

Définition de concepts aboutissant à des analyses de rentabilisation (*business cases*) de produits issus de la conversion thermochimique de matières lignocellulosiques

Résumé du rapport final (2019)¹

MISE EN CONTEXTE

Par l'entremise de sa vitrine technologique à Mashteuiatsh, Agrinova accompagne les entreprises dans l'acquisition de connaissances et le développement de produits issus de la pyrolyse de matières lignocellulosiques. Le biochar et les produits dérivés de ce processus présentent un bon potentiel d'utilisation pour différents secteurs tels que la foresterie, l'agriculture, l'agroalimentaire et la bio-rémediation. Toutefois, ces produits sont à un stade d'émergence et le potentiel de valorisation en région est plutôt méconnu. Pour sécuriser le développement de la filière des produits pyrolytiques, le plan d'affaire doit être en phase avec les problématiques régionales et assurer la rentabilisation de ces applications.



OBJECTIF



Alliance bois SLSJ a mandaté Agrinova afin de définir des concepts aboutissant à des analyses de rentabilisation (*business cases*) des produits pyrolytiques à base de matières lignocellulosiques. À cet égard, quatre concepts ont été priorités pour développer les *business cases* spécifiques à la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean (SLSJ), soit 1) le potentiel des huiles pyrolytiques pour le remplacement des huiles de transformateurs conventionnelles; 2) l'utilisation du vinaigre de bois comme intrants biologiques en agriculture; 3) l'ajout de biochar au compostage afin d'en améliorer sa qualité; et 4) le potentiel d'un hydrochar dans la restauration de sites dégradés. Des propositions de projets en recherche et innovation (RI) en lien avec ces concepts et le développement des *business cases* ont été rédigées par Agrinova et Biopterre.

¹ Pilote, R., D. Poisson et J. et Monerris, 2019. *Définition de concepts aboutissant à des analyses de rentabilisation (business cases) de produits issus de la conversion thermochimique des matières lignocellulosiques*, Rapport final, Agrinova, Juin 2019, 63 pages.

MÉTHODOLOGIE

Chacun des quatre concepts a été étudié en réalisant une revue de la littérature scientifique disponible et en analysant les marchés potentiels et les faisabilités techniques et économiques. Concrètement, l'évaluation technique a été réalisée via une analyse de pré-faisabilité technique suivie de l'identification des risques, des exigences et des réglementations liés aux produits. La faisabilité économique relevait d'une validation de la stratégie pour chacun des produits cibles et d'une évaluation du prix de vente et de la marge de profit des stratégies. En cours de projet, la participation du Laboratoire LaSève de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) ainsi que de Biopterre a été sollicitée pour la caractérisation des huiles pyrolytiques et l'étude des normes pour l'homologation des produits par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) et l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA).

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

LES HUILES PYROLYTIQUES EN REMPLACEMENT DES HUILES DE TRANSFORMATEURS

Les huiles pyrolytiques sont des biohuiles présentant des propriétés de substitution pour les huiles conventionnelles. Néanmoins, comme le point éclair ou le point d'inflammabilité des biohuiles est évalué à 60 °C, comparativement à 160 °C pour l'huile végétale, celles-ci doivent être mélangées avec de l'huile végétale (25 %) pour répondre aux critères des huiles de transformateurs. Toutefois, le développement d'une biohuile plus performante pourrait être possible via l'extraction de l'huile sèche. En effet, les résultats de caractérisation obtenus pour les fractions liquides de la pyrolyse soutiennent l'hypothèse que les huiles sèches pourraient être de bonnes candidates pour remplacer les huiles de transformateurs. Hydro-Québec a notamment manifesté son intérêt pour les huiles alternatives avec son industrie de 250 millions de litres d'huiles pour transformateurs qui nécessite un renouvellement d'environ 5 % par année, ce qui représente un marché potentiel de 62,5 M\$ à un prix de vente de 5 \$/l. Ce marché nécessiterait une production de 12 500 m³ d'huiles sèches. En ce sens, l'équipementier ETIA a développé un procédé de décantation suivi d'une distillation des biohuiles, un modèle pilote qui pourrait être installé en aval d'un pyrolyseur Bench-130 (Biogreen®; figure 1). À ce jour, aucune autre technologie n'est disponible pour la distillation de grands volumes. En outre, les rendements relatifs obtenus en huiles sèches lors des essais ont varié de 0,1 à 5 %. Les volumes d'huiles sèches générés étant trop limités pour conduire à des analyses de propriétés, ce *business case* de substitution des huiles de transformateurs par les huiles sèches pyrolytiques ne peut donc être retenu pour l'instant.

La rentabilité d'une production d'huiles sèches doit passer par une usine de production de très grande capacité. En effet, cinq pyrolyseurs de type BGR-600 ayant une capacité de traitement de 16 tonnes métriques (tm) par jour ne répondraient qu'à 10 % de la demande du marché avec un investissement initial de l'ordre de 50 M\$. Il paraît clair qu'une usine qui ne commercialiserait que l'huile sèche ne serait pas rentable. Une valorisation des autres produits pyrolytiques (biochars, huiles lourdes et vinaigres de bois) doit être considérée dans le plan d'affaires afin de rentabiliser les opérations et les équipements. De plus, les huiles pyrolytiques cadrent bien dans la transition verte et durable que vise le gouvernement du Canada avec l'interdiction des équipements utilisant ou contenant des BPC d'ici le 31 décembre 2025. Cette date butoir contraindra les entreprises à éliminer le BPC contenu dans les transformateurs électriques et tout équipement connexe par l'utilisation d'huiles alternatives.

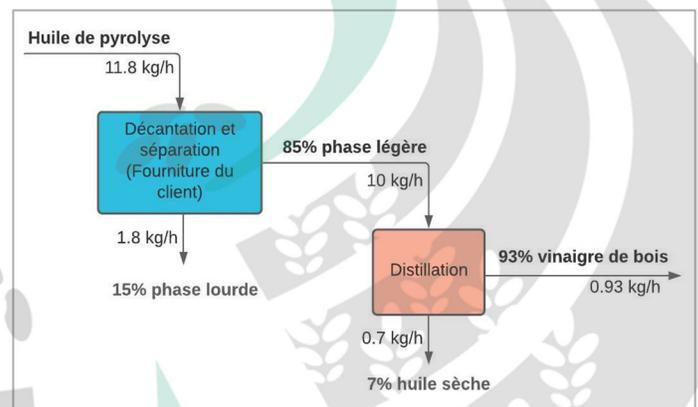


Figure 1. Procédé d'obtention d'huiles sèches et de vinaigre de bois à partir de la technologie Biogreen®

UTILISATION DU VINAIGRE DE BOIS ISSU DES HUILES PYROLYTIQUES COMME BIO-INTRANT EN AGRICULTURE

Le vinaigre de bois (VB) est la fraction aqueuse de la biohuile produite par la pyrolyse de matières premières organiques. Ce produit pyrolytique est extrait de l'huile pyrolytique par le même procédé que pour l'huile sèche (figure 1). Les applications du VB inférées par la littérature pour le domaine agricole sont les intrants biostimulants, à petite dose, et les biopesticides, à forte dose. Le VB a plusieurs avantages sur les produits conventionnels utilisés en agriculture, dont sa faible toxicité, sa courte durée de vie dans l'environnement et son origine renouvelable. Le prix de vente des VB pourrait varier entre 2,55 et 15 \$ US/l et le marché mondial du VB devrait atteindre environ 6,7 M\$ US d'ici 2022, avec un taux de croissance annuel de 7,2 %.

Le rendement associé à la production de VB s'élève à 45 %. Selon les essais effectués par Agrinova et l'expertise en homologation d'intrant agricole de Biopterre, un VB issu de la pyrolyse de peupliers faux-trembles ferait un bon candidat biopesticide à l'ARLA, tandis que celui pour le bouleau blanc pourrait être soumis à une homologation auprès de l'ACIA comme biostimulant². La faisabilité technique pour ce produit est ainsi déjà validée. Quant à la faisabilité économique, un scénario de production équivalant au premier *business case* a été envisagé avec la vente de ses huiles sèches et de ses VB. Ce *business case* bénéficierait d'une rentabilité positive avec un retour sur investissement évalué à 244 mois pour le remboursement du capital investi (6,5 % d'intérêts sur 300 mois). Le volume de VB qui serait produit annuellement dépasserait par un facteur 3 la consommation annuelle en pesticides au Québec, ce qui laisserait une marge de manœuvre pour la commercialisation d'autres produits en parallèle, tels que la fumée liquide ou des produits désinfectants. La coopérative agricole Nutrinor, qui regroupe près de 1 000 entreprises agricoles du SLSJ, représente un partenaire commercial potentiel pour valoriser le VB, tant dans le domaine de l'agriculture et de l'énergie que dans ses quincailleries.



INCORPORATION DU BIOCHAR DANS LE COMPOSTAGE MUNICIPAL ET INDUSTRIEL

L'incorporation du biochar dans les processus de compostage municipal et industriel présente plusieurs avantages. Une étude³ a révélé que l'ajout d'un mélange de biochar (12 %) et de zéolite (10 %) réduit de façon significative l'émission d'ammoniac (NH_3), de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (NO_2), trois gaz à effet de serre importants. Par ailleurs, le biochar améliore la porosité, la surface spécifique et la capacité d'échange cationique (CEC) du compost mature, ce qui aura des impacts positifs sur les sols, notamment sur la rétention de l'eau et des nutriments, la CEC du sol, l'activité microbologique et la séquestration des métaux lourds. Actuellement, la majorité des boues de papetières et les boues municipales est valorisée en agriculture, alors que les résidus verts et alimentaires prennent de plus en plus la voie du compostage. C'est d'ailleurs cette voie que la Régie des matières résiduelles (RMR) du Lac-Saint-Jean et la Ville de Saguenay veulent préconiser en région. Le compostage municipal et industriel s'avérant de faible qualité pour les besoins agricoles, un apport en biochar pourrait en améliorer les propriétés. Toutefois, les activités de compostage régies par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) doivent répondre aux exigences exposées dans le Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes (MRF)⁴. À cet effet, des démonstrations et des caractérisations seront requises pour prouver l'innocuité des produits finaux et expliciter leurs valeurs ajoutées.

² Agrinova et Biopterre, 2021. *Développement de biostimulants issus de la conversion thermo-chimique des résidus forestiers orphelins du Saguenay-Lac-Saint-Jean pour la production végétale et horticole*, Rapport final, Novembre 2021, 63 pages.

³ Awasthi, M.K., Q. Wang, X. Ren, J. Zhao, H. Huang, S.K. Awasthi, Z. Zhang, and al., 2016. *Role of biochar amendment in mitigation of nitrogen loss and greenhouse gas emission during sewage sludge composting*, Bioresource Technology, 2019, 270-280.

⁴ Hébert, Marc, 2015. *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes : critères de référence et normes réglementaires – Édition 2015*, Québec, ISBN-978-2-550-72954-9, 216 pages.

Le SLSJ générant près de 36 000 m³ de compost annuellement, 3 600 m³ de biochar (incorporé à 10 % v/v) pourraient être valorisés par le compostage, soit près de 540 tonnes (avec une densité de 150 kg/m³). Pour minimiser l'impact économique de l'ajout de biochar dans les systèmes de compostage, un prix de vente maximal de 250 \$/tonne est estimé pour le biochar. Un remboursement du capital serait obtenu en 194 mois pour les mêmes installations formulées précédemment et un rendement pour le biochar serait estimé à 20 % (figure 2). Étant donné que la production de biochar d'une telle usine (évaluée à 5 000 tm) dépasserait les besoins de la région, d'autres entreprises telles que Gazon Savard, Viridis Environnement, RSI Environnement et LMR Excavation, ou d'autres municipalités du Québec, seraient à impliquer pour développer ce *business case*. Toutefois, le prix du biochar n'est pas très élevé par rapport à ceux pour la fabrication de terreaux horticoles ou l'alimentation des animaux d'élevage, estimée à 750 \$/tm (Pilote, 2019). En rejoignant divers marchés, il y aurait lieu de bonifier le scénario puis d'envisager un retour sur investissement de 60 mois.

A-Produits		\$ x 1 000
Biochar	1 250	= 20 % x 25 000 tma x 250 \$/tm
Huile sèche pyrolytique	6 250	= 1 250 m ³ x 5 \$/l
Vinaigre de bois	11 250	= 45 % x 25 000 tma x 1 m ³ /tm x 1 000 \$/m ³
Sous-total	18 750	
B-Coûts variables		\$ x 1 000
Matière première	2 500	= 25 000 tm x 100 \$/tm
Conditionnement (séchage et broyage)	625	= 25 000 tm x 25 \$/tm
Pyrolyse (électricité)	1 125	= 25 000 tm x 45 \$/tm
Refroidissement (électricité)	675	= 25 000 tm x 27 \$/tm
Main-d'œuvre	2 650	= 25 000 tm x 106 \$/tm
Sous-total	7 575	
C-Coûts fixes		\$ x 1 000
Amortissements	4 000	: 300 mois à 6,5 %
Frais administratifs	1 000	: 10 %
Sous-total	5 000	
Marge après coûts variables et coûts fixes	10 000	: A - B - C

Figure 2. Budget d'exploitation d'une usine de traitement de 25 000 tonnes métriques anhydres (tma) de matières lignocellulosiques pour la commercialisation d'huile sèche, de biochar et de vinaigre de bois

DÉVELOPPEMENT D'UN HYDROCHAR POUR LA REMÉDIATION DES SOLS

L'hydrochar est un biochar possédant des propriétés de rétention en eau significative tout indiquées pour le développement de terreaux soumis à des stress hydriques. Ce produit de la carbonisation hydrothermale est généralement issu de biomasses humides chauffées à des températures entre 180 et 300 °C. Les matières premières utilisées pour la fabrication des hydrochars sont riches en lignine et permettent de produire des biochars dont le potentiel de séquestration du carbone et la capacité de fixation des métaux sont élevés. Somme toute, une procédure combinant l'hydrochar dans la mise en végétation des sites dégradés ou contaminés augmenterait l'efficacité de la croissance végétale, la fixation des métaux, puis la séquestration du carbone. Un accès aux crédits compensatoires pourrait s'avérer être un marché intéressant pour les compagnies minières, par exemple. Considérant un pourcentage d'incorporation de 2,5 à 5 % m/m, le potentiel de vente d'hydrochar est de 55 à 110 tonnes par hectare de sol à amender.

Le prix de vente est difficile à estimer, car il doit tenir compte de multiples facteurs (réduction de fertilisation, végétalisation accrue et crédits carbone). Ce type de biochar répond aux normes du Québec en offrant un potentiel élevé à titre de matière résiduelle fertilisante (MRF) pour la restauration de la couverture végétale de lieux dégradés.

En ce qui a trait à la faisabilité économique, l'éloignement des sites dégradés relèvera d'un scénario de production différent, à moins d'en subir les frais de transport accrus. La technologie BGR-600 peut être offerte en mode conteneurisé et est donc mobile. Avec sa capacité de 16 tm/jour et un rendement en biochar de 20 %, une vingtaine de jours seraient requis pour produire du matériel suffisant au traitement d'un hectare. Un biochar produit *in situ* vaudrait alors 400 \$/tm. Les entreprises RSI Environnement, Arcelor Mittal, Magnor Exploration et Arianne Phosphate ont été comptées comme partenaires potentiels pour développer un tel produit à forte valeur ajoutée à base d'hydrochar.

DÉVELOPPEMENT DE PROJETS RI EN LIEN AVEC LES CONCEPTS DE L'ÉTUDE

Quatre projets porteurs ont été développés en considérant les risques et les exigences identifiés dans les *business cases* à l'étude. Ceux-ci sont détaillés dans le tableau 1.

Tableau 1. Propositions de RI écrites par Agrinova et Biopterre

Titre
• Expérimentation pour le remplacement des huiles de transformateurs par des huiles pyrolytiques
• Optimisation des paramètres de pyrolyse pour le développement de vinaigres de bois issus des matières organiques résiduelles orphelines régionales au Saguenay–Lac-Saint-Jean répondant aux normes d'homologation des biostimulants
• Potentiel biostimulant de différents biochars et vinaigres de bois issus des matières organiques résiduelles orphelines au Saguenay–Lac-Saint-Jean
• Expérimentation de différents mélanges de compost à base de biochar comme produit pour améliorer la fertilité des sols et leur conservation

CONCLUSION

En somme, quatre concepts pour rentabiliser les produits issus de la pyrolyse de matières lignocellulosiques au SLSJ ont été étudiés, soit le potentiel des huiles pyrolytiques pour le remplacement des huiles de transformateurs, l'utilisation du vinaigre de bois comme bio-intrant en agriculture, l'incorporation du biochar dans le compostage municipal et industriel et le développement d'un hydrochar pour la remédiation des sols. Chacun de ces cas, pris individuellement, ne parvient pas à une rentabilité financière, bien que le marché et la faisabilité technique soient favorables. Ces différents sous-produits de la pyrolyse doivent alors faire l'objet d'un même plan d'affaires, dans une perspective de commercialisation conjointe du biochar, du vinaigre de bois et de l'huile sèche. Finalement, les projets RI proposés par Agrinova et Biopterre ont été introduits pour promouvoir le développement de la filière régionale des produits pyrolytiques et de relier des entreprises en amont et en aval de la filière. À terme, le contexte législatif et environnemental favorisera le développement des produits pyrolytiques au Québec.