

PHYTOVALIX – PHYTOTRAITEMENT DE LIXIVIATS GÉNÉRÉS PAR DES LIEUX D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUES ET VALORISATION DE LA BIOMASSE VÉGÉTALE PRODUITE

RAPPORT D'ÉTAPE 2018-2019

Préparé par :

Ramea Phytotechnologies

Louis-Clément Barbeau, ing. jr, M.Ing.

Raphaëlle Martineau

Xavier Lachapelle-T., ing., M.Sc.A.

SAINT-ROCH-DE-L'ACHIGAN

30 JANVIER 2020



ramea
phytotechnologies



1. INTRODUCTION

Le traitement des lixiviats générés par les sites d'enfouissement représente un marché à fort potentiel au Québec. 39 lieux d'enfouissement techniques (LET) sont en exploitation au Québec. Les technologies conventionnelles de traitement des lixiviats de LET nécessitent des coûts de capitalisation et d'exploitation élevés et ne valorisent pas les ressources du lixiviat.

Le projet PhytoValix (« Phyto » pour phytotraitement et « Val » pour valorisation et « Lix » pour lixiviat) vise à développer des procédés de filtration plantés de saules comme alternatives économiques, durables et "vertes" au traitement et pour la valorisation des lixiviats de LET. Les marais filtrants de saules (MFS) sont proposés pour les lixiviats fortement chargés générés par de jeunes cellules d'enfouissement, et les plantations filtrantes de saules (PFS) pour le lixiviat faiblement chargé de cellules plus anciennes et le polissage des effluents de MFS. Le procédé de PFS permettra également la revégétalisation et la valorisation des toits de cellules d'enfouissement n'étant plus en exploitation.

L'expérimentation de ces phytotechnologies sera réalisée au LET de Waste Management à Sainte-Sophie ainsi qu'aux installations de Ramea Phytotechnologies à Saint-Roch-de-l'Achigan. Une première expérience en pots ([filière 1](#)), vise à déterminer la charge maximale de lixiviat applicable à des PFS selon différentes conditions opérationnelles. Une deuxième expérience de taille pilote ([filière 2](#)) vise à déterminer les critères de dimensionnement et d'opération des PFS, et d'évaluer l'impact de l'irrigation par les lixiviats sur le bioréacteur "sol-plantes-communautés microbiennes du sol" et le potentiel de valorisation de la biomasse végétale produite. Une troisième expérience pilote ([filière 3](#)) visera à déterminer les critères de dimensionnement et d'opération des MFS.

Ce document présente un sommaire des activités de recherche effectuées et certains résultats préliminaires obtenus au terme des saisons expérimentales. Des photos de certaines activités réalisées en 2018 et 2019 dans le cadre des filières 1 et 2 sont présentées en Annexes de ce rapport.

2. FILIÈRE 1 : DISPOSITIFS À ÉCHELLE MÉSOCOSME

2.1. Objectif spécifique

La première filière expérimentale du projet a pour objectif spécifique de déterminer, en conditions semi-contrôlées (mésocosmes), la charge maximale de lixiviat applicable à des plantations filtrantes de saules. Il s'agit également de quantifier avec précision l'évapotranspiration des saules soumis à différents régimes d'irrigation.

2.2. Méthodologie

Un dispositif de 24 mésocosmes d'un mètre cube a été mis en place en mai 2018 aux installations de Ramea Phytotechnologies à Saint-Roch-de-l'Achigan dans Lanaudière. Les mésocosmes consistent en des réservoirs de PEHD munis d'une couche de sol (texture sableuse ou argileuse), de deux plants de saules à croissance rapide (*Salix miyabeana*) et d'un dispositif de collecte de l'effluent.

Le dispositif a été opéré pendant deux saisons expérimentales (2018 et 2019). Deux textures de sol (argile et sable) ont été irriguées selon deux charges de lixiviat provenant de l'ancienne zone du LET de Sainte-Sophie (D1 et D2; 2018 et 2019), d'une charge de lixiviat de jeunes cellules du LET collecté en amont du réacteur biologique séquentiel (RBS) du LET (D3; 2018), d'une charge de lixiviat partiellement traité collecté en aval du RBS (D3; 2019) et d'une charge d'eau potable (D0; 2018 et 2019). Seuls les résultats associés aux charges D0, D1 et D2 dans l'argile (sol représentatif du site de Sainte-Sophie) sont présentés dans ce rapport.

Les activités de recherche suivantes ont été menées au courant des saisons expérimentales 2018 et 2019 :

- Avril 2018 : Construction du dispositif expérimental
- Juillet à octobre 2018 et juin à octobre 2019 : Irrigation journalière du dispositif expérimental (jours de semaines)
- Juillet à octobre 2018 et juin à octobre 2019 : Collecte et mesure journalière des volumes d'effluent du dispositif (jours de semaine)
- Juillet à octobre 2018 et juin à octobre 2019 : Mesure journalière des paramètres météo suivants : précipitations, température, humidité relative, vent, radiation solaire
- Juillet à octobre 2018 : Échantillonnage journalier de l'effluent des 24 pots et envoi d'échantillons composés au laboratoire pour analyses chimiques toutes les deux semaines (total de 229 échantillons)
- Juin à octobre 2019 : Échantillonnage ponctuel de l'effluent des 24 pots et envoi d'échantillons pour analyses chimiques tous les mois (total de 89 échantillons)
- Novembre 2018 et octobre 2019 : Échantillonnage de la biomasse aérienne des saules, mesure de la masse humide et sèche et envoi au laboratoire pour analyses chimiques (total de 48 échantillons)
- Mai et novembre 2018 et juin et novembre 2019 : Échantillonnage du sol des pots et envoi au laboratoire pour analyses (total de 96 échantillons)

2.3. Résultats préliminaires

Évapotranspiration

Les charges hydrauliques totales irriguées, les précipitations et la transpiration des saules en 2018 et 2019 pour les doses D0, D1 et D2 pour le sol argileux sont présentés au Tableau 1.

Tableau 1. Charges hydrauliques totales irriguées, précipitations et transpiration des saules en 2018 et 2019 pour les doses D0, D1 et D2 pour le sol argileux

Paramètre	Unité	2018			2019		
		D0	D1	D2	D0	D1	D2
Charge hydraulique	mm	265	264	528	1 329	1 306	1 015
Pluie	mm	293	293	293	348	348	348
Évapotranspiration	mm	449	431	595	892	1369	1 159

Efficacité de traitement

Les efficacités moyennes d'enlèvement de la concentration en demande chimique en oxygène (DCO) et en azote ammoniacal (NH₄) en 2018 et 2019 pour les doses D1 et D2 pour le sol argileux sont présentées au Tableau 2.

Tableau 2. Efficacités moyennes d'enlèvement de la concentration en DCO et NH₄ en 2018 et 2019 pour les doses D1 et D2 dans le sol argileux

Paramètre	Unité	2018		2019	
		D1	D2	D1	D2
Enlèvement de la DCO	%	84 ± 2	64 ± 9	2 ± 20	10 ± 21
Enlèvement du NH ₄	%	100 ± 0	99 ± 0	94 ± 5	96 ± 5

Les faibles enlèvements de concentration en DCO en 2019 pour D1 et D2 observés au Tableau 2 sont dus à la présence de composés très lentement biodégradable dans le lixiviat de l'ancienne zone du LET de Sainte-Sophie, ainsi qu'à l'effet de concentration causée par la diminution de volume induite par la transpiration des saules. Sur une base massique (c.-à-d. en considérant cette diminution de volume), les enlèvements moyens de charge en DCO pour les doses D1 et D2 ont été de 79 % et 83 % en 2019, respectivement.

Rendement de biomasse

Les rendements de biomasse mesurés au terme des saisons 2018 et 2019 pour les doses D0, D1 et D2 pour le sol argileux sont présentés au Tableau 3.

Tableau 3. Rendements de biomasse mesurés au terme des saisons 2018 et 2019 pour les doses D0, D1 et D2 pour le sol argileux

Paramètre	Unités	2018			2019		
		D0	D1	D2	D0	D1	D2
Biomasse ligneuse	t MS ha ⁻¹ an ⁻¹	6,1 ± 0,4	8,4 ± 0,5	11,9 ± 0,8	6,4 ± 0,9	27,1 ± 1,2	26,9 ± 1,8

2.4. Prochaines étapes

- Analyse statistique et interprétation des résultats obtenus
- Rédaction et publication d'un article scientifique

3. FILIÈRE 2 : PLANTATION FILTRANTE DE SAULE À ÉCHELLE PILOTE

3.1. Objectifs spécifiques

La deuxième filière du projet de recherche a pour objectifs spécifiques de :

- Déterminer les critères de dimensionnement d'une PFS à échelle pilote
 - Évaluer l'impact de l'irrigation d'une PFS avec du lixiviat d'anciennes cellules sur le bioréacteur sol-plantes-communautés microbiennes du sol
 - Évaluer l'impact de l'irrigation d'une PFS avec du lixiviat d'anciennes cellules sur les propriétés physiologiques et photochimiques des saules
-

3.2. Méthodologie

Le dispositif de la filière 2 consiste en une plantation expérimentale de 1 ha planté d'un cultivar de *Salix miyabeana* (dispositif principal) et d'une plantation de 0,2 ha planté de ce même cultivar et de 7 variétés de saules supplémentaires (dispositif exploratoire). Seuls les résultats associés au dispositif principal sont présentés dans ce rapport d'étape.

La plantation des deux dispositifs a été effectuée à l'été 2018, le système d'irrigation a été installé au printemps et à l'été 2019 et l'irrigation des deux dispositifs a été amorcée à l'été 2019. Chaque dispositif est ceinturé d'une berme de confinement et d'un fossé de collecte des eaux de ruissellement mis en place par Waste Management en 2019. Les eaux de ruissellement collectées par ces fossés, le cas échéant, sont retournées en amont de la chaîne de traitement du LET de Sainte-Sophie (amont du RBS).

Les dispositifs ont été opérés de juillet à octobre 2019. Cinq traitements ont été testés en duplicata dans quatre blocs expérimentaux au sein du dispositif principal (total de 40 parcelles). Les cinq traitements suivants ont été appliqués : aucune irrigation (DNI), irrigation d'une charge hydraulique d'eau (D0), irrigation d'une charge hydraulique de lixiviat provenant de l'ancienne zone du LET (D1), irrigation d'une seconde dose de lixiviat de l'ancienne zone ($D2 = 2 * D1$) et irrigation de la dose D2 avec ajout de fertilisant (D2-P).

Les volumes irrigués et les précipitations ont été mesurés en continu à l'aide de deux débitmètres magnétiques et d'un pluviomètre installés au site, respectivement. Le suivi de la qualité des eaux des pores du sol a été réalisé à l'aide de 24 lysimètres à succion installés à une profondeur de 60 cm.

Les activités de préparation et de recherche suivantes ont été menées en 2018 et 2019 :

- Juin 2018 : Nivellement du lieu de plantation
- Juillet 2018 : Préparation agricole du sol et plantation de saules
- Juillet à octobre 2018 et mai à octobre 2019 : Suivi de l'établissement de la plantation (dépistage, désherbage manuel, etc.)
- Juin 2019 : Mise en place d'une berme de confinement et d'un fossé de collecte des eaux de ruissellement
- Janvier à mai 2019 : Conception du système d'irrigation des dispositifs
- Juin et juillet 2019 : Mise en place du système d'irrigation et de l'instrumentation
- Juillet à octobre 2019 : Irrigation journalière des zones
- Juillet à octobre 2019 : Échantillonnage de l'affluent et des lysimètres et envois au laboratoire pour analyses chimiques à toutes les deux semaines (164 échantillons)

- Juillet à octobre 2019 : Mesure de la conductance stomatique des saules (6 prises de mesures)
- Août 2019 : Mesure de la conductivité hydraulique du sol (25 mesures)
- Octobre 2019 : Échantillonnage de la biomasse aérienne des saules, pesée et envoi au laboratoire pour analyses chimiques en fin de saison (80 échantillons).
- Juillet et octobre 2019 : Échantillonnage du sol des parcelles et envoi au laboratoire pour analyses chimiques en fin de saison (60 échantillons)
- Juillet, août et octobre 2019 : Échantillonnages de sol pour analyses métagénomiques (3 campagnes d'échantillonnage)

3.3. Résultats préliminaires

Efficacité de traitement

Les volumes totaux irrigués ainsi que les efficacités moyennes d'enlèvement de la concentration de la DCO et du NH_4 en 2018 et 2019 pour les doses D0, D1, D2 et D2-P sont présentés au Tableau 4.

Tableau 4. Volumes totaux irrigués et efficacités moyennes d'enlèvement de la concentration de la DCO et du NH_4 en 2019 pour les doses D0, D1, D2 et D2-P

Paramètres	Unité	Traitement				
		DNI	D0	D1	D2	D2-P
Volumes irrigués	m ³	0	307	304	577	577
Enlèvement de la DCO	%	--	--	81	76	74
Enlèvement du NH_4	%	--	--	100	100	99

Rendement de biomasse

Les rendements de biomasse mesurés au terme de la saison 2019 pour les doses DNI, D0, D1, D2 et D2-P sont présentés au Tableau 5.

Tableau 5. Rendements de biomasse au terme de la saison 2019 pour les doses DNI, D0, D1, D2 et D2-P.

Paramètre	Unités	Traitement				
		DNI	D0	D1	D2	D2P
Biomasse ligneuse	t MS ha ⁻¹ an ⁻¹	3,7 ± 1,8	2,5 ± 1,8	2,8 ± 2,8	4,4 ± 4,5	3,7 ± 2,3

La variabilité des rendements observée au Tableau 5 est causée par une hétérogénéité de la qualité du sol du dispositif expérimental principal. Cette hétérogénéité a été causée par le nivellement préparatoire à l'établissement des saules. Une analyse des rendements et de l'efficacité de traitement par qualité de sol sera effectuée au courant de la prochaine année.

3.4. Prochaines étapes

- Analyse statistique et interprétation des résultats obtenus en 2019
- Poursuite de l'irrigation et des activités de recherche au site expérimental de Sainte-Sophie en 2020
- Évaluation de l'impact de l'irrigation sur le bioréacteur sol-plantes-communautés microbiennes du sol
- Évaluation de l'impact de l'irrigation sur les propriétés physiologiques et photochimiques des saules (extraction ADN, séquençage et analyse du métagénome)

4. FILIÈRE 3 : MARAIS FILTRANT À ÉCHELLE PILOTE

4.1. Objectifs spécifiques

- Déterminer les critères de dimensionnement d'un marais filtrant de saules (MFS) visant le traitement de lixiviat de jeunes cellules
 - Évaluer la nécessité de mettre en place un procédé de prétraitement en amont du MFS
-

4.2. Méthodologie

Un dispositif expérimental de marais filtrant à échelle pilote visant le traitement du lixiviat brut du LET de Sainte-Sophie sera construit et testé selon différentes conditions opératoires en 2020.

5. CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES

Les résultats préliminaires obtenus au terme des saisons expérimentales 2018 et 2019 du projet ont montré que :

- Un volume total de 1 458 m³ (1 458 000 litres) de lixiviat a été irrigué sur le dispositif expérimental principal de Sainte-Sophie (filière 2) en 2019.
- L'irrigation du lixiviat de l'ancienne zone sur les saules a mené à une augmentation du rendement de biomasse de ceux-ci vis-à-vis des saules irrigués avec de l'eau potable (filière 1 : 27 t MS/ha pour D1 et D2 vs 6,4 t MS/ha pour D0 en 2019). Ceci témoigne de la valeur fertilisante de ce lixiviat.
- Cette valeur fertilisante a mené à une plus grande évapotranspiration pour les saules irrigués avec le lixiviat (filière 1 : 1 150 à 1 359 mm pour D1 et D2 vs 892 mm pour D0 en 2019).
- Les taux d'évapotranspiration de 1 150 mm à 1 359 mm mesurés dans le cadre de la filière 1 en 2019 (tiges d'un an sur plant de deux ans), correspondent à des équivalents volumiques saisonniers de 11,5 à 13,5 milliers de m³ évapotranspirés par hectare.
- Les charges hydrauliques appliquées dans le cadre des filières 1 et 2 ont mené à des enlèvements quasi complets du NH₄. Ceci indique que les conditions nécessaires à la transformation de l'azote ammoniacal en nitrates ont été conservées pendant ces expériences.
- Les enlèvements de DCO et les forts taux d'évapotranspiration observés en 2019 dans le cadre de la filière 1 montrent l'importance de considérer les efficacités d'enlèvement du procédé selon des approches de concentrations et de masses (c.-à-d. en considérant la réduction de volume associé à la transpiration des saules).

6. ANNEXES

6.1. Annexe photo 1 : Filière 1



Photo 1. Démarrage en pot des boutures – mars 2018



Photo 2. Transfert des plants de saules dans les pots de la filière 1 – mai 2018



Photo 3. Filière 1 au début de la première saison expérimentale – mai 2018



Photo 4. Irrigation des saules avec cylindre gradué - juillet 2018



Photo 5. Filière 1 durant la première saison expérimentale – juillet 2018



Photo 6. Filière 1 au terme de la première saison expérimentale – octobre 2018



Photo 7. Filière 1 au terme de la deuxième saison expérimentale – octobre 2019

6.2. Annexe photo 2 : Filière 2



Photo 1. Plantation mécanisée des saules par Ramea Phytotechnologies – juillet 2018



Figure 8. Replantation manuelle de saules – juillet 2018



Photo 9. Construction des bermes de confinement par Waste Management – juin 2019



Photo 10. Dispositif principal – juillet 2019



Figure 11. Dispositif principal – octobre 2019