergétique. Toutefois, selon la qualité des boues utilisées, leur combustion peut produire des cendres davantage concentrées en métaux lourds,

nécessitant l'élimination dans un lieu d'enfouissement sécuritaire dont les coûts sont plus élevés que ceux d'un site d'enfouissement sanitaire.

2.6. FABRICATION DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Il est possible d'utiliser les boues d'épuration dans la synthèse des agrégats légers utilisables pour la préparation de matériaux de construction, tels que la brique, le ciment à mortier et mélangé, le béton ou le ciment Portland. Ainsi, les biobriques, par exemple, peuvent contenir jusqu'à 40 % de boues tout en se conformant aux standards structuraux américains. Grâce à l'ajout de boues, le mélange destiné à leur fabrication présente davantage de plasticité. D'autre part, l'addition de matière organique allonge la durée de vie utile des installations de production de briques en élargissant la gamme des matières premières. Les contaminants organiques contenus dans les boues, en brûlant pendant la cuisson, laissent de petits vides qui rendent la brique plus poreuse et plus adhérente au mortier ; les biobriques sont par ailleurs de 10 % plus légères que les briques standard en raison de leur porosité. Par conséquent, il est possible d'observer une diminution appréciable des coûts reliés au transport de tels matériaux de construction. À titre indicatif, l'addition de 2 % à 3 % de boues sèches permet d'économiser 500 pi³ d'essence par 1 000 briques. À l'heure actuelle, il s'agit d'un marché en expansion au Japon ainsi qu'aux États-Unis. Par exemple, un fabricant de briques du Maryland produit, à l'échelle industrielle, des briques contenant 15 %, 30 % ou 50 % de boues.

2.7 AUTRES TECHNIQUES DE VALORISATION

En plus des techniques de valorisation précédentes, les boues déshydratées peuvent entrer dans la préparation de la peinture ou du papier. Elles présentent également un potentiel alimentaire pour les ruminants, la volaille et les vers de terre, mais de façon restreinte en raison de l'éventuelle présence de produits toxiques. De plus, un autre procédé de valorisation des boues municipales, appelé ENERSLUDGE, mis sur pied par une équipe de chercheurs de SNC-Lavalin, permet de les transformer en hydrocarbures liquides utilisables, entre autres, comme agents tensioactifs ou de rajeunissement dans la fabrication des asphaltes routiers ou dans les émulsions d'asphalte. Il est également envisageable de les utiliser comme combustible industriel. Cependant, la démonstration de ce procédé ne pourra être envisagée dans les communautés urbaines du Québec que d'ici quelques années.

3. DISPOSITION ET ÉLIMINATION DES BOUES

Les technologies actuelles de valorisation des boues étant peu développées ou tout simplement trop coûteuses, les choix des gestionnaires des matières résiduelles se tournent vers l'élimination. Par ailleurs, cette alternative semble inévitable lorsque les concentrations en métaux toxiques ou en matière organique rendent les boues non valorisables, ou valorisables à grands frais.

3.1 INCINÉRATION

L'incinération consiste à brûler les boues à de très hautes températures, afin d'éliminer totalement l'eau et la matière organique qu'elles contiennent. Cette méthode de disposition mène à la destruction complète des organismes pathogènes pouvant y être présents ainsi qu'à la dégradation de plusieurs composés organiques toxiques, d'autant plus qu'elle réduit de plus de 65 % l'espace occupé par les boues dans les lieux d'enfouissement sanitaires et qu'il est possible d'aller vers la valorisation énergétique.

Or, selon la méthode d'incinération choisie, les boues peuvent nécessiter des traitements préalables afin d'augmenter leur siccité, augmentant ainsi les frais reliés à cette technique d'élimination. D'autre part, elle requiert de grands volumes de boues pour être économiquement viable, en plus de requérir des systèmes efficaces et coûteux destinés à capter et traiter les fumées résultant du procédé. Effectivement, les fumées émises peuvent contenir des substances toxiques, telles que l'arsenic, le mercure, le plomb, etc., d'où la nécessité de les traiter avant leur rejet dans l'atmosphère. En ce qui concerne les cendres générées, elles peuvent être davantage concentrées en métaux lourds que les boues initiales, ce qui augmente considérablement les coûts d'enfouissement, qui doit nécessairement s'effectuer dans un site sécuritaire. L'incinération peut également constituer un gaspillage potentiel de matières résiduelles fertilisantes.

On privilégie l'incinération dans les régions produisant de grandes quantités de boues dont la piètre qualité limite grandement les possibilités de valorisation. Plusieurs types de technologies peuvent donc être utilisés, comme le four rotatif tubulaire, le four à soles étagées, le four à pulvérisation, la coïncinération ou le four à lit fluidisé. Ce dernier est particulièrement bien adapté à l'incinération de boues industrielles ou urbaines, en raison de sa fiabilité et de la possibilité de traiter des déchets autant solides que liquides. Il assure aussi un meilleur transfert de matière et d'énergie. L'ensemble de ces technologies nécessite par contre un personnel hautement qualifié et l'entretien des équipements s'avère onéreux. Il en coûterait plus de 500 \$/tbs pour utiliser cette méthode. Les investissements et les coûts de fonctionnement font donc de l'incinération une solution ne s'adaptant qu'à d'importants gisements de boues, issus de grandes stations d'épuration ou de plusieurs petites stations. Dans ce dernier cas cependant, des frais de transport additionnels seraient à prévoir si les stations ne sont pas situées à proximité de l'incinérateur.

L'incinération est un mode d'élimination des boues (et des matières résiduelles en général) contesté de la part du public en raison du rejet de substances toxiques dans l'atmosphère. La Communauté métropolitaine de Montréal exploite tout de même un incinérateur à lit fluidisé pour les boues et écumes issues de son usine d'épuration des eaux.

3.2 ENFOUISSEMENT SANITAIRE

Ce mode de disposition consiste à enfouir les boues préalablement déshydratées ou épaissies dans des lieux sanitaires. Il s'agit de la solution la plus populaire à l'heure actuelle en raison des tarifs d'enfouissement qui sont relativement semblables ou inférieurs à ceux des autres solutions de gestion. D'autre part, les coûts d'enfouissement

des boues sont souvent inférieurs aux coûts de disposition des cendres de boues incinérées ou valorisées.

L'enfouissement des boues, tout comme celui des autres résidus, nécessite l'installation d'un système de captage et de traitement des biogaz et des eaux de lixiviation, étant donné leur fermentescibilité. Advenant le cas de fuites provenant du site d'enfouissement, il y aurait un risque de contamination des eaux souterraines par les métaux lourds et les organismes pathogènes présents dans les boues. De plus, le choix de cette méthode peut causer le gaspillage de matières résiduelles fertilisantes si les boues enfouies présentent un potentiel pour la valorisation, d'autant plus qu'il raccourcit la longévité du lieu d'enfouissement sanitaire et en accroît la charge polluante, en raison de l'enfouissement de résidus organiques qui, en se décomposant, produisent des biogaz et des eaux de lixiviation.

4. TECHNOLOGIES SPÉCIFIQUEMENT APPLICABLES AUX BOUES DE FOSSES SEPTIQUES

Certaines technologies ont été adaptées aux techniques existantes dans le domaine des installations sanitaires. Certaines permettent donc de traiter les boues directement à la fosse septique, alors que des modifications ont été apportées au procédé de vidange conventionnel des fosses septiques, ou encore, des essais de compostages ont été appliqués aux boues de fosses septiques.

4.1 BIOFILTRE MÉDIAFLEX

Combinant la mousse de sphaigne et une série d'autres matériaux comme éléments filtrants, le biofiltre Médiaflex constitue une solution intéressante pour l'épuration des lixiviats de lieux d'enfouissement sanitaire, des eaux de drainage des sites miniers et des boues de fosses septiques. Peu coûteux à installer et facile à utiliser, ce biofiltre, dont l'efficacité repose sur des phénomènes de précipitation, de rétention et de dégradation biologique, permet de traiter de fortes concentrations de polluants, notamment les substances toxiques ou difficilement biodégradables et les métaux. Il peut particulièrement être utile là où certaines conditions, telles que l'absence d'électricité, le climat nordique et la topographie, limitent l'utilisation de technologies comme la filtration par le sol, les étangs d'aération et les boues activées.

Contrairement à d'autres technologies, le biofiltre ne produit pas de boues. Cela représente un avantage important, compte tenu des opérations de vidange, de déshydratation, de stabilisation et d'enfouissement normalement exigées par les boues. Son exploitation ne nécessite que l'enfouissement des matériaux filtrants après usage, ces derniers étant habituellement considérés comme une boue non dangereuse à 50 % d'humidité. Selon les débits et la qualité des effluents traités, les matériaux filtrants doivent être remplacés une ou deux fois par année.

Ce sont les chercheurs de Serrener Consultation inc. qui ont mis cette technologie au point. Par ailleurs, plus de 15 biofiltres sont actuellement en usage au Québec pour le traitement des lixiviats de lieux d'enfouissement sanitaire, des eaux de drainage de sites

miniers et des boues de fosses septiques. Ils sont utilisés comme système de traitement unique ou intégré à d'autres systèmes d'épuration.

4.2 SYSTÈME ECOFLO

L'unité de biofiltration Ecoflo est destinée au marché des résidences et des établissements publics, commerciaux ou résidentiels non reliés à un réseau d'égouts. Il s'agit d'un biofiltre à base de tourbe créé par Premier Tech Itée pour traiter efficacement les eaux usées provenant de fosses septiques. Ce système compact possède des performances épuratoires indépendantes des caractéristiques du sol, en plus d'être tout désigné pour les propriétaires ayant des difficultés liées à la superficie de leur terrain ou à la perméabilité du sol. Ainsi, l'unité de biofiltration occupe une superficie de 6,5 m² pour le traitement des eaux usées d'une résidence unifamiliale (débit maximal de 1 600 litres/jour). Ces eaux sont acheminées par gravité ou à l'aide d'une pompe vers une coquille protectrice contenant un système de distribution et le lit filtrant à base de tourbe spécialement conçu pour la biofiltration. La tourbe sélectionnée permet la rétention des matières solides, la dégradation des matières organiques, la nitrification et la réduction des coliformes fécaux.

Des essais réalisés avec des effluents de fosses septiques de résidences unifamiliales ont par ailleurs démontré d'excellentes performances épuratoires. En effet, le système permet d'obtenir des réductions moyennes de 90 % des matières en suspension, de 93 % de la demande biochimique en oxygène, de 20 % de l'azote total et de plus de 99 % des coliformes fécaux. Une fois épuré, l'effluent peut être évacué par infiltration dans le sol ou par dilution dans un cours d'eau.

La vie utile du lit filtrant est de cinq ans et il peut être retiré à l'aide d'un système de vidange de fosses septiques conventionnel, en plus de faire l'objet d'une valorisation agricole ultérieure. Une inspection annuelle suffit pour l'entretien du biofiltre. Une étude technico-économique a par ailleurs démontré que les coûts d'achat et d'exploitation du système lui permettent de concurrencer les procédés conventionnels et alternatifs.

4.3 TECHNOLOGIE JUGGLER

La technologie Juggler, ou camion Juggler, est une unité mobile de traitement des boues de fosses septiques permettant le retour d'un liquide préalablement épuré à la fosse. Pour ce faire, le système aspire d'abord la partie liquide (le surnageant) contenu dans la fosse septique (étape 1), pour ensuite aspirer les boues et écumes qui sont stockées dans le réservoir à double chambre du camion (étape 2). Le surnageant est alors traité dans l'autre chambre, sans utilisation de produits chimiques, puis retourné à la fosse en étant épuré par filtration (étape 3). La figure D.2. illustre ces trois étapes.

Cette façon de procéder permet de réduire jusqu'à 80 % du volume des matières résiduelles à transporter, et par le fait même de diminuer les frais de transport et de disposition des boues à l'usine de traitement, en plus de contribuer significativement au mieux-être de l'environnement. L'opérateur d'un camion équipé de la technologie Juggler peut vidanger jusqu'à cinq fois plus de fosses septiques qu'avec un réservoir traditionnel

de même grandeur. Le rendement du camion est alors maximisé, puisqu'il consacre désormais plus de temps à faire la vidange plutôt que le transport.

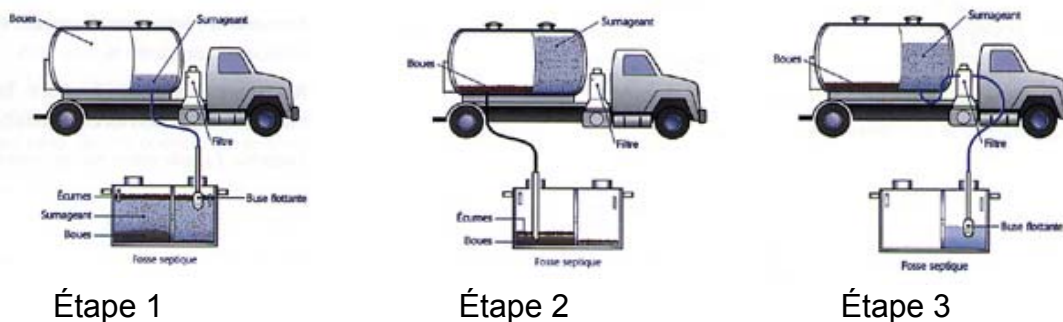


Figure D.2. Étapes de la technologie Juggler

Le caractère novateur de la technologie Juggler réside tout d'abord dans le fait qu'elle est en mesure de reconnaître les diverses couches déjà décantées naturellement à l'intérieur d'une fosse septique, soit les boues, les écumes et le liquide. La technologie tient donc compte des différentes composantes naturelles de la fosse, les aspire séparément puis retourne à la fosse un liquide épuré jusqu'à 99 % en moins de 20 minutes (ce qui est comparable à un temps de vidange conventionnel). D'autre part, il est possible d'optimiser le rendement de la fosse, d'une part grâce au procédé physicomécanique, et d'autre part en y retournant la flore bactérienne nécessaire à son bon fonctionnement. Finalement, le procédé Juggler, breveté et validé par l'INRS-Eau, est entièrement automatique et ne nécessite pas une main-d'œuvre spécialisée.

4.4 COMPOSTAGE SOUS AÉRATION FORCÉE

Les chercheurs de Serrener Consultation inc. ont élaboré un système intégré de traitement et de valorisation des boues de fosses septiques dans le but de faire face aux besoins grandissants dans ce domaine et afin de trouver une solution économique et respectueuse de l'environnement. Ce système consiste à composter les boues de fosses septiques sous aération forcée, et ce, en passant par plusieurs étapes : la réception-dégrillage des boues, la déshydratation par filtration-décantation (système DAB), le traitement et le rejet de la fraction liquide, et le traitement et la valorisation de la fraction solide. L'ensemble de ce procédé dure de 8 à 12 semaines.

Cette technologie de compostage pour le traitement des boues de fosses septiques déshydratées présente de nombreux avantages, dont leur stabilisation biologique efficace et la production d'un amendement organique sans odeur, possédant des caractéristiques agronomiques appréciables. Elle permet le traitement en continu des boues pendant toute l'année, étant donné que le système peut être installé à l'intérieur d'un bâtiment et convenir à plusieurs types de boues, telles que les boues agroalimentaires, les boues de papetières ou le lisier de porc. La technologie s'avère des plus appropriées puisque le climat québécois rend difficile le traitement sur aire ouverte en hiver et le compostage en réacteur est peu rentable pour les projets de petite envergure. Ce concept de traitement et de valorisation des boues permet d'offrir une solution intégrée à la problématique. De

plus, la technique des piles sous aération forcée présente plusieurs autres avantages, comme la faible superficie utilisée, l'acceptation sociale du concept et les faibles coûts d'implantation et d'exploitation du système. Les coûts d'investissement du système complet (incluant la déshydratation et le compostage) varient de 350 000 \$ à 500 000 \$, selon les scénarios et composantes envisagées. Avec ces niveaux d'investissement, il est ainsi possible d'offrir l'ensemble du service à un prix compris entre 18 \$ et 30 \$/m³, les coûts d'exploitation variant en fonction des volumes reçus.

Le premier centre québécois de traitement et de valorisation des boues de fosses septiques faisant appel à cette technologie a été implantée à Cowansville en 1991, à l'usine de compostage des boues de Valoraction inc. Il occupe une superficie de 2 000 m² et permet de traiter 8 m³/jour de boues déshydratées à 25 % de matières sèches, ce qui correspond à 80 m³/jour de boues de fosses septiques. Le compost obtenu (environ 1 500 m³/an pour une période d'utilisation de 170 jours) sert d'amendement en horticulture.