

## ANALYSE DES TECHNIQUES DE VALORISATION ENERGETIQUE DES BOUES D'EPURATION MUNICIPALES

Nicolas LACROIX<sup>a,\*</sup>, Daniel R. ROUSSE<sup>a</sup>, Robert HAUSLER<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Chaire de recherche industrielle en technologie de l'énergie et efficacité énergétique, École de technologie supérieure, Université du Québec

<sup>b</sup> Station expérimentale des procédés pilotes en environnement - STEPPE École de technologie supérieure, Université du Québec

### RÉSUMÉ

La gestion des boues d'épuration constitue un véritable casse-tête pour les municipalités. Malgré la préférence actuelle des autorités envers la valorisation agricole, 52 % de la quantité totale de boues recueillies au Québec est incinérée. Dans le but de remplacer l'incinération, des solutions de rechange telles que la biométhanisation, la gazéification ainsi que la combinaison des deux approches sont étudiées. L'objectif de cette recherche consiste à évaluer les alternatives thermiques d'un point de vue environnemental, énergétique et économique. Les premiers résultats de la recherche tendent à démontrer que l'approche hybride pourrait être viable économiquement ainsi qu'énergétiquement.

*Mots Clés : biosolides, boues d'épuration, biométhanisation, gazéification*

### 1. INTRODUCTION

Le Québec (Canada) produit annuellement près de 245 000 tonnes sèches de boues d'épuration municipales (biosolides). Cette quantité considérable de matières organiques pose un défi important lorsqu'il est temps d'en disposer. Présentement, les principales méthodes de gestion des boues sont les suivantes : enfouissement (30 %), incinération (52 %) et épandage agricole/compostage (17 %)[1]. Cependant, cette répartition sera amenée à changer dans les prochaines années en raison de l'adoption de nouveaux objectifs par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Ainsi, il est prévu d'éliminer totalement l'enfouissement de matière organique d'ici 2020 et d'atteindre un taux de valorisation de 60 % d'ici 2015. De plus, l'élimination thermique n'est pas la solution de rechange privilégiée. Le MDDEP a clairement pris position en faveur de la valorisation agricole, lorsque possible. La figure 1 présente les différentes catégories de disposition des boues.

L'objectif des travaux effectués est de comparer, d'un point de vue économique et énergétique, trois approches permettant de remplacer l'incinération à travers une revue de la littérature scientifique. La première option est la gazéification. La seconde, la biométhanisation ou digestion anaérobie et la dernière combine la biométhanisation et la gazéification. Au terme, le projet comparera les résultats d'installations existantes afin d'adapter les prévisions au contexte québécois.

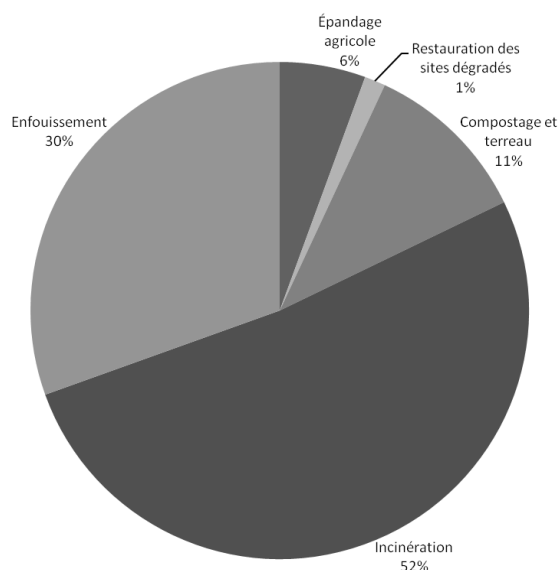


Fig. 1. Répartition des méthodes de disposition des boues au Québec (MDDEP, 2007) [1]

### 2. NATURE ET PRODUCTION DES BOUES D'ÉPURATION MUNICIPALES

La composition des boues varie d'un emplacement à l'autre. Tout d'abord, la nature de l'affluent est importante puisque la charge organique à traiter y est directement liée. Les rejets industriels contribuent également à la nature et à la quantité de boues. Finalement, le type de traitement des eaux usées déterminera la composition des boues. Un traitement physico-chimique produira des boues primaires, lesquelles ne contiennent que la matière solide des eaux usées. Un traitement biologique fait appel à l'activité bactérienne afin d'augmenter le taux

\* auteur correspondant

Adresse électronique : [nicolas@t3e.info](mailto:nicolas@t3e.info)

de réduction de la matière organique dans l'eau. Les boues résultant du traitement secondaire sont des boues activées. Les deux types de boues doivent être stabilisées avant d'être rejetées dans l'environnement.

### 3. LES MÉTHODES DE GESTION DES BOUES

La gestion des boues constitue généralement une opération difficile et coûteuse. Selon le type d'installation, la fréquence des collectes, la quantité recueillie et la composition varieront. Les boues mixtes (primaire et activées mélangées) sont généralement recueillies à un faible taux de siccité (3 à 5 %) avant d'être déshydratées jusqu'à une concentration en matière sèche (MS) avoisinant les 25 à 33 % selon le procédé employé [2]. Toutefois, tel que mentionné précédemment, les boues doivent être stabilisées. Il existe deux principales catégories de stabilisation, aérobie et anaérobie. L'enfouissement engendre une stabilisation anaérobie et puisque l'absence d'oxygène favorise la production de méthane, cette méthode de disposition sera abolie progressivement tel que prévu dans le «Plan d'action 2011-2015» de la «Politique québécoise de gestion des matières résiduelles» du Gouvernement du Québec. Toutefois, étant donné le fait que cette politique d'applique à l'ensemble des matières résiduelles organiques, il est possible qu'une grande abondance de matières résiduelles fertilisantes (MRF) de grande qualité soit disponible. Il est donc fort probable que la combustion conserve une grande importance en raison de la nature particulière des boues d'épuration et d'une éventuelle surabondance de MRF. La combustion des boues consiste la seule option qui n'implique aucune stabilisation.

#### 3.1. VALORISATION ORGANIQUE

La valorisation organique consiste à utiliser les boues comme MRF. Cela permet de réinsérer les nutriments dans l'environnement. Néanmoins, les MRF ou plus précisément les biosolides municipaux doivent être analysés, afin de déterminer leur teneur en métaux, oligoéléments, azote, phosphore, dioxines/furannes et autres [3]. En dépit des progrès réalisés afin de réduire les contaminants industriels, certains types de molécules organiques ne sont pas l'objet d'une mesure directe. Les médicaments par exemple se retrouvent dans les effluents et les boues recueillies sans faire l'objet d'une mesure systématique. Bien que certaines études sont encourageantes sur la capacité des sols à éliminer des médicaments, tels que l'anti-inflammatoire non-stéroïdien naproxen [4], beaucoup de travail reste à faire afin de démontrer l'innocuité des molécules pharmaceutiques pouvant se retrouver sur les terres agricoles.

Au Québec, cette pratique suscite une certaine méfiance, mais est réglementée. Un système de classification des MRF a été mis en place afin d'encadrer l'épandage agricole. Ainsi, les boues doivent être évaluées selon trois critères bien définis : la teneur en contaminants chimiques (C1 ou C2), la présence d'agents pathogènes (P1 ou P2) et le potentiel de pollution olfactive (O1, O2 ou O3). Plus la catégorie est élevée, plus il y a de restrictions applicables. À l'inverse, un résidu de type C1-P1-O1, ne fera l'objet de pratiquement aucune restriction. Si une source excède la limite la plus élevée d'au moins un des paramètres, il obtient alors la cote «Hors

catégorie». Toute application à des fins agricoles ou sylvicoles est dès lors interdite.

Également, l'une des tendances actuelles est de sécher les boues sous forme de boulettes avant la valorisation. Il en découle une réduction du volume et ainsi des frais de transport, mais une augmentation des besoins énergétiques. Le Bureau de la Normalisation du Québec (BNQ) a élaboré la norme CAN/BNQ 0413-400/2009 afin de déterminer les valeurs acceptables pour le taux d'humidité, les organismes pathogènes et d'autres substances nocives. Au Québec, des boues séchées certifiées par le BNQ ne requièrent pas de certification d'autorisation d'épandage et peuvent donc être utilisées comme MRF.

#### 3.2. VALORISATION THERMIQUE

La valorisation thermique constitue le sujet principal de cette recherche. Tel que mentionné, elle est étudiée sous trois différentes approches : la biométhanisation, la gazéification et la combinaison des deux précédentes. L'évaluation est effectuée d'un point de vue thermique, massique et financier.

##### 3.2.1. La biométhanisation

Mieux connue sous le nom de digestion anaérobie, la biométhanisation fait appel à la capacité de certaines bactéries d'engendrer la méthanogenèse. Cela s'effectue généralement à l'intérieur de grandes cuves scellées, les digesteurs, et fait appel à différents types de bactéries selon la température maintenue. Une température entre 32 et 42 °C favorise les bactéries de type mésophile alors qu'une température entre 48 et 55 °C profitera aux bactéries thermophiles [5]. Le biogaz produit contient de 55 à 70 % de méthane et le taux de production se situe entre 0,2 et 0,75 m<sup>3</sup>/kg de matière solide [5]. Cette plage de valeur est grande et s'explique en partie par l'impact important du prétraitement des boues.

Plusieurs techniques ont été mises à l'essai afin de faciliter l'assimilation de la matière organique par les bactéries. Le reste du biogaz est essentiellement constitué de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et de plusieurs gaz organiques en faibles quantités. Son pouvoir calorifique inférieur (PCI) se situe approximativement entre 21,6 et 23,4 MJ/m<sup>3</sup>. Cela correspond à environ 60 % du PCI du gaz naturel disponible au Canada (37,9 MJ/m<sup>3</sup>). En raffinant et en purifiant le biogaz, il est possible d'injecter celui-ci dans un réseau de distribution de gaz naturel existant. D'un point de vue du bilan de masse, selon Moletta [6], la biométhanisation des boues d'épuration permet une réduction de volume de 30 à 40 %. Il est alors possible d'inclure une étape de déshydratation thermique des boues, sous condition d'utiliser une partie du biogaz ou un autre combustible. L'un des principaux inconvénients de la biométhanisation est qu'elle ne règle pas la question de la gestion des boues puisqu'un digestat stabilisé à forte teneur en eau doit encore être évacué, éliminé ou valorisé. Beaucoup d'efforts sont investis afin d'optimiser la biométhanisation «sèche», c'est-à-dire avec une siccité supérieure à 20 %.

En somme, le biogaz produit possède une valeur ajoutée et le processus permet de produire un compost valorisable aux propriétés fertilisantes et dont la matière organique est stabilisée [6], mais le stockage demeure critique pour son implantation.

### 3.2.2. La gazéification

La gazéification constitue une méthode de combustion à mi-chemin entre la pyrolyse et l'incinération. L'oxydation des composés organiques est limitée par un environnement où la teneur en oxygène est minutieusement contrôlée. Les gaz recueillis sont alors valorisés thermiquement ou transformés en d'autres produits à valeur ajoutée. La gazéification fait l'objet de nombreuses études portant sur la disposition des matières résiduelles. Elle procure plusieurs avantages par rapport à l'incinération tels que la réduction de la quantité de gaz de combustion à traiter et la réduction de la consommation de carburant auxiliaires [7].

Il existe plusieurs procédés de gazéification. Il y a les gazéificateurs à lit fluidisé où des particules à haute température sont maintenues en mouvement afin d'augmenter la surface de contact avec le combustible. Également, les torches au plasma peuvent être utilisées. Ces dernières ont fait l'objet de beaucoup de recherches en raison de leur excellente capacité de destruction des molécules organiques. Une étude a estimé que le traitement par torche au plasma de 250 t/j de boues d'épuration à 32 % de siccité permettrait de dégager un surplus net d'électricité de l'ordre de 2,85 MW [8]. Cela constitue toutefois une très grande quantité de combustible. De plus, les approches utilisant des hautes températures, telle que le traitement au plasma, offrent la possibilité de transformer la portion non volatile du combustible (cendres) en vitrifiat. Cela peut être avantageux lorsque le produit à traiter est fortement contaminé, mais il n'est alors pas possible d'utiliser ce produit inerte pour une valorisation agricole. Le vitrifiat est généralement utilisé comme remblais ou est simplement enfoui. La littérature évoque généralement une réduction de 90 % du volume lors de la combustion des boues d'épuration [9].

### 3.2.3. L'approche hybride

Puisqu'il est essentiel de gérer le digestat issu de la digestion anaérobie, il y a une opportunité d'employer la gazéification pour remplir cette fonction. Le digestat récupéré peut être déshydraté mécaniquement pour ensuite être valorisé thermiquement. Houdkova et al. ont analysé le potentiel du digestat en évaluant le PCI des boues digérées déshydratées à 11,23 MJ/kg de matière sèche [2]. La même étude conclut également que d'un point de vue économique uniquement sur le procédé, c'est-à-dire sans considérer les investissements et les coûts d'opération, la biométhanisation suivie de la combustion du digestat pourrait être plus profitable que les deux autres approches. De plus, cette analyse a été menée en République Tchèque où les énergies telles que le biogaz et l'électricité de source renouvelable sont subventionnées. Il semble que la justification économique de cette technologie repose en grande partie sur les mesures incitatives gouvernementales. Le contexte québécois est différent et il est important de transposer cette analyse avec les paramètres correspondants.

Au niveau des gaz à effet de serre (GES), la combustion du digestat équivaut à libérer la quasi-totalité du carbone contenu dans celui-ci. Ainsi, d'un point de vue du bilan de masse, cette approche équivaut à l'incinération ou à la gazéification. Toutefois, le biogaz récupéré à l'avantage de pouvoir substituer du gaz naturel traditionnel. De plus, le séchage du digestat requiert une grande quantité d'énergie. L'utilisation de combustible fossile pour parvenir à cette tâche augmente les émissions de GES

et réduit l'écart entre la valorisation agricole et la valorisation thermique. Cependant, la combustion en présence de composés azotés aux températures typiques de ces procédés peut entraîner la formation de  $N_2O$ , ce qui nuit considérablement au bilan GES [10].

## 4. CONCLUSION

La gestion des boues d'épuration est une problématique qui gagnera en ampleur avec l'application d'un règlement interdisant l'enfouissement des matières putrescibles au Québec. Les municipalités faisant actuellement appel à l'enfouissement devront se tourner vers d'autres solutions. Il est possible que cela concorde avec l'apparition d'une grande abondance de MRF de grande qualité. Cela risque fortement d'encourager les décideurs à faire appel à la biométhanisation puisque celle-ci est fortement subventionnée (près de 66 %). Une subvention appliquée à la production de biogaz pourrait également contribuer à favoriser la réinjection de celui-ci dans les réseaux de distribution existants. Cependant, puisqu'une quantité importante de digestat est obtenue, le choix entre la valorisation agricole ou la valorisation thermique risque fortement d'être influencé par les incitatifs gouvernementaux ainsi que par la demande en MRF. Par exemple, si les municipalités se retrouvent dans une situation où elles ont de la difficulté à se défaire des boues ou du digestat à un faible coût, il est fort possible qu'elles se tournent vers la combustion. Celle-ci devra alors être optimisée afin de maximiser la production d'énergie et minimiser les émissions polluantes.

En somme, cette analyse préliminaire démontre que l'approche hybride est pertinente, mais que sa justification économique doit être établie dans le contexte québécois.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier les partenaires de la Chaire de recherche t3e qui s'investissent dans la réalisation de leurs projets. Daniel Rousse est reconnaissant au CRSNG pour une subvention à la Découverte et aux partenaires financiers de t3e.

## RÉFÉRENCES

- [1] M. Hébert, G. Busset, E. Groeneveld. Bilan 2007 de la valorisation des matières résiduelles fertilisantes, MDDEP, Gouvernement du Québec, Québec, 2008.
- [2] L. Houdková, J. Boráň, V. Ucekaj, T. Elsáßer, P. Stehlík. Thermal processing of sewage sludge – II. Applied Thermal Engineering, 2008;28:2083-2088.
- [3] M. Hébert. Guide sur la valorisation des matières résiduelles, MDDEP, Gouvernement du Québec, Québec, 2008.
- [4] E. Topp, J.G. Hendel, D.R. Lapen, R. Chapman. Fate of the nonsteroidal anti-inflammatory drug naproxen in agricultural soil receiving liquid municipal biosolids. Environmental Toxicology and Chemistry, 2008;27:2005-2010.
- [5] D. Deublein, A. Steinhauser, Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010.
- [6] R. Moletta, F. Cansell, Méthanisation des déchets organiques : Étude bibliographique. RECORD,

Traitement et valorisation des déchets et des sols pollués, France, 2003, pp. 104.

[7] L. Bébar, P. Stehlik, L. Havlen, J. Oral. Analysis of using gasification and incineration for thermal processing of wastes. *Applied Thermal Engineering*, 2005;25:1045-1055.

[8] A. Mountouris, E. Voutsas, D. Tassios. Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization. *Energy Conversion and Management*, 2008; 49:2264-2271.

[9] J. Werther, T. Ogada. Sewage sludge combustion, *Progress. Energy and Combustion Science*, 1999;25: 55-116.

[10] M. Sanger, J. Werther, T. Ogada. NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emission characteristics from fluidised bed combustion of semi-dried municipal sewage sludge. *Fuel*, 2001;80:167-177.