

**ARTICLES et DOCUMENTS
TECHNIQUES**

Traitement des eaux de lixiviation de lieux d'enfouissement sanitaire

Roger Lacasse, ing., M.Sc.A. Directeur R&D, Premier Tech Environnement

PROBLÉMATIQUE

Au cours de la dernière décennie, l'enfouissement sanitaire a changé radicalement avec l'évolution des stratégies de gestion des déchets et le renforcement de la sécurité environnementale requise. De nos jours, les sites d'enfouissement sanitaire sont rendus plus sécuritaires par l'ajout de cloisons imperméables et par l'élaboration de nouvelles stratégies opérationnelles permettant un meilleur contrôle des émissions (lixiviats et biogaz). Pour répondre aux nouveaux critères mis en place au Québec et dans de nombreux pays, il y a actuellement deux problématiques à résoudre concernant le traitement du lixiviat des sites d'enfouissement sanitaire, soient :

- une performance accrue du système de traitement du lixiviat permettant de satisfaire à des normes de rejets plus sévères et à atteindre les objectifs spécifiques aux différents sites ;
- l'élaboration de solutions économiques pour la fermeture de vieux sites d'enfouissement sanitaire, particulièrement pour la réduction des émissions (contrôle et traitement du lixiviat pour la protection de la nappe phréatique).

Dans cette optique, Premier Tech a entrepris en 1997 le développement d'un nouveau procédé de polissage du lixiviat applicable à la suite des étapes habituelles de traitement : lagune de stockage anaérobie suivi d'étangs aérés.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE POLISSAGE

Le procédé de polissage est basé sur le principe de la biofiltration aérobie à lit percolant. Le système peut inclure une ou deux étapes de polissage en série selon l'importance des charges à traiter.

Pour les « vieux » lixiviat faiblement biodégradables, le polissage est constitué d'un lit filtrant à base de tourbe. Les eaux à traiter sont appliquées sur le lit à l'aide d'un réseau de distribution sous faible pression muni de plaques de déflexions et opéré en mode de dosage. Ce réseau est jumelé à un système d'aération passive assurant le support des conduites de distribution.

Pour les « jeunes » lixiviat fortement chargés et très biodégradables, le procédé de polissage est réalisé en deux étapes en série :

Développement d'un nouveau massif orienté de biofiltration pour le traitement d'effluents en assainissement décentralisé

Roger Lacasse¹, Pierre Talbot¹, Michel Boivin¹, Olivier Vermeersch² et Jacek Mlynarek²

1 : Premier Tech, 1 avenue Premier, Rivière-du-Loup, G5R 6C1

2 : SAGEOS, 3000 rue Boullé, St-Hyacinthe, J2S 1H9

Introduction

Tout comme pour les procédés de traitement utilisés en assainissement centralisé, les filières dédiées à l'assainissement décentralisé requièrent souvent une étape d'oxydation des charges polluantes carbonée et azotée. Cette dégradation de la matière organique ou cette nitrification de l'azote ammoniacal s'appuie, le plus souvent, sur l'utilisation de procédés de traitement à films fixes étant donné les variations de charges liées aux usages municipaux ou industriels hors réseau. Qu'ils soient opérés en mode immergé ou percolant, ces procédés d'oxydation génèrent des solides résultant, entre autres, de la transformation biologique des charges assimilables. Selon la morphologie du support bactérien et la stratégie d'opération utilisées, les boues ainsi formées peuvent être retenues dans un décanteur situé en amont ou directement à l'intérieur de la structure à la base du film fixe. Cette dernière stratégie présente des avantages certains dans un contexte d'opération où priment souvent les limitations techniques ou énergétiques. L'utilisation de systèmes de biofiltration basés sur des milieux filtrants disposés en vrac et opérés en mode percolant constitue la voie technologique privilégiée à ce jour. Cette approche trouve cependant ses limitations dans la capacité hydraulique limitée des milieux filtrants existants ou dans l'obligation d'avoir recours à des systèmes d'air forcé pour augmenter les capacités d'oxydation observées. Le but du présent papier est de présenter un système de biofiltration passif à forte capacité d'oxydation basé sur un nouveau massif filtrant de type orienté. Initialement développé pour les lixiviats de sites d'enfouissement (LES), ce système de biofiltration peut s'adapter aux besoins de traitement de divers effluents dont, entre autres, ceux de la nitrification dans une boucle de dénitrification d'effluents industriels ou municipaux.

Matériel et méthode

Le procédé

Le massif de biofiltration développé repose sur l'alternance, dans un plan vertical, de matériaux de porosités et de porométries différentes. Cette alternance de matériaux différents crée des zones, ou plans verticaux, favorisant davantage, d'une part, une rétention dynamique (écoulement) des fluides, et d'autre part, une rétention statique de ces mêmes fluides. Par une modification des épaisseurs de matériaux, de leur porosité et de leur porométrie respectives, ainsi que des vitesses d'écoulement du liquide à traiter, il est possible de piloter les différents phénomènes métaboliques et physiques d'accumulation ou d'échange s'établissant dans un massif ainsi conçu. Ce type de massif, actuellement en instance de brevet, permet, entre autres, un bon étalement vertical du matériel particulaire retenu provenant de l'effluent à traiter et de la biomasse se développant. Cette répartition verticale du matériel solide accumulé ou néo-formé favorise la conservation à long terme d'une rétention gazeuse sur toute la hauteur du lit filtrant et d'un meilleur écoulement co-courant des fluides gazeux et liquide. Un tel massif filtrant peut-

être fabriqué, à titre d'exemple, par l'enroulement d'une nappe de fibres textiles recouverte préalablement d'une couche de tourbe. Une fois consolidé, le rouleau de dimensions souhaitées, est disposé verticalement dans un réservoir de plastique cylindrique muni d'un système de distribution de l'affluent à traiter. Le tout constitue ainsi l'unité de base d'un système modulaire. Selon les débits à traiter et les demandes totales en oxygène à satisfaire, plusieurs unités peuvent donc être opérées en parallèle.

Les essais

Les essais en rapport avec la problématique du polissage de lixiviat de LES ont commencé en 1997 et ont été réalisés dans des réacteurs à simple percolation de 30 et 80 cm de diamètre par 40 et 80 cm de hauteur à l'échelle pilote, en laboratoire et à l'extérieur sur un site réel d'enfouissement. Selon les charges à traiter, le polissage a été réalisé en une ou deux étapes. Pour l'approche en deux étapes, les réacteurs composés de massifs filtrants orientés étaient suivis d'un traitement sur un lit de tourbe conventionnel de type Ecoflo[®]. Dans les deux cas, l'effluent à traiter était constitué d'un lixiviat jeune pré-traité par une série de bassins anaérobie et aérobie.

Le procédé de polissage en deux étapes a été mis en œuvre dans la première installation à l'échelle commerciale au LES de St-Flavien, propriété de la MRC de Lotbinière. Le système, qui remplace le procédé de désinfection au peroxyde qui avait été préalablement retenu au début du projet, a été mis en fonction à la fin du mois de juillet 2001 pour traiter les 20 m³/d de lixiviat pré-traités par une série d'étangs non-aéré et aéré. Le choix de l'approche de polissage permet d'assurer l'atteinte des normes de rejet, particulièrement en ce qui a trait à l'azote ammoniacale et à la désinfection, et d'approcher les objectifs de rejet spécifiques au LES de St-Flavien, tel que le stipule le décret émis pour ce site.

La deuxième application, visant l'utilisation du massif filtrant dans un réacteur de nitrification à l'intérieur d'un système de dénitrification, a fait également l'objet d'essais en laboratoire et sur le terrain en conditions réelles. Ces essais ont été réalisés avec des eaux usées domestiques pré-traitées par une fosse septique et se poursuivent depuis le début de 1999. Dans les deux montages, les réacteurs de nitrification ont été couplés, dans une boucle de recirculation, à un bassin anoxique assurant la dénitrification. Les débits appliqués sur les réacteurs de nitrification correspondaient à 2 ou 3 fois le débit d'apport (effluent de la fosse septique). L'ensemble des essais ont été réalisés avec des rouleaux de 40 ou 80 cm de diamètre par 40, 60 ou 80 cm de hauteur.

Résultats et discussion

Les réacteurs de massifs filtrants orientés, combinés à un polissage final sur tourbe, ont permis de polir un lixiviat jeune à un niveau assurant l'atteinte de la majorité des objectifs de rejet habituellement imposés : DBO₅ < 10 mg/L, DCO < 200 mg/L, NH₄ < 10 mg/L, MES < 5 mg/L, Fer < 5 mg/L, Phénols < 0,02 mg/L et C.F. < 100 UFC/100 mL (voir tableau 1.0 à la page suivante).

Tableau 1.0 – Polissage en 2 étapes de lixiviat de LES : Résultats des essais

Paramètres	Effluent des étangs aérés	Effluent du système de polissage
DBO ₅ (mg/L)	143	6
DCO (mg/L)	425	180
NH ₄ (mg/L)	137	10
MES (mg/L)	76	3
Coli. totaux (UFC/100 mL)	1,5 × 10 ⁶	2 000
Coli. fécaux (UFC/100 mL)	319 000	< 100
Phénols (mg/L)	0,3	0,005
Fer (mg/L)	20	0,5
Al et Zn	75% de réduction	
B et Ba	80% de réduction	
Huiles et graisses, Sulfures	90% de réduction	

Note : Résultats obtenus pour des températures variant entre 10 et 23°C, 35 échantillons ont été prélevés.

Dans le cas de l'oxydation de l'azote ammoniacal d'un effluent de type domestique, les taux de nitrification obtenus ont été supérieurs à 95 % et l'effluent produit par les réacteurs de massifs filtrants orientés rencontre facilement les caractéristiques d'un traitement de niveau secondaire (DBO₅ < 10 mg/L, MES < 10 mg/L). Lorsque le système de dénitrification, assurant plus de 60 % d'enlèvement de l'azote total, est jumelé à une étape de polissage finale sur tourbe, l'effluent global peut atteindre un niveau tertiaire de traitement (DBO₅ < 5 mg/L, MES < 5 mg/L et C.F. < 100 UFC/100 mL). Le tableau 2.0 présente plus en détails les résultats obtenus.

Tableau 2.0 – Effluent de type résidentiel : Procédé de dénitrification

Paramètres	Effluent fosse septique	Effluent unité N-DN	Effluent polissage tourbe
DBO ₅ (mg/L)	213	5	4
MES (mg/L)	81	5	2
N total (mg/L)	56	20	20
NH ₄ (mg/L)	50	3	< 1
Coli. fécaux (UFC/100 mL)	1,2 × 10 ⁶	10 × 10 ³	≤ 100

La capacité d'oxydation des pollutions carbonée et azotée peut être exprimée en termes de demande totale en oxygène satisfaite (DTO) correspondant à la relation suivante :

$$\text{DTO (mgO}_2\text{/L)} = 0,75 \times (\text{DBO}_5 \text{ affluent} - \text{DBO}_5 \text{ effluent}) + 4,57 \times (\text{NH}_4 \text{ affluent} - \text{NH}_4 \text{ effluent})$$

Les réacteurs de massifs filtrants orientés utilisés, formés par l'alternance de plans verticaux de zones de tourbe et de fibres textiles, ont donc permis de satisfaire des DTO de l'ordre de 350 gO₂/m².d pour des taux de charge hydraulique variant de 350 et 1500 L/m².d. Cette capacité d'oxydation surpasse d'un facteur 3 ou 4 la capacité d'un milieu filtrant en vrac comme la tourbe ou le sable et correspond davantage à celle de certains systèmes utilisant de l'air forcé.

Le massif filtrant développé présente une capacité d'oxydation permettant son application dans différentes stratégies de traitement (décontamination des eaux souterraines, polissage des lixivats de sites de compostage d'écorces, polissage de différents types d'eaux usées industrielles, etc.) et ce, particulièrement où des problématiques de pollution azotée sont à solutionner. La nature passive et modulaire du procédé global lui confère une simplicité d'installation et des coûts de

fonctionnement faibles qui sont également compatibles avec les exigences de l'assainissement décentralisé (traitement secondaire des eaux usées de type domestique).

Conclusions

Le nouveau massif de biofiltration développé repose sur l'alternance de milieux à porosité différente (textile-tourbe) orientés sur un plan vertical. Cette configuration optimise les échanges et transferts entre les deux milieux et permet une aération passive du système qui offre une grande capacité d'oxydation (C et N).

Les divers essais et installations réalisés à ce jour démontrent un très grand potentiel du nouveau massif à polir le lixivat de LES et à nitrifier-dénitrifier les eaux de type résidentiel. D'autres applications prometteuses du massif textile-tourbe sont présentement à l'étude telle que le traitement secondaire des eaux usées de type résidentiel.

EXPLICATIF 1 ET 2 ÉTAPES DU SYSTÈME DE POLISSAGE

Premier Tech a entrepris en 1997 le développement d'un nouveau procédé de polissage du lixiviat applicable à la suite des étapes habituelles de traitement : lagune de stockage anaérobie suivi d'étangs aérés. Ce procédé de polissage est basé sur le principe de la biofiltration aérobie à lit percolant. Comme vous le savez déjà, le système peut inclure une ou deux étapes de polissage en série selon l'importance des charges à traiter.

Pour les « vieux » lixiviats faiblement biodégradables, le polissage est constitué d'un lit filtrant à base de tourbe sur lequel les eaux à traiter sont appliquées à l'aide d'un réseau de distribution sous faible pression muni de plaques de déflexions et opéré en mode de dosage. Cette stratégie de traitement en une étape est viable lorsque les charges du lixiviat à traiter (principalement : DBO_5 et NH_4) à l'effluent des étangs aérés ne sont pas trop élevées, car le dimensionnement du lit de tourbe doit respecter les critères suivants :

- Taux de charge organique : $\leq 20 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$
- Taux de charge hydraulique : $\leq 150 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$
- Demande totale en oxygène : entre 50 et $100 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$

En se basant sur les critères précédents, il est possible d'établir une gamme de valeurs pour lesquelles le système de polissage en une étape est applicable (voir le tableau #1 ci-dessous).

L'utilisation d'une seule étape de polissage a d'ailleurs été mise en pratique dès 1996 à titre expérimentale au L.E.S. de Rivière-du-Loup (lit de tourbe de 200 m^2). Depuis, quelques autres systèmes ont été installés au Québec ou sont prévus pour la prochaine année (voir la liste des systèmes en opération à la fin de ce document).

Tableau #1 – Caractéristiques du lixiviat à l'effluent des étangs aérés pour l'application du système de polissage en 1 étape

Paramètres (mg/L)	Concentration à l'effluent des étangs aérés
Azote ammoniacal	50 - 150
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	500 – 20 000
Coliformes totaux (UFC/100 ml)	1 000 – 50 000
Composés phénoliques	0,01 - 0,04
DBO_5	50 – 120
Matières en suspension	30 - 60
pH	6,5 à 9,5

Pour les « jeunes » lixiviats fortement chargés et très biodégradables, le procédé de polissage est réalisé en deux étapes en série. La première est constituée d'un ensemble de modules de biofiltration préfabriqués incluant un nouveau milieu filtrant composite (brevet déposé) jumelant un milieu synthétique et organique dans un arrangement permettant une très grande capacité d'oxydation de la pollution carbonée et azotée. La seconde étape de polissage est constituée d'un lit filtrant à base de tourbe (identique à celui de l'approche en une étape) assurant un excellent enlèvement de la pollution résiduelle.

Le procédé de polissage en deux étapes a été mis en œuvre dans la première installation à l'échelle commerciale au L.E.S. de St-Flavien, propriété de la MRC de Lotbinière. Le système, qui remplace le procédé de désinfection au peroxyde qui avait été préalablement retenu au début du projet, a été mis en fonction à la fin du mois de juillet 2001 pour traiter les 20 m³/d de lixiviat prétraités par une série d'étangs non-aéré et aérés. À l'automne 2002, une deuxième installation en deux étapes a été réalisée pour le L.E.S. de la MRC de la Nouvelle Beauce situé à Frampton (45 m³/d). Ce système sera mis en opération pour la saison 2003.

Dans les deux cas précédents, la stratégie en deux étapes a été adoptée puisque les charges de conception du lixivat à la sortie des unités de traitement dépassaient les limites d'application du système en une seule étape (voir les valeurs types au tableau #2). L'ajout de réacteurs orientés comme première étape de polissage sert donc à amorcer le traitement biologique et à abaisser la concentration des paramètres clefs (DBO₅, NH₄, MES, etc.) à un niveau acceptable pour le lit de tourbe. Les réacteurs orientés ont donc en quelque sorte un rôle de « dégrossisseur », vu leur capacité à prendre des taux de charge hydrauliques et massiques beaucoup plus élevés :

- Taux de charge organique : $\leq 150 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$
- Taux de charge hydraulique sans recirculation : $\leq 500 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$
- Taux de charge hydraulique avec recirculation : $\leq 1\,500 \text{ L/m}^2 \cdot \text{d}$
- Demande totale en oxygène : entre 350 et 400 g/m²·d

Tableau #2 – Caractéristiques du lixiviat à l’effluent des étangs aérés pour l’application du système de polissage en 2 étapes

Paramètres (mg/L)	Concentration à l’effluent des étangs aérés
Azote ammoniacal	100 – 200
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	10 000 – 100 000
Coliformes totaux (UFC/100 ml)	25 000 – 250 000
Composés phénoliques	0,05 - 0,50
DBO₅	100 – 300
Matières en suspension	50 – 125
pH	6,5 à 9,5

Michel Boivin, ing., M.Sc.
Chargé Produits
Premier Tech Environnement



PROCÉDÉ DE POLISSAGE – LISTE DES PROJETS

Nom du projet	Débits et charges	Description du procédé	Rejets	Statut
L.E.S. de Rivière-du-Loup	Q = 40 m ³ /jour DBO ₅ = 30 mg/L DCO = 175 mg/L NH ₄ = 75 mg/L	Lit de polissage composé de tourbe d'une superficie de 200 m ² recevant l'effluent d'une lagune anaérobie	DBO ₅ < 10 mg/L DCO = 140 mg/L NH ₄ = 20 mg/L	En opération depuis octobre 1996
L.E.S. de St-Rosaire	Q = 60 m ³ /jour DBO ₅ = 30 mg/L DCO = 200 mg/L NH ₄ = 40 mg/L	Lit de polissage composé de tourbe d'une superficie de 300 m ² recevant l'effluent d'une lagune aérée	DBO ₅ < 10 mg/L DCO = 150 mg/L NH ₄ = 5 mg/L	En opération depuis mai 1999
L.E.S de St-Flavien	Q = 21 m ³ /jour DBO ₅ = 200 mg/L DCO = 500 mg/L NH ₄ = 100 mg/L	Système de polissage composé de 2 étapes recevant l'effluent d'une série de lagunes anaérobie et aérobie : - 1 ^{ère} étape sur milieu composite de 44 m ² - 2 ^e étape composée d'un lit de tourbe d'une superficie de 150 m ²	DBO ₅ = 20 mg/L DCO = 180 mg/L NH ₄ < 15 mg/L	En opération depuis août 2001
Site de compostage d'écorces de Premier Horticulture	Q = 45 m ³ /jour DBO ₅ = 30 mg/L DCO = 200 mg/L NH ₄ = 20 mg/L	Lit de polissage composé de tourbe d'une superficie de 300 m ² recevant l'effluent d'une lagune anaérobie	DBO ₅ < 10 mg/L DCO = 150 mg/L NH ₄ = 5 mg/L	En opération depuis septembre 2001



PROCÉDÉ DE POLISSAGE – LISTE DES PROJETS

Nom du projet	Débits et charges	Description du procédé	Rejets	Statut
L.E.S. de St-Philippe de Néri	Q = 128 m ³ /jour DBO ₅ = 100 mg/L DCO = 350 mg/L NH ₄ = 100 mg/L	Trois (3) lits de polissage composés de tourbe ayant chacun une superficie de 300 m ² recevant l'effluent d'une série de lagunes anaérobies et aérobies	DBO ₅ = 30 mg/L DCO = 180 mg/L NH ₄ = 30 mg/L	En opération depuis mai 2002
L.E.S. de Nouvelle Beauce	Q = 45 m ³ /jour DBO ₅ = 100 mg/L DCO = 300 mg/L NH ₄ = 150 mg/L	Système de polissage composé de 2 étapes recevant l'effluent d'une série de lagunes anaérobies et aérobies : - 1 ^{ère} étape sur milieu composite de 90 m ² - 2 ^e étape composée d'un lit de tourbe d'une superficie de 300 m ²	DBO ₅ = 20 mg/L DCO = 100 mg/L NH ₄ < 15 mg/L	Construction terminée Mise en route au printemps 2003
L.E.T. de Armagh	Q = 200 m ³ /jour DBO ₅ = 100 mg/L DCO = 350 mg/L NH ₄ = 130 mg/L	Six (6) lits de polissage composés de tourbe ayant chacun une superficie de 300 m ² recevant l'effluent d'une série de lagunes anaérobies et aérobies	DBO ₅ = 15 mg/L DCO = 180 mg/L NH ₄ = 10 mg/L	Construction complétée Mise en eau prévue à l'automne 2003
L.E.T. de Saint-Lambert	Q = 85 à 235 m ³ /jour DBO ₅ = 85 mg/L DCO = 300 mg/L NH ₄ = 125 mg/L	Quatre (4) lits de polissage composés de tourbe ayant chacun une superficie de 400 m ² recevant l'effluent d'une série de lagunes anaérobies et aérobies	DBO ₅ = 10 mg/L DCO = 180 mg/L NH ₄ = 10 mg/L	C.A. obtenu Construction prévue pour le printemps 2004