

Développement de biostimulants issus de la conversion thermochimique des résidus forestiers orphelins du Saguenay–Lac-Saint-Jean pour la production végétale et horticole

Résumé du rapport final (2021)¹

MISE EN CONTEXTE

Au Saguenay–Lac-Saint-Jean (SLSJ), l'industrie forestière produit un nombre élevé de résidus peu ou non valorisés, particulièrement pour les essences de bouleaux et de peupliers. La pyrolyse est une façon innovante de générer, à partir de cette matière, des produits à haute valeur ajoutée, tels que le vinaigre de bois (VB). Ce dernier, obtenu par distillation de l'huile pyrolytique, est utilisé dans certaines régions du monde comme biostimulant et biopesticide. En Californie, par exemple, un VB à base de coquilles d'amandes, le Coriphol, a obtenu toutes les certifications pour être commercialisé à titre de biostimulant. Cependant, la composition chimique des VB varie énormément en fonction du processus de production et de l'origine de la matière première. Pour qu'un tel produit réponde aux normes de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), il est essentiel de connaître et de contrôler ses propriétés intrinsèques.



OBJECTIF



Agrinova et Biopterre avaient pour mandat de développer un biostimulant à base de VB issu de la pyrolyse de résidus forestiers orphelins du SLSJ, soit des résidus de bouleaux et de peupliers. L'étude se découpe ainsi en deux grands volets. Le **premier** visait l'optimisation du procédé de pyrolyse afin de produire différents VB au potentiel biostimulant et répondant aux normes d'homologation de l'ACIA². Le **deuxième** volet consistait à définir l'effet biostimulant des VB extraits. Pour ce faire, le Coriphol a servi de produit de référence quant au mode d'application et aux concentrations ciblées par les essais.

¹ Agrinova et Biopterre (2021). *Développement de biostimulants issus de la conversion thermochimique des résidus forestiers orphelins du Saguenay–Lac-Saint-Jean pour la production végétale et horticole*, Rapport final, Novembre 2021, 63 pages.

² *Loi sur les engrais*, L.R.C. 1985, c. F-10.

MÉTHODOLOGIE

Volet 1 – L’optimisation des paramètres de pyrolyse a été effectuée à la Vitrine technologique de production de biochar à Mashteuiatsh et a été dirigée par l’équipe d’Agrinova. Un total de 10 à 14 kg de biomasses ligneuses, soit du bouleau blanc et du peuplier faux-tremble, a été broyé et séché avec un appareil de type KDS (Kinetic Destruction System), puis mis à l’essai dans un pyrolyseur BRG-130 de type Biogreen®. Pour chaque essence, trois températures de production différentes ont été utilisées (400, 450 et 500 °C), générant au total six huiles pyrolytiques brutes. Le temps de séjour dans le pyrolyseur a été fixé à 10 minutes pour maximiser le rendement en huile. L’extraction des VB a ensuite été obtenue par une filtration, suivie d’une distillation à 118,2 °C et d’une décantation de ces huiles brutes. Les rendements de production des essais ont été calculés selon la méthode des bilans de masse, puis une analyse physico-chimique a été réalisée par le laboratoire LaSève de l’Université du Québec à Chicoutimi pour vérifier la conformité avec les normes de certification du produit.

Complété par Biopterre, le **volet 2** consistait d’abord à déterminer la dose phytotoxique des VB produits précédemment. Des tests de toxicité foliaire in vitro ont été réalisés pour quatre concentrations des VB (0,1 %, 0,75 %, 1 % et 2,5 %), avec un témoin négatif à l’eau et des témoins positifs composés d’acide acétique à 0,25 % et de Coriphol aux mêmes dilutions que les VB testés. Par la suite, l’impact des VB sur la germination des graines de tomates et l’élongation racinaire a été évalué pour des traitements de 0,5 %, 1 %, 1,75 % et 2,5 %. Finalement, appliqué à deux doses de dilution 1/500 et 1/800, le potentiel biostimulant des VB sur une culture de tomates en serre a été testé en combinaison avec une fertilisation de la moitié de la dose recommandée (E50 = 50 %). Les témoins positifs et négatifs étaient respectivement le Coriphol et l’eau. Les paramètres de croissance étudiés sont la biomasse racinaire et aérienne, le nombre de fruits, la masse des fruits, l’indice de chlorophylle et la hauteur des plants.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pour le **volet 1**, les rendements de pyrolyse ont été déterminés pour les différentes proportions de coproduits générés par les essais (tableau 1). Notons que la quantité de matériel pyrolysé semble avoir une incidence sur le rendement de biohuiles obtenues dans le cas des essais MI-2150-15 et MI-2150-16 pour les mêmes conditions de pyrolyse. D’autre part, les résultats des rendements pour le bouleau pyrolysé à 450 °C présentent une similarité avec la matrice de référence (données à l’interne), donc une certaine uniformité. Par ailleurs, le rendement massique en biohuiles est maximal à cette température. En ce qui a trait au peuplier, le rendement massique en production de biohuiles est supérieur à une température de pyrolyse de 400 °C. Le tableau 1 présente également les rendements pour les VB distillés et les huiles sèches récoltées après distillation et décantation des biohuiles brutes.

Tableau 1. Rendements de pyrolyse pour les différents essais réalisés

Essai ID	Matériel	Température	Masse de matériel pyrolysé (g)	Rendements des coproduits de pyrolyse			Vinaigre de bois		Huile sèche	
				Biochar	Biohuile	Syngaz	Volume (ml)	Rendement distillation	Volume (ml)	Rendement distillation
MI-2150-5	Bouleau	400 °C	7 000	13,3 %	35,9 %	50,8 %	5 130	84 %	300	16 %
MI-2150-6	Bouleau	400 °C	7 000	18,4 %	34,4 %	47,2 %		90 %	200	10 %
MI-2150-9	Bouleau	450 °C	12 000	28,2 %	41,2 %	30,6 %	2 530	69 %	1 075	31 %
MI-2150-10	Bouleau	500 °C	12 000	21,8 %	36,8 %	41,5 %	2 265	90 %	550	10 %
MI-2150-15	Peuplier	400 °C	4 000	20,3 %	30,9 %	48,8 %	3 659	82 %	700	18 %
MI-2150-16	Peuplier	400 °C	10 000	14,1 %	44,7 %	41,2 %				
MI-2150-17	Peuplier	450 °C	10 000	14,1 %	41,7 %	44,2 %	2 530	79 %	600	21 %
MI-2150-18	Peuplier	500 °C	10 000	13,3 %	34,7 %	51,9 %	2 600	90 %	200	10 %

Les analyses chimiques du laboratoire LaSève démontrent que le bouleau blanc pyrolysé à 450 et 500 °C est plus propice à générer du furfural (jusqu'à 0,364 µg/ml), un composé chimique industriel dont la toxicité est à prendre en considération pour la formulation de biostimulants (figure 1). Toutefois, les compositions en pyrocathécol, aux effets possiblement toxiques, étaient très faibles pour les VB produits (moyenne = 0,166 µg/ml), soit trois fois moins importantes que pour le produit commercial Coriphol. Des concentrations semblables en méthanol sont également observées pour les divers VB (moyenne = 0,037 µg/ml). En ce qui a trait aux teneurs en acides acétiques et propioniques, les chiffres semblent assez similaires entre les produits. Or, le VB issu du bouleau à haute température a une concentration plus marquée pour l'acide acétique (10,42 µg/ml pour 500 °C). Cet acide acétique représente le principal facteur pour l'intensité du goût acide et de l'odeur piquante des vinaigres. En outre, les analyses de pH effectuées pour l'ensemble des VB montrent une acidité importante, soit un pH_{moyen} de 2,1. Selon les rendements et la caractérisation chimique, le bouleau blanc aux températures de 450 et 500 °C serait la meilleure recette pour produire un bioherbicide. En revanche, pour en faire un biostimulant, une dilution importante sera nécessaire afin d'éviter les effets de brûlure et de toxicité. Cette caractérisation des VB répond en partie aux critères d'obtention d'un numéro de la certification ACIA de niveau 2, car l'analyse pour les métaux, abandonnée dû aux coûts élevés, est manquante.

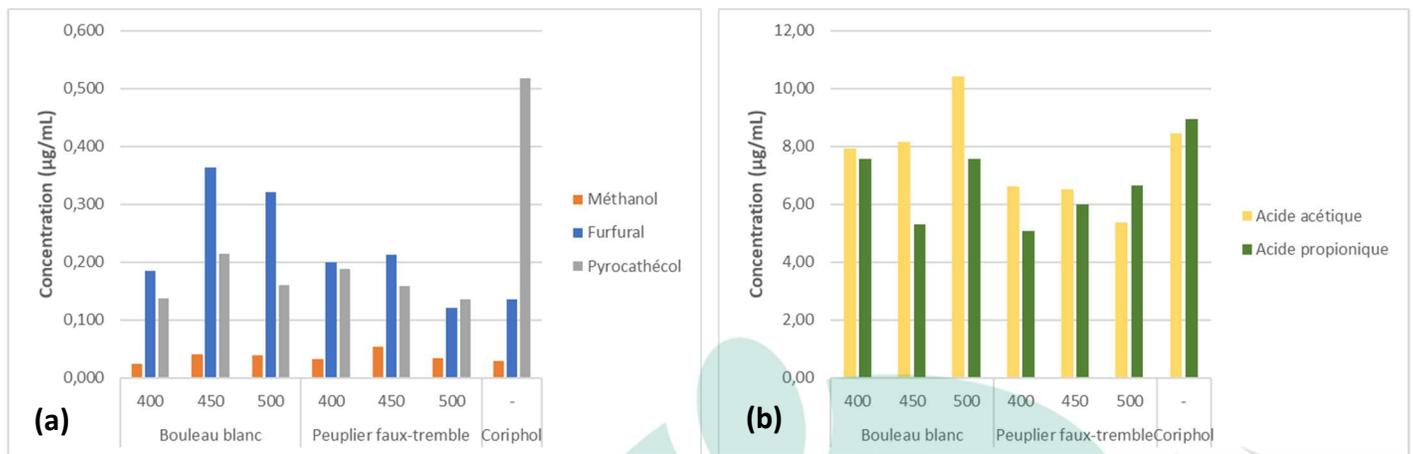


Figure 1. Teneurs en composés toxiques (a) et en acides (b) des vinaigres de bois analysés et du produit commercial Coriphol

Volet 2 – Pour les essais sur la toxicité des VB, les différents traitements testés, à l'exception de l'acide acétique, n'ont pas montré de phytotoxicité lors de l'application foliaire. Toutefois, une phytotoxicité foliaire a été notée pour les concentrations de 1 et 2,5 % des VB, toutes essences confondues, avec une nécrose plus importante pour la concentration de 2,5 %. Une nécrose plus marquée est également observée pour les VB de bouleau à des températures de 450 et 500 °C. Par ailleurs, les tests effectués sur la germination des graines de tomates ne montrent aucun effet stimulant significatif, bien que certaines tendances soient néanmoins observables, notamment que les VB plus dilués (0,5 et 1 %) semblent favoriser la germination. L'ensemble des VB à l'étude a significativement inhibé l'élongation de la racine des graines de tomates, et cela pour toutes concentrations testées. De manière générale, plus le produit est concentré, plus l'élongation est écourtée. Cette toxicité pourrait s'expliquer par l'acidité des VB.

Quant aux essais en serre, l'expérimentation démontre que pour la biomasse aérienne, la biomasse racinaire et la hauteur des plants, la plupart des traitements sont supérieurs à l'E50 (eau avec 50 % de fertilisation) et inférieurs à l'E100 (eau avec 100 % de fertilisation; tableau 2). Bien que ces différences ne soient pas

statistiquement significatives, l'application de VB permet d'augmenter la croissance des plants, mais ne permet pas de pallier la réduction de 50 % des fertilisants appliqués. Pour l'indice de chlorophylle, tous les traitements de VB ont été supérieurs à E50 et inférieurs à E100, à l'exception de la dixième semaine de suivi.

Cette situation pourrait s'expliquer par les stades de croissance qui diffèrent selon la quantité de fertilisant disponible à la plante. Ainsi, après dix semaines, les plants soumis aux traitements VB avec une dose de fertilisant réduite étaient en stade de maturation de fruits, alors que l'E100 était toujours au stade de croissance végétative. Le fait que la masse totale moyenne des fruits mesurés à la semaine 12 était supérieure pour la plupart des VB comparés à E100 semble confirmer ce postulat. De surcroît, il est important de noter que la dilution 1/800 permet d'obtenir des rendements similaires, voire légèrement supérieurs dans certains cas, à la dilution 1/500. Le VB dilué à 1/800 aurait ainsi un pouvoir biostimulant suffisant. Il n'est donc pas nécessaire d'élever le taux d'application pour améliorer les paramètres de croissance.

Tableau 2. Récapitulatif des résultats obtenus en regard des effets des vinaigres de bois sur la plante

Objectif	Condition de pyrolyse	Évaluation des effets sur la plante										
		Phytotoxicité foliaire (laitue)		Tomate (papier filtre)			Tomate (en serre)					
Essence	Température-temps de séjour (°C-min)			Germination	Élongation radicule		Hauteur	Nombre de fruits	Masse de fruits	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Indice de chlorophylle
		Nécrose +	Phytotoxicité au jour 4 à [1-2,5 %]	Meilleur effet < [1 %]	Meilleur effet < [0,5 %]	VB + 50 % fertilisation > E50						
Bouleau	400-10								+ [1 %]			VB 1/800 > VB 1/500 > E50
	450-10											
	500-10											
Peuplier	400-10						VB 1/800 > VB 1/500 > E50	E100 > VB 1/800 > VB 1/500 > E50 VB 1/800 = Coriphol				
	450-10											
	500-10			+ [0,5 %]		+ [0,5 %]						

En somme, pour tous les paramètres évalués sur les plants de tomates en serre, il n'y a aucune différence significative entre les six VB testés aux deux dilutions utilisées et les témoins. Cela indique que les VB de bouleaux et de peupliers développés dans cette étude ont un pouvoir équivalent au VB commercial (Coriphol). Ces résultats soutiennent également que les VB permettraient de réduire l'utilisation des engrais de synthèse dans les cultures (mais pas de l'ordre de 50 %).

CONCLUSION

En conclusion, cette étude souhaitait caractériser des vinaigres de bois (VB) de bouleau blanc et de peuplier faux-tremble respectant les normes de l'ACIA dans une certaine mesure. Seule une analyse des métaux sera requise dans une perspective de certification de l'un des produits. En complément, une production précommerciale avec les mêmes conditions opératoires pourra vérifier l'uniformité des VB produits et assurer la mise à l'échelle de la production. En outre, les VB développés présentent à la fois un pouvoir biostimulant et un effet bioherbicide. L'effet des VB sur la plante repose essentiellement sur le dosage du produit. Bien que non significatif, le VB de peuplier faux-tremble pyrolysé à 450 °C avec un facteur de dilution de 1/800 aurait le meilleur rendement pour le potentiel biostimulant. À l'inverse, les VB utilisés sous des concentrations plus importantes, soit de 1 à 2,5 % (dilué 1/100 et 1/40), présentent des effets de phytotoxicité sur la végétation. Le bouleau blanc pyrolysé à 450 et 500 °C serait le meilleur candidat à cet usage. Bien que les résultats ne soient pas significatifs, les VB produits montrent des effets similaires au biostimulant commercial Coriphol. Il conviendrait alors de mettre en évidence les avantages des VB en condition de stress et de valider le dosage en serre.