Opérationnalisation de l'écologie industrielle dans des traitements sylvicoles : une opportunité pour la productivité en forêt boréale

Patrick Faubert, PhD

Professeur – UQAC

Écologie industrielle et lutte aux changements climatiques

Chaire en éco-conseil – Carbone boréal – Centre de recherche sur la boréalie

Chercheur principal UQAC : Claude Villeneuve

Cochercheurs UQAC : André Pichette, Jean Legault, Maxime Paré

Cochercheur MFFP : Rock Ouimet

Les Rendez-vous de la connaissance en aménagement forestier durable

Sylviculture et traitements sylvicoles en forêt boréale

25 janvier 2022

UQAC

Université du Québec à Chicoutimi

Écologie industrielle pour le secteur forestier

- **L'écologie industrielle s'intègre à l'économie circulaire, dont les éléments importants sont :**
  - **Les systèmes concernés**
    - Production
    - Échange
    - Consommation
  - **Les objectifs**
    - **Utilisation optimale des ressources**
      - À toutes les étapes du cycle de vie d'un bien ou d'un service
    - **Réduction des impacts environnementaux**
    - **Impacts sur les personnes et la société**
      - Contribuer au bien-être des individus et des collectivités

Écologie industrielle

FIGURE 1 Schéma pédagogique de l'économie circulaire

© Institut EDDEC 2015 – Tous droits réservés © Conception : EDDEC | Graphisme : Marie Reumont

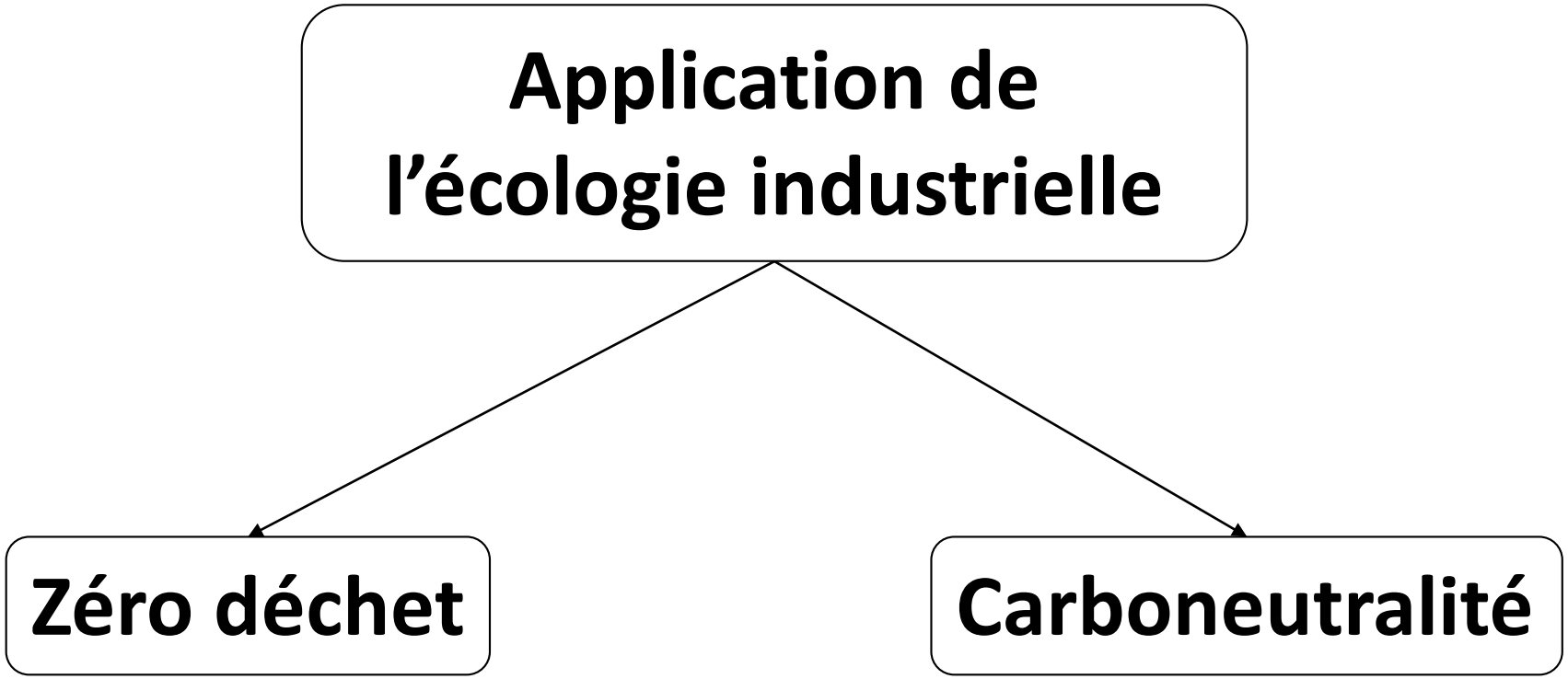
Source : Sauvé et al. 2016, Québec circulaire 2021

Écologie industrielle pour le secteur forestier

Un des grands principes en écologie industrielle

Les résidus et/ou sous-produits d'une industrie
↓
Matières premières pour une autre

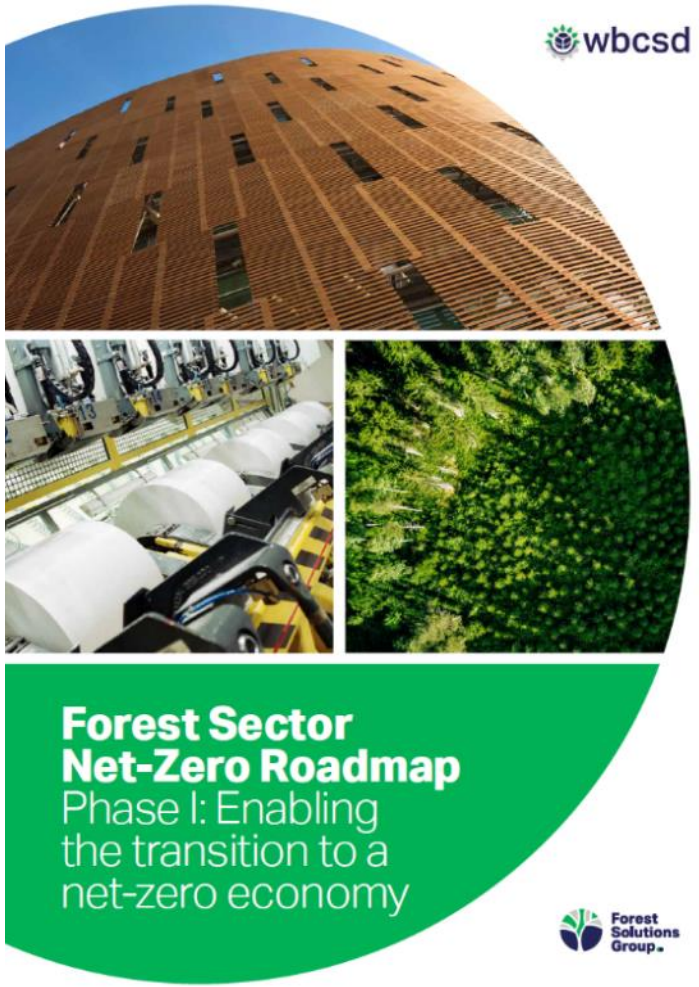
Écologie industrielle pour le secteur forestier



Écologie industrielle pour le secteur forestier

L'écologie industrielle pour le secteur forestier

- **Feuille de route 2021 du WBCSD** (World Business Council for Sustainable Development)



Source : WBCSD 2021

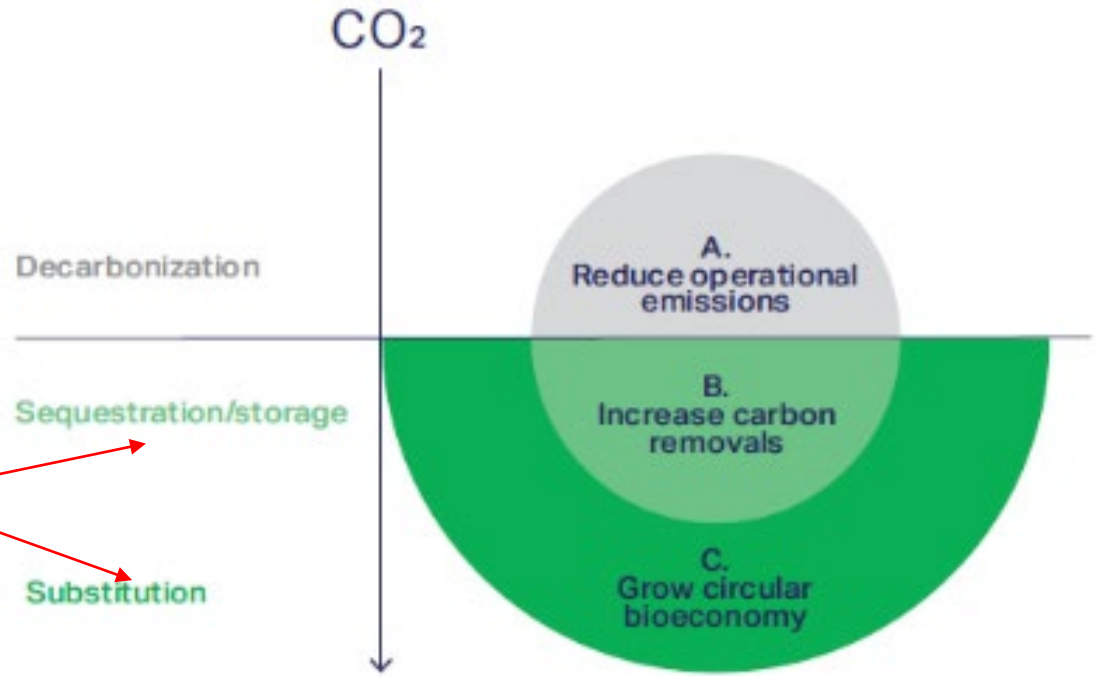
Écologie industrielle pour le secteur forestier

Feuille de route du WBCSD pour le secteur forestier en 3 leviers

- **Réduction des GES des opérations** sur toute la chaîne de valeur
- **Augmentation de la séquestration du carbone** par un aménagement durable de la forêt et les produits du bois
- **Mise en oeuvre d'une économie circulaire** par la substitution de matière non-renouvelable par les produits de la forêt

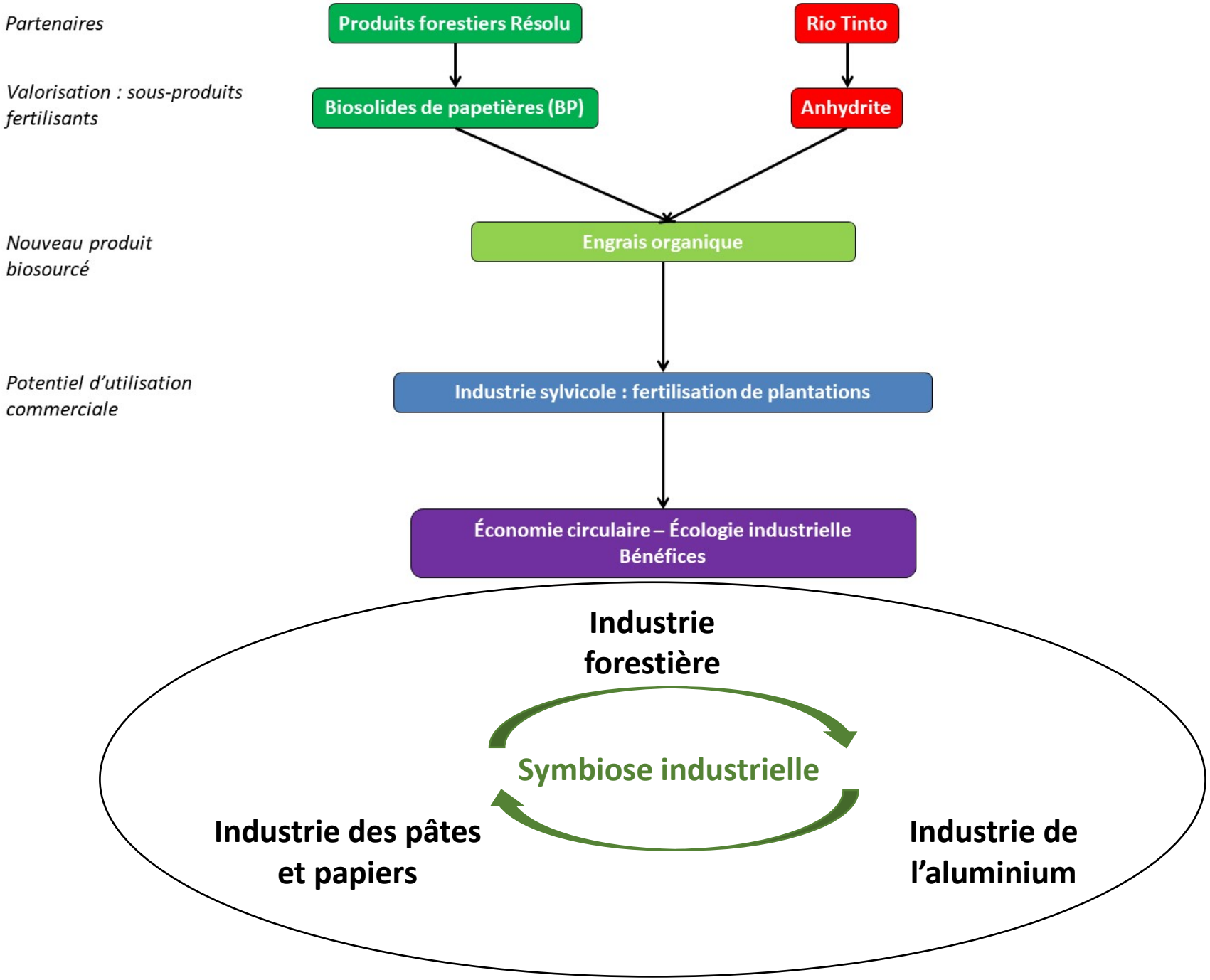
Écologie industrielle

Figure 4: The forest sector's three levers of impact



Source : WBCSD 2021

Motifs de l'étude



Que sont les biosolides de papetières?

Biosolides de papetières (BP)

Matières organiques

Sous-produits : traitement des eaux – pâtes et papiers

BP Mixtes :
Primaires + secondaires

BP à l'étude dans ce projet

Gestion des BP au Québec

Gisement : 1 M tonnes/an

Principales filières et objectifs

	Élimination Enfouissement	Recyclage Épandage	Combustion/ Récupération de chaleur
2018	25%	34%	41%

Motifs pour utiliser les BP en épandage sylvicole

- L'enfouissement serait la filière la plus émettrice de GES
- L'industrie et le gouvernement cherchent à réduire l'enfouissement
- L'épandage sylvicole des BP est une pratique rare au Québec
- On doit investiguer :
  - Comme alternative à l'enfouissement
  - Pour diversifier le portefeuille du recyclage au Québec

Sources : MDDEP 2011, Faubert et al. 2016, 2019, RECYC-QUÉBEC 2019, MELCC 2020

Qu’est-ce que l’anhydrite?

Anhydrite

- **Sulfate de calcium : $CaSO_4$**
  - Communément : anhydrite
- **Sous-produit de la production de fluorure d'aluminium**
  - Procédé similaire à la production d'anhydrite commerciale
- **Engrais homologué par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA)**
- **Production annuelle au Saguenay–Lac-Saint-Jean**
  - 80 kt/an
- **L'anhydrite de RTA est présentement recyclée à 100%**
  - Recyclage chez RTA : 42% en agriculture – 58% dans l'industrie de la construction
- **Dans le monde, le sulfate de calcium est utilisé depuis > 250 ans en agriculture**
- **On cherche à diversifier le portefeuille de recyclage**
  - L'épandage sylvicole est une option prometteuse

Sources : Chen et Dick 2011

Objectifs de l'étude

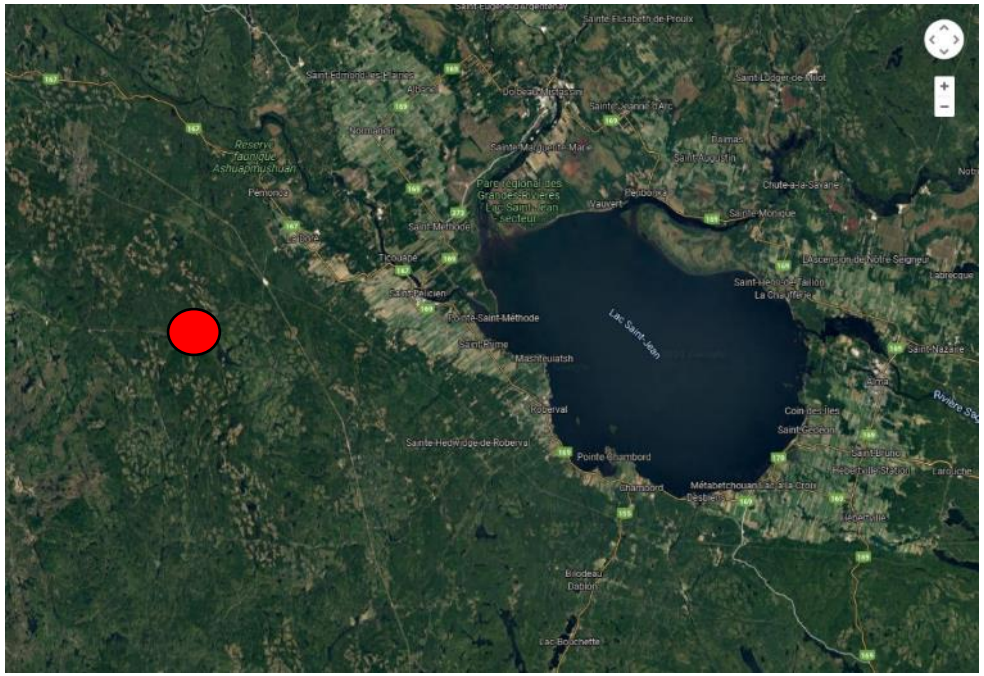
- **Déterminer les effets de l'épandage sylvicole de biosolides de papetières et d'anhydrite sur une plantation de pin gris en forêt boréale de proximité**
- **Les variables présentées aujourd'hui**
  - La productivité
  - Le statut nutritif foliaire

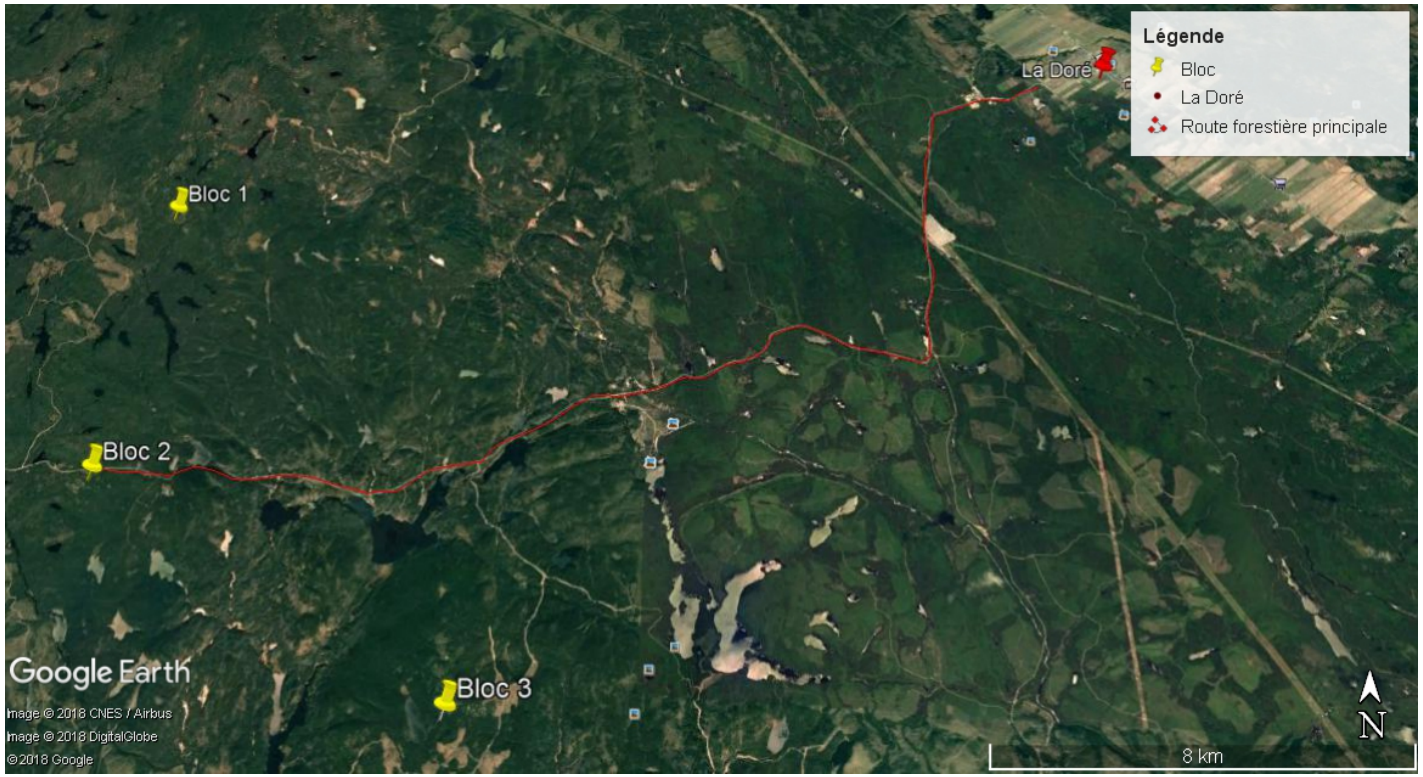
Dispositif

Plantation de pin gris de Carbone boréal

30 km à l'ouest de La Doré

Région 02 : Saguenay–Lac-St-Jean





Dispositif

- **Dispositif installé en juin 2018**
  - **Plantation de 2011 de Carbone boréal : pin gris – 7 ans (en 2018)**
  - **Traitements – Dispositif factoriel en bloc complet aléatoire**
    - **BP**
      - 3 doses : 0, 112 et 224 kg N ha^{-1}
        - Identifiées ci-après : 0N – 1N – 2N
    - **Anhydrite**
      - 3 doses : 0, 2,5 et 5 Mg ha^{-1}
        - Identifiées ci-après : 0A – 1A – 2A
    - **3 blocs (n = 3)**
    - **Total de 27 parcelles**
  - **Les parcelles**
    - 20 × 20 m
    - 10 à 30 arbres/parcelles
    - Total des arbres sur le dispositif : environ 580

Dispositif

- **Suivi des plantations pour cette étude**
  - 2018 : temps 0 – application des fertilisants
  - 2019 à 2021 : temps 1 à 3
- **Suivi de la productivité**
  - Surface terrière
    - À partir du diamètre à hauteur de souche
  - Croissance apicale
  - Hauteur totale
  - Survie
  - Pour 2018 à 2021
- **Suivi du statut nutritif foliaire**
  - Sur 10 arbres/parcelle
  - Branches de l'année sur le 1/3 supérieur
  - Série d'éléments classiques
    - N-P-K-Ca-Mg-Mn-Cu-Zn-Al-Fe-Mo-Na-B-S
  - Pour 2019-2020

Résultats – Productivité

Bilan des effets significatifs sur la productivité

Année	Temps	Surface terrière			Croissance apicale		
		BP	A	BP × A	BP	A	BP × A
2018	0	0	0	0	0	0	0
2019	1	0	0	0	+	0	0
2020	2	+	0	0	+	0	0
2021	3	0	0	0	+	0	0

BP : biosolides de papetières
A : Anhydrite
0 : aucun effet
+ : effet positif

Surface terrière

2020 : Augmentation

- BP – 2N > 1N : 78%

Croissance apicale

2019 : Augmentation

- BP – 2N > 0N : 65%
- BP – 2N > 1N : 54%

2020 : Augmentation

- BP – 2N > 0N : 81%
- BP – 2N > 1N : 58%

2021 : Augmentation

- BP – 2N > 1N : 51%

Survie

Non affectée par l'application

Résultats – Statut nutritif foliaire

Bilan des effets significatifs sur des éléments clés du statut nutritif foliaire

An	T	N			P			Ca			S		
		BP	A	BP×A	BP	A	BP×A	BP	A	BP×A	BP	A	BP×A
2019	**1**	+	0	0	+	+	0	0	+	0	0	+	0
2020	**2**	0	0	0	0	+	0	0	+	0	0	+	0

BP : biosolides de papetières
A : Anhydrite
0 : aucun effet
+ : effet positif

N

2019 : Augmentation

- BP – 2N > 0N : 12%

P

2019 : Augmentation

- BP – 2N > 0N : 10%
- A – 2A > 0A : 10%

2020 : Augmentation

- A – 1A > 0A : 5%

Ca

2019 : Augmentation

- A – 1A > 0A : 29%
- A – 2A > 0A : 29%

2020 : Augmentation

- A – 1A > 0A : 23%
- A – 2A > 0A : 47%
- A – 2A > 1A : 19%

S

2019 : Augmentation

- A – 1A > 0A : 26%
- A – 2A > 0A : 34%

2020 : Augmentation

- A – 1A > 0A : 29%
- A – 2A > 0A : 29%

Où se situent ces résultats par rapport à l'état général des connaissances?

Où se situent ces résultats par rapport à l'état général des connaissances?

Effets des BP		**Effets de l'anhydrite**	
Ce qu'on sait	***Ce qu'on voit ici***	***Ce qu'on sait***	***Ce qu'on voit ici***
En fertilisation conventionnelle (minérale) : • Il faudrait **minimalement une dose de 84 kg N ha^{-1}** pour induire **un effet positif**	La **dose de 224 kg N ha^{-1} apportée par les BP** semble produire les **effets les plus prometteurs**	**L'anhydrite peut augmenter** • La croissance radiale • La concentration foliaire en Ca • La biomasse racinaire	Les **concentrations foliaires en P, Ca et S ont augmenté** par l'ajout d'anhydrite
			Les **effets positifs** sur la concentration foliaire ne **semblent pas se traduire** en une **augmentation de croissance pour le moment**
			Une dose plus élevée pourrait être **nécessaire** pour **convertir** le tout en une **augmentation de croissance**

Source : Bakker 1999, Newton et Amponsah 2006, Burgess et al. 2010, Faubert et al. 2016, Halmschlager et Katzensteiner 2017, Thiffault et al. 2017

Où se situent ces résultats par rapport à l'état général des connaissances?

Une information importante sur l'état actuel des connaissances

↓

Peu d'études existent sur la fertilisation avec des BP et de l'anhydrite

vs

Une fertilisation avec des engrais minéraux conventionnels

↓

<u>Le besoin de recherche est évident!</u>

Pour l'aménagement forestier durable

Pour la gestion des sous-produits industriels fertilisants

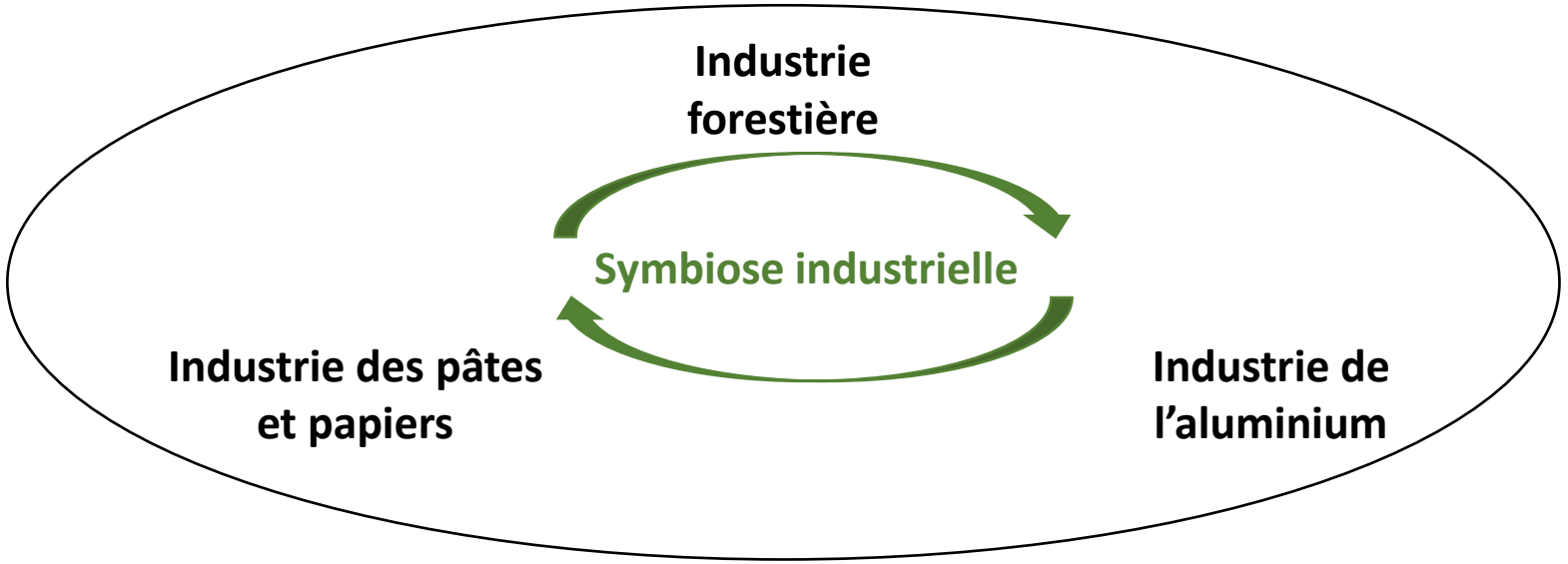
Source : Faubert et al. 2016

L'aménagement durable des forêts passe aussi par la gestion de sous-produits en forêt de proximité

Penser localement

Utilisation de cycles courts pour la gestion de sous-produits industriels

Agir globalement



Les bénéfices :
Augmentation de la productivité
Réduction de GES
Potentiel pour les marchés du carbone

Remerciements aux Collaborateurs et Partenaires

Fonds AES

Remerciements aux étudiants.es et personnel de l'UQAC

- Professionnel et professeur
  - Olivier Fradette, Charles Marty
- Étudiants.es
  - Marie-Pier Bouchard, Jean-Simon Boulianne, Angie Chapdelaine, Tarek Cherni, William Chiricota, Célia Hay, Francis Lapointe, Bastien Maurin, Xavier Plante, Maude Simard, Véronique Simard

Merci pour votre attention!

Patrick Faubert, PhD
Professeur agrégé
Chaire en éco-conseil, Carbone boréal et Centre de recherche sur la boréalie
Département des sciences fondamentales
Université du Québec à Chicoutimi
418 545-5011, poste 2537
patrick1_faubert@uqac.ca
http://www.uqac.ca/portfolio/patrickfaubert/
http://ecoconseil.uqac.ca/
http://www.uqac.ca/borealie/

Bibliographie

Bakker MR. 1999. The effect of lime and gypsum applications on a sessile oak (Quercus petraea (m.) liebl.) stand at la Croix-Scaille (French Ardennes) ii. Fine root dynamics. Plant and Soil 206: 109-121.

Burgess D, Adams G, Needham T, Robinson C et Gagnon R. 2010. Early development of planted spruce and pine after scarification, fertilization and herbicide treatments in New Brunswick. The Forestry Chronicle 86: 444-454.

Chen L et Dick WA. 2011. Gypsum as an agricultural amendment. General use guidelines. Bulletin 945. The Ohio State University. Lien : https://fabe.osu.edu/sites/fabe/files/imce/files/Soybean/Gypsum%20Bulletin.pdf

Faubert P, Barnabé S, Bouchard S, Côté R et Villeneuve C. 2016. Pulp and paper mill sludge management practices: What are the challenges to assess the impacts on greenhouse gas emissions? Resources, Conservation and Recycling 108: 107-133.

Faubert P, Durocher S, Bertrand N, Ouimet R, Rochette P, Tremblay P, Boucher J-F et Villeneuve C. 2017a. Greenhouse gas emissions after application of landfilled paper mill sludge for land reclamation of a nonacidic mine tailings site. Journal of Environmental Quality 46: 950-960.

Faubert P, Lemay-Bélisle C, Bertrand N, Bouchard S, Chantigny M, Durocher S, Rochette P, Tremblay P, Ziadi N et Villeneuve C. 2015. La gestion des biosolides de papetières au québec : Quelle serait la meilleure option pour réduire les émissions de gaz à effet de serre? Pulp and paper mill sludge management in quebec: What should be the best option to reduce greenhouse gas emissions? Vecteur Environnement 48: 50-58.

Faubert P, Lemay-Bélisle C, Bertrand N, Bouchard S, Chantigny MH, Durocher S, Paré MC, Rochette P, Tremblay P, Ziadi N et Villeneuve C. 2017b. Greenhouse gas emissions following land application of pulp and paper mill sludge on a clay loam soil. Agriculture, Ecosystems & Environment 250: 102-112.

Faubert, P., Lemay Bélisle, C., Bertrand, N., Bouchard, S., Chantigny, M.H., Paré, M.C., Rochette, P., Ziadi, N., Villeneuve, C., 2019. Land application of pulp and paper mill sludge may reduce greenhouse gas emissions compared to landfilling. Resources, Conservation and Recycling 150, 104415.

Faubert P, Bouchard S, Morin Chassé R, Côté H, Dessureault P-L et Villeneuve C. 2020. Achieving carbon neutrality for a future large greenhouse gas emitter in quebec, canada: A case study. Atmosphere 11: 810. Lien : https://www.mdpi.com/2073-4433/11/8/810

Gouvernement du Québec. 2012. Le Québec en action vert 2020. Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques. Phase 1.

Halmschlager E et Katzensteiner K. 2017. Vitality fertilization balanced tree nutrition and mitigated severity of sirococcus shoot blight on mature Norway spruce. Forest Ecology and Management 389: 96-104

Bibliographie

Institut EDDEC. 2018a. Économie linéaire. Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire. Lien : https://www.quebeccirculaire.org/static/Enjeux-et-definition.html

Institut EDDEC. 2018b. L'économie circulaire. Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire. Lien : https://www.quebeccirculaire.org/static/Enjeux-et-definition.html

MDDEP. 2011. Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. Plan d'action 2011-2015. 33 pages.

MELCC. 2020. Stratégie de valorisation de la matière organique.

Newton PF et Amponsah IG. 2006. Systematic review of short-term growth responses of semi-mature black spruce and jack pine stands to nitrogen-based fertilization treatments. Forest Ecology and Management 237: 1-14.

Québec circulaire. 2021. Enjeux et définition. Lien : https://www.quebeccirculaire.org/static/Enjeux-et-definition.html. 3 avril 2021.

RECYC-QUÉBEC, 2019. Bilan 2018 de la gestion des matières résiduelles au Québec - section sur les matières organiques, RECYC-QUÉBEC. Lien: https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2018-section-matieres-organiques.pdf

Sauvé S, Normandin D et McDonald M. 2016. L'économie circulaire. Une transition incontournable. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, Canada.

Thiffault N, Titus BD et English B. 2017. Twenty-five years post-treatment conifer responses to silviculture on a Kalmia-dominated site in eastern Canada. The Forestry Chronicle 93: 161-170.

WBCSD. 2021. Forest sector net zero roadmap. Phase 1: Enabling the transition to a net-zero economy. Lien : https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Forest-Solutions-Group/Resources/Forest-Sector-Net-Zero-Roadmap