

RAPPORT

# SUBSTRATS HORTICOLES À BASE DE BIOCHAR PERFORMANCE ET ÉCONOMIE

---



Par

**Suzanne Allaire**, Ph. D.  
Professeur titulaire

**Sébastien Lange**, Ph. D.  
Professionnel de recherche à l'Université Laval et chez Biopterre

31 mars 2017



UNIVERSITÉ  
LAVAL

Faculté des sciences de l'agriculture  
et de l'alimentation

## CORRESPONDANCE

Suzanne E. Allaire  
2480 Boulevard Hochelaga  
Pavillon Envirotron  
Université Laval  
Québec, QC, Canada G1V 0A6  
Courriel : [suzanne.allaire@fsaa.ulaval.ca](mailto:suzanne.allaire@fsaa.ulaval.ca)

© 2017

Photos de la page couverture :  
Pierre Alexandre Papillon, Isabelle Auclair et Sébastien Lange

## RÉFÉRENCE

Allaire, SE, Lange SF (2017). Rapport : *Substrats horticoles à base de biochars : Performance et économie*. CRMR-2017-SA-2. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval, Québec, Canada, 40 p.



# NOS PARTENAIRES

---

**Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation**

**Québec** 



**CENTRE DE RECHERCHE  
SUR LES MATÉRIAUX  
RENOUVELABLES**

Fonds de recherche  
Nature et  
technologies  
Québec 

**ABRI-TECH INC.**

**SUSTAINABLE BIOENERGY**



**UNIVERSITÉ  
LAVAL**



DES ACTIONS ENVIRONNEMENTALES RENTABLES



# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## DIRECTRICE DU PROJET

**Suzanne Allaire**, Ph.D.  
Professeure titulaire  
Université Laval, Québec, Canada

## PROFESSIONNELS DE RECHERCHE

**Sébastien Lange**, Ph.D., Université Laval et Biopterre  
**Catherine Bajzak**, M.Sc. Université Laval (statistiques)  
**Karine Bradette**, Biopterre (essai en pépinière)  
**Frédéric Lebel**, Biopterre (collaboration pour analyse économique)

## OUVRIERS

**Nicole Bolduc**  
**Rachelle Daigle**

## ÉTUDIANTS UNIVERSITAIRES

**Pierre-Alexandre Papillon**  
**Simon Hénault**  
**Julie Forest Drolet**  
**Zachari Routhier**

## RÉVISION, CRITIQUES SCIENTIFIQUES, ET UNE PARTIE DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

**GECA Environnement Inc.**

Photos dans le document : Pierre-Alexandre Papillon,  
Sébastien Lange ou identifiées individuellement

# TABLE DES MATIÈRES

---

Liste des partenaires	3
Liste des tableaux	6
Liste des figures	7
<b>1. Mise en contexte</b>	<b>8</b>
<b>2. Objectifs</b>	<b>9</b>
<b>3. Expériences</b>	<b>10</b>
3.1. Description des terreaux et de leurs composantes	10
3.2. Essai en serre en 2015	11
3.2.1. Matériel et méthodes	11
3.2.2. Résultats et discussion	13
3.3. Essai en pépinière	17
3.3.1. Matériel et méthodes	17
3.3.2. Résultats et discussion, essai en pépinière	18
<b>4. Analyse économique</b>	<b>20</b>
4.1. Substitution de la perlite par du biochar	21
4.2. Substitution de la tourbe par du biochar seulement	22
4.3. Substitution de la tourbe et de la perlite par du biochar simplement en considérant les redevances d'enfouissement épargnées	23
4.4. Marché du carbone	24
4.5. Totale des perte et économies	25
<b>5. Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>Références</b>	<b>31</b>

# LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1.</b>	Description des composantes des terreaux	10
<b>Tableau 2.</b>	Propriétés physico-chimiques des biochars, de la tourbe et de la perlite	11
<b>Tableau 3.</b>	Liste partielle de quelques méthodes d'analyse des propriétés physico-chimiques des biochars, des terreaux et caractéristiques des plantes	11
<b>Tableau 4.</b>	Composition des terreaux	12
<b>Tableau 5.</b>	Conditions de croissance en serre pour les deux espèces végétales	13
<b>Tableau 6.</b>	Composition des terreaux	18
<b>Tableau 7.</b>	Coût des matériaux intrant dans la fabrication des terreaux en 2015	22
<b>Tableau 8.</b>	Coûts (M\$) de la perlite, du biochar et des épargnes potentielles faites par l'ensemble des producteurs horticoles du Québec par la simple substitution de la perlite à 14% v/v dans le terreau par du biochar, avec 3 scénarios de prix de biochar.	22
<b>Tableau 9.</b>	Coûts de la tourbe (M\$) et épargnes ou pertes potentielles faites par l'ensemble des producteurs horticoles du Québec par la simple substitution de la tourbe à 14, 25 et 50% v/v dans le terreau par du biochar, avec 3 scénarios de prix.	24
<b>Tableau 10.</b>	Redevances potentielles (M\$) si on évitait l'enfouissement de MOR et coûts d'enfouissement pour un tonnage équivalent à ce qu'il faut pour produire le biochar pour remplacer la tourbe à 14, 25 et 50% v/v et la perlite à 14% v/v l'ensemble des producteurs horticoles du Québec.	25
<b>Tableau 11.</b>	Valeur économique (M\$) du carbone séquestré par le remplacement de la perlite et de la tourbe par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution, considérant que le terreau ira éventuellement au sol.	27
<b>Tableau 12.</b>	Valeur économique (M\$) du carbone évitée par l'exploitation de la tourbe par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution.	27
<b>Tableau 13.</b>	Somme (M\$) des économies et des pertes financières (coût direct, équiv CO <sub>2</sub> , redevances) par la substitution de la tourbe et de la perlite par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution et différent prix de biochar.	28
<b>Tableau 14.</b>	Somme (M\$) des économies et des pertes financières (coût direct, équiv CO <sub>2</sub> , valeurs de l'enfouissement) par la substitution de la tourbe et de la perlite par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution et différent prix de biochar.	29

# LISTE DES FIGURES

---

Figure 1.	Biochar Basque	10
Figure 2.	Calamagrostis (à gauche) et spirée (à droite).	12
Figure 3.	Distribution des plantes en serre, calamagrostis et spirée	13
Figure 4.	Masse aérienne et racinaire de la spirée et du calamagrostis à la fin de l'expérience en serre (après 59 jours)	15
Figure 5.	Masse sèche aérienne des spirées et des calamagrostis en fonction de la variation d'unités pH dans les terreaux	16
Figure 6.	Variation du pH du lixiviat des terreaux en fonction de leur contenu en biochar après 4 jours et durant la croissance végétale dans le mélange 2	17
Figure 7.	Essais en pépinière avec la spirée et le calamagrostis	19
Figure 8.	Masses sèches aériennes et racinaires des calamagrostis et des spirées à la fin de production en pépinière en 2016 pour les différents traitements	19
Figure 9.	Exploitation de la tourbe dans le bas St-Laurent	22
Figure 10.	Déchets à un site d'enfouissement au Québec et ratio des types de déchets dans les poubelles résidentielles au Québec dont 44% de matières organiques fraîches et 20% de papiers et cartons (donc 64% MOR)	24

# 1 MISE EN CONTEXTE

En 2011, 3016 entreprises déclaraient des activités de floriculture serricole sur 859 ha de serres au Canada. En 2013, 206 millions de plants ont été produits en pots au Canada générant des recettes de plus d'un milliard de dollars, dont 123 M\$ au Québec, et plus de 19 000 emplois, dont près de 7000 emplois permanents (Agriculture Canada, 2013). Les salaires représentent environ 31% des frais de production de plantes ornementales, alors que les producteurs dépensent environ 19% de leur budget pour les graines, les bulbes et les boutures. Les autres dépenses, dont les terreaux, réclament 9% des frais.

Malgré que les terreaux ne représentent pas une grande partie des dépenses, ils sont primordiaux à cette production. La qualité des substrats joue un rôle majeur sur la qualité et la croissance des plantes. En effet, un substrat doit pouvoir maintenir une grande porosité afin d'offrir une excellente aération et drainage aux plantes. Le substrat ne doit pas s'affaisser ni les pores se colmater et le pH doit pouvoir demeurer dans la plage idéale des plantes tout au long de la période de croissance.

**En 2013, 206 millions de plants ont été produits en pots au Canada générant des recettes de plus d'un milliard de dollars, dont 123 M\$ au Québec, et plus de 19 000 emplois**

Les terreaux incluent généralement de la perlite et de la vermiculite, deux produits importés qui coûtent de plus en plus cher. Malgré que la tourbe soit principalement produite dans l'est du Canada et donc moins dépendante des aléas internationaux que la perlite, on s'attend à ce que son prix augmente puisqu'elle est de plus en plus considérée comme une ressource peu renouvelable. Les horticulteurs recherchent donc des terreaux de très haute qualité puisqu'ils représentent un élément clé dans la réussite de leur production à moindre coût tout en diminuant leur dépendance aux importations.

Par ailleurs, les productions agricoles, forestières et industrielles ainsi que les municipalités produisent de très grandes quantités de matières organiques résiduelles (MOR), souvent difficiles à valoriser. Le gouvernement québécois a, de plus, interdit l'enfouissement des MOR à partir de 2020 (MDDELCC, 2012). Des méthodes de valorisation pourraient bénéficier d'une économie locale en circuit court. Un des marchés visés pour ces MOR concerne la production horticole.

**les propriétés physico-chimiques des biochars semblent présenter une alternative intéressante à la tourbe et la perlite dans la fabrication des terreaux**

Ces résidus peuvent être utilisés tel quel dans les champs, mais il est recommandé de les composter. On peut aussi les pyrolyser. La pyrolyse consiste à transformer la matière sous des températures variant de 300 à 700°C avec très peu d'oxygène. Cette méthode produit du gaz, du liquide (huiles pyrolytiques) et du solide (le biochar, une sorte de charbon).

Les biochars diffèrent les uns des autres selon la MOR, la température, la durée, ainsi que la technologie de pyrolyse. Malgré cette variabilité, les propriétés physico-chimiques des biochars semblent présenter une alternative intéressante à la tourbe et la perlite dans la fabrication des terreaux. En effet, plusieurs auteurs ont testé des taux de biochars dans les terreaux ornementaux, maraîchers et forestiers avec des concentrations variant entre 5 et 50% dépendamment des essais (Allaire et Lange, 2013; Lange et Allaire, 2015; Tian et coll., 2012; Vaughn et coll., 2013). Toutefois, étant donné la grande variabilité des propriétés des biochars et des besoins de chaque espèce végétale, on s'attend à ce qu'ils ne performant pas tous aussi bien.



# 2 OBJECTIFS

L'objectif principal de ce projet concernait le développement de terreaux horticoles contenant du biochar produit avec des MOR sous-utilisés dans le Bas St-Laurent (Québec, Canada) dont le fumier de poulet et des branches de feuillus à bois mou.

Pour atteindre cet objectif, les sous-objectifs suivant ont été réalisés :

- La sélection des meilleurs terreaux suite à une croissance en serre et en pépinière ornementale
- L'évaluation de la performance économique de la substitution de la perlite ou de la tourbe par du biochar.



# 3 EXPÉRIENCES

## 3.1. DESCRIPTION DES TERREAUX ET DE LEURS COMPOSANTES

Les composantes des terreaux (Tableau 1) ont été sélectionnées selon la recommandation de notre collaborateur, le producteur ornemental Pépinière l'Avenir et relatives aux besoins des espèces végétales sélectionnées.

Les biochars (Figure 1, Tableau 2) ont été fabriqués avec des MOR locales sous-utilisées et disponibles dans le bas St-Laurent du Québec (Canada). Le premier biochar provient d'une charbonnerie de bois dur soit le Charbon de Bois Franc Basques. L'autre est fait de branches de résineux provenant du Centre de Tri du Bas St-Laurent

(Centre de tri Co-Eco) avec la technologie AbriTech. Le troisième biochar, aussi fabriqué avec AbriTech, est fait de litière de poulailler pyrolysée à 470°C pendant quelques secondes.

L'analyse des propriétés des biochars a été faite selon des méthodes standards et ajustées pour le biochar (Tableau 3). La fabrication et les propriétés des deux premiers biochars (Tableau 2) sont décrites dans un autre rapport accessible au public (Allaire et coll., 2015).

**Tableau 1. Description des composantes des terreaux.**

Composante	Fabricant	Rôle	Commentaires
Tourbe blonde fibreuse	Premier Tech	Structure et rétention en eau	Comme le témoin*
Perlite horticole	Perlite Canada	Drainage	Comme le témoin*
Écorces de pin de l'est (petites)	Fafard et frères	Contre la compaction et aération	Comme le témoin*
Sable tout usage	Marco	Remplissage et poids	Selon expérience de l'équipe
Biochar de bois dur	Charbon Basques	Remplacement partiel de la tourbe et de la perlite	Granulométrie relativement grossière et stable, pré-tamisé
Biochar de résineux	Biopterre	Remplacement partiel de la tourbe et de la perlite	Granulométrie variée, résidus en grand volume dans la région
Biochar de poulet	Abritech	Remplacement partiel de la tourbe et de la perlite	Résidus en grand volume dans la région, granulométrie variée
Pierre à chaux	Graymont	Ajustement du pH	Carbonate de calcium, max 0,42% Mg, 100% passant tamis 2 mm, pouvoir chaulant min : 92%
Acide citrique	Sigma Aldrich	Ajustement du pH	Biochar de poulet a été délavé 5 fois avec une solution d'acide citrique 2,5 g/l

\*Le témoin est le terreau utilisé par le pépiniériste L'Avenir pour toutes ses plantes

Tableau 2. Propriétés physico-chimiques des biochars, de la tourbe et de la perlite.

Propriétés	Unités	Biochar				
		Bois dur	Résineux	Poulet	Tourbe	Perlite
<b>Propriétés générales</b>						
Cendres	%	12	14	31	2	
Matières carbonées	%	87,8	86,2	68,8	98	ND
<b>Propriétés physiques</b>						
Masse volumique apparente	g cm <sup>-3</sup>	0,29	0,39	0,65	0,15	0,08
Masse volumique réelle	g cm <sup>-3</sup>	1,54	1,45	1,70	1,52	ND
Porosité	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,81	0,73	0,67	0,90	ND
Diamètre moyen pondéré	µm	2191	189	190	1912	3184
Indice d'uniformité	—	3,4	3	3		
<b>Propriétés chimiques</b>						
pH	—	7,8	8,6	103	4,0	ND
pH tampon 7	Meq HCl	0,053	0,078	0,434	ND	ND
pH tampon 4	Meq HCl	0,258	0,267	2,72	ND	ND
Na échangeable	Cmol+ kg <sup>-1</sup>	0,15	0,79	26,77	ND	ND
K échangeable	Cmol+ kg <sup>-1</sup>	6,3	15,3	95,67	ND	ND
Ca échangeable	Cmol+ kg <sup>-1</sup>	11,1	9,9	6,09	ND	ND
Mg échangeable	Cmol+ kg <sup>-1</sup>	1,3	1,5	2,65	ND	ND
Somme des cations échangeables	Cmol+ kg <sup>-1</sup>	18,8	27,5	131,18	ND	ND

ND : Non disponible

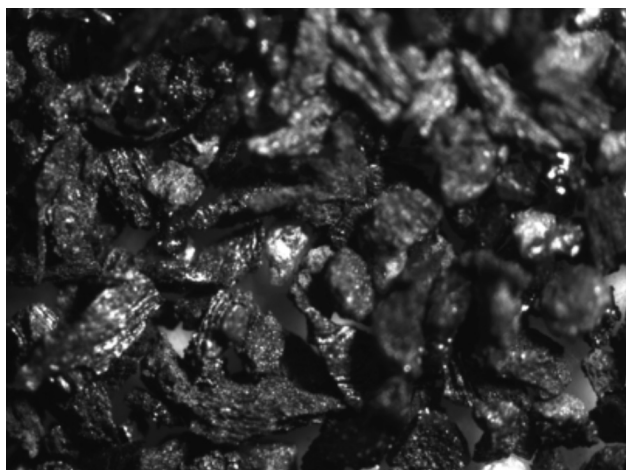


Figure 1. Biochar Basques

**Tableau 3. Liste partielle de quelques méthodes d'analyse des propriétés physico-chimiques des biochars, des terreaux et caractéristiques des plantes.**

	Analyse	Unités	Méthode
Propriétés des biochars	Masse volumique réelle	Mg m <sup>-3</sup>	Pycnomètre
	Masse volumique apparente	Mg m <sup>-3</sup>	Tassement par chute
	Porosité	m <sup>3</sup> <sub>vide</sub> m <sup>-3</sup> <sub>total</sub>	Calcul
	Diamètre moyen pondéré	µm	Granulométrie
	Surface spécifique externe	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	BET
Propriétés des terreaux	% de matières carbonées	%	Perte au feu
	CEC	cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>	Déplacement d'ions
	pH du mélange	Unités pH	pH à l'eau
	pH du lixiviat	Unités pH	pH à l'eau
Plantes	Masse sèche aérienne	g	Séchoir ventilé et balance
	Masse sèche racinaire	g	Séchoir ventilé et balance
	Hauteur des plants de calamagrostis	m	Ruban à mesurer

## 3.2. ESSAI EN SERRE EN 2015

### 3.2.1. Matériel et méthodes

Quinze mélanges ont été créés (Tableau 4) dont 5 mélanges avec un ou l'autre des 3 biochars. Le but était de substituer jusqu'à 100% de la perlite et/ou jusqu'à

50% de la tourbe. Un terreau témoin, qui représente le mélange utilisé par la pépinière, a aussi été comparé aux terreaux avec du biochar.

**Tableau 4. Composition des terreaux.**

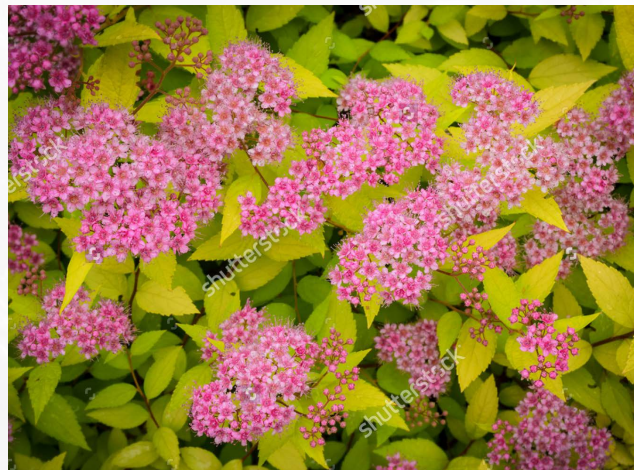
	Biochar (% v/v)	Perlite (% v/v)	Écorces (% v/v)	Tourbe (% v/v)	Sable (% v/v)	Description des traitements
Témoin	NA	15	24	60	0	Aucune substitution
Mélange 1	7	7	24	57	5	Substitution partielle (50%) de la perlite
Mélange 2	14	0	24	57	5	Substitution totale de la perlite
Mélange 3	14	14	24	43	5	Substitution de la tourbe dose 1 (28%)
Mélange 4	25	14	24	32	5	Substitution de la tourbe dose 2 (47%)
Mélange 5	25	0	24	46	5	Substitution de la perlite (100%) et partielle de la tourbe (23%)

NA : Non applicable

Le pH des terreaux a été ajusté au départ avec de la chaux horticoles (carbonate de calcium) pour obtenir une valeur cible d'environ 6,5. Les mélanges contenant du biochar de fumier de poulet ont plutôt été acidifiés avec de l'acide citrique, car ils étaient très alcalins dès le départ.

Deux espèces végétales ornementales (Figure 2) ont été sélectionnées basées sur les ventes des producteurs

québécois, la stabilité de ces ventes dans le temps au Québec, la sensibilité des espèces aux terreaux et leur différences physiologiques. On parle du calamagrostis (*Calamagrostis x acutiflora*) cultivar Overdam et de la spirée japonaise (*Spiraea japonica*) cultivar Goldmound. Elles ont été fournies par la pépinière l'Avenir.



**Figure 2. Calamagrostis (à gauche) et Spirée (à droite).**

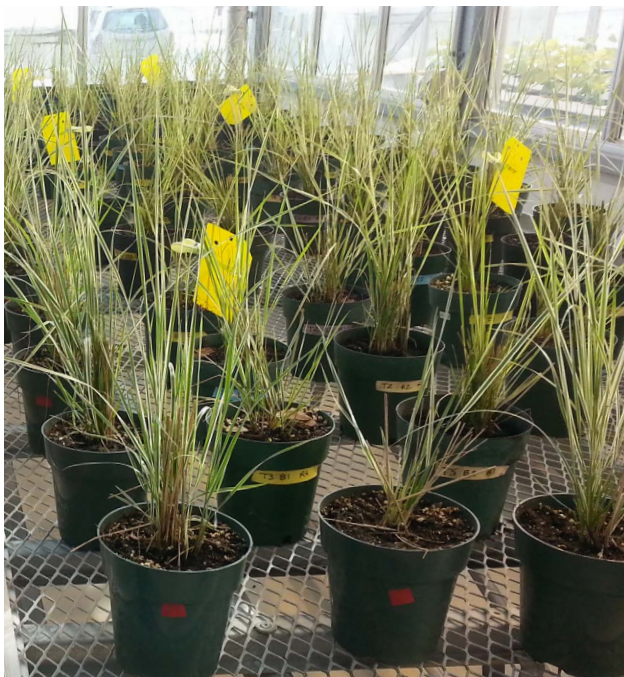
Les conditions de croissance (Tableau 5) ont été maintenues pendant 59 jours en serre. Les plants étaient disposés en blocs complets aléatoires (Figure 3) avec rangs de garde et répliqués quatre fois.

À la fin de l'expérience, les racines ont été séparées du substrat. Les parties aériennes et racinaires ont été séchées et pesées. La hauteur moyenne des plants de calamagrostis a été calculée à partir de la base du plant.

La hauteur des plants de spirée n'a pas été mesurée. L'état général des plantes a été évalué en observant le nombre de feuilles difformes; enroulées ou gaufrées, des indications de maladie et l'allure générale de la plante i.e. si elle est vendable ou pas. Le pH des lixiviats et des terreaux a été mesuré 2 fois (Carter, 1993). Lors de l'arrachage des plants, du terreau a été prélevé pour analyses.

**Tableau 5. Conditions de croissance en serre pour les deux espèces végétales.**

Item	Condition	Commentaire
Plants de départ	Multicellules 2,5" pour spirées et carottes de 1" pour calamagrostis	—
Taille	Taille des calamagrostis à 15 cm de haut au début	—
Durée de croissance	59 jours	—
Pots	5,5 " de diamètre, standard rond	—
Température	19 - 26 °C	—
Humidité	60 - 80% HR	—
Luminosité	Constant, 16 h/jour	Éclairage d'appoint pour maintenir l'uniformité
Distance entre les pots	17 cm	Centre à centre
Arrosage	Chaque jour	2 x/jour si journée très chaude
Fertilisation	20-8-20 300 ppm N, 1x/semaine avec arrosage	(Plant-Prod, 2015)
Contrôle des ravageurs	Cartons collants et insecticides lorsque nécessaire	2x Vectobac pour sciarides 2x EndAll pour pucerons



**Figure 3. Distribution des plantes en serre, Calamagrostis (à gauche) et spirée (à droite).**

### 3.2.2. Résultats et discussion

Il y avait une très grande variabilité initiale entre la taille des plantes. De plus, certains plants de spirée ont débuté une dormance au début de l'expérience, mais tous n'étaient pas au même stade. Elles ont été sorties de dormance, mais tout ceci a diminué la puissance statistique à détecter des effets de traitements.

**Comparativement au témoin, la croissance la plus performante s'est produite dans le terreau contenant 14% de biochar de poulet**

Les plantes ont réagi aux substrats (Figure 4). Comparativement au témoin, la croissance la plus performante s'est produite dans le terreau contenant 14% de biochar de poulet. La croissance aérienne la plus faible a été observée dans les terreaux contenant 25% de biochar de résineux avec ou sans substitution de la perlite. Les autres mélanges et biochar ne se sont pas différenciés significativement du témoin. Le biochar de bois dur a eu tendance à favoriser une excellente masse aérienne de la spirée à n'importe quelle dose, même à 25%, alors que la croissance avait tendance à diminuer avec ce fort contenu en biochar pour les biochars de résineux et de poulet. Ces derniers semblaient atteindre une concentration critique à 14%.

**Le biochar de bois dur a eu tendance à favoriser une excellente masse aérienne de la spirée à n'importe quelle dose, même à 25%**

Pour la partie racinaire (Figure 4), tous les terreaux étaient différents entre eux. On a observé un effet important du biochar et du mélange. Par contre, seul le biochar de poulet à une concentration de 14%, sans substitution de perlite, était significativement plus élevé que le témoin, alors que ce biochar a produit moins de racines que tous les autres à plus forte concentration (25%). En général, le biochar de bois dur a favorisé la croissance racinaire la plus constante entre les mélanges en donnant la plus haute masse racinaire avec les doses les plus élevées (25%)

sans différence significative avec le témoin. Le biochar de résineux a donné des masses racinaires similaires à celui du bois dur. Le biochar de fumier de poulet, à plus fortes concentrations, a donné, comme pour les parties aériennes, des masses racinaires plus faibles.

**Tous les traitements contenant du biochar ont donné une masse aérienne de calamagrostis similaire au traitement témoin (Figure 4) (pas de différences significatives).** Par contre, les mélanges ont influencé la croissance végétale différemment entre eux. En effet, le mélange contenant le moins de biochar de poulet a produit une plus grande masse aérienne que tous les autres. Les mélanges contenant 14% de biochar ont produit plus que ceux à 25% de biochar. On peut observer les mêmes tendances qu'avec la spirée. Le biochar qui a eu tendance à donner la plus grande masse aérienne lorsqu'incorporé à grande concentration (25%) est le biochar de bois dur. Sa production de biomasse est aussi plus stable entre les différentes concentrations.

Aucun mélange contenant du biochar n'a donné une masse racinaire différente de celle du témoin (Figure 4). Par contre, les biochars étaient différents entre eux. Les mêmes tendances qu'avec la masse aérienne et racinaire de la spirée s'observent. Par ailleurs, le mélange dans lequel toute la perlite a été substituée a donné les plus grandes masses racinaires, alors que le mélange contenant 25% de biochar sans substitution de perlite a fourni moins de racines.

Outre la masse aérienne et racinaire, la hauteur moyenne des calamagrostis n'a pas du tout été influencée par les terreaux, ni par les substrats. Tous sont de hauteur similaire au témoin. Leur esthétique était aussi acceptable pour la vente. Les plus petits plants auraient par contre coûté plus cher à produire puisqu'ils auraient probablement été conservés en pépinière une année additionnelle. Statistiquement, il n'y avait pas de différence entre les

**Statistiquement, il n'y avait pas de différence entre les traitements contenant du biochar et le traitement témoin dans la qualité esthétique des plants**

traitements contenant du biochar et le traitement témoin dans la qualité esthétique des plants, ni de problèmes affectant la vente exceptée que dans l'ensemble, les plants semblaient plus beaux dans les terreaux contenant du biochar que dans le témoin. Ces observations sont aussi vraies pour la spirée. Généralement, en comparant les mélanges de biochar entre eux sans égard au témoin, l'esthétique des plants dans le biochar de poulet semblait similaire à celui du résineux, et plus beau que celui du bois dur. Ce n'est toutefois pas vrai pour toutes les combinaisons, mais pour la majorité. Ils étaient presque tous de qualité vendable à l'exception de quelques uns trop petits.

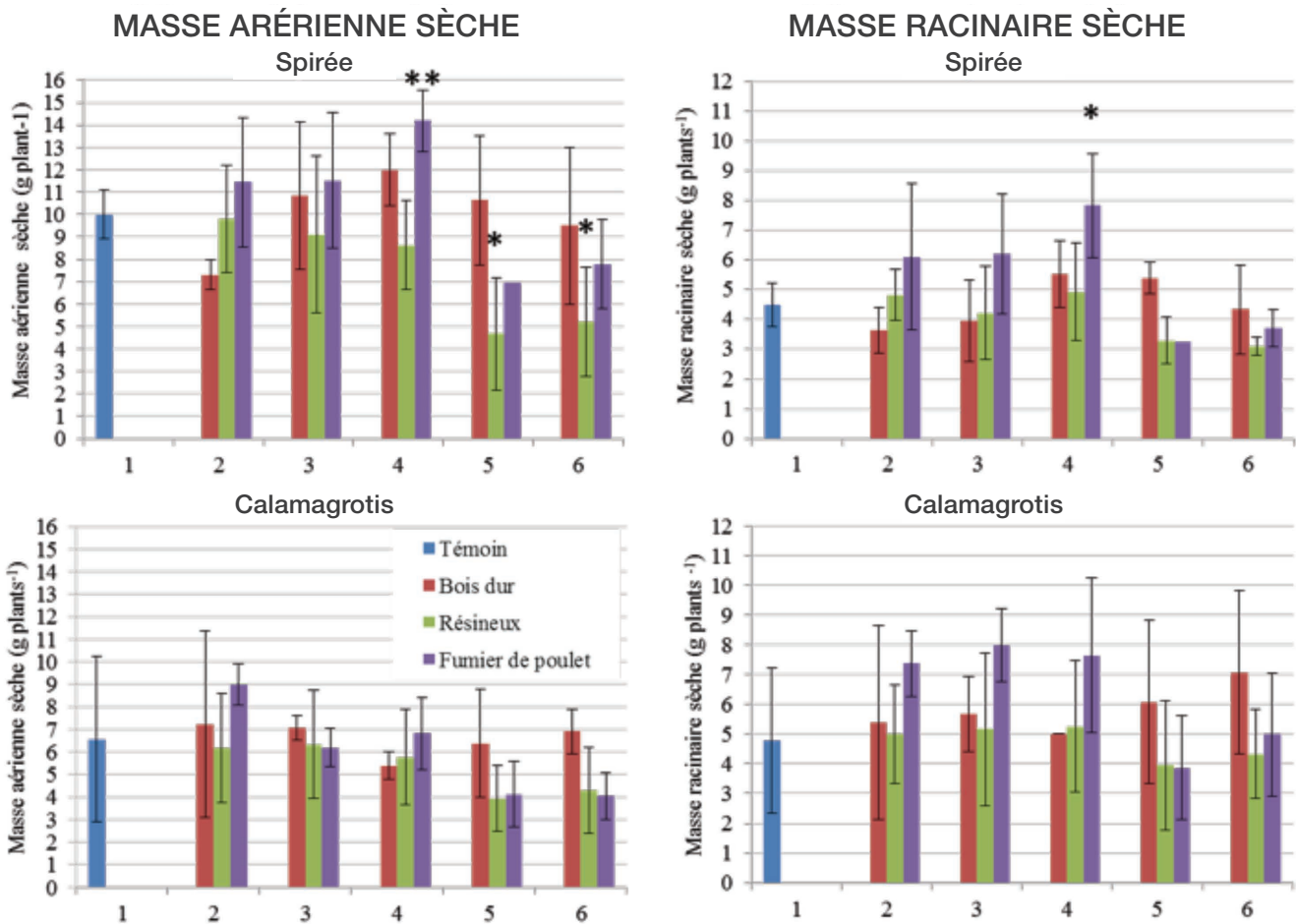
### Le pH a influencé la croissance

Le pH a influencé la croissance (Figure 5). Les masses sèches aériennes de la spirée et de calamagrostis ont été fortement corrélées avec le changement de pH pour les terreaux contenant du biochar de résineux et de fumier de poulet, mais l'était beaucoup moins pour le biochar de bois dur (Figure 5). Ceci était peut-être dû en partie au fait que le pH était différent entre les terreaux contenant les différents biochars (Figure 6) et le pH des terreaux contenant du fumier de poulet a passablement augmenté durant la croissance végétale plus que les autres (Figure 6). Il a changé jusqu'à 2 unités pH durant l'essai en serre. Le pH des terreaux contenant le biochar de bois dur a moins changé au cours du temps. Par ailleurs, plus le terreau contenait de biochar, plus son pH a changé (Figure 6).

Pour ce qui est des autres propriétés, il ne semble pas y avoir de lien direct avec la croissance végétale. On n'a pas observé de substrats qui compactaient plus que les autres et que le témoin, ni de croissance de mousse, ni de maladie plus développée chez les uns que chez les autres. Par contre, les terreaux qui contenaient les biochars de résineux et de fumier de poulet, étant beaucoup plus fins, drainaient moins bien. Ceci a pu causer un certain problème d'aération dans le substrat, ce qui pourrait expliquer leur moins bonne performance à forte teneur dans le terreau. Autrement, la masse volumique apparente basse de tous les terreaux favorisait une excellente porosité. Les ions échangeables, n'étant pas en grande quantité dans les biochars, n'ont probablement pas influencé la croissance puisque la fertigation compensait le manque à gagner dans tous les mélanges.

Par ailleurs, ces biochars ne contenaient pas au départ d'agents toxiques ou de contenus forts en métaux lourds ou autres produits pouvant affecter la croissance végétale (Allaire et coll., 2015a), ce qui explique en partie pourquoi on obtient des plants de qualité dans tous les traitements.





Mélanges	1	2	3	4	5	6
Biochar (% v/v)	0	7,5	14	14	25	25
Substitution de la perlite (% v/v)	0	50	100	0	0	100
Substitution de la tourbe (% v/v)	0	0	0	28	47	23

Figure 4. Masse aérienne et racinaire de la spirée et du calamagrostis à la fin de l'expérience en serre (après 59 jours).

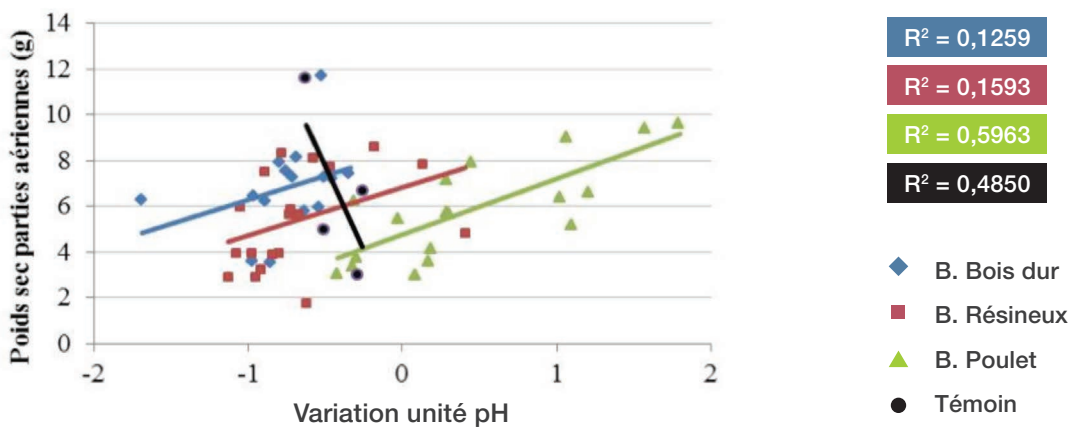
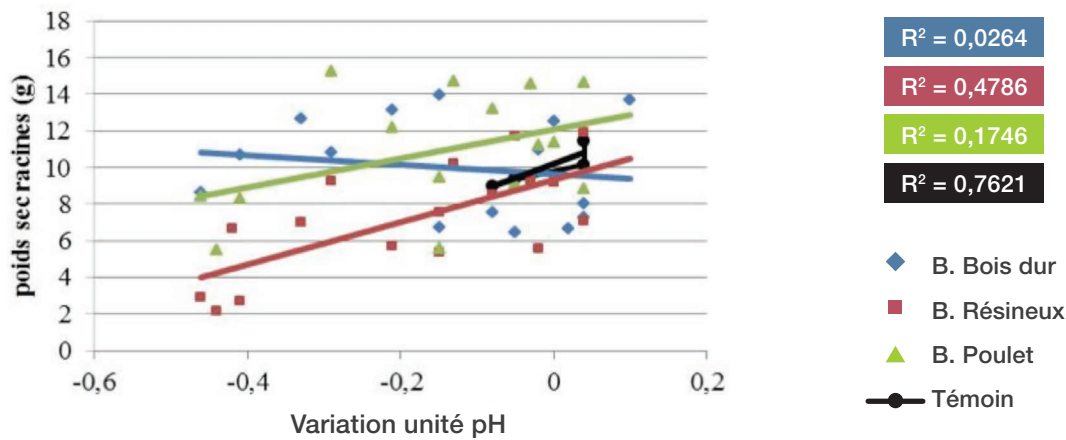


Figure 5. Masse sèche aérienne des spirées et des calamagrostis en fonction de la variation d'unités pH dans les terreaux.

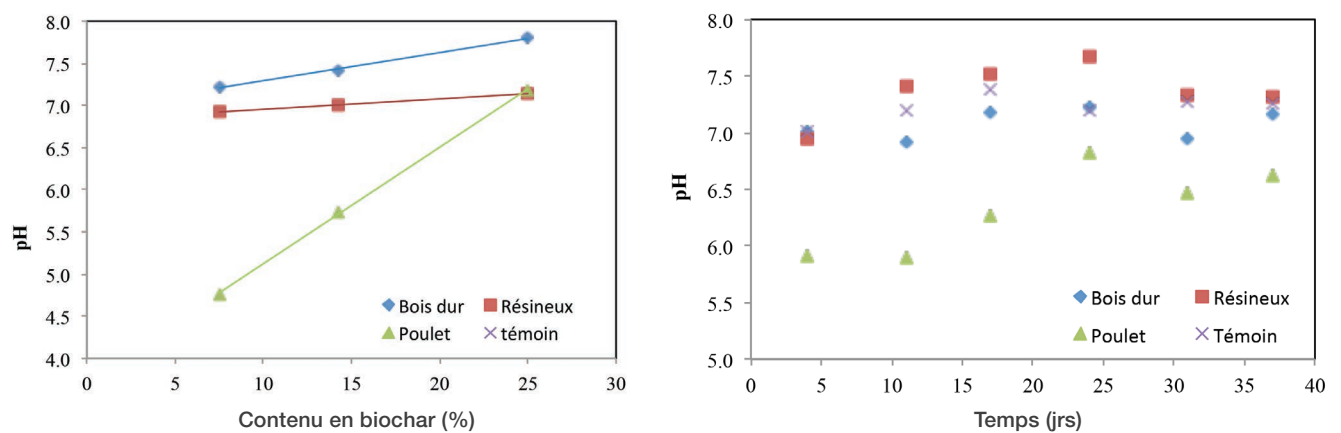


Figure 6. Variation du pH du lixiviat des terreaux en fonction de leur contenu en biochar après 4 jours (gauche) et durant la croissance végétale dans le mélange 2 (droite).

### 3.3. ESSAI EN PÉPINIÈRE

#### 3.3.1. Matériel et méthodes

Les plants ont été sortis de dormance au printemps par le pépiniériste, puis ont été taillés juste avant le repotage. Des 15 mélanges utilisés en serre, 4 ont été choisis pour

les essais en pépinière (Tableau 6). Les mélanges ont été préparés directement chez le pépiniériste.

Tableau 6. Composition des terreaux.

	Biochar (% v/v)	Perlite (% v/v)	Écorces (% v/v)	Tourbe (% v/v)	Sable (% v/v)	Description des traitements
Témoin	NA	15	24	60	0	Substrat N7 de terreau utilisé par le producteur
Mélange 2	14	0	24	57	5	Substitution totale de la perlite
Mélange 3	14 (Bois dur)	14	24	43	5	Substitution de la tourbe dose 1 (28%)
Mélange 4	14 (Poulet)	14	24	43	5	Substitution de la tourbe dose 1 (28%)
Mélange 5	25	0	24	46	5	Substitution de la perlite (100%) et partielle de la tourbe (23%)

NA : Non applicable

Un dispositif en blocs complets aléatoire a été utilisé, considérant les deux espèces comme deux essais différents. Elles étaient une à côté de l'autre dans le champ. Il y avait 10 blocs, 3 plants/bloc, soit 30 plants/traitement pour un total de 150 plants par espèce.

Les mêmes espèces végétales ont été plantées (section 4.2.1). Les conditions de croissance étaient celle imposées pour l'ensemble de la production du pépiniériste à la pépinière L'Avenir. L'irrigation était par aspersion selon les besoins des plantes et de la météo. L'arrosage a été identique dans tout le dispositif. Malgré que l'arrosage ait été fait au besoin, l'irrigation s'est déclenchée presque tous les jours en juillet et a été arrêtée le 30 septembre, date de fin de l'expérience. La fertilisation a été faite directement dans les substrats comme en serre avec un Osmocot

5-6 mois à 8 kg/verge<sup>3</sup> et aucune autre fertilisation n'a été ajoutée durant la croissance. Le pépiniériste a fait un désherbage manuel en août et environ un traitement mensuel à base de fongicides et d'insecticides. Il faut noter que le pépiniériste aurait normalement taillé les plants de spirée durant la croissance pour assurer un lot homogène en vue d'une vente la deuxième année. Cette taille n'a pas été faite dans le cadre de ce projet.

Le pH, la conductivité électrique et la hauteur des plants ont été mesurés plusieurs fois durant l'été. La teneur en eau volumique et la température ont été mesurées sporadiquement pour vérifier le stress hydrique. Les mêmes méthodes que pour l'essai en serre ont été utilisées pour les mesures de biomasses. La qualité vendable et esthétique des plants a été évaluée avec le pépiniériste.

#### 3.3.2. Résultats et discussion, essai en pépinière

**Selon le pépiniériste, la croissance végétale était tout à fait normale dans les terreaux contenant du biochar.** Les substrats ne lui ont pas demandé plus d'entretien que pour son substrat optimal. **Les plants sont vendables, comme pour le témoin, sauf pour le fumier de poulet**

**où la majorité des plants ne sont pas esthétiquement vendables.** Ils sont plus rabougris, difformes (irréguliers) et jaunâtres (Figure 7). Le pépiniériste aurait attendu une deuxième année pour les vendre.

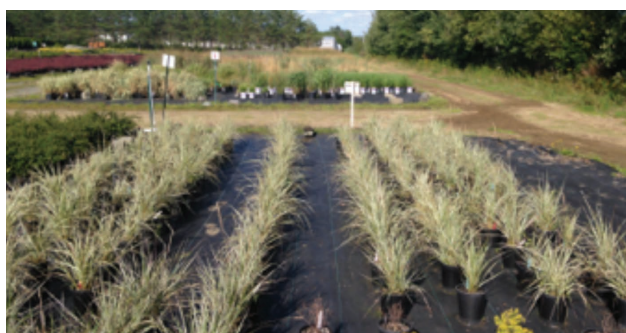
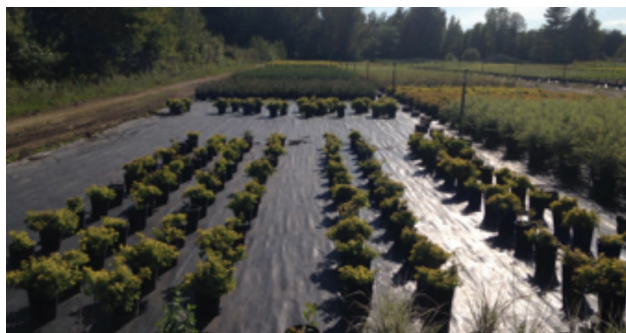


Figure 7. Essais en pépinière avec la spirée (en haut) et le calamagrostis (en bas)

Le biochar de fumier de poulet était à son meilleur à 14% v/v dans le substrat et se comparait très bien au substrat témoin en serre (Figure 8). En pépinière, il s'est comporté un peu moins bien, résultant en une masse plus faible que le témoin excepté pour la masse racinaire de la spirée qui était similaire au témoin. Comme pour les essais en serre, le biochar de bois dur a très bien performé même à 25% v/v. Le développement des plantes s'est maintenu quel que soit sa concentration dans le substrat tout comme pour les essais en serre (Figure 8). Aucune maladie quelconque n'est apparue durant la production.

**le biochar de bois dur a très bien performé même à 25% v/v**

À la lumière de ces résultats, voici les faits saillants :

- La grande majorité des plants étaient de qualité vendable en serre et en pépinière quelque soit la quantité de biochar, sauf dans le terreau contenant du biochar de fumier de poulet pour la production en pépinière.
- Les 3 biochars peuvent être incorporés dans les terreaux jusqu'à 14% v/v. Le biochar de bois dur peut être en aussi grande concentration que 25% v/v sans perte par rapport au témoin.
- Le biochar de bois dur a donné les rendements les plus constants entre les différents mélanges et espèces végétales.
- Le biochar de poulet semble être à son meilleur à 14% avec ou sans perlite. Il tend à défavoriser la plante au-delà de cette concentration.
- Le biochar peut substituer la totalité de la perlite sans effet négatif sur les plantes.
- Les moins bons terreaux semblent être ceux dont 50% de la tourbe a été substituée par les biochars de résineux et de fumier de poulet.
- Le changement de pH a affecté la croissance végétale. Il dépend en partie du biochar incorporé et de sa quantité. Un meilleur ajustement de pH aurait potentiellement surpassé le terreau témoin.
- Ni l'irrigation ni la fertilisation a été ajustée pour les terreaux contenant du biochar, ceci favorisant du coup le traitement témoin. On s'attend à une performance plus que compétitive avec les terreaux contenant du biochar qu'avec le témoin lorsque l'irrigation et la fertilisation seront ajustées selon leurs propriétés.

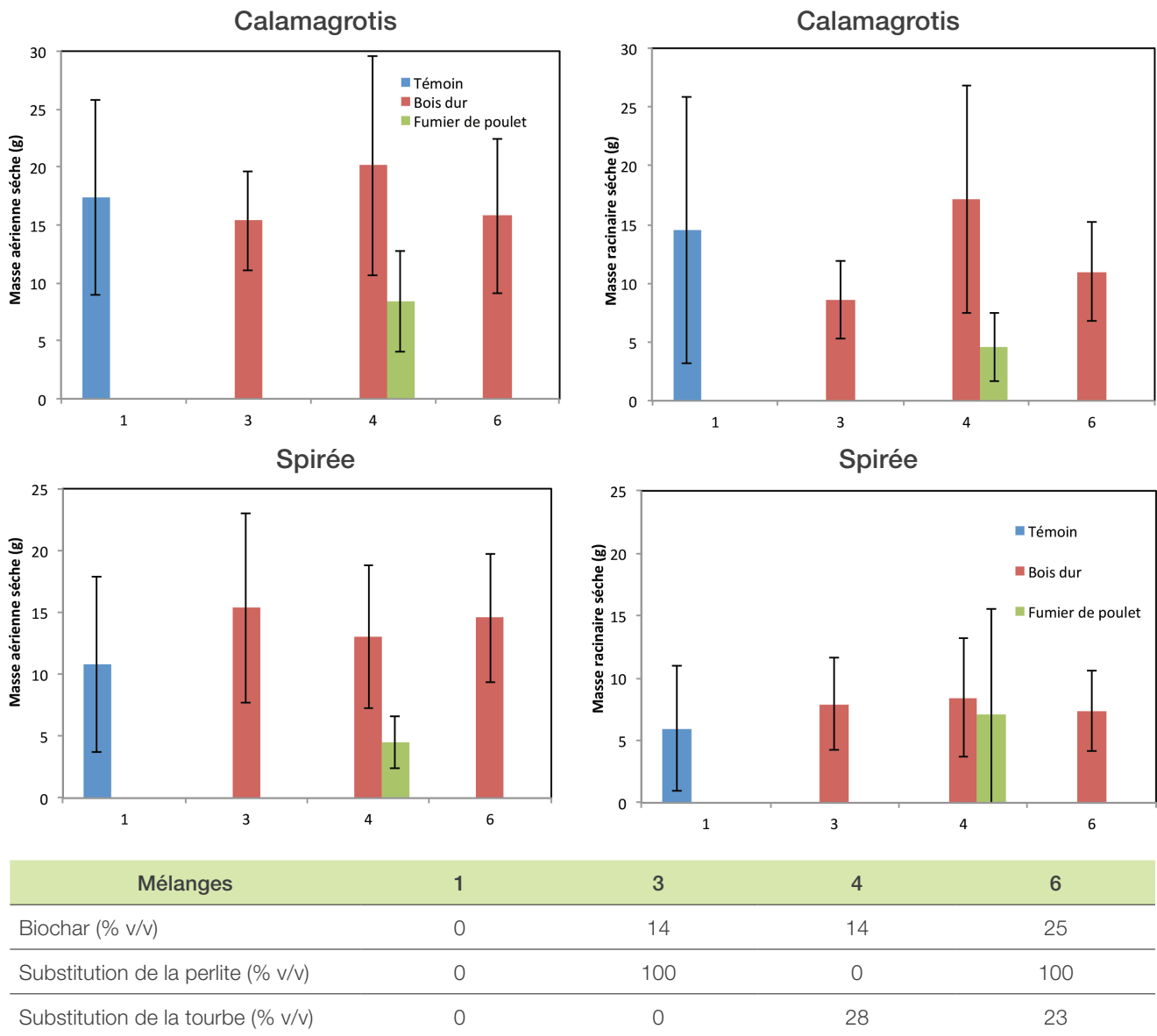


Figure 8. Masses sèches aériennes et racinaires des calamagrostis et des spirées à la fin de production en pépinière en 2016 pour les différents traitements (ils portent les mêmes numéros que pour l'essai en serre).

# 4 ANALYSE ÉCONOMIQUE

L'analyse économique est basée sur le coût des terreaux en utilisant les prix des fournisseurs d'intrant (Tableau 7). Les coûts sont calculés par volume substitué. Considérant que :

- Les prix n'incluent pas les coûts de transport.
- Les prix de la perlite et de la tourbe sont tirés d'internet, du rapport Lange et Allaire (2015) et des connaissances des collaborateurs.
- Le prix des biochars a été fourni par des fabricants et par recherche sur internet. Il existe des prix beaucoup plus élevés (jusqu'à 6000\$/t) pour des biochars biorenforcés au détail et/ou amendés de microorganismes ou d'engrais. 200\$/t représente un prix en bas du prix coûtant, alors que 1000\$/t représente les prix les plus élevés pour du biochar en vrac non amendé.
- Le prix de la pierre à chaux ou des acides utilisés pour ajuster le pH n'a pas été pris en compte.
- À partir de ces prix suggérés et des considérations ci-haut, on estime le prix moyen du terreau témoin à 72\$/m<sup>3</sup> en 2016.
- La perlite a une densité de 80 kg/m<sup>3</sup>, la tourbe de 150 kg/m<sup>3</sup>. Certains biochars sont aussi légers que 150 kg m<sup>3</sup> et d'autres atteignent 450 kg/m<sup>3</sup>, mais la moyenne sur le marché est d'environ 300 kg/m<sup>3</sup>, valeur qui a été utilisée pour les calculs.
- La consommation de perlite est stable à 30 000 t/an (Perlite Canada, 2016a) et la consommation de la tourbe à environ 400 000 t/an.
- Le prix de la perlite démarre à 1600\$/t en 2016 (Perlite Canada 2016b) et augmente de 4,4%/an, alors que celui de la tourbe est de 220\$/t et augmente de 14% an.
- Le prix du biochar est considéré stable, mais 5 scénarios sont utilisés soit à 200\$ (en bas du coûtant), 250\$ (près du coûtant), 300\$/t, 500\$/t (suggéré par plusieurs) et 1000\$/t (gamme élevé sur le marché).
- Le valeur du CO<sub>2</sub> sur le marché québécois était de 5\$/t en 2016. Avec la déclaration du gouvernement fédéral, il sera au minimum 10\$/t en 2018 et augmentera de 10\$/an pour atteindre un prix minimal de 50\$/t en 2022. Le même scénario très conservateur a été conservé pour le scénario dans 10 ans.
- La redevance à l'enfouissement était d'environ 15\$/t en 2016 (taxes incluses) et passera potentiellement à 70\$/t en 2020. Le coût réel d'enfouissement était de 102\$/t en 2016, on a considéré les deux pour l'analyse économique.
- Une tourbière exploitée émet environ 22 t équiv. CO<sub>2</sub>/cm de profond/Ha. On exploite au moins les 4,4 premiers centimètres à la surface des tourbes. Cela correspond à 96.7 t équiv. CO<sub>2</sub>/Ha.

Tableau 7. Coût des matériaux intrant dans la fabrication des terreaux en 2015.

Prix suggéré	Perlite	Tourbe	Biochar			Écorces de pin
			Bois dur	Résineux	Poulet	
\$/m <sup>3</sup>	116	29	87.5	60	68	151

N.B. 60\$/m<sup>3</sup> pour une moyenne de 300 kg /m<sup>3</sup> = 200\$/t

## 4.1. SUBSTITUTION DE LA PERLITE PAR DU BIOCHAR

Suivant les hypothèses et différents scénarios de prix de biochars, **l'ensemble des producteurs horticoles du Québec peuvent économiser entre 138 et 205 M\$ pour l'ensemble des 5 premières années par la simple**

**substitution de la perlite** à 14% par du biochar pour un prix de 300\$/t (Tableau 8). Il devient rentable de substituer la perlite seulement dans 3 ans à 500\$/t du biochar.

**Tableau 8. Coûts (M\$) de la perlite, du biochar et des économies potentielles faites par l'ensemble des producteurs horticoles du Québec par la simple substitution de la perlite à 14% v/v dans le terreau par du biochar, avec 3 scénarios de prix de biochar.**

		Perlite	2016	2017	2018	2019	2020	5 ans- 2021	10 ans- 2027	Total 5 ans*
		<b>Substi- tution</b>	<b>1 600</b>	<b>1 670</b>	<b>1 744</b>	<b>1 821</b>	<b>1 901</b>	<b>1 984</b>	<b>2 240</b>	
Coût de la perlite	NA	15	24	60	0					
Coût du biochar	200\$/t	0,14	224	224	224	224	224	224	224	„
	250\$/t	0,14	280	280	280	280	280	280	280	„
	300\$/t	0,14	336	336	336	336	336	336	336	„
	500\$/t	0,14	560	560	560	560	560	560	560	
	1000\$/t	0,14	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	
Épargne (perlite- biochar)	200\$/t	0,14	254	275	297	320	344	369	445	205
	250\$/t	0,14	198	219	241	264	288	313	389	171
	300\$/t	0,14	142	163	185	208	232	257	333	138
	500\$/t	0,14	-82	-61	-39	-16	8	33	109	33
	1000\$/t	0,14	-642	-621	-599	-576	-552	-527	-451	-3 327
Équiv. CO <sub>2</sub>	2\$/t perlite	0,14	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,30

\*Total des 5 ans est de l'an 2017 à 2021.

## 4.2. SUBSTITUTION DE LA TOURBE PAR DU BIOCHAR SEULEMENT

Le coût de la tourbe est très bas au Québec, car il est un grand producteur. Considérant qu'il faut plus de tonnages de biochar pour remplir le même volume à cause de la densité plus élevée du biochar, il apparaît que même si le biochar est moins cher que la tourbe au poids, ce n'est pas rentable de la substituer jusqu'en 2021 si on considère seulement le coût de la tourbe sans égard aux

crédits de carbone ni au coût de transport, ni aux redevances à l'enfouissement des MOR. **Pour l'ensemble des producteurs, les pertes se chiffrent à aussi haut que 76 M\$/an pour la première année (Tableau 9) et un gain de 11 M\$ à la cinquième année avec un prix du biochar en bas du prix coûtant, tout dépend de la quantité substituée et de la valeur du biochar.**



Photo : La Presse



Photo : Radio-Canada

Figure 9. Exploitation de la tourbe dans le bas St-Laurent

Tableau 9. Coûts de la tourbe (M\$) et épargnes ou pertes potentielles faites par l'ensemble des producteurs horticoles du Québec par la simple substitution de la tourbe à 14, 25 et 50% v/v dans le terreau par du biochar, avec 3 scénarios de prix.

	Substitution	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2027
<b>Tourbe</b>	<b>\$/t</b>	<b>220</b>	<b>253</b>	<b>291</b>	<b>335</b>	<b>385</b>	<b>454</b>	<b>708</b>
	0.14	-10.1	-8.2	-6.1	-3.7	-0.9	3.0	17.2
Biochar à 200\$/t	0.25	-18.0	-14.7	-10.9	-6.5	-1.5	5.4	30.8
	0.5	-36.0	-29.4	-21.8	-13.1	-3.0	10.8	61.6
Biochar à 250\$/t	0.14	-15.7	-13.8	-11.7	-9.3	-6.5	-2.6	11.6
	0.25	-28.0	-24.7	-20.9	-16.5	-11.5	-4.6	20.8
	0.5	-56.0	-49.4	-41.8	-33.1	-23.0	-9.2	41.6
Biochar à 300\$/t	0.14	-21.3	-19.4	-17.3	-14.9	-12.1	-8.2	6.0
	0.25	-38.0	-34.7	-30.9	-26.5	-21.5	-14.6	10.8
	0.5	-76.0	-69.4	-61.8	-53.1	-43.0	-29.2	21.6
Biochar à 500\$/t	0.14	-43.7	-41.8	-39.7	-37.3	-34.5	-30.6	-16.4
	0.25	-78.0	-74.7	-70.9	-66.5	-61.5	-54.6	-29.2
	0.5	-156.0	-149.4	-141.8	-133.1	-123.0	-109.2	-58.4
Biochar à 1000\$/t	0.14	-99.7	-97.8	-95.7	-93.3	-90.5	-86.6	-72.4
	0.25	-178.0	-174.7	-170.9	-166.5	-161.5	-154.6	-129.2
	0.5	-356.0	-349.4	-341.8	-333.1	-323.0	-309.2	-258.4



### 4.3. SUBSTITUTION DE LA TOURBE ET DE LA PERLITE PAR DU BIOCHAR SIMPLEMENT EN CONSIDÉRANT LES REDEVANCES D'ENFOUISSEMENT ÉPARGNÉES

Il faut mentionner que ce calcul ne tient pas compte de l'augmentation du prix de l'enfouissement de MOR pour les premières années i.e. jusqu'en 2020 à partir de laquelle la nouvelle loi sur l'interdiction d'enfouir les MOR s'appliquera.

À cet égard, le Québec dispose d'une quantité faramineuse de matière organique. En 2012, la province a généré près de 4,7 millions de tonnes de résidus organiques dont moins de 25% ont été recyclés (Maltais-Guilbault, 2012). Ainsi, plus de 3,5 millions de tonnes de matière organique auraient été enfouies. En 2008, on estimait que de 500 000 à 1 000 000 de tonnes de résidus de bois ont été générés par l'industrie de la construction-démolition dont moins du quart ont été valorisés (Gendron, 2012). Au total, c'est donc plus de 3,75 millions de tonnes de matière organique qui seraient enfouies chaque année au Québec en plus des résidus forestiers sous-utilisés comme l'écorce. En effet, depuis 2006, chaque tonne de matières résiduelles organiques enfouie au Québec est accompagnée d'une redevance devant être payée au gouvernement (MDDELCC, 2016a). Cette redevance est d'environ 15\$/t en 2016 taxes incluses (MDDELCC, 2016b). Pour les 3,75 millions de tonnes de matière

**c'est plus de 382 M\$ qui sont dépensés au Québec pour se débarrasser d'une ressource non valorisée, ce qui pourrait être transféré aux transformateurs comme pour la fabrication du biochar**

organique enfouie annuellement, c'est plus de 45 M\$ qui ont été versés en redevances. Sachant que la vraie valeur moyenne d'enfouissement de matière est estimée à 102\$/t en incluant les redevances et les taxes (Trudel, 2016), c'est plus de 382 M\$ qui sont dépensés au Québec pour se débarrasser d'une ressource non valorisée, ce qui pourrait être transféré aux transformateurs comme pour la fabrication du biochar. Ce montant augmentera beaucoup avec la loi qui viendra en vigueur en 2020, car les redevances seront beaucoup plus élevées. On a simplement utilisé la valeur très conservatrice de 15\$/t pour les premières années, puis 70\$/t comme redevances pour 2020. Puis on a considéré les vrais coûts d'enfouissement.



Photo : Shutterstock

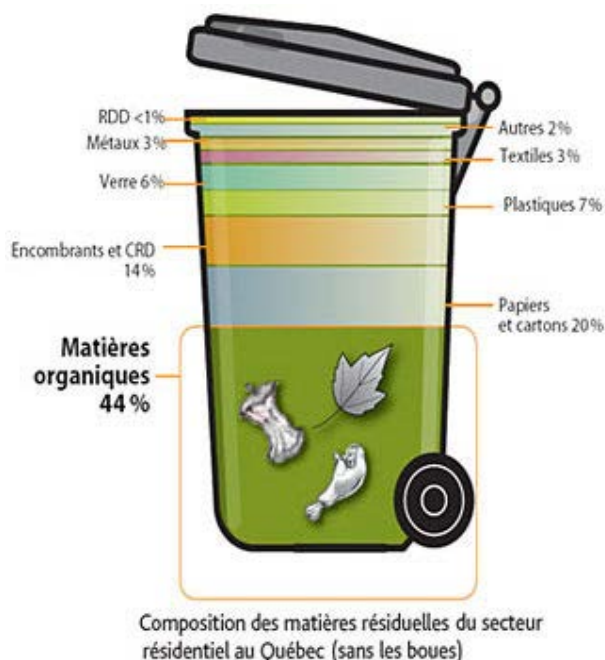


Image : Recyc-Québec

Figure 10. Déchets à un site d'enfouissement au Québec et ratio des types de déchets dans les poubelles résidentielles au Québec dont 44% de matières organiques fraîches et 20% de papiers et cartons (donc 64% MOR).

Tableau 10. Redevances potentielles (M\$) si on évitait l'enfouissement de MOR et coûts d'enfouissement pour un tonnage équivalent à ce qu'il faut pour produire le biochar pour remplacer la tourbe à 14, 25 et 50% v/v et la perlite à 14% v/v pour l'ensemble des producteurs horticoles du Québec.

Biochar	MOR fraîche	Substitution	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2027	Total 5 ans
Redevances			15\$/t	15\$/t	15\$/t	15\$/t	70\$/t	70\$/t	100\$/t	
224 000	746 667	0.14	11.2	11.2	11.2	11.2	52.3	52.3	74.7	138
312 000	1 040 000	0.25	15.6	15.6	15.6	15.6	72.8	72.8	104.0	192
512 000	1 706 667	0.5	25.6	25.6	25.6	25.6	119.5	119.5	170.7	316
Vrais coûts			102\$/t	105\$/t	110\$/t	115\$/t	150\$/t	150\$/t	200\$/t	
224 000	746 667	0.14	76	78	82	86	112	112	149	470
312 000	1 040 000	0.25	106	109	114	120	156	156	208	655
512 000	1 706 667	0.5	174	179	188	196	256	256	341	1 075

On considère 14% de perlite substituée.

Dans une telle situation, il faudra traiter, transformer et transporter cette matière ailleurs que dans les sites d'enfouissement, ce qui favorisera l'industrie de la transformation comme la pyrolyse. On s'attend à ce que le prix du biochar baisse quasiment au coût de production, si les transformateurs (fabricants de biochar) pouvaient être payés l'équivalent du vrai coût de l'enfouissement pour accepter et transformer cette matière. Avec une redevance de 102\$/t aujourd'hui transférée à la transformation, le prix du biochar deviendrait beaucoup plus bas que celui de la tourbe pour un même volume.

L'épargne associée à la redevance d'enfouissement fait par l'ensemble des producteurs de terreaux horticoles

### L'épargne associée à la redevance d'enfouissement

du Québec ou les producteurs de biochar varie entre 11 M\$ la première année à 14% v/v de substitution jusqu'à 120M\$/an pour dans 5 ans, **ce qui correspond à un montant très considérable, si on additionne les 5 premières années, soit entre 138 et 316 M\$** (Tableau 10), comparativement à plus de 1075M\$ si les fabricants de biochars pouvaient recevoir l'équivalent du vrai coût d'enfouissement.

## 4.4. MARCHÉ DU CARBONE

Le marché du carbone volontaire est déjà installé au Québec et certaines entreprises Californienne échangent du carbone pour le biochar. On peut s'attendre à ce qu'il soit reconnu sur le marché contrôlé d'ici quelques années, ayant été discuté pour la séquestration du carbone dans l'entente internationale COP22. Ceci aurait le potentiel de réduire d'avantage le prix du biochar ou donner une valeur ajoutée aux utilisateurs.

Faisons l'hypothèse que tous les terreaux horticoles finissent dans le sol (en plantation, enfouie ou autres). Sachant que le biochar est considéré comme une source de carbone stable dans le sol, il est alors possible de calculer l'équivalent CO<sub>2</sub> séquestré qu'induirait le remplacement de la perlite et de la tourbe dans un terreau horticole avec les hypothèses suivantes :

- On peut remplacer de 14% à 25% de tourbe (même jusqu'à 50% pour certains biochars) et 100% de la perlite par du biochar sans affecter les rendements.
- Les biochars utilisés dans l'étude contiennent au moins 65% de carbone (de 69% à 88%) (Papillon et coll., 2016)
- Une tonne de biochar contenant 80% de carbone peut séquestrer l'équivalent de 2,93 t de CO<sub>2</sub> (Granatstein, D. et autres, 2009).
- 66% du carbone total du biochar est stable et ne sera pas retourné dans l'atmosphère à court terme (Allaire. et coll., 2015), c'est donc 1,93 t d'équivalent CO<sub>2</sub> qui est séquestré pour chaque tonne de biochar. Comparativement, la tourbe se dégrade rapidement dans le sol aéré et drainé. On estime que moins de 5% du carbone de la tourbe reste stable dans le sol.

- Le prix moyen mondial du marché volontaire du carbone a été de 3,8 USD (5,07\$ CAN à 0,75\$CAD/USD) en 2015 (Forest Trend, 2015). Une valeur de 5\$/t sera attribuée. Il faut noter que cette valeur est très basse comparée aux 19,50\$ à laquelle la tonne de CO<sub>2</sub> se transige sur le marché du Western Climate Initiative (MDDELCC, 2016c) et que le gouvernement canadien a voté pour que le prix minimal du carbone en 2018 soit de 10\$/t avec une augmentation minimale de 10\$/t par an pour atteindre un minimum de 50\$/t en 2022. Cependant, pour que l'utilisation du biochar y soit reconnue, un protocole en ce sens devrait être développé par le MDDELCC. Le montage d'un dossier pour la vente de CO<sub>2</sub> sur le marché volontaire implique des dépenses de l'ordre de 70 000\$ à 80 000\$ (Hamrick and Goldstrain, 2016) (non inclus dans cette étude).
- Considérant la densité de chacun, il faut 3.75 t de biochar pour remplacer 1 t de perlite.
- Considérant la densité de chacun, Il faut 2 t de biochar pour remplacer 1 t de tourbe horticole
- Au Québec, on exploite annuellement 6 038 ha de tourbière où on retire en moyenne 4,4 cm de tourbe (APTC, 2016). On estime que chaque centimètre exploité dans 1 ha de tourbière émet 22 t de CO<sub>2</sub> (Van Den Akker et coll., 2008).

**Tableau 11. Valeur économique (M\$) du carbone séquestré par le remplacement de la perlite et de la tourbe par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution, considérant que le terreau ira éventuellement au sol.**

Tourbe	Équiv Biochar	Substitution	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2027	Total 5 ans
t	t		5\$/t	10\$/t	20\$/t	30\$/t	40\$/t	50\$/t	110\$/t	
56 000	319 789	0.14	1.1	2.2	4.3	6.5	8.7	10.8	23.8	33
100 000	571 051	0.25	1.9	3.9	7.7	11.6	15.5	19.3	42.5	58
200 000	1 142 102	0.5	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9	38.7	85.1	116

**Tableau 12. Valeur économique (M\$) du carbone évitée par l'exploitation de la tourbe par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution.**

Tourbe non extraite	Équ. CO <sub>2</sub>	Substitution	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2027	Total 5 ans
t	t		5\$/t	10\$/t	20\$/t	30\$/t	40\$/t	50\$/t	110\$/t	
56 000	81 928	0.14	0.4	0.8	1.6	2.5	3.3	4.1	9.0	12
100 000	146 300	0.25	0.7	1.5	2.9	4.4	5.9	7.3	16.1	22
200 000	292 600	0.5	1.5	2.9	5.9	8.8	11.7	14.6	32.2	44

Par conséquent, avec 25% v/v de remplacement de la tourbe et 100% v/v de la perlite tel que le meilleur terreau de cette étude, une économie locale potentielle de 3,9 M\$ s'ajoute (Tableau 11) dès la première année en considérant seulement le carbone séquestré lorsque le terreau est mis en terre. Comme on peut remplacer jusqu'à 50% de la tourbe, l'économie grâce au marché du carbone s'élève donc à **116 M\$** pour les 5 premières années (2017-2021).

Une autre économie importante à considérer est la valeur du carbone non émis par une diminution de l'exploitation des tourbières puisqu'on substitue la tourbe par du biochar fait de MOR (Tableau 12). Cette économie va de 0.4 M\$ pour 14% v/v de substitution la première année à presque 15 M\$ dans 5 ans pour 50% de substitution. La somme des 5 premières années des économies par le carbone évité est donc considérable soit **près de 44 M\$**. Les économies seraient plus que substantielles pour dans 10 ans.

#### 4.5. TOTALE DES PERTE ET ÉCONOMIES

L'ensemble des économies et des pertes associées aux substitutions, au coût du carbone et aux redevances d'enfouissement vont de 34 M\$ pour la première année avec 14% de substitution à 221M\$ pour 2021 à 50% de substitution (Tableau 13). La somme des cinq premières années (2017-2021) pourrait donc atteindre entre 210 M\$ et 580 M\$ selon le prix du biochar, le prix du carbone et le taux de substitution. Les économies seraient aussi plus importantes en 2027, soit dans 10 ans. Il faut considérer que nos valeurs monétaires en terme de marché du carbone et de redevances sont conservatrices, mais qu'on a considéré que tous les terreaux faits au Québec contiendraient du biochar.

À 300\$/t, il est rentable de fabriquer les terreaux en remplacement de la tourbe et de la perlite avec du biochar dès 2018 si on considère le marché du carbone

et les redevances. À 500\$/t, il devient rentable dès 2020. Considérant le vrai coût de l'enfouissement, le remplacement par du biochar pourrait être rentable dès la 1<sup>re</sup> année même à 500\$/t et le serait à 1000\$/t après 7-8 ans (Tableau 14).

**L'ensemble des économies et des pertes associées aux substitutions, au coût du carbone et aux redevances d'enfouissement vont de 34 M\$ pour la première année avec 14% de substitution à 221M\$ pour 2021 à 50% de substitution**

**Tableau 13. Somme (M\$) des économies et des pertes financières (coût direct, équiv CO<sub>2</sub>, redevances) par la substitution de la tourbe et de la perlite par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution et différents prix de biochar.**

Coût biochar	Ratio biochar	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2027	Total 5 ans
200\$/t	0.14	28	34	41	49	98	107	169	328
	0.25	28	35	44	54	122	134	219	389
	0.5	20	34	55	77	193	221	394	580
250\$/t	0.14	22	28	35	43	92	102	164	300
	0.25	10	18	30	41	111	126	222	327
	0.5	-5	9	29	51	168	195	369	452
300\$/t	0.14	6	11	18	26	75	85	147	216
	0.25	5	13	24	36	142	157	273	372
	0.5	-31	-17	4	25	142	169	343	324
500\$/t	0.14	-39	-34	-26	-19	31	40	102	-8
	0.25	-68	-60	-48	-37	33	48	144	-63
	0.5	-133	-119	-99	-77	40	67	241	-188
1000\$/t	0.14	-151	-146	-138	-131	-81	-72	-10	-568
	0.25	-224	-216	-204	-193	-123	-108	-12	-843
	0.5	-389	-375	-355	-333	-216	-189	-15	-1 468

**Tableau 14. Somme (M\$) des économies et des pertes financières (coût direct, équiv CO<sub>2</sub>, valeurs de l'enfouissement) par la substitution de la tourbe et de la perlite par du biochar pour l'ensemble des producteurs de terreaux du Québec et ce, pour différents taux de substitution et différents prix de biochar.**

Coût biochar	Ratio biochar	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2027	Total 5 ans
200\$/t	0.14	93	101	112	123	158	167	244	660
	0.25	119	128	143	158	205	217	323	852
	0.5	169	188	217	247	330	357	565	1 339
250\$/t	0.14	87	95	106	118	152	161	238	632
	0.25	101	112	128	145	195	209	326	790
	0.5	143	162	191	222	304	331	539	1 211
300\$/t	0.14	71	78	89	101	135	144	222	548
	0.25	85	96	113	130	179	194	311	712
	0.5	118	137	166	196	279	306	514	1 083
500\$/t	0.14	26	34	45	56	90	100	177	324
	0.25	23	34	50	67	117	131	248	400
	0.5	15	34	63	94	176	203	411	571
1000\$/t	0.14	-86	-78	-67	-56	-22	-12	65	-236
	0.25	-133	-122	-106	-89	-39	-25	92	-380
	0.5	-241	-222	-193	-162	-80	-53	155	-709

**Ces économies n'incluent pas l'augmentation du coût du transport des intrants**, ce qui aura un impact plus grand sur les importations comme la perlite que sur les produits locaux comme le biochar. On s'attend à ce que les usines de pyrolyse pour la production de biochar soient construites tout près des sources de matière première, près des centres et des fabricants de terreaux. Comparativement à la perlite qui est importée, il y a donc une économie importante au niveau du carbone pour le transport.

Les municipalités et les industries pourraient aussi économiser une somme importante comparé à l'enfouissement, la biométhanisation et à l'incinération par la pyrolyse des MOR. De plus, la pyrolyse offre la possibilité de réduire de beaucoup les émissions de gaz à effet de serre parce que les technologies recyclent les gaz pour sécher la matière première et parce qu'on détourne les MOR des

sites d'enfouissement, qui, à 90% au Québec, ne sont pas dotés de système de captage, de réutilisation ou de brûlage de leurs biogaz. Cette réduction pourrait être offerte à la bourse du carbone. Le détournement permettrait aussi une moins grande pression sur les tourbières et donc un impact environnemental plus faible des pépinières et de l'industrie de la gestion des déchets. Ces impacts n'ont pas été considérés dans cette étude.

Par ailleurs, à l'échelle régionale comme dans le bas St-Laurent (Québec, Canada) où il y a des surplus de MOR agricoles comme le fumier de poulet, une telle transformation des résidus associée à leur utilisation en valeur ajoutée s'additionne à l'économie régionale. Il faut toutefois considérer que les fumiers ne sont généralement pas enfouis, on ne peut donc pas considérer le coût de l'enfouissement.

Toutefois, ces avantages financiers ne sont pas aussi évidents à l'échelle de la pépinière. Pour la pépinière l'Avenir, l'utilisation de terreau à base de biochar dans les pots de spirées et de calamagrostis pourrait représenter une économie d'environ 135 \$/année considérant qu'ils utilisent environ 15 m<sup>3</sup> de terreau par année pour les deux espèces utilisées et environ 1500\$ pour l'ensemble de sa production si on considère seulement les coûts directs de remplacement. Pour une seule pépinière, l'économie directe associée au changement de terreau n'est donc pas un argument qui favoriserait le changement vers un terreau plus écologique avec des produits plus renouvelables, comme le biochar. Ces valeurs ne représentent qu'une partie négligeable des dépenses de la pépinière.

**Toutefois, ces avantages financiers ne sont pas aussi évidents à l'échelle de la pépinière.**

Les changements ne se feront donc pas à l'échelle de la pépinière à moins qu'il y ait un incitatif financier du gouvernement ou un incitatif du marché pour le faire ou encore un problème d'importation de matière. Les incitatifs financiers du marché peuvent inclure :

- La proximité du biochar, par conséquent une diminution des coûts de transport
- Des retours financiers pour la séquestration du carbone si les pépiniéristes ou les pyrolyseurs se regroupaient pour former un grand pool de carbone
- Un coût réduit du biochar suite aux lois du gouvernement sur l'enfouissement et à l'implantation plus forte de l'industrie de la pyrolyse
- L'assurance de l'approvisionnement à cause de la proximité et le fait que le biochar est un produit renouvelable avec un grand potentiel au Québec comparativement à la perlite et la tourbe qui sont de plus en plus perçues comme peu renouvelables.

# 5 CONCLUSION

Pour le Québec, l'apport de biochar dans les terreaux en remplacement complet de la perlite et partiel de la tourbe pourrait générer :

- Un détournement de plus de 1.7 M t/an de MOR fraîches des sites d'enfouissement en les transformant en biochar pour répondre aux besoins des fabricants de terreaux
- Une économie pour l'industrie de la gestion des MOR de plus de 76 M\$/an d'ici 5 ans en évitement de coûts d'enfouissement (102\$/t) par la transformation de ces MOR.
- Une économie pour l'ensemble des fabricants de terreaux atteignant environ 195M\$ annuellement
- Une économie encore supérieure si le biochar contient 80% de carbone (**fréquent parmi les biochars**) plutôt que 65% tel qu'utilisé dans ces calculs. L'économie sera encore mieux si le biochar a une densité plus faible (**moins de différence de volume par rapport à la tourbe, transport non considéré comme dans le reste de ce rapport**)
- Un évitement d'émissions de près de 300 000 t équiv. CO<sub>2</sub>/an et une séquestration du carbone plutôt qu'une émission nette
- Une diminution de la dépendance à l'importation de matières de plus en plus dispendieuses
- Une diminution de la dépendance à des ressources considérées comme très peu renouvelables
- Une diminution des risques aux changements du coût de transport (ex : importation)

Évidemment, cela requière une reconnaissance du biochar sur le marché du carbone (maintenant accepté sur le marché libre) et un transfert de redevances vers les producteurs de biochar ou de terreaux.

Du point de vue pratique pour le pépiniériste en général :

- La perlite peut être complètement substituée par n'importe lequel des biochars étudiés dans ce rapport sans affecter la croissance végétale
- La tourbe peut aussi être partiellement substituée
- Les biochars de résineux et de fumier de poulet peuvent être incorporés jusqu'à 14% dans les terreaux, alors qu'on peut mettre jusqu'à 25% de biochar de bois dur sans nuire aux plantes.
- Le pépiniériste seul retire peu d'avantages financiers à incorporer du biochar dans ses substrats tant que le prix de la perlite et de la tourbe ne monte pas et que celui du biochar ne descend pas.

Comme l'essai n'a pas testé de plus forte concentration de biochars, il est possible qu'on puisse en incorporer plus dans les terreaux, mais ceci devra être testé et validé. Cette option pourrait aider les producteurs horticoles à diminuer leur dépendance à l'importation et aux aléas du marché international, mais le coût du biochar ne pourra pas être élevé.

Les économies seront beaucoup plus substantielles dans les prochaines années avec :

- L'application de la loi sur l'interdiction d'enfouissement de MOR en 2020
- L'installation forte du marché de la pyrolyse au Québec
- La reconnaissance du biochar sur le marché du carbone contrôlé
- L'augmentation du prix du carburant

Par ailleurs, ce sont les regroupements de pépiniéristes ou fabricants de terreaux qui devront initier le changement, car l'impact au niveau financier est très tangible avec de grands volumes qu'au niveau des pépiniéristes seuls.



# RÉFÉRENCES

---

Agriculture Canada (2013) Aperçu statistique de l'industrie ornementale du Canada – 2013. <http://www.agr.gc.ca/fra/industrie-marches-et-commerce/statistiques-et-information-sur-les-marches/par-produit-secteur/horticulture/horticulture-industrie-canadienne/rapports-par-secteur/aperçu-statistique-de-l-industrie-ornementale-du-canada-2013/?id=1377795156438>.

Allaire SE, Lange SF (2013) Le biochar dans les milieux poreux: Une solution miracle en environnement? Vecteur Environnement. Sept. 2013 : 56-67.

Allaire SE, Lange SF, Auclair IK, Quinche M, Greffard L (The Char Team) (2015b) Report: Analyses of biochar properties. CRMR-2015-SA-5. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval, Québec, Canada, 59 p.

APTC (2016) Statistiques tourbes et tourbières, Association des producteurs de tourbe du Canada. <http://tourbehorticole.com/la-tourbe-en-chiffres/>.

Carter MR (ed.). 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis, Lewis Publishers, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.

Forest Trend (2015) State of the Voluntary Carbon Markets 2015, Forest Trend. [http://foresttrends.org/releases/p/ahead\\_of\\_the\\_curve\\_state\\_of\\_the\\_voluntary\\_carbon\\_markets\\_2015](http://foresttrends.org/releases/p/ahead_of_the_curve_state_of_the_voluntary_carbon_markets_2015).

Gendron A. (2012) Bannissement des matières organique de l'élimination au Québec : état des lieux et perspectives, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/organique/bannissement-mat-organ-etatdeslieux.pdf>.

Granatstein D, Kruger C, Collins H, Garcia-Perez M, Yoder J (2009) Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment. Center for Sustaining Agric. Nat. Res. Washington State University, Wenatchee, WA. WSDA Interagency Agreement. C, 800248.. <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/0907062.pdf>.

Hamrick, K. A. Goldstein. 2016. Raising Ambition, State of the Voluntary Carbon Markets 2016. Ecosystem Marketplace, a Forest Trend Initiative. Washington DC, 50 p.

Lange SF, Allaire SE (2015) Essai de terreaux contenant du char pour la culture d'épinettes blanche (*Picea glauca*) : Projet CRSNG-Engage en collaboration avec la pépinière Somival Inc. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, CRMR-SA-4 Université Laval, Québec, Canada, 55 pp.

Maltais-Guilbault M. (2012) Bilan 2012 de la gestion des matières résiduelles au Québec, Recyc-Québec. <https://www.recycquebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2012.pdf>.

MDDELCC (2012) Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage (phase II), Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et de la lutte contre les Changements Climatiques. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/biomethanisation/cadre-normatif2012-2019.pdf>.

MDDELCC (2016a) Programme sur la redistribution aux municipalités des redevances pour l'élimination de matières résiduelles, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/redevances/programme.htm>.

MDELCC (2016b) Redevances pour l'élimination de matières résiduelles, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/matieres/redevances/index.htm>.

MDELCC (2016c) Rapport sommaire des ventes aux enchères conjointes #6, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/changements/carbone/ventes-encheres/resultats-vente20160217.pdf>.

Papillon P-A, Allaire SE, Lange SF (2016). Substrats horticoles à base de biochars produits de matières résiduelles locales en circuit court. Rapport annuel. Projet Innov-Action. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, CRMR-2016-SA-1, Université Laval, Québec, Canada, 38 pp.

Perlite Canada (2016a) Spécifications – Perlite expansée, Perlite Canada, document électronique disponible à : <http://www.perlite-canada.com/PDF/Perlite-MSDS-FR.pdf>.

Perlite Canada Inc. (2016b) Communication personnelle tenue le 22 novembre 2016.

Plant-Prod (2015) Fiche de caractéristiques du produit Plant-Prod 20-8-20. Tout usage riche en nitrate, 1p.

Tian Y, Sun X, Li S, Wang H, Wang L, Cao J, Zhang L (2012) Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv. *Fasciata*. *Scientia Horticulturae* 143: 15-18.

Trudel, C (2016) Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les Changements Climatiques, conversation téléphonique, novembre 2016.

Van den Akker J.J.H., Kuikman P.J., De Vries F., Hoving I., Pleijter M., Hendriks, R.F.A., R.J.Wolleswinkel R.J., Simões R.T.L. Kwakernaak C. (2008) Emission of CO<sub>2</sub> from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. In *Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use–The Future of Peatlands* (Vol. 1, pp. 645-648).

Vaughn SF, Kenar JA, Thompson AR, Peterson SC (2013) Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates. *Industrial Crops and Products* 51: 437-443.