

Biomasse et carboneutralité

Élaboration d'une grille d'évaluation

Cadre d'analyse systémique de la biomasse pour un avenir carboneutre

Juin 2025



Rapport

Rédaction et analyse

Roberta Dagher (auteure principale), associée de recherche à l'Institut de l'énergie Trottier et à l'Accélérateur de transition

Louis Beaumier, directeur exécutif de l'Institut de l'énergie Trottier

Normand Mousseau, professeur de physique à l'Université de Montréal, directeur scientifique de l'Institut de l'énergie Trottier et conseiller principal – trajectoires de transition à l'Accélérateur de transition

Révision linguistique

Sabine Monnin

Laure-Anne Douxchamps, associée de recherche à l'Institut de l'énergie Trottier

Développement de l'outil d'aide à la décision

Conception recherche et mise en œuvre

Roberta Dagher, associée de recherche à l'Institut de l'énergie Trottier et à l'Accélérateur de transition

Louis Beaumier, directeur exécutif de l'Institut de l'énergie Trottier

Frédéric Lavictoire, stagiaire à l'Institut de l'énergie Trottier

Développement de l'interface

kashika studio

Révision externe

Les auteur.es souhaitent remercier les personnes suivantes pour leur contribution à la révision et leurs commentaires sur la version préliminaire du rapport.

Bruno Gagnon, gestionnaire; **Carolyn Smyth**, chercheuse scientifique; **Nicolas Duval-Mace**, gestionnaire politiques de changement climatique; **Jérôme Laganière**, chercheur scientifique et **Hamed Kouchaki Penchah**, ingénieur de procédé et d'autres membres de l'équipe au Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada qui ont contribué à la révision.

Serge Bédard, directeur; **Milad Aghabarannejad**, gestionnaire par intérim et **Daniel Liu**, ingénieur junior et d'autres membres de l'équipe à CanmetÉNERGIE à Varennes, Ressources naturelles Canada qui ont contribué à la révision.

Stefan Pauer, gestionnaire technologie et analyse économique, Clean Energy Canada

Edmund K. Mupondwa, professeur adjoint à University of Saskatchewan et chef de projet/chercheur scientifique à Centre de recherche et de développement de Saskatoon, Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Nathan Curry, Bio Lead à l'Accélérateur de transition

Ian Thomson, ancien président; **Fred Ghatala**, président et **Colleen Lamothe**, vice-présidente à Advanced Biofuels Canada

Contributrices et contributeurs

Les auteur.es souhaitent remercier les personnes suivantes pour leur contribution à ce projet en enrichissant l'analyse des données.

Joseph Lefèvre, associé de recherche à l'Institut de l'énergie Trottier

J. Harvey Consultant et Associés Inc.

ESMIA Consultants

À propos de l'Institut de l'énergie Trottier (IET)

La création de l'IET a été rendue possible, en 2013, grâce à un don exceptionnel de la Fondation familiale Trottier à Polytechnique Montréal. Depuis, l'IET prend part à tous les débats énergétiques au pays. À l'origine de grandes réflexions collectives, l'équipe mobilise les savoirs, analyse les données, vulgarise les enjeux et recommande des plans d'action justes et efficaces. L'IET contribue également à la recherche et à la formation universitaires. Son indépendance lui confère une neutralité essentielle à l'approche collaborative qu'il préconise et facilite le travail avec les acteurs les plus aptes à faire avancer la transition énergétique, tout en lui permettant d'être librement critique lorsque cela s'avère pertinent.

Alors que le mandat initial d'une durée de dix ans arrivait à échéance, la Fondation familiale Trottier a choisi de renouveler sa confiance à l'égard de l'IET et d'accorder un nouveau don. L'IET s'étant forgé un statut d'institution incontournable et au vu de la portée de ses actions, il a été jugé souhaitable de prolonger son mandat. L'équipe pourra ainsi continuer d'offrir des avis fondés sur la science et d'enrichir le dialogue sociétal, ceci afin de faire progresser la façon dont nous produisons, convertissons, distribuons et utilisons l'énergie.

À propos de l'Accélérateur de transition

L'Accélérateur de transition (l'Accélérateur) est un organisme caritatif pancanadien qui travaille à susciter des changements positifs et profonds à l'échelle du système global. L'Accélérateur collabore avec des acteurs du domaine de l'innovation pour créer une vision de ce à quoi pourrait ressembler un avenir carboneutre qui serait souhaitable sur les plans social et économique. Avec ses partenaires, il œuvre à définir des trajectoires de transition qui permettront au Canada de concrétiser cet avenir. L'Accélérateur joue le rôle de moteur, de facilitateur et de multiplicateur de forces qu'il travaille à coaliser. Son objectif est de permettre à la société de progresser sur ces trajectoires en dynamisant les facteurs de changement. L'approche en quatre étapes de l'Accélérateur consiste à comprendre, codévelopper, analyser et progresser sur des trajectoires de transition crédibles et convaincantes, ceci afin d'atteindre les objectifs sociétaux et économiques que nous nous sommes fixés, y compris celui de mener le pays à la carboneutralité d'ici 2050.

Financement

Pour soutenir le mandat de recherche du Groupe consultatif sur la carboneutralité, ce projet a été réalisé avec le soutien financier du gouvernement du Canada. Le financement a été réalisé par le Fonds d'action et de sensibilisation pour le climat du Fonds pour dommages à l'environnement, administré par Environnement et Changement climatique Canada.

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier
du gouvernement du Canada.

This project was undertaken with the financial support
of the Government of Canada.



Clause de non-responsabilité

Les opinions exprimées dans ce document sont celles de l'Institut de l'énergie Trottier de Polytechnique Montréal. La responsabilité du contenu de ce rapport n'engage que ses auteurs. Toutes les précautions raisonnables ont été prises pour vérifier la fiabilité du matériel contenu dans cette publication. Ni les auteurs ni aucune personne agissant en leur nom ne peuvent être tenus pour responsables de l'utilisation qui découlerait de ces informations.

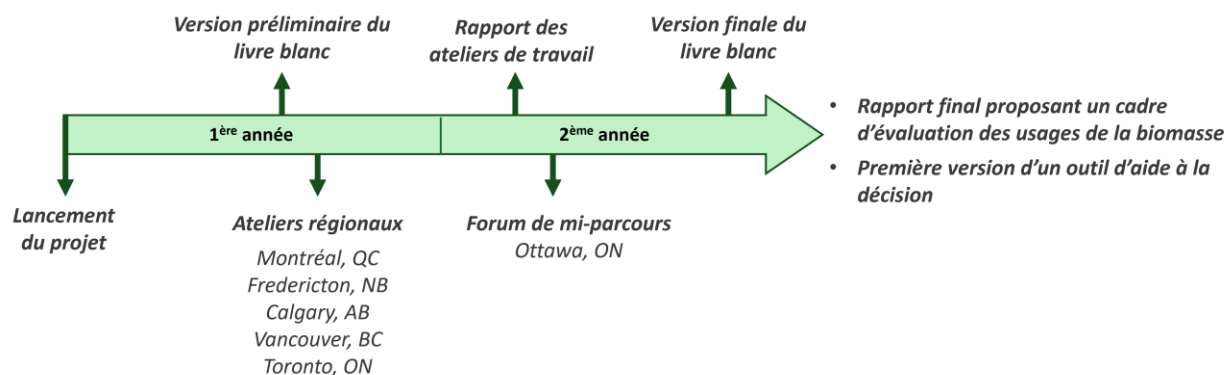
ISBN : 978-2-924597-27-9
Version 20250617

Pourquoi nous publions ce rapport et ce que vous y trouverez

La biomasse joue un rôle important dans les stratégies adoptées par le Canada en matière d'atténuation du changement climatique. Son utilisation doit donc être évaluée adéquatement afin de s'assurer que les projets mis en œuvre apporteront les bénéfices climatiques escomptés et éviter les situations où les efforts de décarbonation de différents secteurs pourraient s'avérer contre-productifs à la lutte contre les changements climatiques.

Compte tenu du développement de multiples technologies de conversion, des demandes concurrentes de divers secteurs économiques et de l'offre limitée de biomasse, quelles sont les trajectoires qui contribueraient le mieux à l'atteinte de la carboneutralité au Canada?

Au cours de ce projet qui a duré deux ans, nous avons cherché à répondre à cette question. Pour ce faire, nous avons étudié les pratiques actuelles et organisé des discussions avec des parties prenantes et des spécialistes. Cela nous a permis de codévelopper un cadre d'évaluation et de comparaison des utilisations de la biomasse dans le contexte de la transition vers une consommation carboneutre d'ici 2050.



Pour atteindre cet objectif, nous avons d'abord analysé l'état actuel de l'utilisation de la biomasse au Canada afin d'identifier les incertitudes et les lacunes dans les données disponibles. Le livre blanc préliminaire a servi de point de départ aux discussions avec les spécialistes et les parties prenantes sur les défis et les éléments à prendre en compte dans le codéveloppement du cadre d'évaluation. Les deux premières phases du projet nous ont permis de produire ce rapport final sur l'approche à adopter pour évaluer les utilisations de la biomasse dans un contexte de transition vers la carboneutralité.

Le présent rapport est donc divisé en deux grandes parties.

La première partie présente les principales caractéristiques de la biomasse et examine la façon dont la littérature scientifique et les inventaires nationaux suivent et analysent à ce jour le carbone biogénique. Elle explore ensuite les méthodes qui sont actuellement

employées dans la littérature pour comparer et évaluer les utilisations de la biomasse à l'échelle d'un projet ou d'une région.

La deuxième partie décrit l'approche proposée pour comparer et évaluer les utilisations de la biomasse et formule des recommandations visant à faire en sorte que les utilisations de la biomasse et la bioénergie contribuent à l'atteinte des objectifs climatiques du Canada.

Table des matières

Partie 1 : L'utilisation de la biomasse dans les trajectoires menant à la carboneutralité au Canada	1
1. Les émissions et les absorptions de carbone biogénique	2
1.1. Les stocks du carbone biogénique.....	4
1.2. L'hypothèse de la neutralité carbone	5
1.3. Le délai nécessaire pour obtenir des bénéfices en matière d'atténuation du changement climatique.....	6
1.4. Le suivi du carbone biogénique au Canada	9
1.4.1. Les forêts aménagées	10
1.4.1.1. Révisions dans le RIN du Canada en 2024.....	14
1.4.1.2. Révisions dans le RIN du Canada en 2025.....	17
1.4.2. Les terres cultivées	21
1.5. L'impact du changement climatique sur les stocks de carbone biogénique ...	22
1.6. L'importance des émissions négatives dans les trajectoires menant à la carboneutralité	26
2. Les méthodes servant à évaluer l'utilisation de la biomasse	29
2.1. Les critères et normes de durabilité.....	31
2.1.1. Description	31
2.1.2. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité	32
2.2. L'évaluation des bénéfices de l'utilisation de la biomasse pour l'atténuation du changement climatique.....	33
2.2.1. À l'échelle du projet	33
2.2.1.1. L'exclusion du CO ₂ biogénique	35
2.2.1.2. La variabilité entre projets similaires	36
2.2.1.3. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité....	37
2.2.2. À l'échelle régionale	38
2.2.2.1. Exemple à l'échelle nationale.....	40
2.2.2.2. Exemple à l'échelle provinciale.....	43

2.2.2.3.	Exemple à l'échelle locale	44
2.2.2.4.	Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité....	45
2.3.	Les outils d'aide à la décision	45
2.3.1.	Les outils axés sur l'utilisation finale/la demande	46
2.3.1.1.	Description	46
2.3.1.2.	Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité....	47
2.3.2.	Les outils axés sur l'utilisation des terres/des ressources	48
2.3.2.1.	Description	48
2.3.2.2.	Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité....	50
Partie 2 : Élaboration d'un cadre d'évaluation		51
3.	Approche proposée pour l'élaboration d'un cadre d'évaluation	51
3.1.	Une approche adaptée pour la biomasse	51
3.2.	Concept du cadre proposé	53
3.2.1.	Identifier et comparer les alternatives	53
3.2.2.	Impact sur l'atténuation du changement climatique.....	54
4.	L'outil d'aide à la décision <i>Biomass System Perspective</i>	57
5.	Recommandations	63
5.1.	Les lacunes en matière de données probantes.....	63
5.2.	De l'analyse à l'action.....	66
6.	Conclusion	69
7.	Références	72
Annexe 1 : Aperçu de la saison des incendies de l'année 2023 au Canada.....		84
Annexe 2 : Représentation schématique du flux de biomasse entre les industries, de la récolte à l'élimination, dans le secteur forestier du Québec.....		85
Annexe 3 : Bioproduits et technologies non basées sur l'utilisation de la biomasse présentés par secteur d'utilisation finale		86
Annexe 4: Liste des parties prenantes et des spécialistes qui ont participé aux ateliers de travail et/ou qui ont fourni des commentaires sur le livre blanc.....		98

Liste des figures

Figure 1-1 : Impact de la coupe à blanc sur les stocks de carbone dans un peuplement forestier de sapins baumiers et de bouleaux blancs	5
Figure 1-2 : Illustration du concept de « délai de remboursement de la dette en carbone » et de « délai nécessaire pour atteindre la parité carbone »	7
Figure 1-3 : Délai de parité carbone calculé pour différentes matières premières de la biomasse en cas de remplacement du charbon, du pétrole ou du gaz naturel (NG) pour la production de chaleur ou d'électricité	9
Figure 1-4 : Émissions des forêts aménagées combinant les terres forestières dont la vocation n'a pas changé (TFVPC) et les produits ligneux récoltés (PLR) dans le RIN du Canada en 2025.....	13
Figure 1-5 : Émissions des forêts aménagées combinant les terres forestières et les produits ligneux récoltés (PLR) dans le RIN du Canada en 2024 par rapport à l'approche précédente	14
Figure 1-6 : Émissions provenant des terres forestières publiées dans le RIN du Canada en 2023 et en 2024.....	16
Figure 1-7 : Représentations schématiques de la méthode de comptabilisation du « niveau de référence » (à gauche) et de la méthode de comptabilisation « net-net » (à droite)	19
Figure 1-8 : La contribution comptable de l'ATCATF dans le premier rapport biennal de transparence de Canada.....	20
Figure 1-9 : Émissions publiées dans le RIN du Canada en 2025 et provenant des terres cultivées dont la vocation n'a pas changé	22
Figure 1-10: Les superficies des zones brûlées en 2023 par les feux de forêts au Canada	25
Figure 1-11 : Captage et stockage des émissions dans les différents scénarios étudiés dans le rapport <i>Perspectives énergétiques canadiennes</i> de l'Institut de l'énergie Trottier	27
Figure 2-1 : Exemple d'analyse réalisée pour une étude de cas relative à une cascade de chaudières à copeaux de bois en Suisse	32
Figure 2-2 : Étapes du cycle de vie utilisées pour l'évaluation d'un bâtiment en bois	33
Figure 2-3 : Étapes du cycle de vie utilisées pour l'évaluation des biocarburants	34

Figure 2-4 : Différence entre les émissions comprises dans les scénarios de référence et les émissions produites lors de la digestion anaérobie dans l'ACV	37
Figure 2-5 : Représentation schématique de l'approche systémique utilisée pour analyser le potentiel d'atténuation du changement climatique de la bioénergie au Canada en détournant les résidus de l'exploitation forestière vers la bioénergie	40
Figure 2-6 : Potentiel cumulatif moyen d'atténuation du changement climatique de l'utilisation des résidus de la récolte forestière pour la production de bioénergie au Canada de 2017 à 2050	42
Figure 2-7 : Approche utilisée pour la création de la plateforme logicielle I-BIOREF développée par Ressources naturelles Canada en 2018.....	46
Figure 2-8 : Outil d'analyse multicritère pour l'utilisation industrielle de la biomasse.....	47
Figure 2-9 : Outil de modélisation CANBIO-HUB 2.0 pour les biohubs au Canada	49
Figure 2-10 : Cadre d'utilisation multifonctionnelle des terres développé pour le projet pilote du Cambridgeshire.....	50
Figure 3-1 : Représentation schématique d'une chaîne de valeur générale pour un projet d'utilisation de la biomasse	53
Figure 3-2 : Exemple illustrant la différence entre les limites prises en compte dans une évaluation de projet et une évaluation au niveau régional du potentiel des utilisations de la biomasse sur l'atténuation du changement climatique	55
Figure 4-1 : Représentation schématique de l'outil d'aide à la décision <i>Biomass System Perspective</i>	57

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Émissions de GES du secteur de l'ATCATF dans le RIN du Canada en 2025	11
Tableau 1-2 : Les valeurs historiques et les projections du flux net de GES et la contribution comptable pour le secteur de l'ATCATF	20
Tableau 2-1 : Exemples de bénéfices environnementaux publiés pour de projets de bioénergie.....	35
Tableau 2-2 : Facteurs de déplacement déterminés pour la bioénergie au niveau national au Canada	41
Tableau 4-1 : Indicateurs proposés pour l'intégration dans l'outil d'aide à la décision <i>Biomass System Perspective</i>	59
Tableau 5-1 : Les valeurs historiques et les projections du flux net de GES et la contribution comptable pour le secteur de l'ATCATF	66

Liste des encadrés

Encadré 1 : Définitions	1
Encadré 2 : La méthodologie de contribution comptable utilisée au Canada pour le secteur de l'affectation des terres, de changement d'affectation des terres et de foresterie (ATCATF) dans la comptabilisation des objectifs nationaux	19
Encadré 3: La saison des incendies au Canada en 2023.....	24
Encadré 4 : Qu'est-ce qu'un facteur de déplacement?	39

Partie 1 : L'utilisation de la biomasse dans les trajectoires menant à la carboneutralité au Canada

Bien que l'utilisation de la biomasse à des fins de production de bioénergie soit souvent considérée comme neutre en carbone, les ressources en biomasse et leurs utilisations finales sont diverses et inégales en ce qui concerne leur impact sur l'environnement. L'utilisation de la biomasse peut contribuer à l'atténuation du changement climatique dans différentes circonstances qui dépendent de nombreux facteurs, notamment le type de biomasse, l'efficacité de la conversion de la biomasse et le type des produits substitués.

Pour élaborer un cadre d'évaluation de la biomasse, il est nécessaire de tenir compte de ces facteurs qui rendent la bioénergie unique parmi les autres types d'énergie renouvelable. Bien comprendre ces facteurs est en effet essentiel pour saisir l'impact de nos choix lorsque nous développons de nouveaux projets visant à utiliser ces ressources, que ce soit à des fins énergétiques ou non-énergétiques.

La première partie de ce rapport explore donc les facteurs qui influencent les avantages de la bioénergie en matière d'atténuation du changement climatique, les méthodes utilisées pour suivre le CO₂ biogénique et celles employées pour évaluer les utilisations de la biomasse.

Encadré 1 : Définitions

Biomasse : matière organique provenant ou récemment dérivée d'organismes vivants. La biomasse inclut les sous-produits et les déchets d'origine végétale ou animale.

Bioénergie : énergie issue de toute forme de biomasse.

Biocombustible : tout type de combustible produit à partir de la biomasse.

Les biocombustibles peuvent être classés en fonction de leur forme physique en tant que biocombustibles gazeux (par exemple, le biogaz), biocombustibles liquides, (par exemple, le bioéthanol) et biocombustibles solides (par exemple, les granules de bois).

Les biocombustibles incluent les biocarburants, qui sont souvent classés selon leur génération. La première génération comprend les biocarburants produits principalement à partir de cultures agricoles telles que les céréales et les oléagineux. La deuxième génération comprend les biocarburants produits principalement à partir de la biomasse lignocellulosique telle que les résidus agricoles et forestiers ou les déchets municipaux solides. La troisième génération comprend les biocarburants dérivés de la biomasse aquatique telle que les algues, dont les procédés sont encore en cours de développement. Les deuxième et troisième génération sont également communément appelées biocarburants avancés (Allwood J.M. et al. 2014).

1. Les émissions et les absorptions de carbone biogénique

Messages clés du chapitre 1

- Si la bioénergie peut, dans certains cas, avoir des effets bénéfiques sur l'atténuation du changement climatique, elle n'est pas « neutre en carbone ». Les avantages en matière d'atténuation du changement climatique se produisent sur une certaine échelle de temps. Pour évaluer si la bioénergie apporte des avantages dans ce domaine, il est nécessaire de définir l'échelle de temps considérée. (**voir section 1.2**)
- Trois facteurs principaux peuvent augmenter ou réduire le temps nécessaire à la bioénergie pour apporter des avantages en matière d'atténuation du changement climatique : le type de matière première de la biomasse, l'efficacité de la conversion de la biomasse et le type de combustible fossile remplacé. (**voir section 1.3**)
- Les émissions de CO₂ provenant de la combustion de la biomasse forestière pour la production de bioénergie sont incluses dans le rapport d'inventaire national du Canada: l'hypothèse de la neutralité carbone dans l'inventaire ne s'applique qu'à la biomasse agricole annuelle. (**voir section 1.4**)
- Les forêts aménagées au Canada sont une source nette de carbone même si l'on exclut les perturbations naturelles : les absorptions dans les terres forestières ne suffisent pas à compenser les émissions qui sont déclarés dans le secteur ATCATF. (**voir section 1.4.1**)
- En 2023, la bioénergie a contribué à 39 % des émissions attribuées aux « Produits Ligneux Récoltés » du secteur ATCATF. (**voir section 1.4.1**)
- L'impact des usages de la biomasse sur les émissions de GES est réparti entre les secteurs d'affectation des terres, de l'énergie et des déchets. Il s'avère de plus en plus important d'améliorer la transparence des rapports examinant l'utilisation de la biomasse (e.g., production de la bioénergie). Cela nous permettrait de distinguer l'impact particulier des différentes activités humaines sur les émissions de GES totales du Canada. (**voir section 1.4.1**)
- Les terres cultivées ont été historiquement un puits net de carbone au Canada dans presque toutes les années déclarées dans l'inventaire national. Cependant, en 2022, elles ont été une source nette d'émissions en raison d'une sécheresse extrême. (**voir section 1.4.2**)

- Les résidus de culture contribuent à la séquestration du carbone dans les terres cultivées grâce à l'apport de carbone dans les sols. Cette contribution a le plus grand impact sur les émissions déclarées dans ce secteur. (**voir section 1.4.2**)
- Le changement climatique constitue une menace importante pour les stocks de carbone dans les secteurs de la foresterie et de l'agriculture, et il contribue déjà à l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes. (**voir section 1.5**)
- En raison de la saison des feux de forêts extrême au Canada en 2023, les émissions totales dues aux perturbations naturelles dans les forêts aménagées ont atteint un total de 1100 Mt de CO₂e. (**voir section 1.5**)
- Les forêts jouent un rôle considérable dans le bilan carbone atmosphérique mondial. Une augmentation importante des émissions provenant des forêts canadiennes et d'autres systèmes terrestres aurait des répercussions significatives sur les efforts de lutte contre les changements climatiques. (**voir section 1.5**)
- Comme le montrent les rapports du GIEC et les exercices de modélisation réalisés au Canada, il est nécessaire d'obtenir de très grandes quantités d'émissions négatives si l'on veut être en mesure d'atteindre la carboneutralité d'ici 2050 et compenser les émissions résiduelles qui sont difficiles à supprimer. (**voir section 0**)
- Étant donné que des émissions négatives sont nécessaires pour atteindre l'objectif de carboneutralité, il est crucial de comprendre la contribution potentielle du secteur de l'ATCATF et des technologies d'émissions négatives au Canada. (**voir section 0**)

1.1. Les stocks du carbone biogénique

Le carbone est stocké en différentes quantités dans les écosystèmes forestiers et agricoles, en surface ou en sous-sol, dans la biomasse, dans la matière organique morte et sous forme de carbone organique dans les sols minéraux. Le carbone biogénique est également stocké dans les produits à longue durée de vie fabriqués à partir de la biomasse, au cours de leur utilisation ou dans les lieux d'enfouissement jusqu'à leur décomposition complète (IPCC, 2001; Kurz et al., 2013; WWF, 2022).

L'accumulation nette de carbone dans la biomasse résulte de l'équilibre entre deux processus principaux, soit la quantité totale de CO₂ assimilée par l'écosystème à partir du processus de photosynthèse (production primaire brute) et la libération de CO₂ dans l'atmosphère en raison des pertes dues à la respiration des plantes (IPCC, 2000).

Dans les forêts anciennes, l'évolution de l'accumulation de carbone, qui est liée au vieillissement de la forêt, varie considérablement en fonction du type de forêt. Ainsi, les forêts peuvent être un puits de carbone, neutres en carbone ou une source de carbone. Leur statut en la matière dépend de leur composition et de leur âge, des activités d'aménagement et des perturbations naturelles qui ont un impact sur le taux de séquestration et les émissions de carbone (Harel, Thiffault et Paré, 2021).

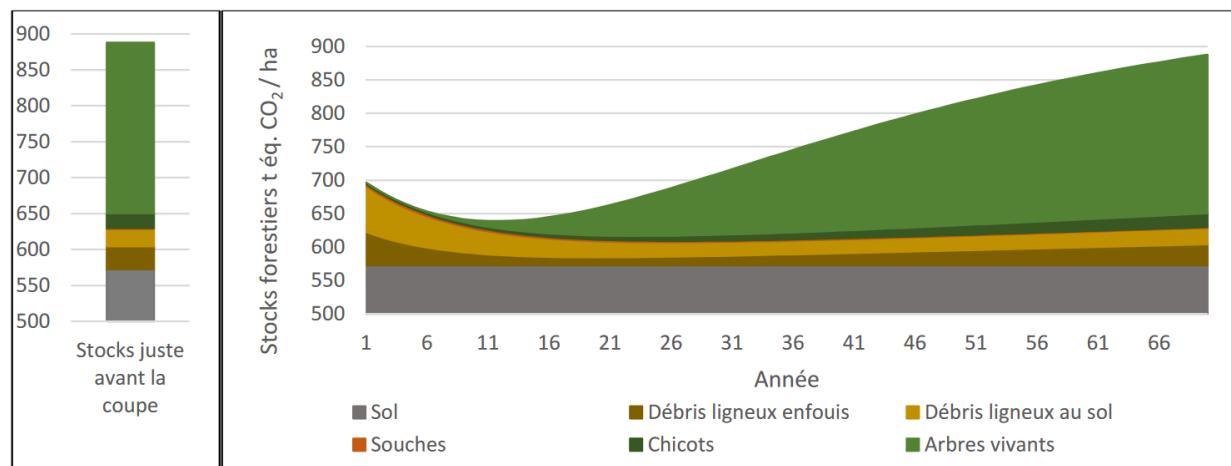
Les opérations de récolte modifient le taux d'accumulation de carbone dans les peuplements forestiers, car les jeunes arbres accumulent peu de biomasse au cours des 30 à 40 premières années de leur existence. La récolte génère également des résidus d'exploitation qui se décomposent et émettent du carbone au cours des années qui suivent la récolte.

Un peuplement forestier récemment exploité est une source nette d'émissions jusqu'à ce que l'accumulation de carbone dans la biomasse de remplacement dépasse les émissions entraînées par les activités de récolte (Gouvernement du Canada, 2024).

Ce phénomène s'applique particulièrement à la coupe à blanc. Dans ce cas, les émissions provenant de la décomposition des résidus au cours des 10 à 30 années suivant la coupe sont nettement plus élevées que la séquestration annuelle du carbone. D'autres types de récolte peuvent limiter les émissions nettes attribuées à la récolte (Moreau et al., 2023).

Inversement, la sylviculture à couvert continu entraîne moins de variation entre la séquestration du carbone par la photosynthèse et l'émission de carbone par la décomposition des résidus. Elle stimule en outre la croissance des arbres restants dans le peuplement forestier, ce qui permet d'atteindre un meilleur bilan carbone post-récolte (Moreau et al., 2023).

Figure 1-1 : Impact de la coupe à blanc sur les stocks de carbone dans un peuplement forestier de sapins baumiers et de bouleaux blancs



Source : Beauregard et al., 2019

Note: L'axe des x coupe l'axe des y à 500 t d'équivalent CO₂.

1.2. L'hypothèse de la neutralité carbone

La bioénergie est communément considérée comme neutre en carbone, car le carbone libéré lors de la combustion de la biomasse a été préalablement séquestré de l'atmosphère et le sera à nouveau lors de la repousse des plantes (IEA Bioenergy, 2024a).

Toutefois, il convient de noter que le terme « neutre en carbone » est utilisé de manière différente dans divers contextes, ce qui le rend souvent ambigu et, par conséquent, peu utile (IEA Bioenergy, 2024a).

Selon l'approche adoptée par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), toutes les émissions de CO₂ biogénique provenant de la combustion de la biomasse sont déclarées comme nulles dans le secteur de l'énergie. L'objectif de cette approche est principalement d'éviter le double comptage de ces émissions avec le secteur de l'agriculture, de la foresterie et des autres affectations des terres (AFAT) (Camia et al., 2021; IPCC, n.d.; Liu et al., 2017).

Les lignes directrices du GIEC ne supposent pas, ou ne considèrent pas automatiquement, que la biomasse utilisée pour la production d'énergie est « neutre en carbone », même dans les cas où l'on pense que la biomasse est produite de manière durable (Camia et al., 2021; IPCC, n.d.; Liu et al., 2017).

Même si les émissions de CO₂ provenant de la combustion de la biomasse sont déclarées nulles dans le secteur de l'énergie, cela ne doit pas être interprété comme une conclusion sur la durabilité ou la neutralité en carbone de la bioénergie.

Il est également important de distinguer l'approche utilisée pour déclarer les émissions de la biomasse agricole, pour laquelle la production est annuelle, de celle utilisée pour la biomasse forestière où les cycles de croissance et de décomposition sont plus longs.

Il est important de faire la distinction entre considérant la bioénergie comme étant neutre en carbone et considérant que la bioénergie présente un avantage en matière d'atténuation du changement climatique lorsqu'elle remplace un combustible fossile.

- **Être carboneutre sur une certaine échelle de temps = ne pas produire d'émissions nettes de GES** (ce qui signifie que le carbone émis lors de la combustion est compensé par le carbone séquestré dans la forêt).
- **Présenter un bénéfice en matière d'atténuation du changement climatique = les émissions cumulées de GES provenant de la bioénergie sont inférieures à celles des alternatives fossiles sur une certaine échelle de temps** (en raison de la séquestration ultérieure du carbone dans les forêts dans le cas de la bioénergie par rapport aux combustibles fossiles).

Le délai nécessaire pour que la quantité des émissions nettes des bioénergies devienne inférieur à celle des combustibles fossiles qu'elles remplacent détermine l'impact net de l'utilisation des bioénergies sur l'état de l'atmosphère d'ici à 2050. Les compromis temporels doivent être évalués sur la base du calendrier de l'objectif d'atténuation du changement climatique (Wang et al., 2022).

Comme indiqué dans d'autres études, il faut éviter de souscrire à l'hypothèse selon laquelle la bioénergie est « neutre en carbone » et ne produit pas d'émissions nettes de GES. Il est par ailleurs nécessaire d'estimer les émissions de la bioénergie de manière quantitative (Smyth, Kurz, et al., 2017).

L'utilisation de la bioénergie peut entraîner une augmentation ou une réduction des émissions par rapport au statu quo, en fonction de l'ampleur de son déploiement, de la technologie de conversion utilisée, du combustible remplacé, ainsi que de la manière et du lieu de production de la biomasse (IPCC, 2023).

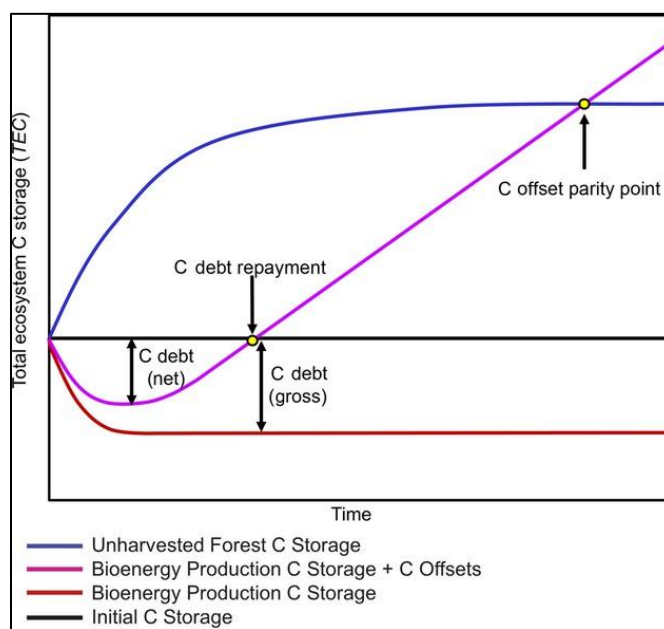
1.3. Le délai nécessaire pour obtenir des bénéfices en matière d'atténuation du changement climatique

Bien que la combustion de la biomasse ne soit pas neutre en carbone, les ressources en biomasse sont renouvelables et le carbone émis lors de leur combustion pourrait donc être séquestré à nouveau par la biomasse de remplacement.

La littérature fait référence au laps de temps qui s'écoule avant que les avantages en matière de réduction des GES atmosphériques ne soient obtenus en utilisant les expressions « délai de remboursement de la dette en carbone » ou « délai de parité carbone » (Laganière et al., 2017; Ter-Mikaelian et al 2015). Il convient toutefois de noter que ces termes ne sont pas équivalents (Figure 1-2).

- **Le délai de remboursement de la dette en carbone** ou « carbon debt repayment time » en anglais (également appelé délai de récupération du carbone ou période de récupération du carbone) fait référence au temps nécessaire pour retrouver le niveau de carbone d'avant la récolte (équilibre absolu du carbone).
- **Le délai nécessaire pour atteindre la parité carbone** ou « time to carbon parity » en anglais (également appelé période de parité carbone ou période d'équilibre) fait référence au temps nécessaire pour atteindre les niveaux de carbone d'un scénario de référence, soit les niveaux de carbone qui seraient mesurés si la récolte n'avait pas eu lieu (équilibre relatif du carbone).

Figure 1-2 : Illustration du concept de « délai de remboursement de la dette en carbone » et de « délai nécessaire pour atteindre la parité carbone »



Source : Mitchell, Harmon et O'Connell, 2012

Note : Dans la figure, le « délai de remboursement de la dette en carbone » et le « délai nécessaire pour atteindre la parité carbone » sont respectivement indiqués par les expressions en anglais « C debt repayment » et « C offset parity point ».

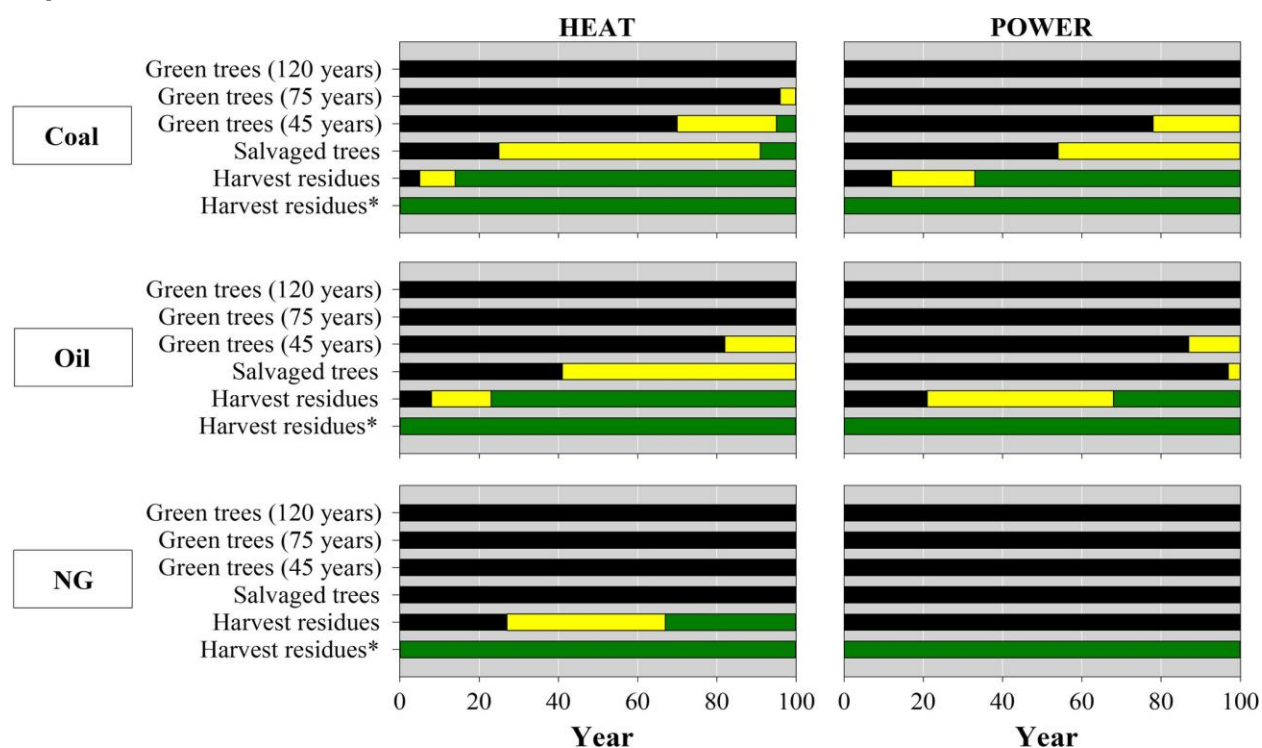
De nombreuses études ont analysé ces paramètres pour les systèmes bioénergétiques. Le temps nécessaire pour obtenir des avantages nets en matière d'atténuation des émissions de GES grâce à l'utilisation de la bioénergie dépend de différents facteurs. Parmi ceux-ci, notons l'efficacité de la conversion de la biomasse, les types de combustibles fossiles remplacés, les types de matières premières utilisés et leurs taux de décomposition respectifs si ces matières ne servent pas à la production de bioénergie.

La Figure 1-3 présente les résultats du calcul du délai de parité carbone pour les matières premières de la biomasse utilisées pour la production de chaleur ou d'électricité en remplacement du charbon, du pétrole ou du gaz naturel.

Comme le montre ce graphique, le temps nécessaire pour atteindre la parité dépend des trois facteurs principaux suivants :

- (1) **Le type de matière première de la biomasse** : l'utilisation des résidus de récolte présente le délai de parité carbone le plus court par rapport aux bois récupérés des arbres récemment brûlés et aux arbres verts pour la même utilisation d'énergie et le même combustible fossile remplacé. Bien que les résidus de récolte ne séquestrent pas du carbone additionnel, le carbone qu'ils contiennent serait progressivement émis dans le cadre d'un scénario de statu quo (BAU) s'ils n'étaient pas utilisés pour produire de la bioénergie. Si, dans le scénario BAU, la façon de traiter les résidus de récolte consiste à les brûler, le délai de parité carbone sera nul puisque le carbone sera émis la même année dans un cas comme dans l'autre. Si les résidus de récolte sont laissés dans la forêt et se décomposent progressivement, le délai de parité carbone se situera entre 5 et 67 ans (Laganière et al., 2017; Smyth, Kurz, et al., 2017; Ter-Mikaelian et al., 2015).
- (2) **L'efficacité de la conversion du système bioénergétique** : si des quantités plus importantes de matières premières de la biomasse sont nécessaires pour obtenir les mêmes GJ que ceux produits par l'énergie fossile remplacée, les émissions plus importantes entraînées par l'utilisation de la bioénergie augmenteront le délai de parité carbone. Par exemple, les chercheurs de cette étude ont constaté qu'une amélioration de l'efficacité de 9 % réduisait le délai de parité carbone de 54 à 12 ans pour les bois récupérés des arbres morts qui sont utilisés en remplacement du charbon dans la production d'électricité. Aucun avantage en matière de GES n'a été constaté pour les arbres verts dans un délai de 100 ans avec toutes les efficacités étudiées, lesquelles se situaient entre 26 % et 35 %.
- (3) **Le type de combustible fossile remplacé** : comme le montre la Figure 1-3, plus le facteur d'émission du combustible fossile remplacé est élevé, plus le délai de parité carbone de la bioénergie est court. Par exemple, lorsque les résidus de récolte sont utilisés pour remplacer le charbon à des fins de chauffage, le temps nécessaire pour atteindre la parité carbone est inférieur à 15 ans. Toutefois, lorsque les résidus de récolte sont utilisés pour remplacer le gaz naturel à des fins de chauffage, le temps nécessaire pour atteindre la parité carbone peut aller jusqu'à 67 ans.

Figure 1-3 : Délai de parité carbone calculé pour différentes matières premières de la biomasse en cas de remplacement du charbon, du pétrole ou du gaz naturel (NG) pour la production de chaleur ou d'électricité



Source : Laganière et al., 2017

Notes : ¹ la couleur noire indique la durée de la dette carbone. Le jaune indique une phase durant laquelle il n'est pas certain qu'il y ait un bénéfice en matière de carbone. Le vert indique la phase durant laquelle il y a un bénéfice en matière de carbone. ² Les facteurs d'efficacité de conversion utilisés pour la production de chaleur et d'électricité sont respectivement les suivants : 75 % et 26 % pour la biomasse, 80 % et 33 % pour le charbon, 82 % et 35 % pour le pétrole et 85 % et 45 % pour le gaz naturel. ³ Les résidus de récolte signalés par un astérisque font référence aux résidus brûlés en bordure de route dans le scénario de statu quo, par opposition aux résidus de récolte (sans astérisque) qui sont laissés à décomposer dans la forêt.

1.4. Le suivi du carbone biogénique au Canada

Le GIEC ne fournit pas de cadre pour évaluer les émissions de la bioénergie en tant que secteur industriel. Cependant, il exige une couverture complète de tous les secteurs du GIEC, y compris ceux de l'AFAT et de l'énergie. Ces deux secteurs combinés comprennent les émissions de CO₂ et d'autres GES provenant de l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques au niveau national.

Il importe de noter que, dans les inventaires nationaux, les absorptions et les émissions biogéniques sont rapportés différemment pour la biomasse forestière et la biomasse agricole (IPCC, n.d.).

En ce qui concerne les émissions biogéniques de CO₂ provenant de la biomasse forestière et agricole, notons les faits suivants :

- **Les émissions de CO₂ provenant de la combustion de la biomasse ne sont pas déclarées pour la biomasse agricole**, car le carbone libéré pendant le processus de combustion est supposé être réabsorbé par la végétation au cours de la saison de croissance suivante. Les émissions nettes sont donc quasiment nulles au cours d'une année. Cette méthode s'applique à la production annuelle de biomasse agricole, comme la production de maïs, de blé, de canne à sucre, etc.
- La situation est plus complexe pour la biomasse forestière en raison des cycles plus longs de croissance et de séquestration du carbone. **Les émissions de CO₂ provenant de la combustion de la biomasse forestière sont incluses dans les émissions de CO₂ du secteur AFAT** grâce à l'estimation des changements dans les stocks de carbone résultant de la récolte de la biomasse, et ce, même si les émissions ont physiquement lieu dans le secteur de l'énergie ou dans d'autres secteurs.

En ce qui concerne les émissions biogéniques provenant de la biomasse forestière et agricole qui ne sont pas constituées de CO₂, notons les faits suivants :

- Les émissions de CH₄ et de N₂O sont déclarées dans le **secteur de l'énergie** si la biomasse est brûlée à des fins énergétiques, étant donné que ces émissions ne peuvent pas être estimées à l'aide des méthodes de mesure de la variation des stocks de carbone de l'AFAT.
- Les émissions de CH₄ et de N₂O provenant de la partie biogénique des déchets brûlés sans récupération d'énergie sont déclarées dans le **secteur des déchets**.

Cette approche vise à fournir une image complète des émissions liées à l'utilisation de la bioénergie et à éviter la double comptabilisation des émissions dans les secteurs AFAT.

1.4.1. Les forêts aménagées

Les forêts aménagées sont des terres forestières subissant des interventions et actions humaines à des fins productives, écologiques ou sociales (IPCC 2006).

Les pays rendent compte des émissions et des absorptions de carbone provenant des terres aménagées dans la catégorie de *l'affectation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie* (ATCATF) du Rapport d'inventaire national (RIN) de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) (voir Tableau 1-1). Il est important de noter que les pays utilisent toutefois des approches d'estimations très différentes pour calculer les émissions et les absorptions de carbone dans le secteur de l'ATCATF (Smith et al., 2023).

Les terres aménagées sont utilisées par les pays comme un indicateur, ou « proxy » en anglais, pour l'estimation des émissions et des absorptions anthropiques, partant du

principe que les effets anthropiques prédominent sur les terres aménagées. Quant aux émissions et aux absorptions sur les terres aménagées, elles peuvent représenter une combinaison d'effets anthropiques et naturels (IPCC 2019).

Au Canada, les émissions et les absorptions dans les forêts aménagées qui sont dues aux composantes anthropiques sont déclarées dans le RIN. Quant à la composante de perturbations naturelles, les émissions sont suivies et présentées dans le RIN mais ne sont pas déclarées (Tableau 1-1).

Tableau 1-1 : Émissions de GES du secteur de l'ATCATF dans le RIN du Canada en 2025

Catégorie sectorielle	Flux net de GES ¹ (Mt CO ₂ e)							
	1990	2005	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Terres forestières (composante anthropique)	73	140	60	40	40	34	22	24
Produits Ligneux Récoltés	-38	-57	-24	-18	-10	-12	-4	-5,1
Terres cultivées	5,5	-20	-20	-15	-13	-16	25	-22
Prairies ²	0	0	0	0	0	0	0	0
Terres humides	5,1	2,7	2,5	2,7	2,9	2,8	2,6	2,6
Établissements	4,8	4,7	5,4	5,3	5,3	5,5	5,2	5
ATCATF total (déclaré)	50	66	24	15	25	15	51	4
Perturbations naturelles dans les forêts aménagées (suivi mais non déclaré)	-120	12	250	160	2,7	290	87	1 100

Source : Gouvernement du Canada, 2025

Notes:

¹ Les valeurs positives indiquent les émissions de GES et les valeurs négatives indiquent les absorptions de CO₂ par la biomasse.

² Les émissions des prairies sont comprises entre 0,7 et 1,3 kt CO₂e.

Toutes les émissions de carbone biogénique provenant de la biomasse récoltée dans les forêts canadiennes sont suivies et déclarées au Canada, que cette biomasse soit exportée ou non. Le modèle du bilan du carbone du secteur forestier canadien (MBC-SFC3) est utilisé pour suivre et rendre compte du bilan du carbone forestier dans les forêts aménagées au Canada. Il permet de suivre la quantité de carbone récoltée annuellement et exportée vers le pool des produits ligneux récoltés (PLR).

L'approche utilisée au Canada pour déclarer le flux de GES dans la catégorie des produits ligneux récoltés (PLR) est l'approche de décomposition simple décrite dans la révision 2019 de l'édition 2006 des lignes directrices du GIEC (Gouvernement du Canada, 2025). Cette approche permet de suivre le devenir du carbone dans toute la biomasse forestière récoltée au Canada et ensuite consommée au pays ou à l'étranger incluant les produits de bois de courte et de longue durée de vie ainsi que le bois brûlé pour la bioénergie.

Le modèle du Système national de surveillance, de comptabilisation et de production de rapports concernant le carbone des forêts pour les produits ligneux récoltés (SNSCPRCF-PLR) est utilisé par le Service canadien des forêts pour produire la composante annuelle du carbone provenant des PLR comprise dans le Rapport d'inventaire national des GES du Canada. Ce modèle sert à estimer et rendre compte du devenir du carbone récolté dans les forêts canadiennes (Canada, 2022).

La quantité annuelle de carbone dans le bois récolté, calculée à l'aide du modèle MBC-SFC3, est utilisée comme entrée dans le modèle SNSCPRCF-PLR. Les quantités de bois servant au chauffage résidentiel et le volume des déchets de bois industriels utilisés pour la production de bioénergie sont fournis par le secteur de l'énergie et ajoutés au modèle. Les émissions provenant de la combustion de la biomasse ligneuse dans le secteur de l'énergie sont regroupées en deux catégories, soit le bois de chauffage résidentiel et les déchets de bois industriels. La troisième catégorie d'émissions provenant de la combustion de la biomasse, qui s'applique à l'éthanol et au biodiesel, est supposée ne pas être produite à partir du bois.

Comme indiqué dans le RIN, tout le bois récolté et transféré de la forêt au pool de PLR est inclus dans le modèle PLR. Toutefois, certains produits, tels que les granules de bois, ne sont pas explicitement identifiés comme des sorties distinctes en raison d'un manque d'informations. Ils sont alors ajoutés à tous les déchets résiduels identifiés comme « déchets d'usinage ». Tout le bois utilisé pour la production de bioénergie, comme les copeaux et les granules, est quantifié et supposé être oxydé au cours de l'année de la récolte (Gouvernement du Canada, 2020).

Après la récolte, la quantité de carbone stockée dans les produits du bois et émise dans d'autres secteurs est suivie et déclarée dans la catégorie PLR. Les émissions des produits de bois dans PLR sont calculées en appliquant des paramètres de demi-vie du produit en cours d'utilisation en fonction du type de produit et de l'emplacement géographique de son utilisation. Les émissions provenant de la décomposition des résidus de récolte laissés dans la forêt sont déclarées dans la catégorie des terres forestières.

Les activités de récolte et la consommation puis l'élimination des PLR ont un impact sur les émissions nettes du secteur forestier à court et à long terme, ce qui complique le suivi de l'impact des activités spécifiques. Le flux annuel de carbone provenant de l'élimination des PLR est déclaré dans le RIN selon les sous-catégories suivantes : Bois massif, pâtes et papiers, résidus d'usine non utilisés, bioénergie industrielle et bioénergie résidentielle.

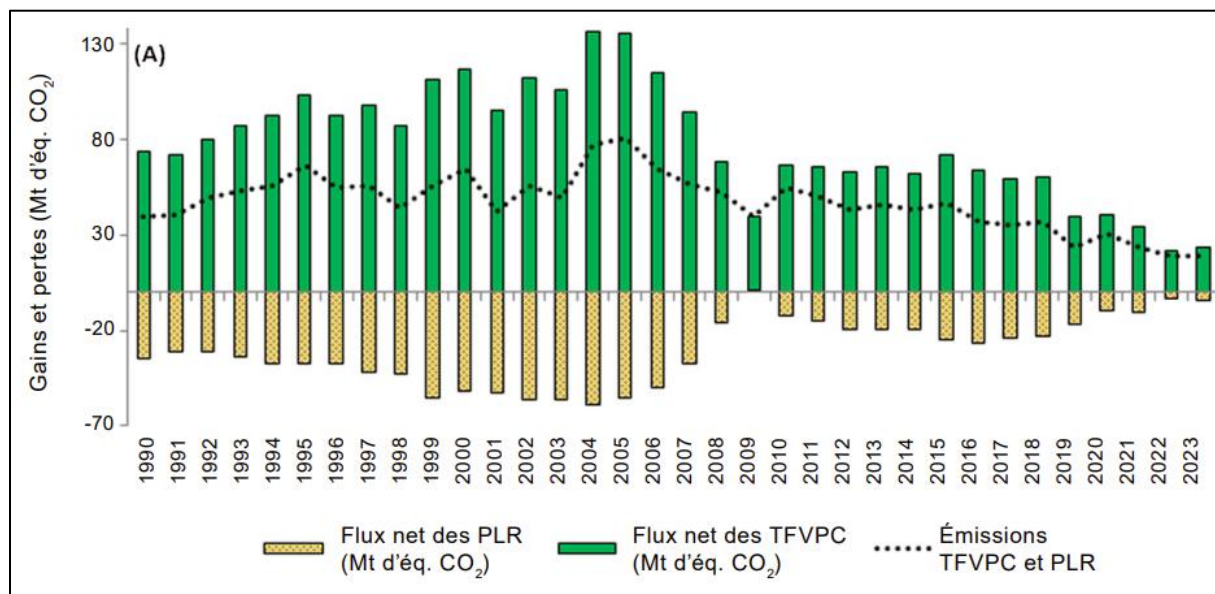
Si la quantité de carbone absorbée par les forêts reste supérieure à ces émissions de carbone, incluant les émissions provenant de la combustion et la décomposition des produits du bois au cours d'une année donnée, les forêts constituent un puits de carbone. Toutefois, dans toutes les séries chronologiques présentées dans le RIN 2025, les forêts ont été classées comme étant des sources de carbone.

La somme des émissions, des absorptions et des transferts de carbone déclarées dans les catégories « terres forestières » et « PLR » représente le flux net annuel de carbone dans les forêts aménagées (Figure 1-4).

Environ 33 % des émissions de la catégorie PLR en 2023 proviennent des produits du bois à longue durée de vie (*par exemple, le bois scié utilisé dans la construction qui atteint la fin de sa durée de vie utile*), 25 % des produits à courte durée de vie (*par exemple, les pâtes et papiers*) et 39 % de la bioénergie (Gouvernement du Canada, 2025).

Il convient de noter qu'au Canada, la bioénergie est principalement utilisée dans l'industrie forestière. Le secteur des pâtes et papiers est le plus grand utilisateur de bioénergie, en particulier à partir des déchets de bois et des liqueurs usées de cuisson pour la production d'électricité et de vapeur (IEA Bioenergy, 2024b; NRCan, 2024b).

Figure 1-4 : Émissions des forêts aménagées combinant les terres forestières dont la vocation n'a pas changé (TFVPC) et les produits ligneux récoltés (PLR) dans le RIN du Canada en 2025



Source: Gouvernement du Canada, 2025

1.4.1.1. Révisions dans le RIN du Canada en 2024

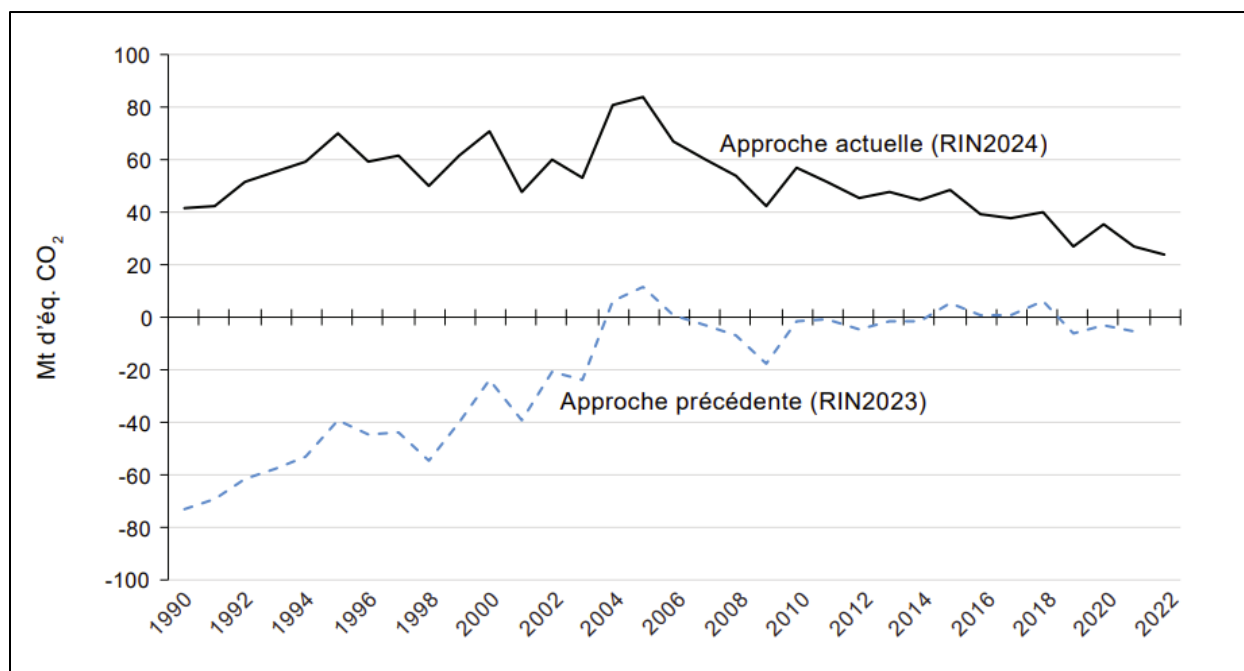
De nouveaux calculs ont été effectués en 2024 dans le Rapport d'inventaire national du Canada pour le secteur ATCATF. Cela a eu un impact important sur les émissions estimées, principalement en raison d'une révision des zones de récolte historiques.

Cette révision a réduit de 34 millions d'hectares (Mha) la superficie des forêts aménagées précédemment incluses dans la « composante anthropique ». Ces changements ont déplacé les absorptions de carbone comptabilisées dans ces zones de la composante « anthropique » à la composante « perturbations naturelles », réduisant ainsi la quantité d'absorptions de carbone attribuée à la composante anthropique.

Une modification de l'estimation du stock de matière organique morte (MOM) dans la forêt aménagée a également eu pour effet d'accroître le volume des émissions dues à la décomposition. La Figure 1-5 montre l'impact de la nouvelle approche sur les émissions du secteur forestier (terres forestières + PLR).

Ces corrections font passer le secteur ATCATF d'un puits de carbone net à une source de carbone nette sur l'ensemble de la série chronologique de l'inventaire.

Figure 1-5 : Émissions des forêts aménagées combinant les terres forestières et les produits ligneux récoltés (PLR) dans le RIN du Canada en 2024 par rapport à l'approche précédente



Source : Gouvernement du Canada, 2024

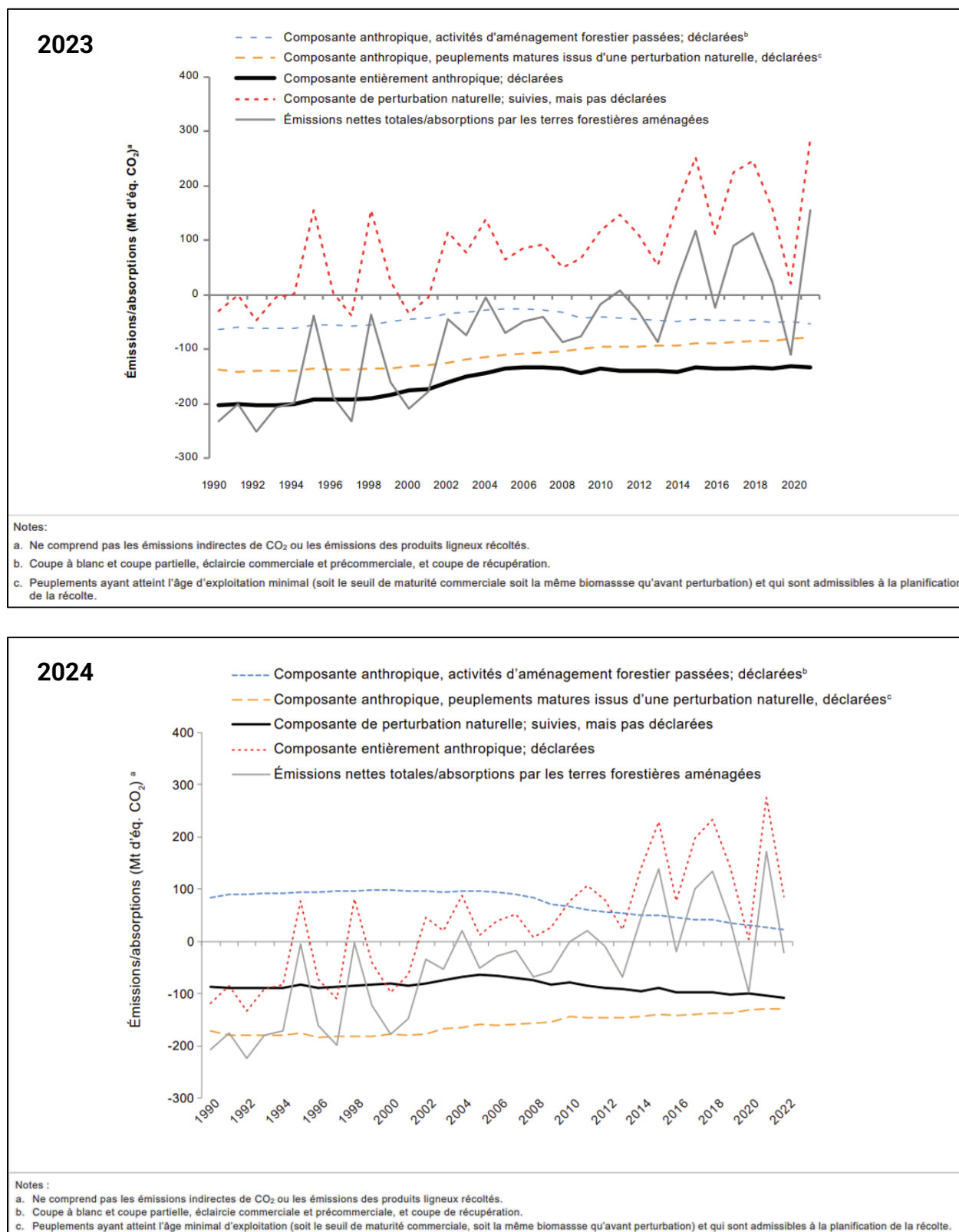
Tel que mentionné précédemment, les émissions et les absorptions sur les terres aménagées peuvent représenter une combinaison des effets anthropiques et naturels (IPCC 2019).

Les absorptions du carbone estimées, qui sont déclarées dans la catégorie des terres forestières dans la composante anthropique, comprennent les flux nets provenant des peuplements forestiers qui sont issus de la récolte ou qui se sont rétablis à la suite de perturbations naturelles.

Dans la publication de 2024, la composante anthropique des peuplements directement touchés par les activités antérieures d'aménagement forestier sont passés des absorptions nettes, à des émissions nettes (lignes pointillées de couleur bleue dans la Figure 1-6).

Dans le RIN du Canada, la séquestration du carbone par les forêts provient principalement des peuplements qui ont été affectés par des perturbations naturelles et qui ont repoussé jusqu'au niveau de maturité commercial ou à leur niveau antérieur aux perturbations; ces peuplements font partie de la composante anthropique (lignes pointillées de couleur orange dans la Figure 1-6).

Figure 1-6 : Émissions provenant des terres forestières publiées dans le RIN du Canada en 2023 et en 2024



Sources: Gouvernement du Canada, 2023; Gouvernement du Canada, 2024

1.4.1.2. Révisions dans le RIN du Canada en 2025

D'importantes révisions de l'approche de déclaration du Canada pour le secteur de l'ATCATF ont également été apportées dans le RIN 2025. L'objectif de ces révisions était d'améliorer la comparabilité de l'approche de déclaration du Canada sur les PLR avec ceux d'autres pays, de mieux saisir l'impact immédiat de la récolte sur les stocks de carbone forestier et le rôle important des PLR en tant que réserve mondiale de carbone (Gouvernement du Canada, 2025).

Ces changements ont modifié de manière significative la déclaration interne entre les catégories de terres et de PLR, mais ils n'ont pas d'impact net sur les émissions et les absorptions déclarées dans le secteur de l'ATCATF.

La déclaration dans la catégorie des terres forestières inclut désormais les flux de carbone dans les produits de bois hors de l'écosystème forestier (en tant que perte de carbone) qui sont ensuite transférés dans la catégorie PLR (en tant que gain de carbone). La catégorie des terres forestières ne comprenait auparavant que les absorptions de CO₂ de l'atmosphère et les émissions provenant de la décomposition de la biomasse dans l'écosystème forestier.

En ce qui concerne la catégorie PLR, la déclaration dans cette catégorie représente désormais la différence entre les apports annuels de carbone au pool PLR (en tant que gain de carbone) et les émissions annuelles provenant de l'élimination des produits ligneux récoltés ou de la combustion. Auparavant, cette catégorie ne déclarait que les émissions brutes annuelles provenant de l'élimination ou de la combustion des produits du bois.

Les modifications appliquées dans la déclaration de la catégorie PLR (soustraction de - 137 Mt pour 2022) sont entièrement compensées par les modifications appliquées dans la catégorie Terres forestières (ajout de +132 Mt pour 2022) et dans les catégories de conversion des forêts en terres cultivées, établissements et terres humides (ajout de +5 Mt pour 2022). Ces changements ont fait passer la catégorie des terres forestières d'un puits net à une source nette, tandis qu'ils ont simultanément fait passer la catégorie PLR d'une source d'émissions brutes à un gain net de stockage de carbone. Le fait de déclarer la catégorie PLR comme un gain net de carbone résulte du fait que les entrées annuelles de carbone provenant des nouveaux produits du bois récoltés sont supérieures aux flux des émissions de carbone sortant du pool PLR.

Malgré les changements importants apportés aux catégories de déclaration, les émissions nettes du secteur forestier n'ont pas changé dans le RIN 2025. Seuls des recalculs mineurs ont été effectués en raison de certaines modifications de la méthodologie.

Par conséquent, les forêts aménagées au Canada restent une source nette d'émissions sur l'ensemble de la série chronologique de l'inventaire.

Tel que mentionné dans le RIN du 2025 :

Les émissions et absorptions déclarées pour l'ensemble du secteur forestier – incluant la forêt aménagée et les produits ligneux récoltés, mais excluant la composante des perturbations naturelles – montrent que la gestion humaine de ce secteur constitue une source nette de carbone vers l'atmosphère et les stocks mondial des déchets (Gouvernement du Canada, 2025, section 6.3 du RIN).

Encadré 2 : La méthodologie de contribution comptable utilisée au Canada pour le secteur de l'affectation des terres, de changement d'affectation des terres et de foresterie (ATCATF) dans la comptabilisation des objectifs nationaux

Afin de comptabiliser les émissions du secteur de l'ATCATF dans le suivi du progrès réalisé par le pays dans l'atteinte de ses objectifs nationaux, la « contribution comptable de l'ATCATF » est calculée et ensuite elle est ajoutée aux émissions nettes totales de GES au Canada.

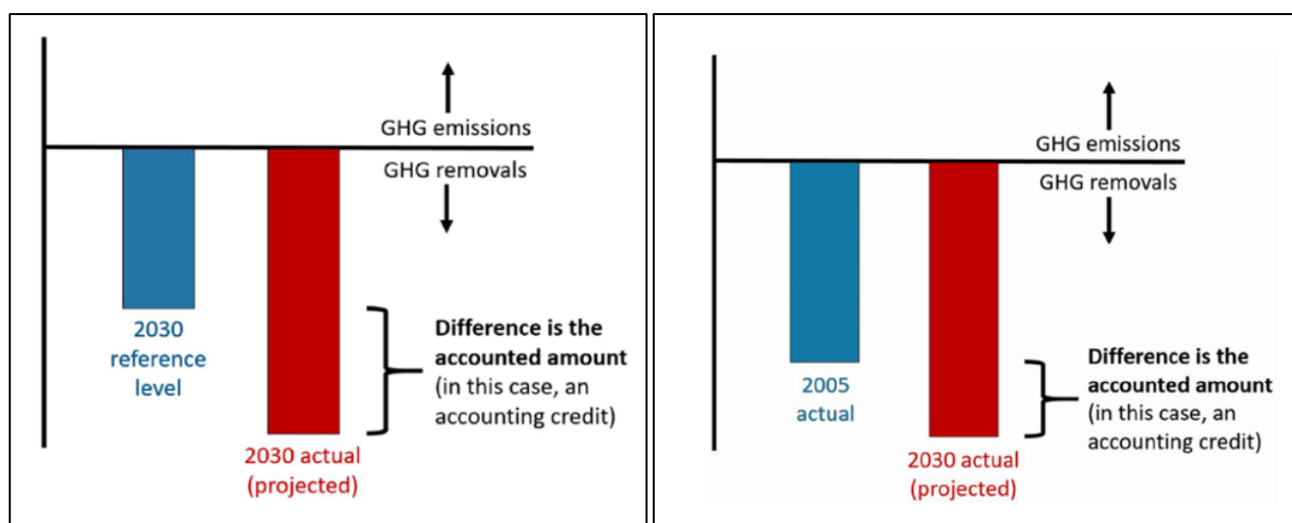
Il est important de noter que cette « contribution comptable de l'ATCATF » n'est pas équivalente au total des émissions du secteur ATCATF déclarées dans le rapport d'inventaire national.

Pour estimer la contribution comptable de l'ATCAF, le Canada utilise la comptabilité du « niveau de référence » pour les forêts aménagées (terres forestières et produits ligneux récoltés. Pour les autres secteurs de l'ATCATF, on a recours à une simple approche « net-net » qui permet de comparer les émissions de l'année de déclaration à une année de référence (2005) (Figure 1-7).

Dans la méthode de comptabilité du « niveau de référence », les réductions d'émissions provenant des forêts aménagées sont calculées comme étant la différence entre les émissions des forêts dans l'année de déclaration et les émissions estimées pour la même année qui auront eu lieu si les pratiques d'aménagement antérieures ont été maintenues comme dans le scénario de statu quo (un niveau prédéfini pour cette année-là sur la base d'une modélisation d'un scénario de référence dans lequel le niveau de récolte historique est maintenu constant) (ECCC, 2023).

En conséquence, en 2022, la contribution comptable de l'ATCATF était de +12 Mt CO₂e, tandis que les émissions nettes du secteur de l'ATCATF déclarées dans l'inventaire national étaient de +51 Mt CO₂e en 2022.

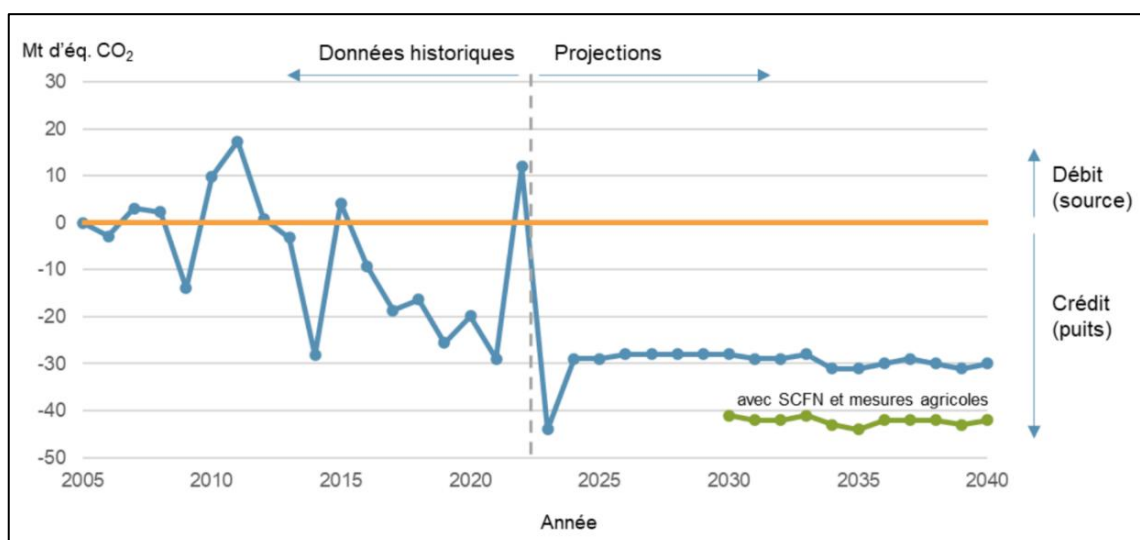
Figure 1-7 : Représentations schématiques de la méthode de comptabilisation du « niveau de référence » (à gauche) et de la méthode de comptabilisation « net-net » (à droite)



Source: RNCAN, 2022

La contribution comptable du secteur de l'ATCATF au Canada est généralement sous forme d'un puits de carbone (crédit), mais elle est devenue une source d'émissions (débit) en 2022 (Figure 1-8). Cette contribution a été particulièrement élevée en 2022 en raison de l'augmentation des émissions dans les terres cultivées à la suite de l'extrême sécheresse de 2021.

Figure 1-8 : La contribution comptable de l'ATCATF dans le premier rapport biennal de transparence de Canada



Source : Gouvernement du Canada, 2024b

En 2022, les émissions totales de GES du Canada (à l'exclusion de l'ATCATF) s'élevaient à 708 Mt CO₂e. En ajoutant la contribution comptable de l'ATCATF de +12 Mt CO₂e pour 2022, les émissions de GES du Canada s'élevaient à 720 Mt CO₂e.

Les projections de la contribution comptable de l'ATCATF montrent que cette contribution devrait rester un crédit d'environ -30 Mt CO₂e aux émissions de GES du Canada jusqu'en 2040.

En ce qui concerne les émissions nettes du secteur ATCATF, les projections récentes du Canada (publiées en février 2025) montrent une diminution des émissions pour atteindre des émissions négatives à partir de 2023.

Tableau 1-2 : Les valeurs historiques et les projections du flux net de GES et la contribution comptable pour le secteur de l'ATCATF

Secteur ATCATF	Historique du flux de GES (Mt CO ₂ e)			Projections du flux de GES (Mt CO ₂ e)				
	2021	2022	2023	2023	2025	2030	2035	2040
Flux net de GES	+14 ^{a, b, c}	+51 ^{a, b, c}	+4.2 ^a	-12 ^c	-4 ^{b, c}	-18 ^{b, c}	-25 ^{b, c}	-23 ^{b, c}
Contribution comptable	-29 ^{b, c}	+12 ^{b, c}	NA	-44 ^c	-29 ^{b, c}	-28 ^{b, c}	-31 ^{b, c}	-30 ^{b, c}

Sources: Gouvernement du Canada, 2024b; Gouvernement du Canada, 2025; ECCC, 2025

Notes: ^a Publié dans le rapport d'inventaire national du Canada du 2025

^b Publié dans le premier rapport biennal de transparence du Canada le 30 décembre 2024

^c Données des projections actuelles du Canada publiées depuis février 2025 sur le site internet de ECCC

^d Certaines valeurs diffèrent de 1 à 2 Mt CO₂e d'une référence à une autre. Pour améliorer la clarté de l'information présentée dans le tableau, seulement une valeur est affichée.

1.4.2. Les terres cultivées

Les émissions provenant des terres cultivées au Canada sont déclarées dans le secteur ATCATF. Ces émissions comprennent les émissions et les absorptions de CO₂ provenant des sols minéraux, de la culture des sols organiques et de la perte de la biomasse ligneuse dans les terres agricoles.

Comme indiqué précédemment, les émissions de CO₂ provenant de la combustion des cultures annuelles sont considérées comme étant neutres et ne sont pas déclarées dans le RIN. Les émissions et absorptions de CO₂ dans la catégorie « Terres cultivées » sont influencées par l'apport de carbone organique dans les sols minéraux. Elles dépendent donc des changements qui surviennent dans la productivité des cultures et le taux de décomposition du carbone organique du sol (COS).

Une partie de la biomasse ligneuse récoltée sur les terres agricoles est utilisée pour la bioénergie résidentielle. Les émissions associées à la perte de la biomasse ligneuse sont déclarées en tant qu'émissions dans les terres cultivées et transférées à la catégorie PLR. En 2023, ces émissions représentaient 0,4 Mt CO₂e des émissions de bois de chauffage du PLR.

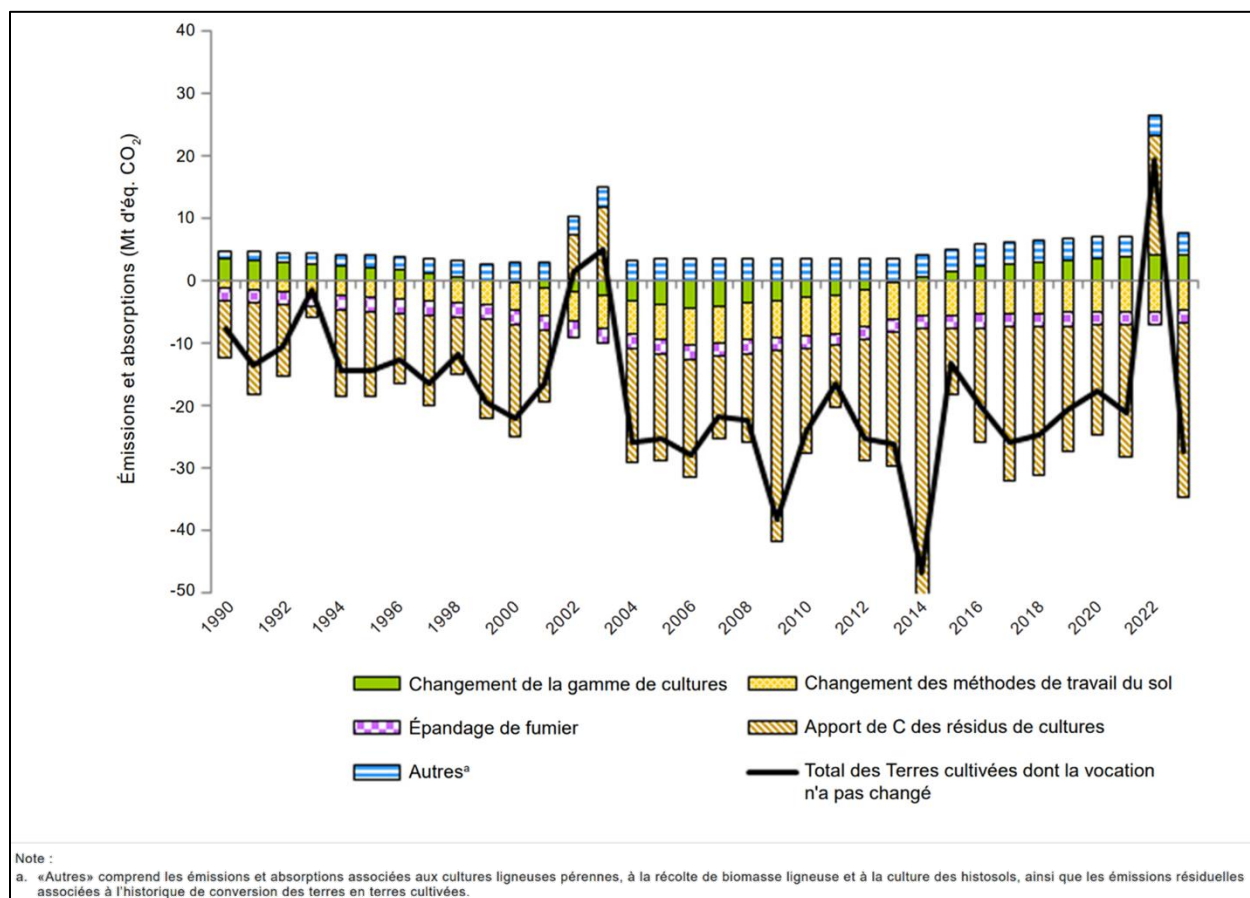
Les résidus de culture contribuent à la majorité des absorptions du CO₂ dans cette catégorie due à la rétention du carbone organique par les sols. Une petite partie de l'absorption du carbone est aussi due à l'épandage de fumier sur les sols agricoles (Figure 1-9). Les changements dans la gestion des terres cultivées (conversion de cultures pérennes en cultures annuelles, conversion de terres forestières en terres cultivées, etc.) ont donc un impact sur le volume des émissions et des absorptions dans ce secteur. Plusieurs facteurs ont une incidence sur l'apport de carbone dans les sols, tels que les changements dans productivité des cultures agricoles, le recours à la mise en jachère et les changements dans les pratiques de gestion des sols, comme l'adoption du travail de conservation du sol ¹.

Dans le RIN du Canada, les terres cultivées ont été un puits de carbone net dans presque toutes les séries chronologiques. Cependant, exceptionnellement en 2022, elles ont été une source nette d'émissions de 25 Mt, ce qui était associé à la sécheresse qui est survenue en 2021 dans l'ouest du Canada (Gouvernement du Canada, 2025).

Les variations météorologiques et les épisodes de sécheresse ont un impact considérable sur les rendements des cultures et les apports de carbone aux sols et, par conséquent, sur les émissions provenant des terres cultivées.

¹ Le travail de conservation du sol consiste à conserver la majeure partie des résidus de culture à la surface, contrairement au travail conventionnel qui consiste à incorporer la majeure partie des résidus dans le sol (Li et al. 2012).

Figure 1-9 : Émissions publiées dans le RIN du Canada en 2025 et provenant des terres cultivées dont la vocation n'a pas changé



Source: Gouvernement du Canada, 2025

1.5. L'impact du changement climatique sur les stocks de carbone biogénique

Le changement climatique affecte déjà les stocks de carbone biogénique au Canada et les effets des conditions météorologiques extrêmes devraient s'intensifier avec le réchauffement du climat.

Dans les écosystèmes agricoles, le changement climatique a rendu les sécheresses plus fréquentes et plus graves. Avec l'intensification du réchauffement climatique, le secteur agricole du pays fait face à des risques importants. Par exemple, en 2021, une grave sécheresse en Saskatchewan, considérée comme la pire depuis près de deux décennies, a eu un impact sur la production agricole, celle-ci se trouvant réduite de 47 % (Canadian Climate Institute, 2024; Statistique Canada, 2022).

Dans les écosystèmes forestiers, le changement climatique affecte la probabilité d'occurrence et l'intensité des incendies de forêt, ce qui a conduit à une saison des incendies extrême en 2023 (Barnes et al., 2023).

En 2023, les émissions de GES attribuables aux perturbations naturelles dans les forêts aménagées du Canada présentées dans le RIN du Canada pour 2025 s'élevaient à 1100 Mt CO₂e, soit environ 150% de plus que les émissions totales de GES au Canada (Tableau 1-1).

Tel que mentionné précédemment, le total des émissions dues aux feux de forêts et à d'autres perturbations naturelles dans les forêts aménagées du Canada ne sont pas déclarées dans le RIN. Elles sont toutefois suivies et présentées dans l'inventaire.

Le changement climatique représente également un risque pour les forêts canadiennes en raison de la fréquence plus élevée des sécheresses, d'une baisse générale de la productivité forestière dans la plupart des régions, d'une propagation accrue des maladies et des épidémies d'insectes ainsi que d'une modification des conditions de croissance des arbres. Le changement climatique aura ainsi un impact sur la composition de la forêt en raison de la migration des arbres vers de nouveaux sites. Il convient toutefois de noter que, même si les arbres peuvent migrer, les projections montrent que la rapidité à laquelle ils peuvent le faire est inférieure de 10 à 100 fois à la vitesse d'accroissement du changement climatique (NRCan, 2024b).

Le changement climatique affecte également le potentiel de séquestration nette du carbone dans le bois et la productivité forestière. Cela s'explique par l'effet de facteurs environnementaux tels que la température et les précipitations sur l'assimilation du carbone et la formation du bois (Silvestro et al., 2024).

Dans les forêts canadiennes, les principaux facteurs susceptibles d'influer sur le bilan carbone comprennent les changements affectant la dynamique forestière et les taux de décomposition, les perturbations à venir, ainsi que les conditions économiques, sociales et climatiques futures qui pourraient conduire à l'ouverture de nouvelles zones de développement de projets et à des changements en matière d'affectation des terres (Kurz et al., 2013).

Les forêts jouent un rôle considérable dans le bilan carbone de l'atmosphère mondiale. La forte augmentation potentielle des émissions provenant des forêts boréales et d'autres systèmes terrestres aurait un impact sur les efforts d'atténuation du changement climatique au niveau mondial. Il est donc important de réduire les incertitudes liées au bilan carbone actuel et futur des forêts canadiennes et de combler les lacunes en matière de surveillance, d'observation et de quantification de la dynamique du carbone (Kurz et al., 2013).

De nombreuses études soulignent la menace importante que représente le changement climatique pour les stocks de carbone et les futurs bilans carbone des forêts du Canada. L'augmentation des températures et des taux de perturbation pourrait entraîner une augmentation plus forte des émissions qui ne serait probablement pas compensée par une augmentation de la productivité et de l'absorption du carbone (van Bellen, Garneau et Bergeron, 2010; Kurz et al., 2013; MacCarthy et al., 2024; RNCAN, 2024a).

Encadré 3: La saison des incendies au Canada en 2023

Au Canada, la saison des incendies de 2023 a été extrême par rapport à toutes les autres saisons des incendies de son histoire récente. De mai à juillet 2023, les incendies de forêt ont brûlé 15 millions d'hectares, alors que la moyenne annuelle est de 2,5 millions d'hectares à l'échelle nationale. Le précédent record avait été établi en 1989, lorsque 6,7 millions d'hectares avaient brûlé sur l'ensemble de l'année.

Le nombre de méga-incendies en 2023 était également très élevé (29), alors qu'il était de 17 en 1989. Sur les 10 plus grands incendies de forêt au Canada depuis 1950, quatre se sont produits en 2023 (Barnes et al., 2023; Kirchmeier-Young et al., 2024). Les incendies de forêt au Canada en 2023 ont eu un impact significatif sur les émissions de carbone et la perte de la couverture arborée mondiale, celle-ci ayant, cette année-là, diminué d'environ 27 % en raison de ces incendies (MacCarthy et al., 2024).

Même si les incendies de forêt se produisent naturellement chaque année au Canada, le changement climatique contribue à augmenter leur intensité et leur probabilité, comme c'est d'ailleurs le cas pour d'autres phénomènes météorologiques extrêmes. Le changement climatique induit par l'homme entraîne des modifications des conditions météorologiques propices aux incendies qui sont associées à une augmentation de la température et à une diminution de l'humidité.

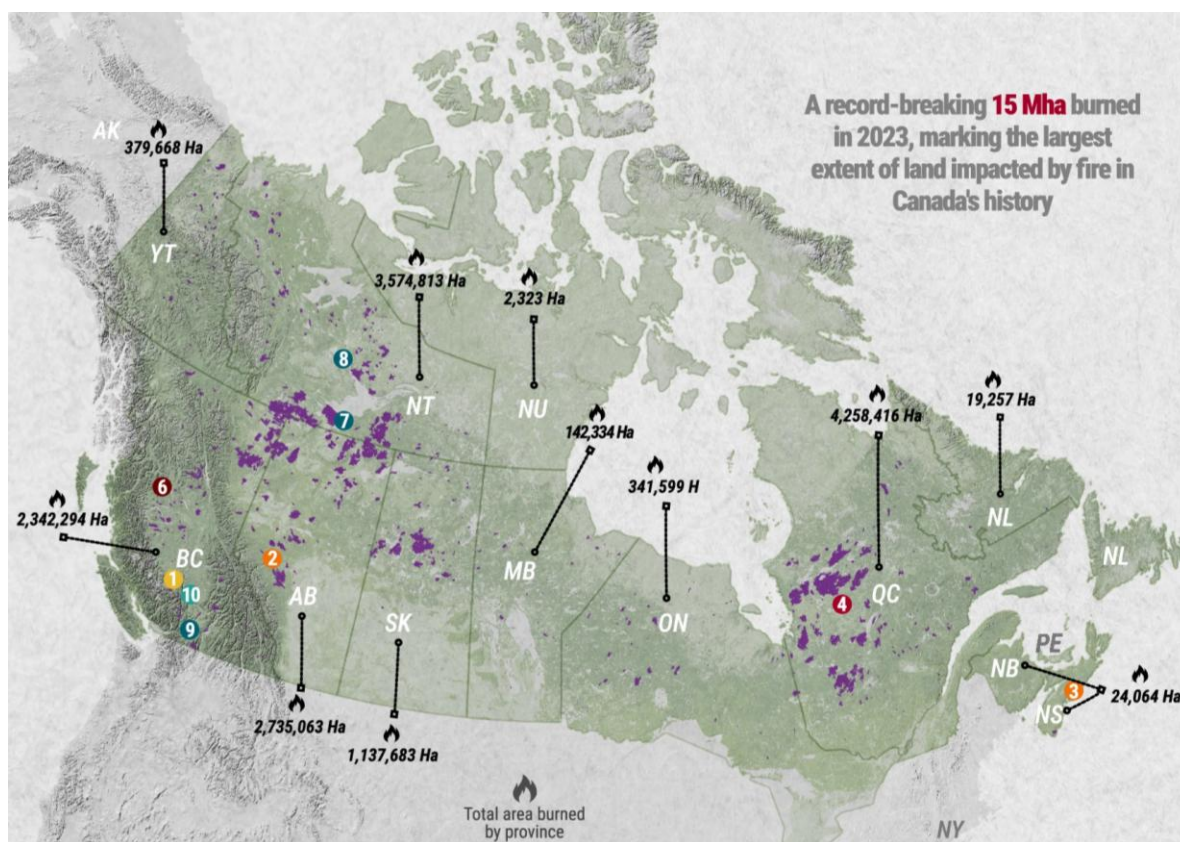
Les chercheurs ont montré que le changement climatique accroissait de manière significative la probabilité d'une longue saison des incendies et l'étendue des surfaces brûlées dans la plupart des régions du Canada en 2023 (Kirchmeier-Young et al., 2024).

Une étude portant sur la saison des incendies de 2023 dans l'est du Canada a montré que les pics d'incendie, tels que ceux que nous avons connus en 2023, sont au moins deux fois plus susceptibles de se produire aujourd'hui qu'ils ne l'étaient sous le climat préindustriel.

L'intensité des incendies a augmenté d'environ 20 % en raison du changement climatique induit par l'homme. Par exemple, au Québec, le changement climatique a entraîné à la fin du mois de juillet 2023 des incendies d'une intensité de 50 % supérieure par rapport au climat préindustriel (Barnes et al., 2023).

Encadré 3: La saison des incendies au Canada en 2023

Figure 1-10: Les superficies des zones brûlées en 2023 par les feux de forêts au Canada



Source : Jain et al., 2024. La figure en taille réelle se trouve à l'Annexe.

1.6. L'importance des émissions négatives dans les trajectoires menant à la carboneutralité

Le sixième rapport d'évaluation du GIEC a procédé à la modélisation de différentes trajectoires, notamment celles qui limitent le réchauffement à 2°C ou moins. Les résultats obtenus montrent que, pour être en mesure d'atteindre l'objectif de la carboneutralité, ces trajectoires reposent sur la captation du dioxyde de carbone (*carbon dioxide removal*, CDR) dans le secteur de l'approvisionnement énergétique ou celui de l'ATCATF. Ces résultats montrent également que les trajectoires nécessitant une plus grande utilisation de la bioénergie associée au captage et au stockage du dioxyde de carbone (BECCS), ainsi qu'un recours accru au captage direct du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (CDA), ont des émissions résiduelles beaucoup plus élevées en provenance d'autres secteurs. Comme indiqué dans le rapport, même en cas de réduction substantielle des émissions directes dans tous les secteurs et toutes les régions, une certaine quantité de CDR resterait nécessaire pour compenser les émissions résiduelles de GES difficiles à éliminer (IPCC WG III, 2022).

Tel que mentionné par le GIEC:

Le déploiement d'infrastructures de captation du dioxyde de carbone (CDR) pour compenser les émissions résiduelles difficiles à éliminer est inévitable si l'on veut parvenir à zéro émission nette en matière de CO₂ ou de GES.

L'ampleur et le calendrier du déploiement de ces infrastructures dépendront des trajectoires de réduction des émissions brutes suivies dans les différents secteurs. L'intensification du déploiement des technologies de réduction des émissions de carbone dépend de l'élaboration d'approches efficaces pour résoudre les problèmes de faisabilité et de durabilité, en particulier à grande échelle (confiance élevée). (GIEC Groupe de Travail III, 2022, Section C.11 du résumé à l'intention des décideurs).

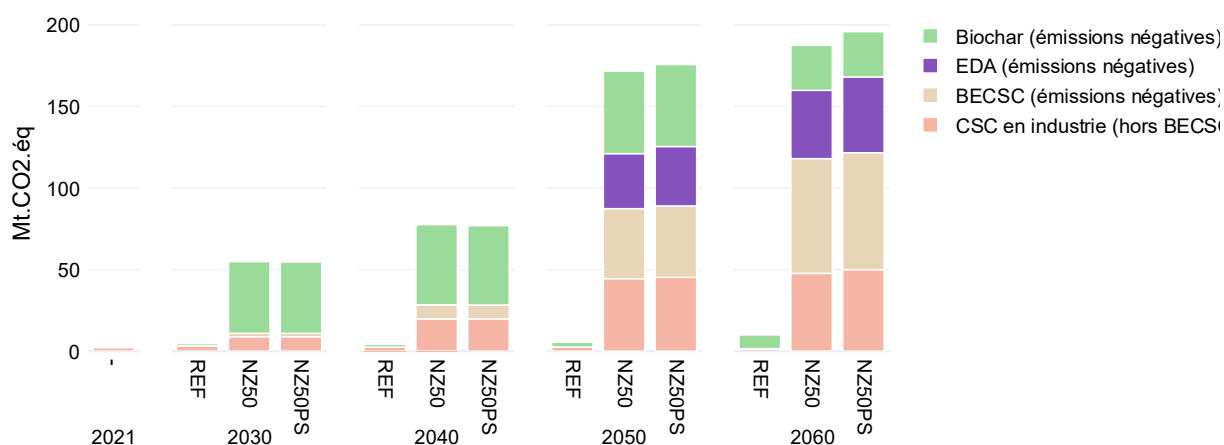
Des études modélisant les trajectoires susceptibles de mener le Canada à la carboneutralité ont également montré qu'il était nécessaire d'obtenir des émissions négatives pour compenser les émissions restantes dans les secteurs difficiles à décarboner d'ici à 2050.

La dernière édition des *Perspectives énergétiques canadiennes*, une publication dirigée par l'Institut de l'énergie Trottier, a intégré une modélisation du système énergétique effectuée par ESMIA Consultant. Cette modélisation comprend des informations détaillées sur les technologies basées sur l'utilisation de la biomasse ainsi qu'une évaluation de celles-ci réalisée en collaboration avec Ressources naturelles Canada.

Les résultats obtenus montrent que, avec les technologies qui sont prises en compte, l'atteinte et le maintien de l'objectif de carboneutralité d'ici 2050 nécessiteront le captage et le stockage d'une quantité importante d'émissions (Figure 1-11). Ainsi, pour réaliser le scénario « menant à la carboneutralité en 2050 » (NZ50), il faudra produire 128 Mt

d'émissions négatives de CO₂e, dont 43 Mt provenant de BECSC, 34 Mt du CDA et 51 Mt du biochar, en plus des 44 Mt de CO₂e captées par le CSC dans l'industrie (Langlois-Bertrand, 2024).

Figure 1-11 : Captage et stockage des émissions dans les différents scénarios étudiés dans le rapport *Perspectives énergétiques canadiennes* de l'Institut de l'énergie Trottier



Source : Langlois-Bertrand, 2024

Le rapport intitulé *Avenir énergétique du Canada 2023*, publié par la Régie de l'énergie du Canada, affirmait également qu'il était nécessaire de produire des émissions négatives provenant de la BECSC et du CDA pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050 dans les deux scénarios étudiés, et ce, en plus des émissions négatives supposées du secteur ATCATF. Le rapport *Avenir énergétique du Canada 2023* supposait que le secteur ATCATF pourrait produire 50 Mt d'émissions négatives d'ici 2050 (Régie de l'énergie du Canada, 2023).

Les technologies dites « d'émissions négatives » comprennent toutes les mesures ou technologies qui entraînent une élimination nette de GES de l'atmosphère et leur stockage dans des matières organiques vivantes ou mortes ou encore dans des réserves géologiques. Les méthodes permettant de parvenir à des émissions négatives sont principalement basées sur les secteurs de la biomasse. Elles font appel à des solutions non technologiques (par exemple, le boisement et le reboisement) ou à des technologies qui permettent de capter et de stocker les émissions de CO₂. Parmi celles-ci, notons la bioénergie associée au captage et au stockage du carbone (BECSC) ou la pyrolyse de la biomasse qui sert à produire du biochar destiné à être répandu sur les sols agricoles. Les seules autres méthodes permettant d'obtenir des émissions négatives qui ne reposent pas sur la gestion et l'utilisation de la biomasse sont basées sur la technologie de captage direct du carbone dans l'atmosphère (CDA), qui comprend le stockage du CO₂ capté, ou sur l'alcalinisation des océans (IPCC WG III, 2022).

Dans la planification des stratégies d'atténuation du changement climatique, certains risques et incertitudes liés aux technologies à émissions négatives doivent être pris en considération. Par exemple, le besoin d'électricité propre pour faire fonctionner les systèmes de CDA peut compromettre la décarbonation par électrification directe dans d'autres secteurs (Langlois-Bertrand, 2024). En ce qui concerne les mesures d'atténuation du changement climatique reposant sur la gestion des terres, il est important de noter que nous ne sommes pas actuellement en mesure d'évaluer avec précision l'impact que le changement climatique aura sur les secteurs basés sur la gestion des terres. Il est toutefois reconnu que cet impact pourrait s'avérer substantiel (IPCC WG III, 2022).

Étant donné qu'il est nécessaire d'obtenir des émissions négatives pour atteindre la carboneutralité, il est essentiel de comprendre la contribution potentielle des technologies à émissions négatives au Canada. Il est également important de planifier soigneusement leur déploiement en fonction des stratégies d'atténuation du changement climatique adoptées dans d'autres secteurs.

2. Les méthodes servant à évaluer l'utilisation de la biomasse

Les chercheurs, les développeurs de projets, les décideurs politiques et les comités internationaux de normalisation ont mis au point diverses méthodes pour évaluer l'utilisation de la biomasse à des fins de production de bioénergie ou de biomatériaux. Ces méthodes varient selon la portée de l'étude et l'objectif de l'évaluation. L'utilisation de la biomasse peut être évaluée en fonction de son impact sur de nombreux facteurs environnementaux, économiques et sociétaux.

L'objectif principal de ce chapitre est d'explorer les méthodes qui sont actuellement mises en œuvre pour évaluer l'utilisation de la biomasse dans le contexte de la transition du Canada vers la carboneutralité. Notre étude s'est donc concentrée sur deux types de méthodes; le premier type comprend les méthodes qui incluent dans leur évaluation l'impact de l'utilisation de la biomasse sur les émissions de GES, que cette utilisation ait des fins énergétiques ou non énergétiques. Le deuxième type regroupe les méthodes qui évaluent le rôle de la biomasse dans les stratégies d'atténuation du changement climatique.

Les méthodes d'évaluation sont classées selon les critères suivants :

- Les critères et normes de durabilité;
- L'évaluation des bénéfices de l'utilisation de la biomasse pour l'atténuation du changement climatique : échelle du projet ou échelle régionale;
- Les outils d'aide à la décision : axés sur les ressources ou sur l'utilisation finale.

Les messages clés du chapitre 2

- Les critères et normes de durabilité garantissent une approche globale de l'évaluation de la durabilité des chaînes d'approvisionnement en biomasse. Cependant, ces méthodes ne permettent pas d'avoir une vue d'ensemble, au niveau du système, des impacts intersectoriels et des compromis liés à l'utilisation de la biomasse à l'échelle nationale. (**voir section 2.1**)
- Pour évaluer les avantages d'un projet utilisant la biomasse sur la réduction des émissions de GES, des analyses du cycle de vie (ACV) sont souvent utilisées pour les biocombustibles et les biomatériaux. (**voir section 2.2.1**)
- Afin d'évaluer le potentiel d'atténuation du changement climatique découlant de l'utilisation de la biomasse à l'échelle régionale, une méthodologie qui est souvent utilisée dans les études scientifiques combine les émissions et les absorptions des écosystèmes forestiers, des produits ligneux récoltés et des émissions évitées dues à la substitution des produits. (**voir section 2.2.2**)
- La plupart des outils d'aide à la décision pour la biomasse, qui ont été identifiés et qui sont accessibles au public, peuvent être regroupés en deux approches principales : les approches axées sur l'utilisation finale/la demande et les approches axées sur l'utilisation des terres/des ressources. (**voir section 2.3**)

2.1. Les critères et normes de durabilité

2.1.1. Description

Pour garantir une approche globale de l'évaluation de la durabilité des chaînes d'approvisionnement en biomasse, des cadres et des normes en matière de bioénergie ont été élaborés, tels que la norme ISO sur les critères de durabilité pour la bioénergie (ISO 2015) et les indicateurs de durabilité du Partenariat mondial pour les bioénergies (Global Bioenergy Partnership - GBEP).

Établi par la FAO et d'autres organisations internationales (Partenariat mondial pour les bioénergies, 2011), le GBEP a fourni un cadre pour évaluer la relation qui existe entre la production et l'utilisation de la bioénergie moderne et le développement durable. Les indicateurs ont été développés pour rendre compte des aspects environnementaux, sociaux et économiques du développement durable.

Dans le cadre d'une initiative de l'IEA Bioenergy, des experts ont identifié 37 études de cas de chaînes d'approvisionnement en biomasse dans le monde entier qui sont considérées comme représentant les meilleures pratiques. Ils ont ensuite déterminé les contributions de celles-ci aux objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies (Figure 2-1).

Figure 2-1 : Exemple d'analyse réalisée pour une étude de cas relative à une cascade de chaudières à copeaux de bois en Suisse

Relation to Sustainable Development Goals			
SDG		Target, Explanation	Evidence
	Affordable & clean energy	7.2, Renewable energy share increased due to displacement of fossil fuels for heat with biomass district heat in village.	District network is 100% biomass-fuelled
	Industry, innovation, infrastructure	9.4, CO ₂ emissions reduced relative to heating with fossil fuels; value added for timber company through creation of market for residues.	Described qualitatively in case study
	Sustainable cities & communities	11.6, Cascade design and advanced emissions controls limits emissions of fine particulate matter in the village.	Described qualitatively in case study
	Responsible consumption & production	12.2 (also 8.4), Material footprint improved due to use of previous waste product for energy resulting in more efficient use of wood resource.	Described qualitatively in case study

Other Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats	
<u>Strengths</u> • Cascade of small boilers allows for high efficiency and low emissions. • Cooperation between local entrepreneurs and local wood industry enabled success.	<u>Opportunities</u> • Use of standard equipment, relatively small scale, and simple supply chain makes the system easily replicable in other communities.
<u>Weaknesses</u> • Installation cost increases for several small boilers compared to one large boiler.	<u>Threats</u> • If wood processing facility closes, fibre supply and important heat customer disappear.

Source : IEA Bioenergy, 2021a

2.1.2. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité

Les critères et normes de durabilité peuvent être utilisés pour surveiller la durabilité des projets liés à la bioénergie, tels que définis par les normes, ou pour déterminer leur contribution aux objectifs de développement durable des Nations unies.

Toutefois, ces méthodes ne permettent pas d'avoir une vue d'ensemble, au niveau du système, des impacts et des compromis intersectoriels à l'échelle nationale. Elles ne permettent pas non plus de prendre en compte la concurrence potentielle entre les secteurs pour l'utilisation de la biomasse lorsqu'on évalue le rôle que celle-ci pourrait jouer pour soutenir la décarbonation de différents secteurs économiques.

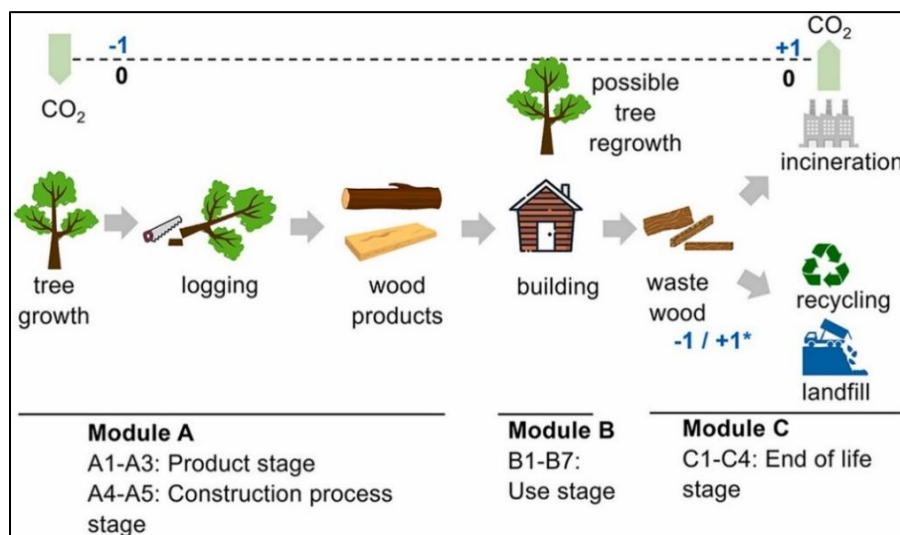
2.2. L'évaluation des bénéfices de l'utilisation de la biomasse pour l'atténuation du changement climatique

2.2.1. À l'échelle du projet

Pour évaluer les avantages d'un projet utilisant la biomasse sur la réduction des émissions de GES, on réalise une analyse du cycle de vie (ACV) afin de déterminer les émissions qui sont générées à toutes les étapes du cycle de vie d'un bioproduit. Les bioproduits peuvent être des produits biochimiques, des biomatériaux ou des biocarburants.

Dans le cas de l'utilisation de la biomasse en tant que biomatériaux, tels que le bois dans les bâtiments, l'ACV peut être réalisée pour un produit particulier (par exemple, un panneau de plancher en bois massif) ou pour un bâtiment entier, en fonction de la portée et de l'objectif de l'évaluation (Figure 2-2).

Figure 2-2 : Étapes du cycle de vie utilisées pour l'évaluation d'un bâtiment en bois



Source : Ouellet-Plamondon et al., 2023

Notes: les chiffres indiqués en bleu représentent les différentes méthodes utilisées pour comptabiliser le carbone biogénique dans les méthodes d'ACV.

La méthode 0/0 ne tient pas compte de la fixation du carbone biogénique dans les produits ni de sa libération en fin de vie.

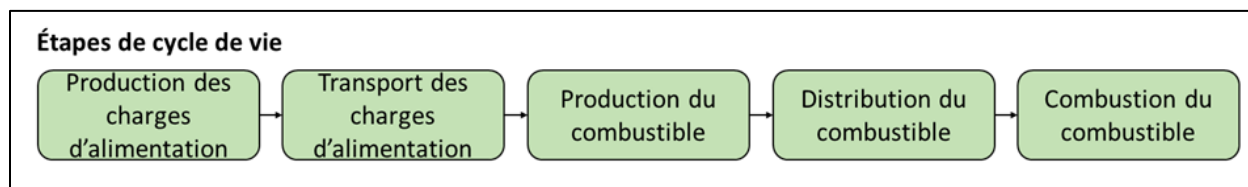
La méthode -1/+1 tient compte du stockage du carbone lors de la production et de sa libération en fin de vie, quelle que soit la méthode d'élimination.

La méthode -1/+1* est une variante qui suppose que les décharges et le recyclage offrent une séquestration partiellement permanente du carbone biogénique; elle comptabilise donc moins d'émissions en fin de vie que la méthode -1/+1.

Dans le cas des projets de bioénergie, l'intensité en carbone (IC) du biocarburant produit est également déterminée à l'aide de la méthodologie utilisée pour la réalisation de l'ACV. L'objectif des valeurs de l'IC est de quantifier toutes les émissions libérées au cours du cycle de vie du carburant produit, de la préparation et du transport des matières premières à la combustion (Figure 2-3).

Différents modèles de calcul de l'IC ont été développés au Canada et à l'étranger. Par exemple, le gouvernement du Canada utilise le modèle d'ACV des carburants pour déterminer l'IC des carburants dans le cadre de ses politiques et programmes de lutte contre les gaz à effet de serre. Par défaut, les modèles d'ACV pour le calcul de l'IC au Canada (par exemple, le modèle d'ACV des combustibles) utilisent des valeurs génériques ou moyennes. Toutefois, comme les données du site, qui sont spécifiques à un procédé, peuvent être utilisées pour obtenir l'IC d'un produit spécifique à une installation donnée, les valeurs de l'IC sont spécifiques à chaque projet.

Figure 2-3 : Étapes du cycle de vie utilisées pour l'évaluation des biocarburants



Source : ECCC, 2024a

En déterminant le volume des émissions de GES libérées au cours du cycle de vie (intensité en carbone) des biocarburants ou des biomatériaux, il est possible d'estimer les économies relatives de GES qui résulteraient de l'utilisation de ces bioproduits en remplacement de produits à plus forte intensité en carbone ou de combustibles fossiles. Les économies relatives de GES décrivent la quantité d'émissions qui pourraient potentiellement être évitées en adoptant le bioproduit en remplacement du produit qui est actuellement utilisé.

Les nouveaux projets annoncés publient principalement les réductions d'émissions de GES estimées, l'IC du biocarburant produit ou le pourcentage de réduction de l'IC par rapport au combustible fossile qui est actuellement utilisé. Le Tableau 2-1 présente des exemples de nouveaux projets de bioénergie au Canada et les avantages environnementaux qui ont été publiés dans leurs annonces ou sur les sites web.

Les IC des projets basés sur l'utilisation de la biomasse, qui ont été approuvés dans le cadre du Règlement sur les combustibles propres (RCP), ont été publiés en 2024 pour les organisations qui ont accepté d'être incluses dans la publication. Il convient toutefois de souligner que, même parmi les IC publiés, de nombreuses informations ont été considérées comme confidentielles et ne sont pas mentionnées dans la publication, telles que le nom de l'installation, le type de limites utilisées, la valeur de l'IC approuvé ou

la version du modèle utilisé. Ces omissions constituent un obstacle au suivi de l'IC des projets existants et nouveaux au Canada (ECCC, 2024b).

Tableau 2-1 : Exemples de bénéfices environnementaux publiés pour de projets de bioénergie

Projets de bioénergie au Canada	Bénéfices environnementaux annoncés
Projet de biométhanol par Recyclage Carbone Varennes (Qc)	L'intensité en carbone des biocarburants n'est pas mentionnée. Réductions annuelles des émissions de GES de 170 kt CO ₂ e avec une production annuelle de 125 millions de litres de biocarburants.
Projet de GNR à partir de déchets agricoles par Nature Energy (Qc)	L'intensité en carbone des biocarburants n'est pas mentionnée. Réductions annuelles des émissions de GES de 60 kt CO ₂ e avec une production annuelle de 20 millions de mètres cubes de GNR.
Projet de GNR par G4 Insights (C.- B.) (produit à partir du bois)	Réduction des émissions de gaz à effet de serre de 712,8 kt CO ₂ e pendant la durée de vie du projet. Le GNR est supposé être utilisé dans les transports sous forme de gaz naturel comprimé (GNC). Intensité en carbone du GNR produit : 14,3 g CO ₂ e/MJ, contre 95,86 g CO ₂ e /MJ pour l'essence.

Sources : Énergir Développement Inc. 2025; Enerkem 2025; G4 Insights Inc. 2015

Les études d'ACV partagent certains principes directeurs et structures, qui sont décrits dans des normes telles que la norme ISO 14040. Toutefois, selon l'objectif et la portée de l'étude, les limites du système, les hypothèses et les données utilisées diffèrent d'un modèle à l'autre et d'une étude à l'autre.

2.2.1.1. L'exclusion du CO₂ biogénique

Dans les évaluations d'ACV des bioproduits, le CO₂ biogénique est inclus dans certaines études et exclu dans d'autres. Les modèles d'ACV utilisés pour les calculs de l'IC des biocarburants au Canada ne tiennent pas compte du CO₂ biogénique émis par la combustion des biocarburants. Cela leur permet de respecter la politique du gouvernement du Canada sur le carbone biogénique ainsi que les lignes directrices des inventaires nationaux de GES. On suppose que les émissions de CO₂ biogénique sont compensées par l'absorption de carbone avant la récolte (ECCC, 2024a).

Ces modèles incluent uniquement le CO₂ biogénique provenant de la gestion des terres à des fins de production de cultures, soit les changements qui touchent le carbone organique présent dans le sol. Ces changements comprennent notamment les modifications dans la productivité des cultures, les apports en carbone des résidus de culture et les pratiques de travail du sol. Toutefois, les changements indirects dans l'utilisation des terres et les émissions dues à la modification des proportions de cultures pérennes et annuelles sont exclus (ECCC, 2024a).

2.2.1.2. La variabilité entre projets similaires

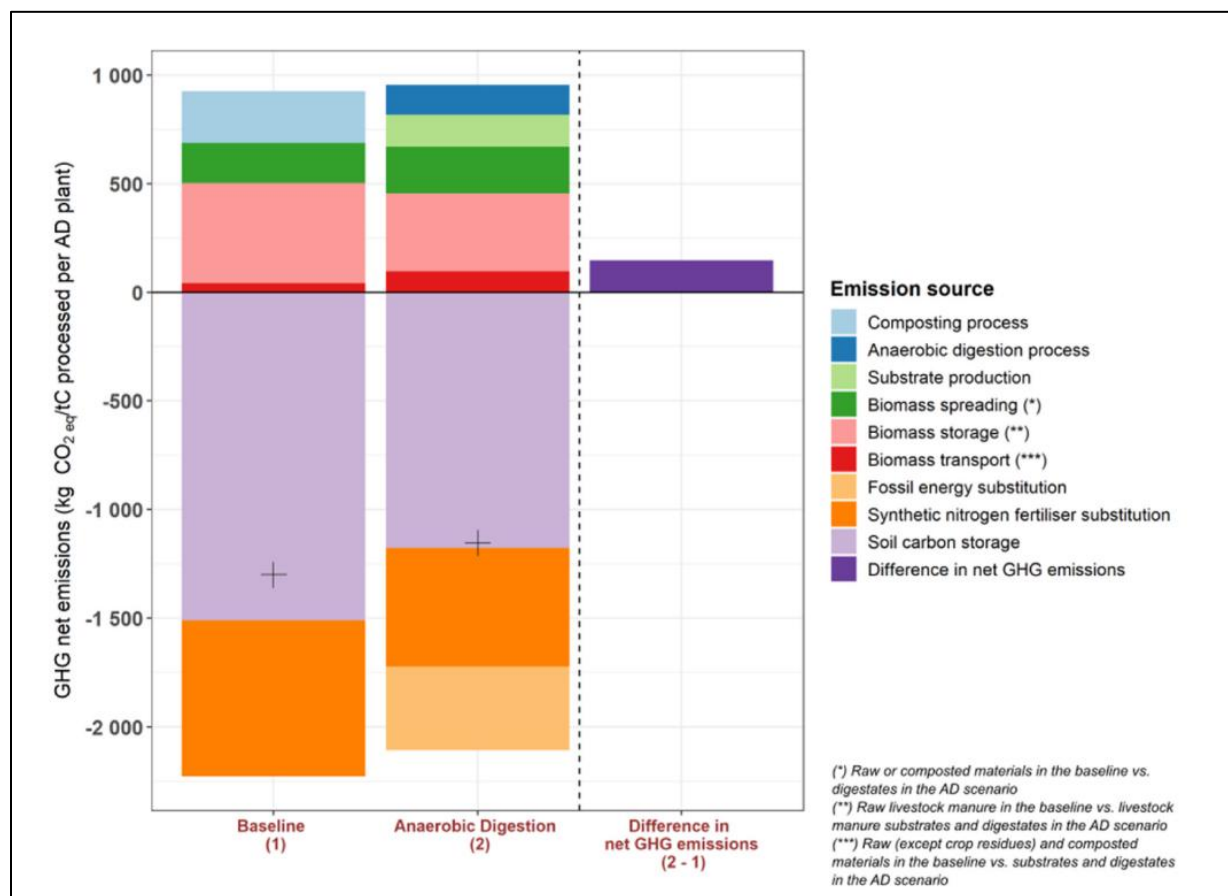
Dans une étude publiée en 2023, des chercheurs ont appliqué la même méthodologie pour évaluer les émissions nettes de GES de 30 installations similaires. Ces installations avaient recours à la digestion anaérobie pour produire du biogaz utilisé pour la cogénération en France.

Les résultats obtenus pour les différentes installations présentaient une variabilité importante. Plus précisément, les chercheurs ont découvert que seul un tiers des projets évalués réduisait les émissions de GES par rapport au scénario de statu quo (BAU) (Figure 2-4) (Malet et al., 2023).

La variabilité de l'impact de projets similaires s'explique par des différences dans la façon de gérer le processus de digestion anaérobie. Cette variabilité provient, par exemple, de l'évitement des émissions de CH₄ par la couverture des digestats dans certaines installations et des différences dans les scénarios BAU, notamment en ce qui concerne l'efficacité du stockage du carbone dans les sols en raison des types de biomasse utilisés.

Cette étude montre également l'impact du choix des limites du système dans les méthodologies d'ACV. Par exemple, si le remplacement des engrais azotés synthétiques n'était pas pris en compte, et si on le considérait comme un impact indirect et hors champ d'application, son exclusion des limites du système aurait une incidence sur les résultats finaux.

Figure 2-4 : Différence entre les émissions comprises dans les scénarios de référence et les émissions produites lors de la digestion anaérobie dans l'ACV



Source : Malet et al., 2023

2.2.1.3. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité

Le calcul des émissions nettes de GES par les méthodes d'ACV est utile pour déterminer la quantité d'émissions qui peut être évitée en utilisant un biocarburant ou un bioproduit particulier par rapport à un produit alternatif.

L'utilisation des valeurs de l'IC dans les programmes et politiques de réduction des GES favorise également la production de bioproduits dont les émissions de GES d'origine fossile sont moindres dans la chaîne d'approvisionnement. Cependant, les valeurs de l'IC actuellement utilisées dans ces programmes sont limitées et des informations supplémentaires sont nécessaires pour estimer l'impact d'un nouveau projet. Par exemple, la valeur de l'IC indique les émissions d'un MJ de biocarburant produit, mais elle ne tient pas compte de la quantité de biomasse utilisée pour produire le biocarburant.

En d'autres termes, les valeurs de l'IC sont utiles pour calculer les émissions évitées, soit l'avantage de substitution. En revanche, elles ne tiennent pas compte de l'impact du développement d'un nouveau projet visant à utiliser les ressources de la biomasse sur le volume total des émissions. Pour déterminer si les ressources locales sont utilisées

efficacement et pour prendre en compte les émissions de CO₂ biogénique provenant de la combustion de la biomasse, il est nécessaire de réaliser des analyses supplémentaires qui vont au-delà des calculs de l'IC.

2.2.2. À l'échelle régionale

Afin d'évaluer le potentiel d'atténuation du changement climatique découlant de l'utilisation de la biomasse pour la production de bioénergie à l'échelle nationale ou régionale, de nombreuses études menées pour le secteur forestier ont utilisé une « approche systémique » afin de quantifier les émissions nettes par rapport à une référence prospective et en incluant les émissions biogéniques de CO₂.

Plus précisément, cette approche combine les émissions et les absorptions des trois composantes du système décrites ci-dessous. Elle permet ainsi de déterminer si l'utilisation de la biomasse a un effet bénéfique sur l'atténuation du changement climatique sur une certaine échelle de temps.

- (1) **Les écosystèmes forestiers** : comprend toutes les émissions et absorptions dans l'écosystème forestier (croissance des arbres, décomposition des résidus, brûlage des résidus de la récolte, etc.).
- (2) **Les produits ligneux récoltés** : comprend les émissions biogéniques provenant de la combustion ou de la décomposition de tout le bois récolté qui est commercialisé sous forme de produits du bois, de bioénergie ou de biomasse résiduelle.
- (3) **Les émissions déplacées** : comprend les émissions de GES évitées grâce au remplacement des combustibles fossiles par la bioénergie. Les émissions déplacées sont obtenues en multipliant les résidus de biomasse utilisés par un facteur de déplacement régional.

Encadré 4 : Qu'est-ce qu'un facteur de déplacement?

Un facteur de déplacement (FD), également connu sous le nom de facteur de substitution (FS), est utilisé pour quantifier la quantité d'émissions de GES d'origine fossile qui serait évitée si un produit à base de bois était utilisé en remplacement d'un autre produit, équivalent sur le plan fonctionnel, qui n'est pas à base de bois (Leskinen et al., 2018).

$$DF = (GES_{\text{produit substitué}} - GES_{\text{bois produit}}) / (WU_{\text{produit en bois}} - WU_{\text{produit de substitution}})$$

Les « GES » représentent les émissions résultant de la production et de l'utilisation des produits, et les « WU » représentent les quantités de bois utilisées dans les produits.

Le FD est un ratio sans unité. Les émissions de GES sont exprimées en quantité de C divisée par la quantité de C contenue dans le produit final, ou par la quantité de bois récoltée pour fabriquer le produit en question. Un FD inférieur à 1 indique que la quantité de C évitée est inférieure à la quantité de C utilisée, ce qui signifie, dans ce cas, que l'utilisation de la biomasse pour remplacer ce combustible fossile libérera plus de C que le C évité.

Les calculs des émissions de GES sont effectués conformément aux règles de l'ACV (ISO 14040 et 14044). Certaines études ne prennent en compte qu'une ou deux étapes du cycle de vie (production, utilisation, cascade et fin de vie) et seules les émissions de GES d'origine fossile sont généralement prises en compte dans les calculs. La plupart des études n'incluent pas les échanges de CO₂ biogénique (Leskinen et al., 2018).

De nombreuses études ont déterminé le FD pour les produits du bois utilisés dans la construction de logements; cependant, très peu d'informations sont disponibles pour les produits émergents à base de bois tels que les produits biochimiques (Leskinen et al., 2018).

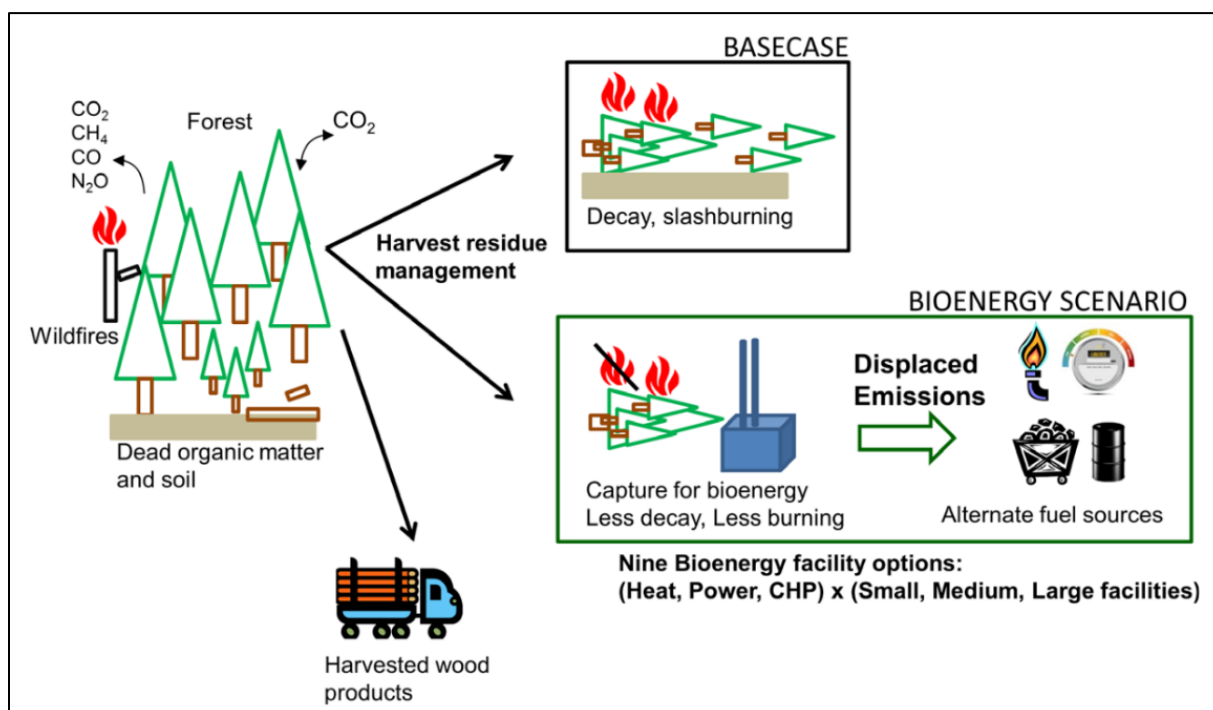
Les FD au niveau des produits peuvent être utilisés pour une analyse au niveau du marché afin d'évaluer la quantité d'émissions fossiles qui serait évitée si des produits à base de bois étaient utilisés en remplacement d'autres produits qui ne sont pas à la base de la biomasse dans un secteur ou une région donnée (impact de substitution). Les FD au niveau des produits sont agrégés en tenant compte des utilisations finales correspondantes du bois et en pondérant les FD au niveau des produits pour chaque cas de substitution approprié en fonction des volumes de consommation des produits au niveau du marché (Hurmekoski et al. 2021).

Il convient de noter que les impacts de substitution devraient être interprétés relativement à un scénario de référence ou une référence prospective. Afin d'estimer avec précision les FD au niveau du marché, il est donc important de définir un scénario de référence approprié (Hurmekoski et al. 2021).

2.2.2.1. Exemple à l'échelle nationale

En 2017, les chercheurs de RNCAN ont publié une étude s'appuyant sur « l'approche systémique ». Leur objectif consistait à évaluer, à l'échelle nationale, le potentiel d'atténuation du changement climatique découlant de l'utilisation locale des résidus d'exploitation forestière pour la production de bioénergie au cours de la période 2017-2050. Les résultats concernant les émissions nettes de GES ont été obtenus en combinant les trois composantes de l'approche systémique présentée ci-dessus (Figure 2-5) (Smyth, Kurz, et al., 2017).

Figure 2-5 : Représentation schématique de l'approche systémique utilisée pour analyser le potentiel d'atténuation du changement climatique de la bioénergie au Canada en détournant les résidus de l'exploitation forestière vers la bioénergie



Source : Smyth, Kurz, et al., 2017

Les chercheurs ont utilisé un modèle d'optimisation linéaire pour déterminer le facteur de déplacement (FD) de la bioénergie. Cela leur a permis de calculer le volume maximum des émissions qui pourraient être évitées sur la base des options bioénergétiques incluses dans ce modèle et des combustibles fossiles qui peuvent être remplacés. Les résultats de FD dépendent du mélange de combustibles utilisé dans la région et de la quantité de résidus de la récolte forestière disponibles localement. Un FD spécifique à la région est obtenu pour chaque unité de gestion forestière (UG) (Smyth, Kurz, et al., 2017; Smyth, Rampley, et al., 2017).

Les résultats ont montré que, au Canada, le DF varie considérablement d'une région à l'autre. Cette variabilité du volume des émissions évitées grâce à la bioénergie est due à

plusieurs facteurs, notamment les différences dans le mélange de combustibles utilisé dans chaque région dans une situation de statu quo, l'efficacité de la conversion et la demande d'énergie locale. Dans les régions où l'offre de bioénergie dépasserait la demande locale et remplacerait l'électricité du réseau à faibles émissions, le FD obtenu serait négatif puisqu'aucune émission ne serait évitée (Smyth, Rampley, et al., 2017).

En d'autres termes, les facteurs de déplacement de la bioénergie représentent le volume des émissions évitées le plus important qui pourrait être obtenu avec les types d'installations de bioénergie inclus dans cette analyse et pour les régions évaluées.

Tableau 2-2 : Facteurs de déplacement déterminés pour la bioénergie au niveau national au Canada

Installations de bioénergie utilisées ⁴	Produits remplacés	Scénarios d'approvisionnement en bioénergie ³	FD moyen ^{1;2} (tC évité/ tC biogénique)
Le modèle a déplacé les combustibles ayant la plus forte intensité d'émissions vers des installations de production de chaleur, d'électricité ou de cogénération à différentes échelles	Charbon, coke de pétrole, mazout, diesel, gaz naturel, électricité de réseau	Offre constante de 64 kt/an de matières sèches de résidus de récolte forestière dans toutes les régions	0,47
		L'offre de résidus de récolte forestière est limitée par la demande locale de chaleur provenant de combustibles fossiles	0,89

Source : Smyth, Rampley, et al., 2017

Notes :

¹ Le FD est déterminé en divisant la quantité du carbone contenu dans le volume maximal des émissions évitées par le carbone contenu dans les résidus de récolte utilisés.

² Les émissions proviennent de l'extraction et du transport des matières premières ainsi que de la fabrication des produits finis. On a supposé que le transport des produits finis produisait un volume d'émissions identique pour le bois et les produits de remplacement.

³ 634 UG dans les forêts aménagées du Canada ont été incluses dans l'étude.

⁴ Seule l'utilisation locale de la bioénergie est prise en compte.

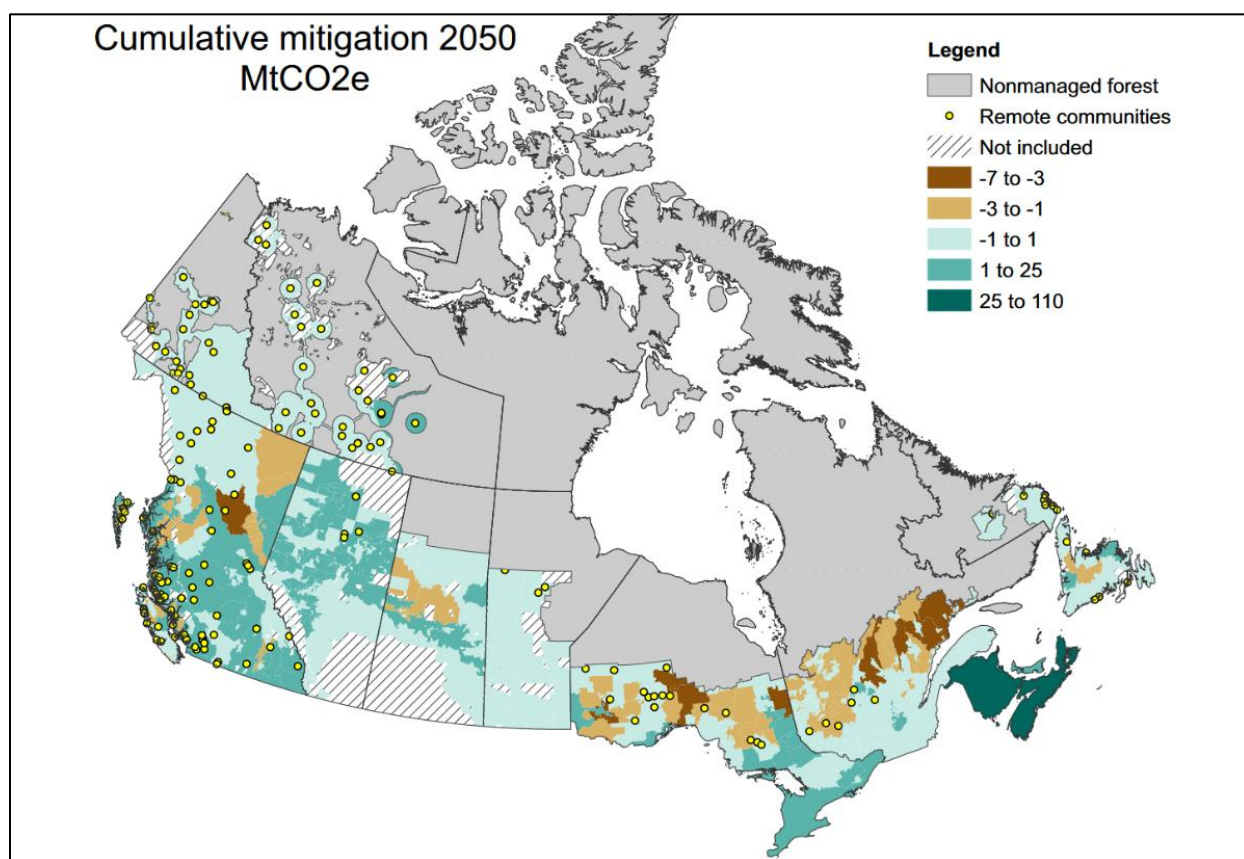
La Figure 2-6 montre le potentiel total d'atténuation du changement climatique au Canada d'ici 2050 découlant de l'utilisation des résidus de la récolte forestière locale pour la production de bioénergie. Les résultats de cette étude indiquent que toutes les régions ne présentent pas un potentiel d'atténuation positif en 2050.

Dans certaines régions, les émissions nettes de GES ont augmenté de 2017 à 2050 en raison de l'utilisation de résidus de la récolte forestière pour la production de bioénergie. Les régions dont le potentiel d'atténuation cumulé était positif (réduction des émissions par rapport au scénario de référence) ont produit moins de bioénergie que la demande énergétique locale et ont remplacé les combustibles fossiles à fortes émissions.

Les chercheurs ont conclu que la prise de décision sur les objectifs et la faisabilité de la production de bioénergie forestière doit tenir compte des conditions locales ou régionales.

La production de bioénergie peut avoir un impact positif ou négatif sur l'atténuation du changement climatique. La nature de cet impact s'est avérée dépendre de la localisation au Canada, et ce, même lorsque l'on utilise les mêmes types de biomasse considérés comme des « résidus » (Smyth, Kurz, et al., 2017).

Figure 2-6 : Potentiel cumulatif moyen d'atténuation du changement climatique de l'utilisation des résidus de la récolte forestière pour la production de bioénergie au Canada de 2017 à 2050



Source : Smyth, Kurz, et al., 2017

Notes : les valeurs positives de l'atténuation cumulative indiquent une réduction nette des émissions de GES dans l'atmosphère.

Les valeurs négatives de l'atténuation cumulée indiquent que l'utilisation de résidus de la récolte forestière pour la production de bioénergie a contribué à accroître le volume des émissions de GES libérées dans l'atmosphère dans ces régions.

2.2.2.2. Exemple à l'échelle provinciale

Dans une autre étude, des chercheurs ont utilisé la même approche pour évaluer le potentiel d'atténuation du changement climatique du secteur forestier dans la province du Québec pour la période 2018-2050 (Moreau et al., 2023). Bien que les modèles du Service canadien des forêts, soit les modèles CBM-CFS3 et CBM-HWP, aient également été utilisés dans le cadre de cette étude, des modifications leur ont été apportées afin d'inclure des paramètres spécifiques au Québec.

Les chercheurs ont constaté que l'intensification de l'aménagement forestier entraînait une augmentation des émissions par rapport au scénario BAU. En effet, les émissions évitées n'étaient pas suffisantes pour compenser l'augmentation totale des émissions dans l'écosystème forestier résultant de la récolte et de la décomposition des produits du bois.

Différentes études ont apporté des résultats contrastés sur l'augmentation ou la réduction des émissions dues à l'intensification de la récolte du bois. Les chercheurs dans cette étude affirment que les études qui ont trouvé des résultats contrastés, montrant un plus grand bénéfice d'atténuation du changement climatique pour les stratégies d'intensification, reposaient sur deux types d'hypothèses. Ces études s'appuyaient soit sur des hypothèses plus élevées en ce qui concerne les bénéfices de substitution (FD), soit sur des hypothèses différentes en matière d'émissions de CH₄ en fin de vie. Les résultats étaient très sensibles à la proportion de carbone susceptible d'être émise sous forme de CH₄ en fin de vie des produits (Moreau et al., 2023).

Au Québec, la presque totalité (99 %) des produits du bois est mise en sites d'enfouissement. De ce pourcentage, on estime que 40 % des produits du bois solide ne sont pas dégradables et que 60 % sont dégradables avec une demi-vie de 11,7 ans. Les émissions provenant des produits du bois mis en sites d'enfouissement sont censées être composées à part égale de CO₂ et de CH₄ pour tous les produits. On suppose que 65,94 % des émissions de CH₄ dans les sites d'enfouissement du Québec sont rejetées dans l'atmosphère, que 16,83 % de celles-ci sont brûlées à la torche et que 17 % sont utilisées à des fins énergétiques (Moreau et al., 2023). Par conséquent, au Québec, 33 % des émissions de carbone provenant de la décomposition du bois sont libérées dans l'atmosphère sous forme de CH₄, et 67 % sous forme de CO₂.

En réduisant les émissions de méthane provenant des produits du bois, le facteur de déplacement requis pour obtenir des avantages en matière d'atténuation du changement climatique peut être réduit, passant d'une fourchette de 1,2 à 2,3 tC/tC à une fourchette de 0 à 0,9 tC/tC. Cela permet d'atteindre le seuil moyen de FD utilisé dans cette étude pour la province du Québec, qui est de 0,9 tC/tC (Moreau et al., 2023).

Dans les conditions actuelles servant de référence dans le cadre de cette étude pour le Québec, le FD moyen provenant du remplacement de produits est de 0,9 tC/tC. Or, cette

valeur est insuffisante pour compenser les émissions restantes qui résulteraient de l'intensification de la récolte de bois.

Moreau et al. (2023) ont montré que les stratégies visant à réduire les niveaux globaux d'exploitation forestière (par exemple, la conservation) peuvent fournir un potentiel d'atténuation du changement climatique cumulé plus élevé d'ici 2050 que les stratégies prévoyant des niveaux d'exploitation plus élevés, et ce, sans qu'il soit nécessaire de modifier les bénéfices de substitution (FD) ou la gestion actuelle des émissions de CH₄ provenant des sites d'enfouissement.

2.2.2.3. Exemple à l'échelle locale

La même méthodologie peut également être utilisée pour réaliser une évaluation à l'échelle locale. Dans une étude publiée par le service forestier de l'USDA en collaboration avec RNCAN, des chercheurs ont évalué les options d'atténuation du changement climatique pour deux paysages du secteur forestier des États-Unis pour la période 2018-2050 (Dugan et al., 2018). Ils ont constaté qu'aucun de leurs résultats ne soutient l'hypothèse selon laquelle « l'utilisation du bois pour la production de bioénergie est neutre en carbone ».

Plus précisément, Dugan et al. (2018) ont constaté que l'affectation d'une plus grande quantité de bois récolté à la production de bioénergie n'entraîne pas un avantage de substitution suffisant, sur une période de 32 ans, pour compenser l'augmentation des émissions dues à la combustion de la biomasse ou la réduction des stocks de carbone dans les écosystèmes.

Comme le notent les chercheurs, si la période étudiée était étendue à plus de 50 ans, les résultats seraient probablement différents. Ils pourraient notamment montrer un bénéfice en termes d'atténuation du changement climatique, puisque les forêts auraient le temps de se reconstituer pendant cette période plus longue. Toutefois, ce délai étendu n'est pas compatible avec les objectifs climatiques actuels visant à atteindre la carboneutralité d'ici 2050.

Il convient en outre de rappeler que plus le délai est long, plus les incertitudes sont grandes; ce constat s'applique par exemple à l'impact du changement climatique sur les forêts ou à la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles dans d'autres secteurs (Dugan et al., 2018).

Tel que mentionné par Dugan et al., 2018, la déclaration selon laquelle la combustion de la biomasse est carboneutre est donc une hypothèse politique qui ne reflète pas les impacts réels ni le calendrier des émissions qui sont relâchées dans l'atmosphère en conséquence de l'utilisation de la bioénergie.

2.2.2.4. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité

Comme mentionné dans l'étude de Smyth et al. (2017), les avantages de la substitution au niveau national doivent être pris en compte dans une perspective systémique d'atténuation du changement climatique, ceci afin d'éviter l'élaboration de politiques qui n'apportent aucun avantage net pour l'atmosphère. La séquestration du CO₂ biogénique dans les écosystèmes forestiers et les émissions provenant de la décomposition ou de la combustion de la biomasse doivent être incluses pour être en mesure d'évaluer les avantages de l'utilisation de la biomasse en matière d'atténuation du changement climatique à l'échelle locale, régionale ou nationale.

Différentes études, décrites dans la section 2.2.2, ont évalué les avantages de l'utilisation de la biomasse en matière d'atténuation du changement climatique au niveau régional ou national. Ces études ont utilisé des facteurs de déplacement qui représentent le plus grand volume d'émissions évitées pour tenir compte de l'avantage de substitution des nouveaux bioproduits disponibles sur les marchés. Ces facteurs sont basés sur le bouquet énergétique actuel et les types d'installations bioénergétiques considérés dans les études, soit principalement les installations de production de chaleur, d'électricité et de cogénération.

Dans un avenir carboneutre, de nombreux secteurs devraient décarboner leur production, comme les secteurs du ciment, de l'acier et des transports. Ces mesures auraient à leur tour un impact sur les « émissions évitées » grâce au recours aux bioproduits. Lorsque l'on évalue l'utilisation de la biomasse dans un contexte de transition vers la carboneutralité, il est essentiel de procéder à une évaluation quantitative des avantages des différents scénarios d'utilisation de la biomasse en matière d'atténuation du changement climatique, tout en tenant compte de la décarbonation potentielle d'autres secteurs d'utilisation finale.

Il convient également d'évaluer les nouvelles technologies potentielles de conversion de la biomasse en tenant compte de leurs efficacités de conversion et du volume plus ou moins grand des émissions générées au cours de leur chaîne d'approvisionnement. Les différentes voies de conversion de la biomasse peuvent en effet avoir un impact positif ou négatif sur l'atténuation du changement climatique.

2.3. Les outils d'aide à la décision

De nombreux outils d'aide à la décision ont été développés pour fournir des données et des analyses concernant l'utilisation de la biomasse, que ce soit dans le cadre de l'évaluation du développement de nouveaux projets, de l'exploration du potentiel de décarbonation des secteurs économiques ou de la planification de l'utilisation durable des ressources en biomasse avec d'autres utilisations des terres.

La plupart des outils d'aide à la décision, qui ont été identifiés et qui sont accessibles au public, peuvent être regroupés en deux approches principales : les approches axées sur

l'utilisation finale/la demande et les approches axées sur l'utilisation des terres/des ressources.

Cette section présente des exemples d'outils d'aide à la décision et explore les limites des approches existantes pour l'évaluation de l'utilisation de la biomasse dans un contexte de transition vers la carboneutralité.

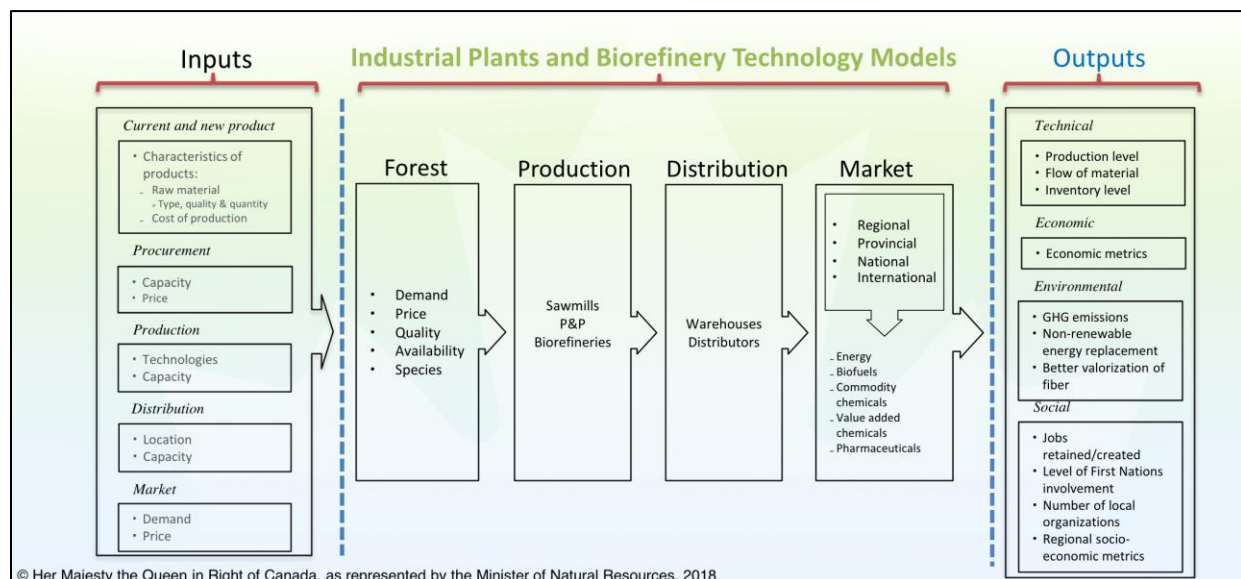
2.3.1. Les outils axés sur l'utilisation finale/la demande

2.3.1.1. Description

Des outils de prise de décision multicritères ont été élaborés pour permettre l'évaluation des projets d'utilisation de la biomasse. Un exemple de ces outils est la plateforme logicielle I-BIOREF qui a été développée par CanmetÉNERGIE, Ressources naturelles Canada (Figure 2-7). Cette plateforme permet d'évaluer la viabilité d'une bioraffinerie, que celle-ci soit autonome ou intégrée à une usine existante.

Ce type d'outil comprend des données techniques, économiques, environnementales et sociales, associées à des types de processus spécifiques, dans le but d'évaluer la viabilité d'un projet de bioraffinage et aider à la conception du projet (Benali et Ajao, 2018).

Figure 2-7 : Approche utilisée pour la création de la plateforme logicielle I-BIOREF développée par Ressources naturelles Canada en 2018

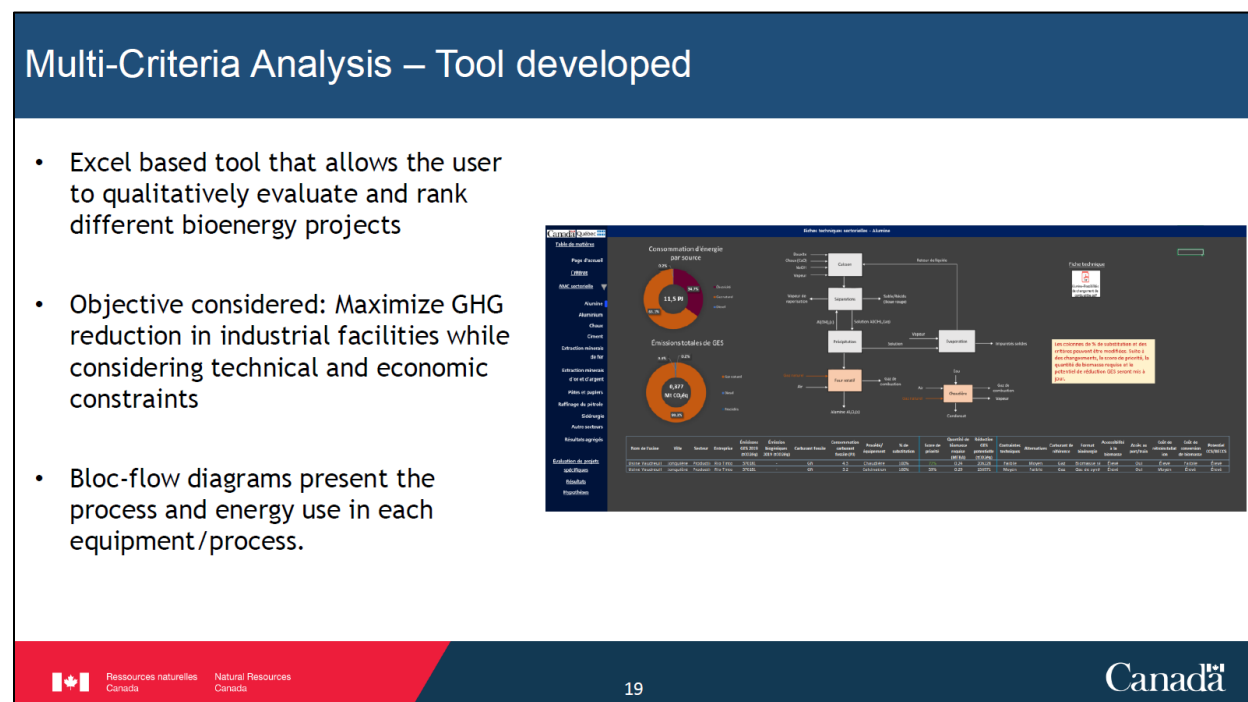


Source : Benali et Ajao, 2018

Un autre exemple d'outil d'aide à la décision est l'outil d'analyse multicritère développé également par CanmetÉNERGIE. Cet outil évalue et classe différents projets faisant appel à la bioénergie dans le secteur industriel afin de déterminer l'ordre de mérite des différentes utilisations de la biomasse (Figure 2-8).

L'objectif principal de cette évaluation est de maximiser la réduction des émissions de GES dans les installations industrielles tout en tenant compte des contraintes techniques et économiques. Plus de détails sur cet outil multicritère sont inclus dans la présentation disponible sur le site de l'IET ².

Figure 2-8 : Outil d'analyse multicritère pour l'utilisation industrielle de la biomasse



2.3.1.2. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité

L'adoption d'une approche axée sur l'utilisation finale, qui permet d'évaluer les projets de bioénergie avec l'objectif de maximiser les réductions de GES dans un secteur particulier, peut s'avérer fort utile pour prendre une décision optimisée pour le secteur d'utilisation finale correspondant. Ce type d'outil permet de hiérarchiser les options disponibles pour les secteurs d'utilisation finale, en supposant la disponibilité d'une certaine quantité de biomasse.

Une telle approche présente toutefois des limites puisqu'elle n'évalue pas l'impact de l'utilisation de ces matières premières de biomasse pour la production de bioénergie par rapport à d'autres utilisations potentielles des ressources de la biomasse (par exemple de ne pas récolter ou des usages non-énergétiques). Cette approche ne tient pas compte

² La présentation est disponible sur le site internet de l'Institut de l'énergie Trottier à travers cet hyperlien : <https://iet.polymtl.ca/fr/biomasse-et-carboneutralite/page/rencontre-de-mi-parcours>.

de l'impact de l'utilisation de ces matières premières de la biomasse sur les émissions liées à l'affectation des terres.

Elle doit donc être associée à des évaluations supplémentaires pour qu'il soit possible de déterminer la meilleure utilisation de la biomasse en tenant compte des avantages et des compromis découlant de la récolte et des utilisations potentielles de la biomasse.

2.3.2. Les outils axés sur l'utilisation des terres/des ressources

2.3.2.1. Description

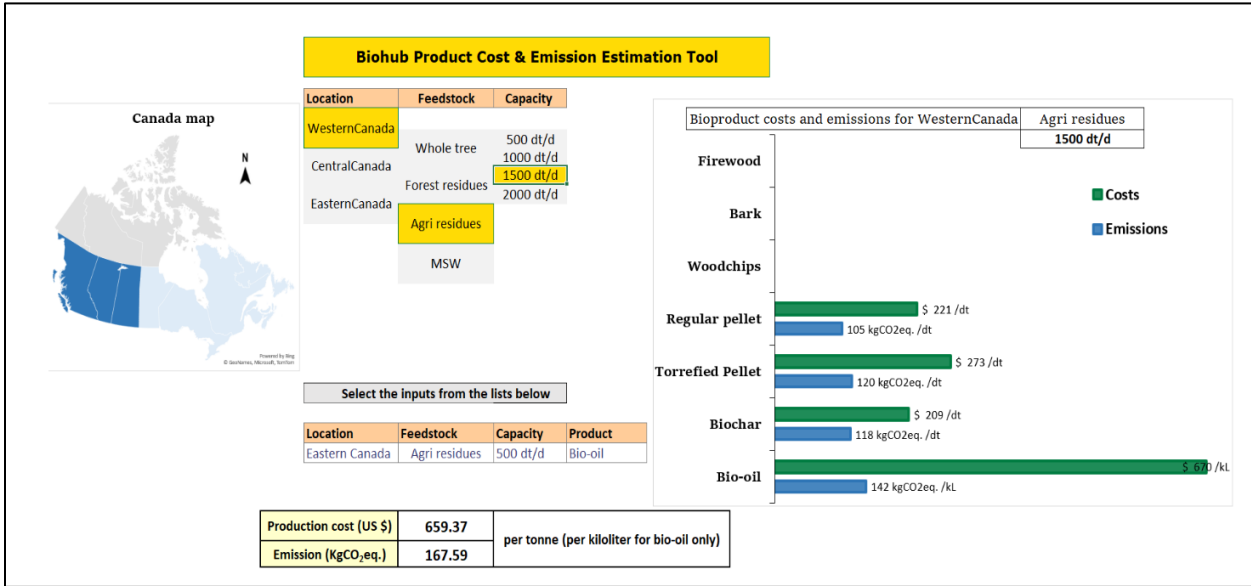
La deuxième catégorie d'outils et de cadres disponibles pour l'évaluation de la biomasse concerne les approches axées sur l'utilisation des terres et des ressources.

Par exemple, des cadres d'évaluation ont été conçus pour garantir une gestion durable des forêts. Ces cadres utilisent différents indicateurs et visent notamment à assurer des niveaux de récolte durables et à éviter l'impact de la récolte de la biomasse sur l'eau, le sol et la biodiversité. Au Canada, le Conseil canadien des ministres des forêts a publié un cadre de critères et d'indicateurs (C&I) pour faciliter l'établissement de rapports sur la durabilité de l'aménagement forestier. Ce cadre comprend 6 critères et 46 indicateurs incluant, par exemple, la biodiversité, l'état et la productivité des écosystèmes ainsi que leur rôle dans les cycles écologiques mondiaux. L'objectif de ce cadre est de rendre compte de la durabilité de l'aménagement forestier au niveau national (Conseil canadien des ministres des forêts, 2003).

Des outils d'aide à la décision ont également été développés pour les chaînes d'approvisionnement en biomasse. Par exemple, un outil d'analyse technico-économique sous forme de tableur (CANBIO-HUB 2.0) a été développé pour faciliter la prise de décisions économiques relatives au développement de « bio-hubs » au Canada (IEA Bioenergy Task 43, 2025).

Les « bio-hubs » sont des installations intermédiaires qui pourraient être déployées pour améliorer la rentabilité des chaînes d'approvisionnement en biomasse en stockant, manipulant et/ou triant les matières premières avant leur rechargement. Dans certains cas, les « bio-hubs » pourraient inclure la transformation de la biomasse en produits intermédiaires (par exemple, des granules, de la biohuile). Cet outil de modélisation fournit des estimations des coûts et des émissions de divers bioproduits dans certaines conditions de facteurs pour les « bio-hubs » (localisation, matière première et capacité de production de bioproduits) (Figure 2-9).

Figure 2-9 : Outil de modélisation CANBIO-HUB 2.0 pour les biohubs au Canada

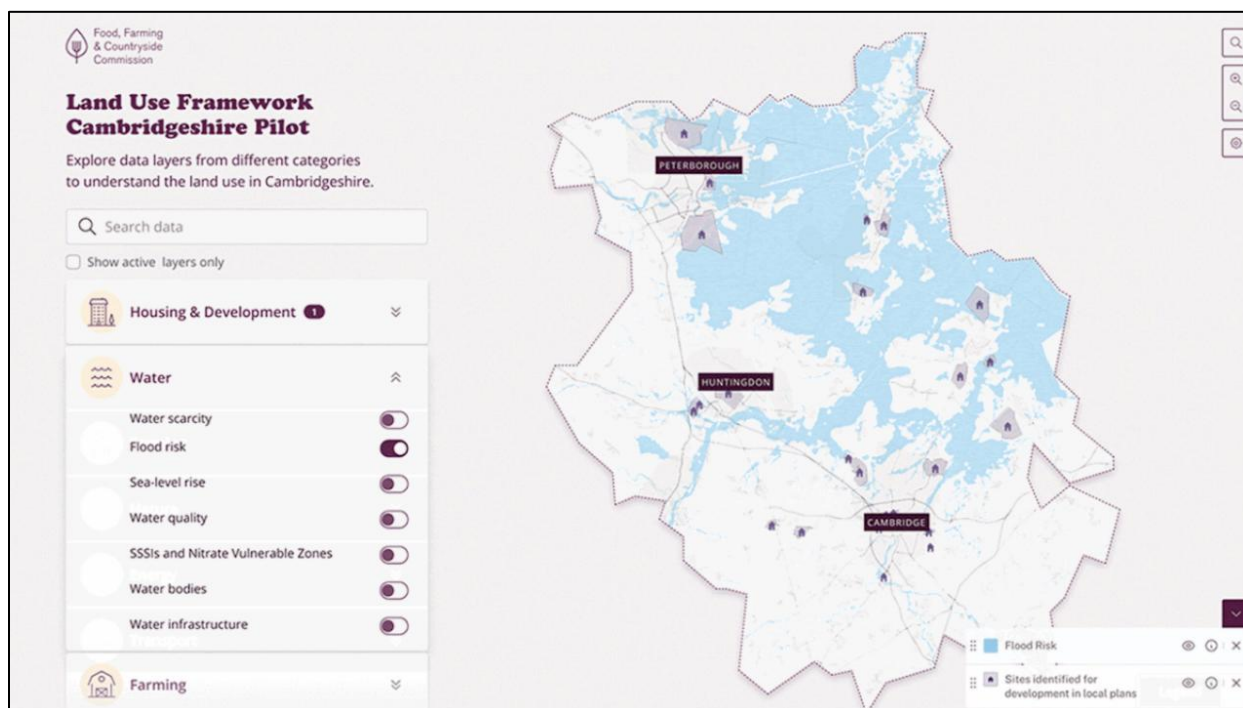


Source : IEA Bioenergy Task 43, 2025

À notre connaissance, le cadre développé par la Food, Farming and Countryside Commission (FFCC) du Royaume-Uni est l'exemple le plus proche d'un outil d'aide à la décision conçu pour aider à prendre de meilleures décisions en matière d'affectation des terres. Dans ce cas, les décisions portent sur l'utilisation des terres, une ressource limitée et soumise à une pression croissante (Food, Farming and Countryside Commission, 2023).

Ce cadre de la FFCC, intitulé « Multifunctional Land Use Framework », est en cours d'élaboration dans le cadre de programmes pilotes en Angleterre. Son objectif est d'aider à gérer la prise de décisions complexes en matière d'affectation des terres et de répondre aux différentes demandes d'utilisation des terres, ceci incluant notamment l'alimentation, le logement, les objectifs en matière de climat et de biodiversité et la sécurité énergétique (Figure 2-10).

Figure 2-10 : Cadre d'utilisation multifonctionnelle des terres développé pour le projet pilote du Cambridgeshire



Source : Food, Farming and Countryside Commission, 2023

2.3.2.2. Les limites dans un contexte de transition vers la carboneutralité

Les approches axées sur l'utilisation des terres ou des ressources, telles que les cadres conçus pour garantir la gestion durable des forêts, sont essentielles pour assurer la durabilité des pratiques actuelles et suivre leur impact sur divers indicateurs, notamment ceux liés au sol, à l'eau et à la biodiversité.

Toutefois, ce type de cadres présente des limites en ce qui concerne l'impact de l'utilisation des matières premières de la biomasse dans les secteurs d'utilisation finale. En effet, il ne permet pas de comparer cette utilisation avec des options alternatives pour les secteurs concernés et pour les services requis par la société, tels que le transport routier, le chauffage des locaux, les processus industriels, etc.

En d'autres termes, cette approche peut s'avérer utile du côté de l'offre, mais elle n'intègre pas les défis et les opportunités du côté de la demande.

Le cadre d'utilisation multifonctionnelle des terres « Multifunctional Land Use Framework » constitue un bon exemple d'approche intégrative. Cet outil d'aide à la décision lie la pensée stratégique et la pensée granulaire dans le but de briser les silos et soutenir une prise de décision plus holistique en matière d'utilisation des terres.

Partie 2 : Élaboration d'un cadre d'évaluation

Nous avons effectué des recherches approfondies sur les méthodes actuelles d'évaluation de l'utilisation de la biomasse et organisé de nombreuses discussions avec les parties prenantes et les spécialistes en la matière dans le cadre de cinq ateliers régionaux, d'un forum national et de multiples autres réunions. Ces démarches nous ont permis de constater qu'il existe un besoin évident d'élaborer une approche adaptée pour évaluer les utilisations de la biomasse dans un contexte de transition vers la carboneutralité.

La deuxième partie de ce document présente donc une description de l'approche proposée pour évaluer les projets d'utilisation de la biomasse dans le cadre de la transition du Canada vers la carboneutralité. Elle décrit également la structure de l'outil d'aide à la décision développé.

3. Approche proposée pour l'élaboration d'un cadre d'évaluation

3.1. Une approche adaptée pour la biomasse

Comme indiqué dans la première partie du présent rapport, les secteurs liés à l'utilisation de la biomasse diffèrent des autres secteurs des énergies renouvelables. Ils s'en distinguent par les méthodes utilisées pour la comptabilisation et la déclaration des émissions et par la façon dont les industries de la chaîne d'approvisionnement sont structurées.

Par conséquent, il est nécessaire de définir une approche adaptée pour évaluer les utilisations de la biomasse dans le cadre d'un avenir carboneutre en raison des trois observations décrites ci-dessous.

- Des approches d'évaluation axées sur les ressources et sur l'utilisation finale

Les outils d'aide à la décision qui sont actuellement disponibles sont axés sur l'aménagement des forêts et l'utilisation des terres, ou sur le développement de projets dans divers secteurs d'utilisation finale. Ces deux approches sont essentielles pour analyser l'impact de la récolte de biomasse sur l'écosystème ou mesurer les avantages de l'utilisation de la biomasse dans un secteur d'utilisation finale donné.

Cependant, il n'existe actuellement aucun outil d'aide à la décision offrant une vision systémique qui intègre les défis et les opportunités du côté de l'approvisionnement et de la demande. Un tel outil permettrait aux décideurs de comparer les différentes utilisations de la biomasse et de prendre des décisions stratégiques en ce qui concerne la meilleure manière d'utiliser les ressources de biomasse dans un avenir carboneutre.

- **L'impact multisectoriel et l'interdépendance des industries liées à l'utilisation de la biomasse**

La récolte et l'utilisation de la biomasse dépendent de multiples industries qui se servent chacune d'une partie des matières premières récoltées à des fins énergétiques ou non énergétiques. Certaines industries utilisent le bois récolté tandis que d'autres se servent des « résidus » ou des « déchets » provenant des scieries, du secteur des pâtes et papiers, ou encore des produits du bois en fin de vie.

L'annexe 3 présente un exemple de ces interconnexions dans l'industrie forestière et montre le flux détaillé de la biomasse dans le secteur forestier du Québec, de la récolte à l'élimination.

En outre, les émissions résultant de la récolte et de l'utilisation de la biomasse proviennent de plusieurs secteurs, notamment ceux de la foresterie, de l'agriculture, de l'énergie et des déchets. Par conséquent, **les avantages de la « biomasse » en matière d'atténuation du changement climatique dépendent des décisions prises à chaque étape de cette chaîne de valeur, depuis la gestion de l'écosystème et la récolte de la biomasse jusqu'aux processus de conversion et à l'élimination** (voir une présentation détaillée sur ce sujet à la section 2.2.2). Les décisions prises en silo, sans approche systémique de la quantification des émissions, entraînent des incertitudes quant à l'impact total des bio-industries sur l'atténuation du changement climatique.

- **Perspectives au niveau du projet et du système**

La viabilité d'un projet d'utilisation de la biomasse dépend principalement du contexte dans lequel il s'inscrit : il faut en effet qu'il y ait des ressources en quantité suffisante sur une certaine durée ainsi qu'une demande du marché pour son produit. Une évaluation à l'échelle du projet pourrait prendre en compte, outre la viabilité du projet, l'impact de celui-ci sur la chaîne de valeur existante, car il peut compléter ou concurrencer d'autres activités.

Cependant, une évaluation par projet ne peut pas et n'a pas besoin de saisir les effets collatéraux de cette réallocation des ressources sur l'économie locale, ni sur l'efficacité systémique de l'utilisation de la biomasse et sa contribution à la réduction des émissions. Ces effets ne peuvent être mesurés que dans une perspective systémique.

Une évaluation au niveau du système permettrait d'envisager d'autres alternatives pour la ressource de biomasse que le bioproduit proposé et suggérerait d'autres solutions pour décarboner l'utilisation finale à laquelle le bioproduit était destiné. **L'adoption d'une telle perspective sur le système de la biomasse déplace le centre d'intérêt de la décarbonation : on passe ainsi de la décarbonation des combustibles à la décarbonation de l'utilisation finale**, ce qui permet d'élargir la contribution possible de la biomasse à l'atteinte de l'objectif de la carboneutralité.

3.2. Concept du cadre proposé

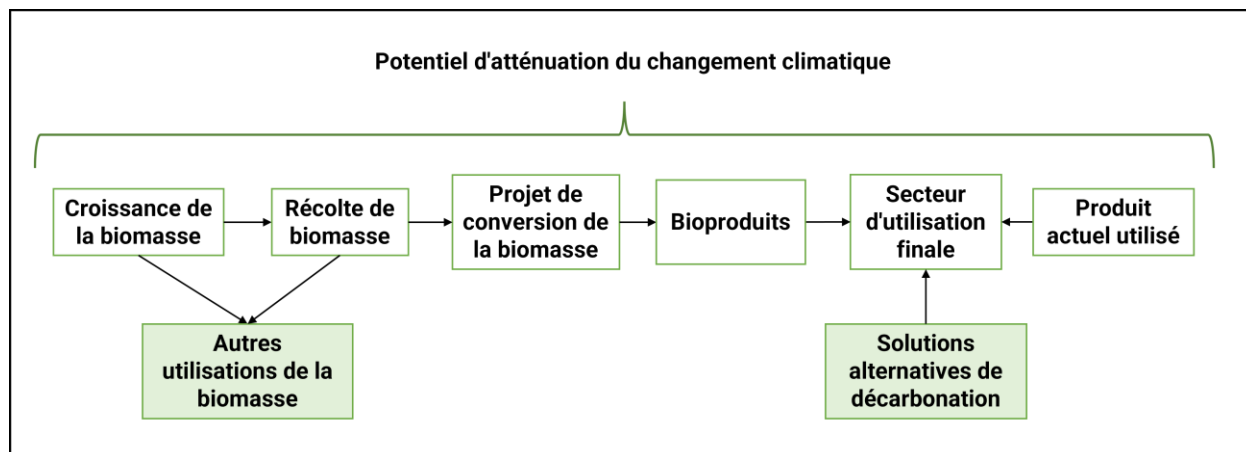
Pour prendre en compte toutes les observations mentionnées ci-dessus, l'approche proposée pour l'évaluation de l'utilisation de la biomasse est un cadre stratégique d'évaluation offrant une perspective systémique de l'utilisation de la biomasse.

Pour évaluer un projet qui vise à utiliser les ressources de la biomasse à des fins énergétiques ou non énergétiques dans un contexte de transition vers la carboneutralité, il faut prendre en compte les trois questions principales suivantes :

1. Quelles sont les **autres possibilités d'utilisation** des ressources disponibles et quels sont les compromis consentis pour la réalisation du projet?
2. Quelle est la contribution du projet à la décarbonation du secteur de l'utilisation finale et comment se compare-t-elle à **d'autres solutions**?
3. Quel est l'impact du projet sur **l'atténuation du changement climatique**?

Pour répondre à ces questions, il est nécessaire de définir des indicateurs relatifs à l'approvisionnement et la demande, ceci afin d'être en mesure de prendre une décision éclairée sur la meilleure façon d'allouer les ressources en biomasse à différents projets dans un avenir carboneutre.

Figure 3-1 : Représentation schématique d'une chaîne de valeur générale pour un projet d'utilisation de la biomasse



3.2.1. Identifier et comparer les alternatives

En ce qui a trait à l'approvisionnement, il est nécessaire d'identifier des alternatives au projet proposé pour l'utilisation de la biomasse. Il peut s'agir de maintenir le statu quo (par exemple, laisser des résidus dans les forêts ou en disposer dans des lieux d'enfouissement, se servir de la biomasse à des fins non énergétiques, etc.) ou d'utiliser les ressources dans un autre projet de conversion. Les alternatives viables doivent être

sélectionnées en fonction du contexte local, car la disponibilité de la biomasse et les conditions nécessaires au développement du projet diffèrent d'une région à l'autre.

Certains projets nécessitent des quantités relativement importantes de biomasse pour pouvoir être développés à l'échelle commerciale. Par exemple, un projet de gaz naturel renouvelable (GNR) visant à convertir le bois en GNR par gazéification et méthanisation nécessite environ 500 milliers de tonnes sèches au four (kodt) de fibres de bois par année (TorchLight Bioresources Inc. 2020). En comparaison, une usine de cogénération nécessite des quantités relativement plus faibles, les usines de cogénération à petite et à grande échelle utilisant respectivement environ 2 et 47 kodt/an (Smyth, Rampley, et al., 2017).

Par conséquent, la liste des projets alternatifs viables dans une région donnée dépendra d'abord de la disponibilité de la biomasse à utiliser.

En ce qui a trait à l'utilisation finale/la demande, il est nécessaire d'identifier des solutions alternatives de décarbonation pour le secteur concerné. Pour évaluer un nouveau projet de bioénergie dans un contexte de transition vers la carboneutralité, il faut comparer les avantages du bioproduit, et ce, non seulement par rapport au combustible fossile qu'il remplacerait, mais aussi en ce qui concerne les choix alternatifs qui sont compatibles avec un avenir carboneutre.

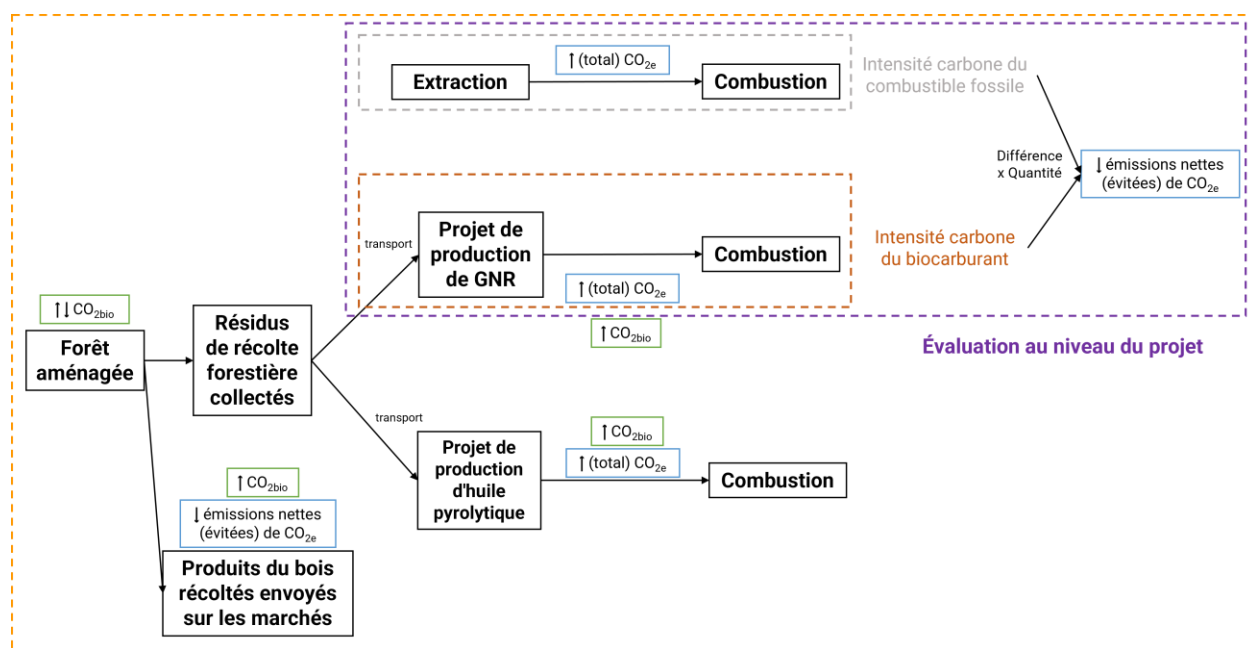
Dans le cadre de ce projet, une revue des technologies alternatives existantes a été réalisée, que ces technologies soient basées sur l'utilisation de la biomasse ou non, pour les différents secteurs d'utilisation finale (par exemple, les transports, les bâtiments résidentiels, la chaleur industrielle). Cette revue des technologies alternatives est présentée à l'annexe 4.

Après avoir identifié les alternatives pertinentes pour l'utilisation de la biomasse et pour la décarbonation du secteur de l'utilisation finale, l'impact de ces différents choix doit être comparé sur la base d'une variété d'indicateurs environnementaux, économiques et sociaux.

3.2.2. Impact sur l'atténuation du changement climatique

L'évaluation de l'impact d'un nouveau projet de conversion de la biomasse sur l'atténuation du changement climatique est complexe en raison de la dynamique du carbone biogénique. La méthodologie utilisée par les chercheuses et les chercheurs pour évaluer l'impact des différentes « utilisations de la biomasse » dépend de la portée de l'analyse (projet ou région) (Figure 3-2).

Figure 3-2 : Exemple illustrant la différence entre les limites prises en compte dans une évaluation de projet et une évaluation au niveau régional du potentiel des utilisations de la biomasse sur l'atténuation du changement climatique



Potential d'atténuation de changement climatique de l'utilisation de la biomasse au niveau régional (UG, province ou pays)

Notes : CO₂bio (en vert) réfère aux émissions de CO₂ biogénique. CO₂e (en bleu) désigne l'ensemble des émissions de GES libérées au cours du cycle de vie, à l'exclusion des seules émissions de CO₂ biogénique (le CH₄ et le N₂O biogéniques sont inclus).

Pour comparer le potentiel de réduction des GES de différents projets de biocarburants, on a généralement recours à une approche basée sur une analyse du cycle de vie (voir la section 2.2.1). Cette approche permet de déterminer l'intensité carbone (IC) d'un bioproduit (lignes pointillées en brun dans la Figure 3-2). L'IC comprend les émissions générées depuis l'extraction/la collecte des matières premières jusqu'à l'utilisation finale/la combustion du produit.

En déterminant la différence entre l'IC d'un bioproduit et l'IC du produit fossile qu'il est destiné à remplacer, les émissions totales évitées peuvent être calculées sur la base de la quantité de bioproduit fabriquée dans le cadre du nouveau projet. Les valeurs de l'IC ne comprennent pas les émissions biogéniques de CO₂ provenant de la combustion de la biomasse ni la séquestration de CO₂ due à la croissance de la biomasse.

Il convient de noter que l'utilisation de l'hypothèse de la neutralité en carbone dans les analyses du cycle de vie ne signifie pas que les émissions de carbone biogénique ne sont pas prises en compte dans les inventaires nationaux déclarés à la CCNUCC (voir la section 1.4.1 pour la méthodologie détaillée utilisée au Canada).

Comme le mentionnent les lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de GES:

Les émissions de CO₂ imputables aux biocombustibles sont estimées et présentées dans le secteur AFAT dans le cadre de la méthodologie AFAT. Dans les tableaux de présentation, les émissions imputables à la combustion de biocombustibles sont présentées comme éléments pour information mais non incluses dans les totaux sectoriels ou nationaux pour éviter un double comptage (GIEC, 2006, section 2.3.3.4).

Par conséquent, l'impact de la production et de l'utilisation de biocombustibles sur les émissions de CO₂ biogénique n'est pas pris en compte dans les évaluations réalisées au niveau des projets. Toutefois, la modification des niveaux de récolte et les types de projets déployés à l'avenir auront toujours un impact sur les émissions qui sont suivies et déclarées dans les secteurs de l'affectation des terres. Cela serait le cas, par exemple, si un volume plus important de biomasse forestière était utilisé dans des produits à longue durée de vie ou pour la bioénergie.

Pour quantifier le potentiel d'atténuation du changement climatique du secteur forestier au niveau régional, provincial ou national (par exemple, par année ou de façon cumulative jusqu'en 2050), les chercheuses et les chercheurs utilisent généralement une approche systémique pour comptabiliser les émissions générées dans une région donnée (voir la section 2.2.2). Cette approche systémique prend en compte toutes les émissions et absorptions biogéniques en plus de l'avantage de substitution qui est déterminé par les méthodologies d'ACV (lignes pointillées violettes dans la Figure 3-2).

Comme le montrent les études présentées dans ce rapport, de nombreux facteurs influent sur le bilan carbone global de l'utilisation de la biomasse ou sur le potentiel net d'atténuation du changement climatique. Ces facteurs comprennent notamment les types de biomasse utilisés et leur localisation, l'efficacité de conversion des technologies sélectionnées et le type de produits remplacés dans les secteurs d'utilisation finale.

Par conséquent, à des fins de comparaison, divers indicateurs peuvent être utilisés pour comparer et identifier les projets qui pourraient potentiellement permettre d'atteindre un meilleur bilan carbone. Par exemple, en ayant un rendement de conversion plus élevé, en remplaçant des combustibles fossiles à plus forte intensité carbone, ou en stockant le carbone biogénique dans des produits pour une plus longue durée (ou stockage permanent).

4. L'outil d'aide à la décision *Biomass System Perspective*

Un outil d'aide à la décision fondé sur des données probantes a été conçu et développé dans le cadre de ce projet. Cet outil est destiné à soutenir l'évaluation des utilisations de la biomasse dans la transition du Canada vers la carboneutralité, et ce, sur la base du cadre d'évaluation proposé et décrit dans les sections précédentes.

L'outil d'aide à la décision *Biomass System Perspective* (BSP) a été conçu en intégrant les secteurs liés à l'utilisation de la biomasse qui produisent (côté approvisionnement) et ceux qui transforment les matières premières de la biomasse à des fins énergétiques et non énergétiques (côté d'utilisation finale).

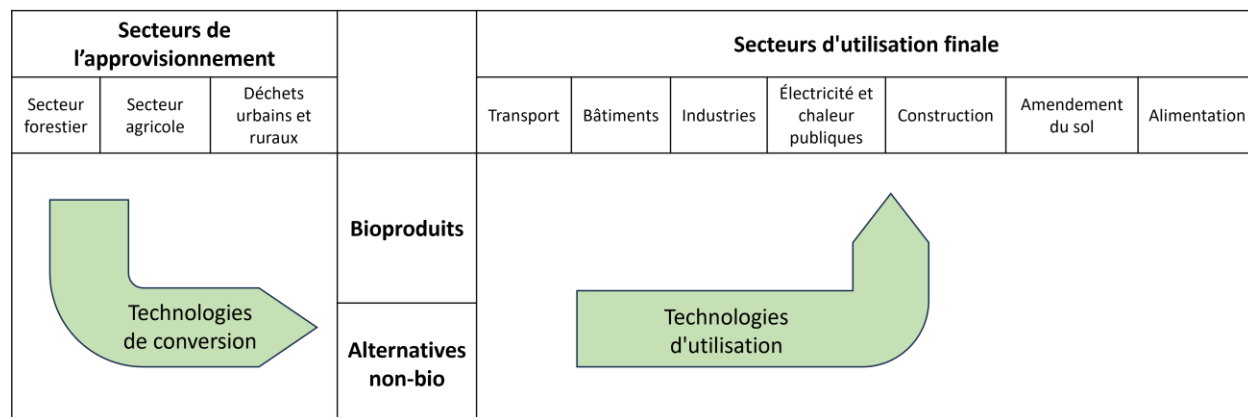
Une représentation schématique de la structure de l'outil d'aide à la décision BSP est présentée à la Figure 4-1.

Cette structure intégrative permet d'identifier la concurrence potentielle ou les opportunités d'utilisation de la biomasse, depuis la récolte des matières premières de la biomasse jusqu'à l'utilisation finale des bioproduits dans différents secteurs économiques.

Plus précisément, l'outil BSP peut être utilisé pour :

- (1) Identifier des utilisations possibles des ressources en biomasse ;
- (2) Identifier des solutions alternatives pour la décarbonation des secteurs d'utilisation finale ;
- (3) Comparer les options alternatives sur la base de différents indicateurs (par exemple, l'efficacité de la conversion, l'intensité carbone).

Figure 4-1 : Représentation schématique de l'outil d'aide à la décision *Biomass System Perspective*



Dans le cadre de ce projet, des ateliers régionaux et un forum national ont été organisés pour rassembler les parties prenantes et les spécialistes du monde universitaire, des gouvernements, des communautés autochtones et des secteurs industriels. L'objectif de ces réunions consistait à discuter des éléments à prendre en compte lors de l'évaluation des utilisations de la biomasse. Tous les éléments proposés par les participantes et les participants et discutés lors des ateliers régionaux sont présentés dans le rapport de synthèse des ateliers³. La liste des parties prenantes qui ont participé aux ateliers de travail est disponible dans l'annexe 4.

Après des consultations et une revue de la littérature, certains indicateurs ont été sélectionnés pour l'élaboration d'un outil d'aide à la décision intitulé « Biomass System Perspective » (BSP). Ces indicateurs ont été choisis en fonction de leur pertinence pour l'évaluation des utilisations de la biomasse dans un contexte de transition vers la carboneutralité et de la disponibilité des données.

Les indicateurs qui ont été sélectionnés pour être intégrés dans l'outil BSP sont présentés dans le Tableau 4-1.

³ Le rapport de synthèse des ateliers est disponible sur le site de l'Institut de l'énergie Trottier à l'adresse suivante : <https://iet.polymtl.ca/fr/biomasse-et-carboneutralite/resultats>.

**Tableau 4-1 : Indicateurs proposés pour l'intégration dans l'outil d'aide à la décision
Biomass System Perspective**

Secteurs de l'approvisionnement	Indicateurs	Description et raison de la sélection	La disponibilité des données et la manière dont elles peuvent être intégrées dans l'outil BSP
			<i>Les ressources de biomasse comprennent différents types de matières premières qui sont collectées soit directement après la récolte, soit comme résidus de transformation ou comme déchets après l'utilisation finale du produit.</i> <i>Si un projet vise à utiliser, par exemple, des « matières premières lignocellulosiques » pour produire des biocarburants, l'impact sur l'écosystème et sur les émissions dépend de la matière première spécifique utilisée. Des indicateurs sont donc nécessaires pour comparer l'impact et les risques potentiels liés au choix d'une matière première plutôt qu'une autre.</i>
	Disponibilité des ressources de biomasse (quantités historiques et prévues)	Il est nécessaire d'effectuer des estimations de la disponibilité des matières premières au niveau national, provincial ou local au Canada pour identifier les alternatives potentielles susceptibles d'être utilisées pour un projet donné. La disponibilité des matières premières peut augmenter ou diminuer à long terme selon les régions, en raison du changement climatique, de l'évolution des pratiques ou de la demande du marché. C'est pourquoi, en plus des données historiques, il convient de prendre en compte les prévisions concernant les changements potentiels en matière de disponibilité.	Les informations concernant les quantités de ressources de biomasse peuvent être trouvées dans différentes références, soit dans les publications de Ressources naturelles Canada et de Statistique Canada, soit dans des articles scientifiques (par exemple, pour les résidus de la récolte forestière). En ce qui concerne les changements potentiels dans la disponibilité de la biomasse, des données et des spécifications pourraient être ajoutées à l'outil sur la base d'une analyse de la littérature. Le suivi des quantités de biomasse pose problème, principalement en raison de la diversité des matières premières de la biomasse (provenant des secteurs de la foresterie, de l'agriculture et des déchets) et de la diversité de la nomenclature utilisée dans les références.

Technologies	Impact potentiel de la récolte de la biomasse	La collecte de biomasse en vue de son utilisation dans un projet de conversion peut avoir un impact positif ou négatif ou n'avoir aucun impact sur la régénération de la biomasse de remplacement. Par exemple, en ce qui concerne la collecte des résidus d'aménagement forestier, on craint généralement que l'enlèvement des résidus des forêts n'entraîne un appauvrissement des nutriments et de la matière organique du sol et n'ait donc un impact sur la productivité du sol. Dans le cas de la récolte de bois brûlés après des incendies de forêt, il est possible que la régénération du peuplement forestier soit plus rapide grâce à la récolte (Lamers et al., 2013; Thiffault, 2024).	Cet indicateur peut être intégré à l'outil en tant qu'impact (par exemple, impact positif, négatif ou nul) avec une description correspondante de la preuve scientifique et de la référence. Des études antérieures ont analysé les risques de la récolte de la biomasse sur la productivité des sols et ont conclu que les risques sont spécifiques aux matières premières et varient en ce qui concerne la certitude scientifique (Lamers et al., 2013; Thiffault, Serra et St Laurent Samuel, 2015; Thiffault et St-Laurent Samuel, 2012).
	Délai pour atteindre la parité carbone par type de ressource	Le délai nécessaire pour atteindre la parité carbone est une mesure qui représente le temps nécessaire pour atteindre les niveaux de carbone biogénique d'un scénario de référence (en l'absence de récolte). La valeur du délai pour atteindre la parité carbone (exprimée en années) dépend de trois facteurs principaux : le type de matière première utilisée, l'efficacité de la conversion de la biomasse et le type de combustible fossile substitué (décrit dans la section 1.3). Le délai peut être utilisé ici pour comparer différents types de matières premières pour la même combinaison de technologie de conversion et de combustible fossile substitué, afin de montrer l'impact de l'utilisation d'un type de matière première par rapport à un autre.	Cette mesure a été calculée dans de nombreuses études pour différents types de biomasse forestière. RNCAN a mis au point un « Calculateur de GES bioénergie » qui est accessible au public ⁴. La collecte et l'utilisation d'une matière première de biomasse donnée peuvent avoir un impact sur la régénération de la biomasse. Par conséquent, les chercheurs explorent de nouvelles valeurs de délai pour atteindre la parité carbone en tenant compte de l'impact de la collecte de ces ressources sur la régénération de la biomasse de remplacement (par exemple, une régénération plus rapide conduit à un délai de parité carbone plus faible) (Thiffault, 2024).
	Niveau de maturité technologique (NMT)	Afin d'identifier les alternatives potentielles pour l'utilisation de la biomasse ou pour la décarbonation de l'utilisation finale à court ou à long terme, il est nécessaire de connaître le niveau de maturité technologique (NMT) des technologies disponibles.	Des informations sur le TRL des technologies peuvent être trouvées dans différentes références telles que le guide des technologies des énergies propres de l'AIE ETP ou dans des rapports et des articles qui explorent l'état de développement des technologies émergentes. Pour les technologies dont le TRL est introuvable, des informations sur l'état de maturité commerciale

⁴ Le calculateur de GES bioénergie développé par Ressources naturelles Canada est accessible via ce lien: <https://apps-scf-cfs.rncan.gc.ca/calc/en/bioenergy-calculator>

			peuvent être ajoutées sur la base de l'existence d'une installation commerciale déployée au Canada ou à l'étranger.
Efficacité des technologies de conversion de la biomasse	Les rendements de conversion peuvent être utilisés pour comparer le rendement et les pertes résultant de la conversion de la biomasse en bioproduits pour chaque technologie. Il est important d'augmenter l'efficacité de la conversion de la biomasse, non seulement pour s'assurer que les ressources limitées sont utilisées de la manière la plus efficace possible, mais aussi parce que l'efficacité de la conversion a un impact sur le bilan carbone global des nouveaux bioproduits.	Deux indicateurs d'efficacité sont proposés pour être intégrés dans l'outil BSP: L'indicateur « Efficacité de la conversion » représente le rapport entre le principal bioproduit fabriqué et les intrants requis dans un processus de conversion. L'indicateur « Efficacité globale » représente le rapport entre tous les produits (y compris les coproduits) et les intrants requis dans un processus de conversion. Les informations concernant les rendements de conversion des technologies de conversion de la biomasse peuvent être trouvées dans des rapports publics et des articles scientifiques. Ces indicateurs peuvent être ajoutés à l'outil pour chaque technologie de conversion (par exemple, pyrolyse lente, gazéification).	
Efficacité des technologies d'utilisation	Outre l'efficacité des technologies de conversion de la biomasse, il faut prendre en compte l'efficacité des technologies d'utilisation finale. Cela permet de comparer l'efficacité totale des trajectoires basées sur des bioproduits par rapport à d'autres bioproduits ou à des alternatives non-bio dans la décarbonation des secteurs d'utilisation finale.	Les informations concernant les rendements des technologies d'utilisation finale peuvent être trouvées dans des rapports publics et des articles scientifiques. Cet indicateur peut être ajouté à l'outil pour chaque technologie d'utilisation finale (par exemple, chaudière, pompe à chaleur).	
Taux de substitution maximal par les technologies d'utilisation	Les bioproduits peuvent être utilisés soit par mélange (substitution partielle), soit en remplaçant totalement les produits d'origine fossile. Le taux de substitution maximal possible dépend de la technologie utilisée et des normes en vigueur. Par exemple, le kérosène paraffinique synthétique produit par hydrotraitement d'esters et d'acides gras (HEFA) est certifié par l'ASTM pour un niveau de mélange maximal de 50 % avec le carburant d'origine fossile. Par conséquent, même si les matières premières de la biomasse et les projets étaient disponibles pour remplacer entièrement le carburant d'origine fossile, il existe des limites techniques et réglementaires qui doivent être prises en compte.	Le taux de substitution peut être ajouté à l'outil pour chaque combinaison d'un bioproduit et de technologies d'utilisation. Il faut alors tenir compte du taux de substitution autorisé dans les normes réglementaires au Canada si la technologie est déjà commercialisée ou en fonction de la spécificité de la technologie si elle est encore en cours de développement. Cet indicateur peut être intégré comme un pourcentage de la substitution maximale possible d'un produit fossile par un bioproduit, dans une technologie d'utilisation donnée (par exemple, la substitution du diesel par le biodiesel dans un moteur à combustion interne).	

Secteurs d'utilisation finale	Intensité carbone	La mesure de l'intensité carbone (IC), exprimée en gCO_2/MJ, est couramment utilisée pour comparer les émissions des biocarburants sur l'ensemble de leur cycle de vie (par exemple, dans les normes et programmes gouvernementaux). Les valeurs de l'IC sont basées sur l'approche de l'analyse du cycle de vie et sont donc spécifiques au projet; elles diffèrent d'un projet à l'autre en fonction des conditions de chaque projet. Comme indiqué à la section 2.2.1, les modèles d'ACV utilisés pour calculer l'IC incluent les émissions de GES depuis la production des matières premières jusqu'à la combustion des carburants. Cependant, ces modèles ne comprennent pas le CO_2 biogénique issu de la combustion de la biomasse (qui a une incidence sur les émissions dans les secteurs de l'affectation des terres). La mesure de l'intensité carbone est utile pour comparer différents bioproduits sur la base des émissions de GES générées au cours de leur cycle de vie. Elle permet également d'estimer le volume des émissions de GES qui peuvent être évitées.	Les valeurs moyennes de l'IC au niveau national ou provincial peuvent être ajoutées pour une combinaison d'un bioproduit et d'une matière première (par exemple, l'IC de l'éthanol produit à partir de maïs au Québec ou au Canada). Il est difficile de suivre l'IC de projets spécifiques en raison du manque d'informations publiques. Les valeurs moyennes de l'IC pour certains biocarburants au Canada figurent dans des publications publiques (Government of British Columbia, 2025; Navius Research Inc., 2023) Dans le cas des voies de conversion pour lesquelles il est impossible de trouver des valeurs moyennes pour le Canada, on peut ajouter en remplacement les valeurs d'une installation existante. Notez que des informations sur la région considérée et le modèle utilisé doivent être incluses pour chaque valeur ajoutée de l'IC dans la base de données afin de pouvoir comparer les valeurs de l'IC. En effet, différents modèles peuvent utiliser des méthodologies et des hypothèses différentes.
	Consommation d'énergie secondaire dans les secteurs d'utilisation finale	La demande d'énergie secondaire de chaque secteur d'utilisation finale doit être intégrée à l'outil afin de suivre la demande de décarbonation et être en mesure d'estimer le potentiel de contribution des différentes voies à la satisfaction de la demande de l'utilisation finale.	La demande d'énergie finale dans les secteurs d'utilisation finale au Canada peut être intégrée au niveau national et provincial. Les informations sur la demande d'énergie sont accessibles au public et ont été publiées précédemment dans les Perspectives énergétiques du Canada de l'Institut de l'énergie Trottier.
	Facteur de conversion de l'énergie utile	Le facteur de conversion de l'énergie utile peut être utilisé pour estimer la demande d'énergie utile dans chaque secteur d'utilisation finale. Cela est possible du fait que la demande d'énergie secondaire (avant combustion) est principalement publiée dans les inventaires des secteurs d'utilisation finale (Statistics Canada, 2024)	Les facteurs de conversion de l'énergie utile peuvent être ajoutés pour chaque secteur d'utilisation finale (par province et pour le Canada). Cela permet d'estimer l'énergie utile obtenue par la conversion de l'utilisation de l'énergie secondaire pour différents services (par exemple, le transport, le secteur résidentiel).
	Émissions de GES dans les secteurs d'utilisation finale	Les émissions de GES peuvent être suivies pour chaque secteur d'utilisation finale. Cela permet de comparer la demande de décarbonation de l'utilisation finale et d'estimer le potentiel de contribution des différentes voies de conversion à la réduction des émissions en fonction de la disponibilité des ressources de biomasse.	Les émissions de GES dans les secteurs d'utilisation finale peuvent être ajoutées au niveau national et provincial. Les informations sur les émissions de GES sont accessibles au public et sont publiées dans le Rapport d'inventaire national du Canada.

5. Recommandations

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet a permis d'identifier de nombreuses lacunes et obstacles qui limitent l'évaluation et la comparaison des différentes utilisations de la biomasse ainsi que l'analyse de la contribution potentielle de ces utilisations à la décarbonation des utilisations finales.

La section 5.1 présente des recommandations visant à combler les lacunes en matière de données qui peuvent améliorer l'intégration des données de qualité dans l'outil d'aide à la décision « Biomass System Perspective ».

La section 5.2 présente des recommandations d'actions qui vont au-delà des analyses de projets et qui sont nécessaires pour garantir que tous les secteurs liés à l'utilisation de la biomasse au Canada contribuent à la transition vers la carboneutralité.

5.1. Les lacunes en matière de données probantes

Recommandation 1 : Améliorer la disponibilité des données relatives à l'approvisionnement en biomasse

Plusieurs études ont été réalisées afin d'explorer les solutions de décarbonation pour les secteurs d'utilisation finale et les voies de transition pour les secteurs économiques au Canada. Ces études incluent souvent les matières premières de la biomasse comme sources d'énergie potentielles pour répondre à la demande future. La précision des projections dépend des données et des hypothèses utilisées dans les analyses. Cependant, les informations sur les quantités de biomasse disponibles sont souvent difficiles à suivre, et ce, pour plusieurs raisons :

- **La variabilité et le manque de précision de la terminologie utilisée pour rendre compte de l'approvisionnement ou de l'utilisation de la biomasse** : le terme « résidus de bois » peut être utilisé pour faire référence à différents types de matières premières telles que les résidus des opérations de sciage, les résidus de la récolte forestière et le bois de faible qualité sans marché dépendamment de la référence.

Par exemple, selon la définition donnée par Statistique Canada dans son enquête annuelle sur les déchets de bois solides et la liqueur de cuisson pour la production d'énergie au Canada, la catégorie « bois et déchets du bois » représente : « Bois et énergie tirée du bois utilisés comme combustibles, incluant le bois rond (bois vendu à la corde), la lignine, les résidus de la fabrication de meubles et de cadres de fenêtres, les copeaux de bois, l'écorce, la sciure, les retailles de bois d'œuvre, les résidus forestiers, le charbon de bois et les détritrus de pâte provenant de

l'exploitation d'usines de pâte, de scieries et d'usines de contreplaqué. » (Statistics Canada 2023; Statistics Canada 2024b)

- **Le manque de données sur les « matières premières émergentes »** : les résidus de scierie, qui sont les principaux types de matières premières dont l'on se sert actuellement pour produire de la bioénergie, sont presque entièrement utilisés par les industries existantes. Les rapports estimant le potentiel de la biomasse dans les voies de décarbonation font référence à d'autres types de matières premières pouvant être utilisés pour la bioénergie, tels que les résidus de la récolte forestière, le bois brûlé et le bois issu des opérations d'éclaircissement.

Les quantités disponibles pour ces types de « matières premières émergentes » ne sont pas explicitement rapportées par Statistique Canada. Des estimations des quantités potentielles de certains types de biomasse, comme le bois affecté par des perturbations naturelles, peuvent être trouvées dans des études scientifiques qui sont basées sur les données des feux de forêt des années précédentes (Barrette et al., 2018). Cependant, pour les années à venir, il n'est pas possible d'estimer avec une grande certitude les quantités qui seront potentiellement disponibles pour la production de bioénergie.

Il est essentiel pour les analyses qui seront réalisées à l'avenir de procéder à une estimation des quantités disponibles et accessibles de chaque type de matières premières en se basant sur des données récentes. Cela permettra d'estimer avec précision le potentiel des voies de conversion de la biomasse et de réduire les incertitudes concernant le potentiel de la biomasse en matière de décarbonation des secteurs d'utilisation finale.

Recommandation 2 : Imposer la transparence dans les rapports sur l'intensité carbone

L'intensité carbone (IC) est le principal indicateur utilisé pour comparer l'impact des biocarburants existants et émergents sur les émissions de gaz à effet de serre. Cette mesure est également utilisée dans les programmes gouvernementaux, tels que le Règlement sur les combustibles propres (RCP), pour fixer des objectifs, suivre la conformité des industries de biocarburants et établir un marché du crédit. Il est actuellement difficile de suivre l'IC des projets déployés au Canada et de comparer plusieurs projets en raison de la confidentialité des informations concernant l'IC.

La valeur de l'IC dépend de nombreux facteurs, notamment des matières premières utilisées, de la distance de transport, du type de combustible fossile utilisé et des spécifications du procédé. Par conséquent, pour des filières de biocarburants similaires, l'IC peut varier considérablement d'un projet à l'autre et peuvent évoluer dans le temps pour un projet donné.

En Colombie-Britannique, les IC des projets approuvés dans le cadre de la norme sur les carburants à faible teneur en carbone (BC-LCFS) sont régulièrement publiées. Toutefois,

ces publications ne précisent pas quelles matières premières ont été utilisées pour obtenir la valeur correspondante de l'IC.

Comme indiqué à la section 2.2.1 , les IC des projets au Canada qui ont été approuvées pour le RCP ne sont publiées que pour les industries qui ont accepté la divulgation de l'information. De nombreuses informations sur le nom de l'installation, le type de limites utilisées pour l'analyse, la valeur de l'IC approuvée ou la version du modèle utilisé sont considérées comme confidentielles dans la publication, ce qui constitue un obstacle au suivi de l'IC des projets existants et nouveaux au Canada (ECCC, 2024b). Cet obstacle a également été mentionné par d'autres chercheurs et parties prenantes (Whitmore et Pineau, 2025).

Il est nécessaire d'assurer une plus grande transparence dans les rapports sur l'IC produits dans le cadre des programmes fédéraux et provinciaux, ceci afin de pouvoir suivre avec plus de précision l'impact de la bioénergie et comparer les différentes voies d'utilisation de la biomasse au Canada.

5.2. De l'analyse à l'action

Outre les évaluations spécifiques aux projets, des mesures supplémentaires sont nécessaires au niveau national pour établir une base commune au Canada qui garantisse que les futurs déploiements de projets n'aboutissent pas à des actions contre-productives.

Recommandation 3 : Élaboration des mesures pour garantir que le secteur ATCATF atteigne des émissions nulles ou négatives

Comme indiqué dans le présent rapport, les émissions de CO₂ biogénique résultant de l'utilisation de la biomasse sont suivies et déclarées dans le secteur ATCATF. Ce secteur est une source de carbone tout au long de la série chronologique de l'inventaire national, et ce, même si l'on exclut les perturbations naturelles (Government of Canada, 2025).

Les terres cultivées ont été un puits de carbone net dans presque toutes les séries chronologiques dans le RIN du Canada. Dans cette catégorie, la forte variabilité des émissions est principalement due à la sécheresse, ce qui a fait de l'année 2022 une exception par rapport aux années précédentes.

Dans les forêts aménagées, les émissions ont toujours été supérieures aux absorptions, et il n'existe actuellement aucun objectif réglementaire ni aucune mesure incitative permettant d'atteindre des émissions nulles ou négatives dans ce secteur. Néanmoins, les projections publiées par ECCC montrent que les émissions du secteur de l'ATCATF devraient atteindre des émissions négatives dès 2023 (Tableau 5-1).

Il est important de noter que la « contribution comptable » de l'ATCATF qui est utilisée pour suivre le progrès pour l'atteinte des objectifs nationaux n'est pas équivalente au total net des émissions dans le secteur de l'ATCATF (voir l'Encadré 2).

Tableau 5-1 : Les valeurs historiques et les projections du flux net de GES et la contribution comptable pour le secteur de l'ATCATF

Secteur ATCATF	Historique du flux de GES (Mt CO ₂ e)			Projections du flux de GES (Mt CO ₂ e)				
	2021	2022	2023	2023	2025	2030	2035	2040
Flux net de GES	+14 ^{a, b, c}	+51 ^{a, b, c}	+4.2 ^a	-12 ^c	-4 ^{b, c}	-18 ^{b, c}	-25 ^{b, c}	-23 ^{b, c}
Contribution comptable	-29 ^{b, c}	+12 ^{b, c}	NA	-44 ^c	-29 ^{b, c}	-28 ^{b, c}	-31 ^{b, c}	-30 ^{b, c}

Sources: Gouvernement du Canada, 2024b; Gouvernement du Canada, 2025; ECCC, 2025

Notes: ^a Publié dans le rapport d'inventaire national du Canada du 2025

^b Publié dans le premier rapport biennal de transparence du Canada le 30 décembre 2024

^c Données des projections actuelles du Canada publiées depuis février 2025 sur le site internet de ECCC

^d Certaines valeurs diffèrent de 1 à 2 Mt CO₂e d'une référence à une autre. Pour améliorer la clarté de l'information présentée dans le tableau, seulement une valeur est affichée.

Compte tenu de la demande croissante de matières premières issues de la biomasse, il est important de mettre en place des objectifs clairs concernant les émissions dans le secteur ATCATF. Cet objectif devrait garantir que les émissions dues à la récolte et à l'utilisation de la biomasse forestière évoluent dans la direction souhaitée, soit que les forêts aménagées deviennent un puits net de carbone au lieu d'une source nette de carbone.

Une recommandation similaire a également été formulée dans un article publié en décembre 2024. Dans cet article, la professeure Evelyne Thiffault proposait que la province de Québec fixe un objectif officiel de réduction des émissions nettes à zéro dans le secteur de l'affectation des terres. Le même article citait également Dominique Blain, experte et collaboratrice de longue date du groupe de travail du GIEC sur les inventaires nationaux de GES, qui mentionnait que les émissions liées à l'affectation des terres ne recevaient pas toujours l'attention qu'elles méritaient (Riopel, 2024).

Recommandation 4 : Établir une stratégie en matière d'utilisation de la biomasse compatible avec l'engagement du Canada d'atteindre la carboneutralité

Il n'existe actuellement aucune stratégie en matière d'utilisation de la biomasse au Canada définissant une vision permettant d'atteindre l'objectif de la carboneutralité en 2050. Il est donc nécessaire de concevoir une stratégie nationale en matière d'utilisation de la biomasse pour réduire les incertitudes concernant la demande future de bioproduits et assurer que les actions entreprises soient cohérentes avec les objectifs climatiques du Canada. Cela est particulièrement pertinent considérant que les efforts de modélisation (Langlois Bertrand 2024) suggèrent un rôle majeur de la biomasse pour la génération des émissions négatives, ce qui soulève des questions quant à la pertinence des différentes voies de conversion de la biomasse.

Ainsi, le Canada doit se doter d'une stratégie en matière d'utilisation de la biomasse basée sur :

- Des scénarios d'utilisation de la biomasse qui soient compatibles avec un avenir carboneutre;
- Des projections de la disponibilité de la biomasse au Canada dans un contexte de changement climatique.

Comme le montrent les recherches présentées dans ce rapport, il n'existe pas de solution unique en ce qui concerne l'utilisation de la biomasse. L'impact de l'utilisation de la biomasse, que ce soit d'un point de vue écologique, social ou économique, dépend du contexte local.

Il convient d'identifier des scénarios d'utilisation de la biomasse qui permettent d'atténuer le changement climatique au Canada pour les différentes régions du pays. Comme indiqué dans la section 2.2.2, différentes études ont déterminé le potentiel d'atténuation du changement climatique de l'utilisation de la biomasse dans le secteur forestier au

niveau national. Ces études ont montré que le résultat est spécifique à chaque région en raison des différences qui existent dans l'usage actuel des combustibles, la demande d'énergie et la disponibilité de la biomasse. Dans certaines régions, l'utilisation de la biomasse se traduit par un potentiel d'atténuation positif, tandis que dans d'autres, elle a un impact négatif sur les émissions. Dans ces régions, l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques augmente les émissions par rapport au scénario BAU.

Afin d'établir une stratégie nationale pour le Canada, il faut mener des analyses sur la base d'une approche systémique. Cette approche doit inclure :

- Les émissions biogéniques et les absorptions du carbone biogénique dans l'écosystème,
- Les émissions biogéniques provenant de l'utilisation et de l'élimination des produits du bois,
- Les émissions évitées dans les secteurs d'utilisation finale (avantages liés à la substitution).

En effet, une méthodologie basée uniquement sur la réduction des GES dans les secteurs d'utilisation finale ne rend pas compte de l'impact total de l'utilisation de la biomasse sur les émissions.

Les mécanismes d'émission et d'absorption de la biomasse sont complexes. Il existe toutefois suffisamment d'études scientifiques et de méthodologies développées au Canada et à l'étranger qui peuvent être utilisées pour analyser les filières d'utilisation de la biomasse et leur impact total sur les émissions.

Le Canada a besoin d'une stratégie nationale en matière d'utilisation de la biomasse basée sur des analyses régionales de différents scénarios d'utilisation de la biomasse pour l'ensemble de l'économie. Ces scénarios se doivent d'être compatibles avec un avenir sans émissions nettes de GES et tenir compte des projections de la disponibilité de la biomasse dans un climat changeant.

6. Conclusion

Les ressources en biomasse peuvent jouer un rôle stratégique dans la transition énergétique du Canada. En effet, les vastes terres forestières et agricoles du pays et la diversité des technologies de conversion font de la biomasse un élément important des voies potentielles de décarbonation pour plusieurs secteurs d'utilisation finale, notamment les industries, les bâtiments ainsi que le transport routier, maritime, ferroviaire et aérien.

L'utilisation de la biomasse comme source d'énergie n'est pas une nouveauté. Les biocarburants issus des cultures ou la chaleur produite à partir du bois font en effet partie du bouquet énergétique du pays depuis de nombreuses années. Le rôle de la biomasse dans la transition vers la carboneutralité soulève toutefois encore de nombreuses questions et préoccupations.

Ces préoccupations sont dues à plusieurs raisons, notamment la complexité et la variabilité des pratiques de comptabilisation et de déclaration des émissions et des absorptions par rapport à d'autres types d'énergie renouvelable. Cela entraîne un manque de couverture (ou de confiance) dans l'impact total des bio-industries sur l'atténuation du changement climatique.

En outre, même si les ressources bioénergétiques potentielles sont considérables, elles ne représentent qu'une fraction relativement faible de la consommation énergétique totale du Canada (Dagher et al., 2024); il est donc crucial de veiller à ce que la bioénergie soit réservée à ses utilisations les plus stratégiques.

Au cours de ce projet, des recherches et des consultations ont été entreprises dans le but de faire progresser la compréhension systémique des secteurs liés à l'utilisation de la biomasse et de s'assurer que ces différentes utilisations contribuent aux objectifs climatiques du Canada.

Plus précisément, les activités et les publications de ce projet nous ont permis de :

- Documenter l'état actuel de l'utilisation de la biomasse au Canada et identifier les lacunes dans les connaissances et les preuves concernant les ressources en biomasse et la production actuelle de bioénergie et de biomatériaux;
- Réunir des spécialistes au Canada issus de l'industrie, du monde universitaire, des gouvernements, des organisations environnementales et des communautés

autochtones pour discuter des défis, des risques et des éléments à prendre en compte lors de l'évaluation des utilisations de la biomasse;

- Explorer et analyser les méthodes actuellement utilisées pour effectuer le suivi, la déclaration et l'évaluation des utilisations de la biomasse dans les inventaires nationaux et les études scientifiques;
- Proposer un cadre d'analyse pour comparer et évaluer les utilisations de la biomasse au Canada.

L'évaluation des utilisations de la biomasse au cours de la transition vers un avenir carboneutre nécessite l'adoption d'une approche adaptée. Celle-ci doit permettre de tenir compte des particularités des secteurs liés aux ressources en biomasse et considérer l'impact de l'utilisation de ces ressources, non seulement sur la demande des secteurs d'utilisation finale, mais aussi sur les secteurs d'approvisionnement en biomasse.

Un nouveau projet faisant appel aux ressources de biomasse peut avoir un impact sur la chaîne de valeur existante, car il peut compléter ou concurrencer d'autres activités. En outre, les avantages de l'utilisation de la biomasse en matière d'atténuation du changement climatique dépendent des décisions prises à chaque étape de la chaîne de valeur, depuis l'aménagement de l'écosystème et la récolte de la biomasse jusqu'aux processus de conversion et à l'élimination des déchets.

Par conséquent, l'adoption d'une perspective systémique de l'utilisation de la biomasse lors de l'évaluation de nouveaux projets potentiels déplace l'accent mis sur l'évaluation au niveau du projet vers une perspective systémique en tenant compte des options alternatives, soit pour l'utilisation et la conversion des ressources, soit pour la décarbonation de l'utilisation finale.

Le cadre d'évaluation proposé permettrait aux décideurs d'éviter de prendre des décisions en silo et de saisir les effets collatéraux de l'allocation des ressources en biomasse sur l'efficacité systémique de l'utilisation de la biomasse. La contribution possible de la biomasse à l'atteinte de l'objectif de carboneutralité en serait alors élargie.

Au cours de ce projet, une première version d'un outil d'aide à la décision intitulé *Biomass System Perspective* (BSP) a été développé en se basant sur l'approche proposée pour un cadre d'analyse, afin de soutenir l'évaluation des utilisations de la biomasse au Canada. L'outil BSP est accessible au public et peut servir de base commune pour des évaluations de projets fondées sur des données probantes.

La structure intégrative de l'outil permet d'identifier la concurrence ou les opportunités potentielles pour l'utilisation des ressources en biomasse ainsi que les solutions alternatives pour la décarbonation de l'utilisation finale. Les options alternatives peuvent être comparées sur la base de différents indicateurs sélectionnés et intégrés dans l'outil (par exemple, l'efficacité de conversion, l'intensité carbone).

Les indicateurs qui n'ont pas été couverts dans le cadre de ce projet, tels que les indicateurs économiques liés au coût des ressources et au coût de la production de carburant, peuvent être intégrés à l'outil dans le cadre de travaux futurs.

Des recommandations spécifiques ont été présentées dans ce rapport afin de combler les lacunes dans les données probantes, ce qui pourrait améliorer l'intégration des données de qualité dans l'outil d'aide à la décision BSP. Plus spécifiquement, les recommandations comprennent l'amélioration de la disponibilité des données sur l'approvisionnement en biomasse et une plus grande transparence dans les rapports sur l'intensité carbone.

Enfin, il est essentiel d'aller au-delà des analyses de projets et de mettre en place des mesures pour garantir que les voies de conversion potentielles de la biomasse n'entraînent pas d'actions contre-productives à l'avenir.

Avec l'augmentation de la demande de matières premières issues de la biomasse dans les secteurs énergétiques et non énergétiques, il est nécessaire de prendre des mesures supplémentaires pour garantir que les émissions du secteur de l'affectation des terres au Canada évoluent dans la direction souhaitée. Une stratégie nationale en matière d'utilisation de la biomasse est essentielle pour définir une vision du rôle que peuvent jouer les secteurs liés aux ressources en biomasse dans la transition du Canada vers l'objectif de la carboneutralité d'ici à 2050. Une telle stratégie est également essentielle pour assurer une cohérence entre les déploiements de projets et les objectifs climatiques du Canada.

7. Références

- Airex Energy. 2016. "Biocoal from Biomass." *Airex Energy*. Retrieved May 19, 2023 (<https://airex-energy.com/16-biocoal-from-biomass/>).
- Allan, Bentley, Jonas Goldman, and Geoff Tauvette. 2023. *The C-SAF Roadmap: Building a Feedstocks-to-Fuels SAF Supply Chain in Canada*.
- Allwood J.M., V. Bosetti, N.K. Dubash, L. Gómez-Echeverri, and C. von Stechow, 2014: Glossary. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Barnes, C., Y. Boulanger, T. Keeping, P. Gachon, N. Gillett, J. Boucher, F. Roberge, S. Kew, O. Haas, D. Heinrich, M. Vahlberg, R. Singh, M. Elbe, S. Sivanu, J. Arrighi, M. Van Aalst, F. Otto, M. Zachariah, F. Krikken, X. Wang, S. Erni, E. Pietropalo, A. Avis, A. Bisaillon, and J. Kimutai. 2023. *Climate Change More than Doubled the Likelihood of Extreme Fire Weather Conditions in Eastern Canada. Report*. doi: 10.25561/105981.
- Julie Barrette, David Paré, Francis Manka, Luc Guindon, Pierre Bernier, and Brian Titus. 2018. Forecasting the spatial distribution of logging residues across the Canadian managed forest. *Canadian Journal of Forest Research*. **48**(12): 1470-1481. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0080>
- Beauregard, Robert, Patrick Lavoie, Évelyne Thiffault, Isabelle Ménard, Lucas Moreau, Jean-François Boucher, and François Robichaud. 2019. "GROUPE DE TRAVAIL SUR LA FORÊT ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (GTFCC)."
- van Bellen, Simon, Michelle Garneau, and Yves Bergeron. 2010. "Impact of Climate Change on Forest Fire Severity and Consequences for Carbon Stocks in Boreal Forest Stands of Quebec, Canada: A Synthesis." *Fire Ecology* 6(3):16–44. doi: 10.4996/fireecology.0603016.
- Benali, Marzouk, and Olumoye Ajao. 2018. "Decision Support Tools for Bioeconomy Transformation Strategies: Introduction of Natural Resources Canada I-BIOREF Software Platform." Retrieved October 2, 2024 (<https://task42.ieabioenergy.com/publications/decision-support-tools-for-bioeconomy-transformation-strategies-introduction-of-natural-resources-canada-i-bioref-software-platform/>).

- Brown, Dan. 2024. "DG Fuels Selects Johnson Matthey and Bp Technology for World's Largest Fischer Tropsch SAF Production Plant." *DGFuels*. Retrieved February 28, 2025 (<https://dgfuels.com/2024/04/10/dg-fuels-johnson-matthey-bp-partner-for-largest-fischer-tropsch-saf-plant/>).
- Camia, Andrea, Jacopo Giuntoli, Klas Jonsson, Nicolas Robert, Noemi Cazzaniga, Gediminas Jasinevičius, Valerio Avitabile, Giacomo Grassi, CANO Jose Ignacio Barredo, and Sarah Mubareka. 2021. "The Use of Woody Biomass for Energy Production in the EU." *JRC Publications Repository*. Retrieved February 16, 2024 (<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122719>).
- Canada Energy Regulator. 2023. "Canada's Energy Future 2023: Energy Supply and Demand Projections to 2050." Retrieved November 14, 2024 (<https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/canada-energy-future/2023/>).
- Canada, Natural Resources. 2022. "Forest Carbon Accounting Tools." Retrieved November 23, 2023 (<https://natural-resources.canada.ca/climate-change/climate-change-impacts-forests/carbon-accounting/forest-carbon-accounting-tools/24310>).
- Canadian Climate Institute. 2023. "Heat Pumps Pay Off: Unlocking Lower-Cost Heating and Cooling in Canada." *Canadian Climate Institute*. Retrieved February 28, 2025 (<https://climateinstitute.ca/reports/heat-pumps-canada/>).
- Canadian Climate Institute. 2024a. "Fact Sheet: Climate Change and Drought in Canada." *Canadian Climate Institute*. Retrieved November 14, 2024 (<https://climateinstitute.ca/news/fact-sheet-climate-change-and-drought/>).
- Canadian Climate Institute. 2024b. "Heat Exchange." *Canadian Climate Institute*. Retrieved February 28, 2025 (<https://climateinstitute.ca/reports/building-heat/>).
- Canadian Council of Forest Ministers. 2003. *Framework of Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management in Canada*.
- CORDIS-EU. 2020. "Sustainable Cost-Effective Residential Heating with Biomass-Based Oil." *CORDIS | European Commission*. Retrieved February 28, 2025 (<https://cordis.europa.eu/article/id/418298-sustainable-cost-effective-residential-heating-with-biomass-based-oil>).
- CRIBE. 2025. "Biocarbon Utilization in the Electric Arc Furnace at ArcelorMittal Dofasco." *Centre for Research & Innovation in the Bio-Economy*. Retrieved March 26, 2025 (<https://cribe.ca/projects/biocarbon-utilization-in-the-electric-arc-furnace-at-arcelormittal-dofasco/>).
- Csonka, Steve, Kristin C. Lewis, and Mark Rumizen. 2022. "New Sustainable Aviation Fuels (SAF) Technology Pathways under Development." *Climate Change Mitigation: Sustainable Aviation Fuels*.

- Dagher Roberta, Mousseau Normand and Beaumier Louis. 2024. Biomass and Carbon Neutrality: Current State in Canada.
- David Suzuki Foundation, Canopy, Nature Canada, NRDC, Sierra Club BC, Sierra Club Canada, Stand Earth, and Wilderness Committee. 2024. *The State of the Forest in Canada: Seeing through the Spin*.
- Deloitte. 2023. *Assessment of Green Hydrogen for Industrial Heat*.
- Deloitte, World Wildlife Fund, and Renewable Thermal Collaborative. 2023. "Assessment of Green Hydrogen for Industrial Heat." *Deloitte United States*. Retrieved March 26, 2025 (<https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/green-hydrogen.html>).
- Dugan, Alexa J., Richard Birdsey, Vanessa S. Mascorro, Michael Magnan, Carolyn E. Smyth, Marcela Olguin, and Werner A. Kurz. 2018. "A Systems Approach to Assess Climate Change Mitigation Options in Landscapes of the United States Forest Sector." *Carbon Balance and Management* 13(1):13. doi: 10.1186/s13021-018-0100-x.
- Dunsky. 2022. "Zero-Emission Vehicle (ZEV) Availability in Canada: Dunsky Updates Its Cross-Country Inventory Report for Transport Canada." *Dunsky*. Retrieved June 6, 2024 (<https://dunsky.com/project/zero-emission-vehicle-zev-availability-in-canada-dunsky-updates-its-cross-country-inventory-report-for-transport-canada/>).
- ECCC. 2023. "2023 Progress Report on the 2030 Emissions Reduction Plan." Retrieved November 13, 2024 (<https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/climate-plan-overview/emissions-reduction-2030/2023-progress-report/table-contents.html>).
- ECCC. 2024a. *Fuel Life Cycle Assessment Model Methodology*.
- ECCC. 2024b. "Intensités En Carbone Approuvées Dans Le Cadre Du Règlement Sur Les Combustibles Propres." *Google Docs*. Retrieved January 24, 2025 (https://drive.google.com/file/d/1LCTZ4kwudYNMmqbilpJc_8uaMubxzo9A/view?usp=embed_facebook).
- ECCC. 2025. Current-Projections-Actuelles in Canada's Greenhouse Gas Emissions Projections. Retrieved April 30, 2025. (<https://donnees.az.ec.gc.ca/data/substances/monitor/canada-s-greenhouse-gas-emissions-projections/Current-Projections-Actuelles/GHG-GES?lang=en>)
- Echterhof, Thomas. 2021. "Review on the Use of Alternative Carbon Sources in EAF Steelmaking." *Metals* 11(2):222. doi: 10.3390/met11020222.

- Énergir Développement Inc. 2025. "Usine de Farnham." *Usine de GNR à Farnham*. Retrieved March 18, 2025 (<https://gnrfarnham.com/usine-de-farnham/>).
- Enerkem. 2025. "Projects, Varennes, Quebec, Canada." Retrieved March 18, 2025 (<https://enerkem.com/projects/varennes>).
- Ensyn. n.d. "Refinery Feedstocks." *Ensyn - Renewable Fuels and Chemicals from Non-Food Biomass*. Retrieved January 22, 2025 (<https://www.ensyn.com/refinery-feedstocks.html>).
- European Energy. 2024. "Metafuels Plans eSAF Facility in Denmark Together with European Energy." *European Energy*. Retrieved June 19, 2024 (<https://europeanenergy.com/2024/05/22/metafuels-plans-esaf-facility-in-denmark-together-with-european-energy/>).
- Food, Farming and Countryside Commission. 2023. *Multifunctional Land Use Framework: The Key to Better Land Use Decisions*.
- Fortis BC. 2024. "B.C. Government and Industry Partners Working to Develop Hydrogen as a Low-Carbon Energy Option for Families and Businesses." *Www.Fortisbc.Com*. Retrieved February 28, 2025 (<https://www.fortisbc.com/news-events/media-centre-details/2024/01/19/b.c.-government-and-industry-partners-working-to-develop-hydrogen-as-a-low-carbon-energy-option-for-families-and-businesses>).
- GIEC. 2006. *Lignes Directrices 2006 Du GIEC Pour Les Inventaires Nationaux Des Gaz à Effet de Serre*. Volume 2. Chapitre 2.
- G4 Insights Inc. 2015. "Environmental Benefits." Retrieved March 18, 2025 (<http://www.g4insights.com/environmentalbenefits.html>).
- Global Bioenergy Partnership. 2011. *The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy*. 1.
- Government of British Columbia. 2025. "Approved Carbon Intensities – Current."
- Government of Canada. 2020. *National Inventory Report 1990 –2018: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada. Part 2*.
- Government of Canada. 2023. *National Inventory Report 1990 –2021: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*.
- Government of Canada. 2024. *National Inventory Report 1990 – 2022: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*.
- Government of Canada. 2024b. 2024 Biennial Transparency Report (BTR). BTR1. 30 December 2024.

- Government of Canada. 2025. *National Inventory Report 1990–2023: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada*.
- Grinsven, Anouk VAN, Matthijs Otten, Emiel VAN DEN Toorn, Reinier VAN DER Veen, Julius Király, and Roy VAN DEN Berg. 2021. "Research for TRAN Committee - Alternative Fuel Infrastructures for Heavy-Duty Vehicles."
- Harel, Antoine, Evelyne Thiffault, and David Paré. 2021. "Ageing Forests and Carbon Storage: A Case Study in Boreal Balsam Fir Stands." *Forestry: An International Journal of Forest Research* 94(5):651–63. doi: 10.1093/forestry/cpab021.
- Hongyu, Xiao. 2024. *Fuelling the Transition: Low-Carbon Fuel Choices for Road Freight*.
- Hurmekoski, Elias, Carolyn E. Smyth, Tobias Stern, Pieter Johannes Verkerk, and Raphael Asada. 2021. "Substitution Impacts of Wood Use at the Market Level: A Systematic Review." *Environmental Research Letters* 16(12):123004. doi:[10.1088/1748-9326/ac386f](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac386f).
- IEA. 2019. "The Future of Hydrogen. Seizing Today's Opportunities." *Report Prepared by the IEA for the G20, Japan*.
- IEA. 2023a. "Global Hydrogen Review 2023 – Analysis." IEA. Retrieved March 26, 2025 (<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>).
- IEA. 2023b. "The Role of E-Fuels in Decarbonising Transport – Analysis." IEA. Retrieved March 26, 2025 (<https://www.iea.org/reports/the-role-of-e-fuels-in-decarbonising-transport>).
- IEA. n.d. "ETP Clean Energy Technology Guide – Data Tools." IEA. Retrieved January 11, 2024 (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>).
- IEA Bioenergy. 2021a. *Biomass Supply and the Sustainable Development Goals*.
- IEA Bioenergy. 2021b. *Implementation of Bioenergy in Canada – 2021 Update*.
- IEA Bioenergy. 2024a. "Carbon Neutrality." Retrieved August 23, 2024 (<https://www.ieabioenergy.com/iea-publications/faq/woodybiomass/carbon-neutrality/>).
- IEA Bioenergy. 2024b. *Implementation of bioenergy in Canada - 2024 update*.
- IEA Bioenergy Task 39. 2024. *Progress in Commercialization of Biojet/Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies and Policies*.
- IEA BIOENERGY Task 40. 2021. *Decarbonizing Industrial Process Heat: The Role of Biomass. A report for the IEA Bioenergy Inter-task project on industrial process heat*.

- Indrawan, Natario, Ajay Kumar, Michel Moliere, Khaled A. Sallam, and Raymond L. Huhnke. 2020. "Distributed Power Generation via Gasification of Biomass and Municipal Solid Waste: A Review." *Journal of the Energy Institute* 93(6):2293–2313. doi: 10.1016/j.joei.2020.07.001.
- IPCC. 2000. "Land Use, Land-Use Change and Forestry." Retrieved December 12, 2024 (https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=24).
- IPCC. 2001. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC. 2019. "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC." Retrieved November 13, 2024 (<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>).
- IPCC, ed. 2023. "Technical Summary." Pp. 51–148 in *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC. n.d. "Frequently Asked Questions." Retrieved August 23, 2024 (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>).
- IPCC WG III. 2022. "Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change."
- IRENA. 2021. "A Pathway to Decarbonise the Shipping Sector by 2050."
- IRENA, and Methanol Institute. 2021. "Innovation Outlook: Renewable Methanol."
- ISO. 2015. "Sustainability Criteria for Bioenergy."
- Jain, Piyush, Quinn E. Barber, Stephen W. Taylor, Ellen Whitman, Dante Castellanos Acuna, Yan Boulanger, Raphaël D. Chavardès, Jack Chen, Peter Englefield, Mike Flannigan, Martin P. Girardin, Chelene C. Hanes, John Little, Kimberly Morrison, Rob S. Skakun, Dan K. Thompson, Xianli Wang, and Marc-André Parisien. 2024. "Drivers and Impacts of the Record-Breaking 2023 Wildfire Season in Canada." *Nature Communications* 15(1):6764. doi: 10.1038/s41467-024-51154-7.
- Kirchmeier-Young, Megan C., Elizaveta Malinina, Quinn E. Barber, Karen Garcia Perdomo, Salvatore R. Curasi, Yongxiao Liang, Piyush Jain, Nathan P. Gillett, Marc-André Parisien, Alex J. Cannon, Aranildo R. Lima, Vivek K. Arora, Yan Boulanger, Joe R. Melton, Laura Van Vliet, and Xuebin Zhang. 2024. "Human Driven Climate Change Increased the Likelihood of the 2023 Record Area Burned in Canada." *Npj Climate and Atmospheric Science* 7(1):1–12. doi: 10.1038/s41612-024-00841-9.

- Kurz, W. A., C. H. Shaw, C. Boisvenue, G. Stinson, J. Metsaranta, D. Leckie, A. Dyk, C. Smyth, and E. T. Neilson. 2013. "Carbon in Canada's Boreal Forest – A Synthesis." *Environmental Reviews* 21(4):260–92. doi: 10.1139/er-2013-0041.
- Laganière, Jérôme, David Paré, Evelyne Thiffault, and Pierre Y. Bernier. 2017. "Range and Uncertainties in Estimating Delays in Greenhouse Gas Mitigation Potential of Forest Bioenergy Sourced from Canadian Forests." *GCB Bioenergy* 9(2):358–69. doi: 10.1111/gcbb.12327.
- Lamers, Patrick, Evelyne Thiffault, David Paré, and Martin Junginger. 2013. "Feedstock Specific Environmental Risk Levels Related to Biomass Extraction for Energy from Boreal and Temperate Forests." *Biomass and Bioenergy* 55:212–26. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.02.002.
- Langlois-Bertrand, Simon. 2024. *Pathways for a Net-Zero Canada – Horizon 2060*. Institut de l'énergie Trottier – Polytechnique Montréal.
- LaRochelle, Cara, Steve McCauley, and Derek May. 2022. "Towards Net Zero: Developing a Rail Decarbonization Roadmap for Canada."
- Leskinen, Pekka, Giuseppe Cardellini, Sara González-García, Elias Hurmekoski, Roger Sathre, Jyri Seppälä, Carolyn Smyth, Tobias Stern, Pieter Johannes Verkerk, and European Forest Institute. 2018. *Substitution Effects of Wood-Based Products in Climate Change Mitigation. From Science to Policy*. European Forest Institute. doi: 10.36333/fs07.
- Li, Xue, Edmund Mupondwa, Satya Panigrahi, Lope Tabil, Shahab Sokhansanj, and Mark Stumborg. 2012. "A Review of Agricultural Crop Residue Supply in Canada for Cellulosic Ethanol Production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(5):2954–65. doi:[10.1016/j.rser.2012.02.013](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.013).
- Liu, Weiguo, Zhonghui Zhang, Xinfeng Xie, Zhen Yu, Klaus von Gadow, Junming Xu, Shanshan Zhao, and Yuchun Yang. 2017. "Analysis of the Global Warming Potential of Biogenic CO₂ Emission in Life Cycle Assessments." *Scientific Reports* 7(1):39857. doi: 10.1038/srep39857.
- Lucey, Taylor K., Nadia Tase, Prakash Nepal, Richard D. Bergman, David L. Nicholls, Poonam Khatri, Kamalakanta Sahoo, and Andrew N. Gray. 2024. *A Synthesis of Harvested Wood Product Carbon Models*. PNW-GTR-1020. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. doi: 10.2737/PNW-GTR-1020.
- MacCarthy, James, Alexandra Tyukavina, Mikaela J. Weisse, Nancy Harris, and Erin Glen. 2024. "Extreme Wildfires in Canada and Their Contribution to Global Loss in Tree Cover and Carbon Emissions in 2023." *Global Change Biology* 30(6):e17392. doi: 10.1111/gcb.17392.

- Malet, Nicolas, Sylvain Pellerin, Romain Girault, and Thomas Nesme. 2023. "Does Anaerobic Digestion Really Help to Reduce Greenhouse Gas Emissions? A Nuanced Case Study Based on 30 Cogeneration Plants in France." *Journal of Cleaner Production* 384:135578. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135578.
- Mandegari, Mohsen, Mahmood Ebadian, and Jack (John) Saddler. 2023. "Decarbonizing North America's Rail Sector, International Initiatives and Local Opportunities." *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 21:100859. doi: 10.1016/j.trip.2023.100859.
- Mckinsey & Company. 2020. *Decarbonization Challenge for Steel*.
- Mckinsey & Company. 2023. "Sustainable Feedstocks: Accelerating Recarbonization in Chemicals." Retrieved June 19, 2024 (<https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/sustainable-feedstocks-accelerating-recarbonization-in-chemicals>).
- Mission Possible Partnership. 2022. *Making Net-Zero Steel Possible*.
- Mitchell, Stephen R., Mark E. Harmon, and Kari E. B. O'Connell. 2012. "Carbon Debt and Carbon Sequestration Parity in Forest Bioenergy Production." *GCB Bioenergy* 4(6):818–27. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01173.x.
- MITSUI & CO. 2023. "Mitsui Invests in the World's First e-Methanol Production & Sales Business in Denmark." *Mitsui Invests in the World's First e-Methanol Production & Sales Business in Denmark | 2023 | Releases | MITSUI & CO., LTD.* Retrieved February 28, 2025 (https://www.mitsui.com/jp/en/release/2023/1246818_13943.html).
- Moreau, Lucas, Evelyne Thiffault, Werner A. Kurz, and Robert Beaugard. 2023. "Under What Circumstances Can the Forest Sector Contribute to 2050 Climate Change Mitigation Targets? A Study from Forest Ecosystems to Landfill Methane Emissions for the Province of Quebec, Canada." *GCB Bioenergy* 15(9):1119–39. doi: 10.1111/gcbb.13081.
- National Research Council of Canada. 2022. "Towards a Net Zero Emission Railway System with Hydrogen Powered Trains." Retrieved February 28, 2025 (<https://nrc.canada.ca/en/stories/towards-net-zero-emission-railway-system-hydrogen-powered-trains>).
- Navius Research Inc. 2023. "Biofuels in Canada 2023."
- Nesterenko, Nikolai, Izabel C. Medeiros-Costa, Edwin B. Clatworthy, Hugo Cruchade, Stanislav V. Konnov, Jean-Pierre Dath, Jean-Pierre Gilson, and Svetlana Mintova. 2023. "Methane-to-Chemicals: A Pathway to Decarbonization." *National Science Review* 10(9):nwad116. doi: 10.1093/nsr/nwad116.

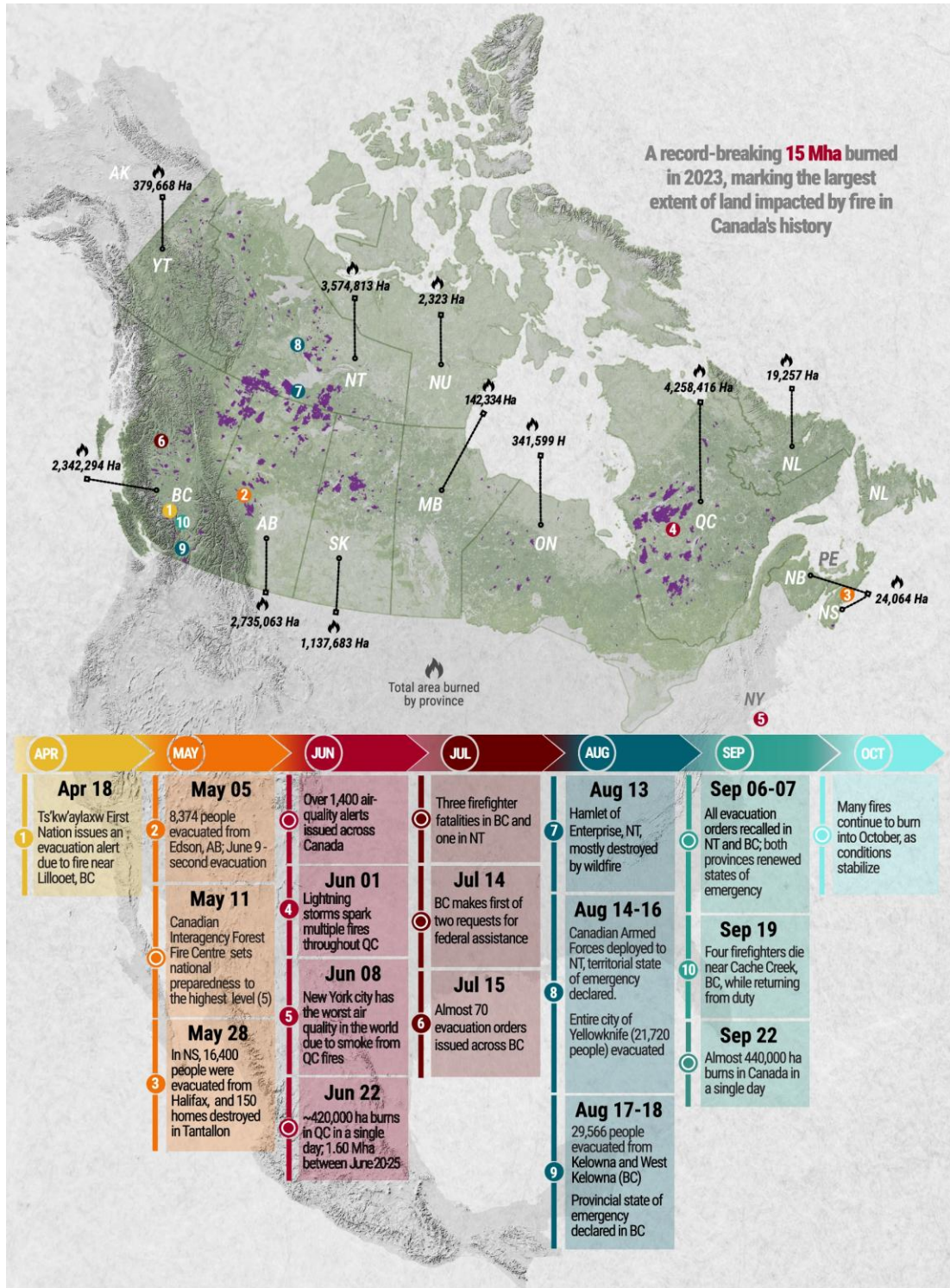
- NRCan. 2022. "Forest Carbon Accounting: How Does Canada Assess the Contribution of Forests toward Reducing Emissions?"
- NRCan. 2024a. "Forest Carbon." Retrieved November 8, 2024 (<https://natural-resources.canada.ca/climate-change/climate-change-impacts-forests/forest-carbon/13085>).
- NRCan. 2024b. "Impacts of Climate Change on Forests." Retrieved November 14, 2024 (<https://natural-resources.canada.ca/climate-change/climate-change-impacts-forests/impacts-climate-change-forests/13095>).
- NRCan. 2024c. "Bioenergy Systems." Retrieved June 04, 2025 (<https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/renewable-energy/bioenergy-systems>).
- NREL. 2021. "News Release: Environmental Concerns Propel Research Into Marine Biofuels." Retrieved February 28, 2025 (<https://www.nrel.gov/news/press/2021/environmental-concerns-propel-research-into-marine-biofuels.html>).
- OPG. n.d. "Our Power Generation | Biomass Power." OPG. Retrieved March 21, 2025 (<https://www.opg.com/power-generation/our-power/biomass/>).
- Ouellet-Plamondon, Claudiane M., Livia Ramseier, Maria Balouktsi, Laetitia Delem, Greg Foliente, Nicolas Francart, Antonio Garcia-Martinez, Endrit Hoxha, Thomas Lützkendorf, Freja Nygaard Rasmussen, Bruno Peuportier, Jarred Butler, Harpa Birgisdottir, David Dowdell, Manish Kumar Dixit, Vanessa Gomes, Maristela Gomes da Silva, Juan Carlos Gómez de Cózar, Marianne Kjendseth Wiik, Carmen Llatas, Ricardo Mateus, Lizzie M. Pulgrossi, Martin Röck, Marcella Ruschi Mendes Saade, Alexander Passer, Daniel Satola, Seongwon Seo, Bernardette Soust Verdaguer, Jakub Veselka, Martin Volf, Xiaojin Zhang, and Rolf Frischknecht. 2023. "Carbon Footprint Assessment of a Wood Multi-Residential Building Considering Biogenic Carbon." *Journal of Cleaner Production* 404:136834. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136834.
- Riopel, Alexis. 2024. "Les terres du Québec, émettrices de carbone." *Le Devoir*. Retrieved February 18, 2025 (<https://www.ledevoir.com/environnement/827566/terres-quebec-emettrices-carbone>).
- Rissman, Jeffrey. 2022. "Decarbonizing Low-Temperature Industrial Heat in the U.S." *Energy Innovation Policy and Technology*.
- Sheldrick, Ollie. 2023. "Decarbonizing the Canadian Chemical and Fertilizer Industry."
- Silvestro, Roberto, Maurizio Mencuccini, Raúl García-Valdés, Serena Antonucci, Alberto Arzac, Franco Biondi, Valentina Buttò, J. Julio Camarero, Filipe Campelo, Hervé Cochard, Katarina Čufar, Henri E. Cuny, Martin de Luis, Annie Deslauriers, Guillaume Drolet, Marina V. Fonti, Patrick Fonti, Alessio Giovannelli, Jožica Gričar,

- Andreas Gruber, Vladimír Gryc, Rossella Guerrieri, Aylin Güney, Xiali Guo, Jian-Guo Huang, Tuula Jyske, Jakub Kašpar, Alexander V. Kirdyanov, Tamir Klein, Audrey Lemay, Xiaoxia Li, Eryuan Liang, Anna Lintunen, Feng Liu, Fabio Lombardi, Qianqian Ma, Harri Mäkinen, Rayees A. Malik, Edurne Martinez del Castillo, Jordi Martinez-Vilalta, Stefan Mayr, Hubert Morin, Cristina Nabais, Pekka Nöjd, Walter Oberhuber, José M. Olano, Andrew P. Ouimette, Teemu V. S. Paljakka, Mikko Peltoniemi, Richard L. Peters, Ping Ren, Peter Prislan, Cyrille B. K. Rathgeber, Anna Sala, Antonio Saracino, Luigi Saulino, Piia Schiestl-Aalto, Vladimir V. Shishov, Alexia Stokes, Raman Sukumar, Jean-Daniel Sylvain, Roberto Tognetti, Václav Trembl, Josef Urban, Hanuš Vavřík, Joana Vieira, Georg von Arx, Yan Wang, Bao Yang, Qiao Zeng, Shaokang Zhang, Emanuele Ziaco, and Sergio Rossi. 2024. "Partial Asynchrony of Coniferous Forest Carbon Sources and Sinks at the Intra-Annual Time Scale." *Nature Communications* 15(1):6169. doi: 10.1038/s41467-024-49494-5.
- Smith, Stephen, Oliver Geden, Gregory Nemet, Matthew Gidden, William Lamb, Carter Powis, Rob Bellamy, Max Callaghan, Annette Cowie, Emily Cox, Sabine Fuss, Thomas Gasser, Giacomo Grassi, Jenna Greene, Sarah Lueck, Aniruddh Mohan, Finn Müller-Hansen, Glen Peters, Yoga Pratama, Tim Repke, Keywan Riahi, Felix Schenuit, Jan Steinhauser, Jessica Stremler, Jose Valenzuela, and Jan Minx. 2023. "State of Carbon Dioxide Removal - 1st Edition." doi: 10.17605/OSF.IO/W3B4Z.
- Smyth, Carolyn, Werner A. Kurz, Greg Rampley, Tony C. Lemprière, and Olaf Schwab. 2017. "Climate Change Mitigation Potential of Local Use of Harvest Residues for Bioenergy in Canada." *GCB Bioenergy* 9(4):817–32. doi: 10.1111/gcbb.12387.
- Smyth, Carolyn, Greg Rampley, Tony C. Lemprière, Olaf Schwab, and Werner A. Kurz. 2017. "Estimating Product and Energy Substitution Benefits in National-Scale Mitigation Analyses for Canada." *GCB Bioenergy* 9(6):1071–84. doi: 10.1111/gcbb.12389.
- Somers, Julian. 2022. *Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry*. doi: 10.2760/069150.
- Statistics Canada. 2022. "Drought Drags down Saskatchewan Economy in 2021." Retrieved November 14, 2024 (<https://www.statcan.gc.ca/o1/en/plus/1852-drought-drags-down-saskatchewan-economy-2021>).
- Statistics Canada. 2023. "Annual Industrial Consumption of Energy Survey - 2023" (https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3Instr.pl?Function=getInstrumentList&Item_Id=1530641&UL=1V&)
- Statistics Canada. 2024. "Supply and Demand of Primary and Secondary Energy in Terajoules, Annual." Retrieved March 4, 2025 (<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=2510002901>).

- Statistics Canada. 2024b. "Consumption of solid wood waste and spent pulping liquor for energy production, annual."
(<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=2510003101>)
- Steeper Energy. n.d. "Hydrofaction." *Steeper Energy*. Retrieved January 22, 2025 (<https://steeperenergy.com/hydrofaction/>).
- Tan, Eric C. D., Troy R. Hawkins, Uisung Lee, Ling Tao, Pimphan A. Meyer, Michael Wang, and Tom Thompson. 2021. "Biofuel Options for Marine Applications: Technoeconomic and Life-Cycle Analyses." *Environmental Science & Technology* 55(11):7561–70. doi: 10.1021/acs.est.0c06141.
- Ter-Mikaelian, Michael T., Stephen J. Colombo, Dave Lovekin, Jon McKechnie, Rick Reynolds, Brian Titus, Emil Laurin, Anne-Marie Chapman, Jiaxin Chen, and Heather L. MacLean. 2015. "Carbon Debt Repayment or Carbon Sequestration Parity? Lessons from a Forest Bioenergy Case Study in Ontario, Canada." *GCB Bioenergy* 7(4):704–16. doi: 10.1111/gcbb.12198.
- TESCanada H2 Inc. n.d. "TES Presents Projet Mauricie A Crucial Initiative for Québec's Decarbonization through Green Hydrogen." *TES H2*. Retrieved February 28, 2025 (<https://tes-h2.com/news/tes-presents-projet-mauricie-a-crucial-initiative-for-quebec-s-decarbonization-through-green>).
- The Transition Accelerator. n.d. "Net Zero Strategies for Buildings: Assessment Table." Retrieved June 11, 2024 (https://transitionaccelerator.ca/wp-content/uploads/2023/05/TA_Pathways-to-Net-Zero_Buildings-Table.pdf).
- Thiffault, Evelyne. 2024. "Webinaire 'La biomasse forestière pour la production de gaz naturel renouvelable au Québec.'" *Institut d'études internationales de Montréal (IEIM-UQAM)*. Retrieved December 7, 2024 (<https://ieim.uqam.ca/la-biomasse-forestiere-pour-la-production-de-gaz-naturel-renouvelable-au-quebec/>).
- Thiffault, Evelyne, Rut Serra, and Amélie St Laurent Samuel. 2015. "La Récolte de Biomasse Forestière : Saines Pratiques et Enjeux Écologiques Dans La Forêt Boréale Canadienne / [Par] Evelyne Thiffault, Amélie St-Laurent Samuel, Rut Serra.: Fo114-16/2015F-PDF - Government of Canada Publications - Canada.Ca." Retrieved December 7, 2024 (<https://publications.gc.ca/site/eng/9.677509/publication.html?wbdisable=true>).
- Thiffault, Evelyne, and Amélie St-Laurent Samuel. 2012. *Potentiels et contraintes écologiques de la récolte de la biomasse forestière au Lac-Saint-Jean. Rapport*.
- Thornton, Matthew, Matthew Ratcliff, and Kenneth Kelly. 2022. *Off-Road Vehicle Decarbonization and Energy Systems Integration: R&D Gaps and Opportunities*. NREL/MP-5400-83525, 1891267, MainId:84298. doi: 10.2172/1891267.

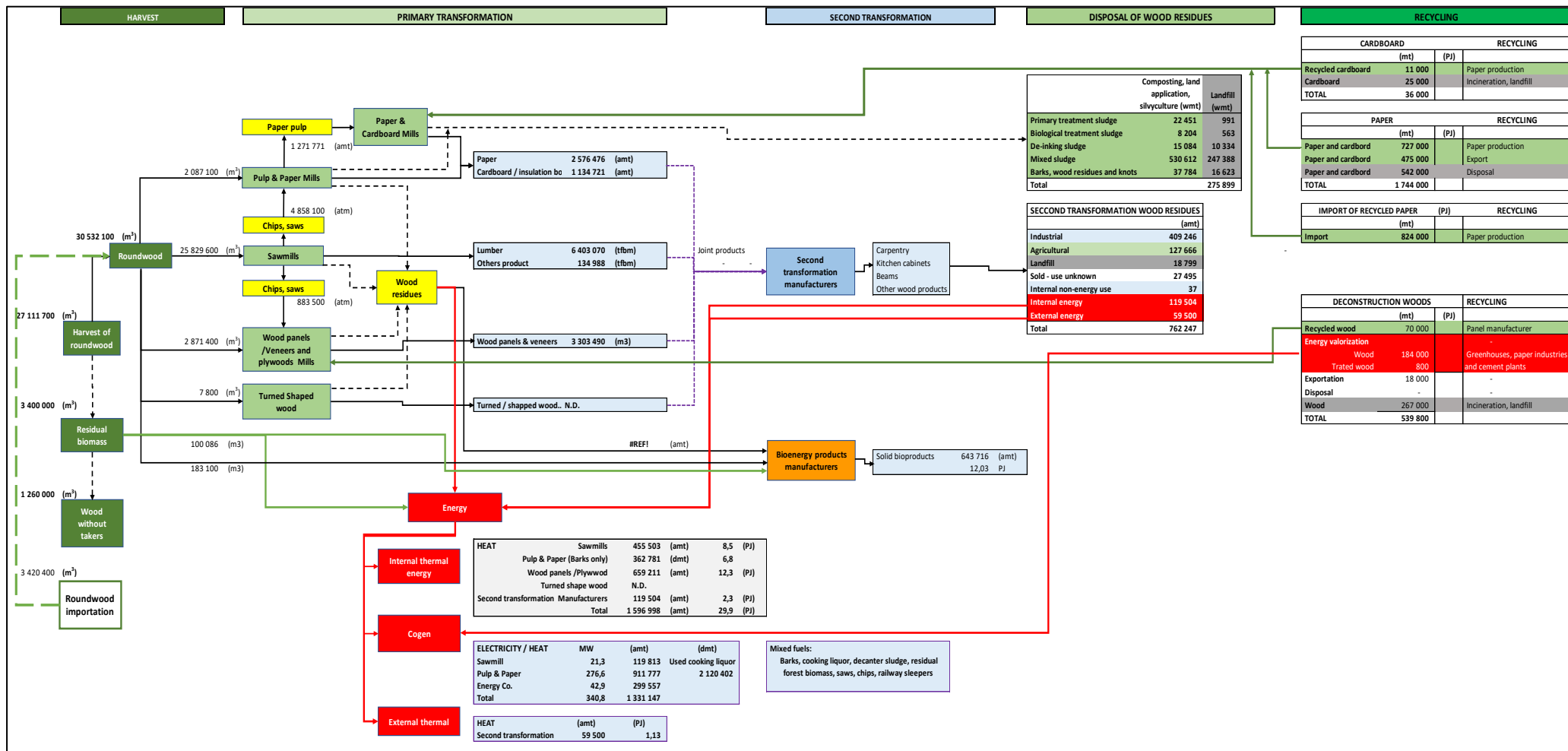
- TorchLight Bioresources Inc. 2020. *Renewable Natural Gas (Biomethane) Feedstock Potential in Canada*. Ottawa: TorchLight Bioresources Inc.
- U.S. Department of Energy. 2023. "Pathways to Commercial Liftoff: Decarbonizing Chemicals & Refining."
- US Department of Energy. 2024. "World's First Ethanol-To-Jet Fuel Plant Paves the Way for Commercial Production of Sustainable Aviation Fuels." *Energy.Gov*. Retrieved February 28, 2025 (<https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/worlds-first-ethanol-jet-fuel-plant-paves-way-commercial-production>).
- Vikjær-Andresen, Emil. 2022. "E-Methanol for Maersk's First Vessel - European Energy." Retrieved February 28, 2025 (<https://europeanenergy.com/2022/03/14/e-methanol-for-maersks-first-vessel/>, <https://europeanenergy.com/2022/03/14/e-methanol-for-maersks-first-vessel/>).
- Wang, Shanshan, Jiaxin Chen, Michael T. Ter-Mikaelian, Annie Levasseur, and Hongqiang Yang. 2022. "From Carbon Neutral to Climate Neutral: Dynamic Life Cycle Assessment for Wood-based Panels Produced in China." *Journal of Industrial Ecology* 26(4):1437–49. doi: 10.1111/jiec.13286.
- Whitmore, Johanne. 2023. "Decarbonizing long-haul trucking in Eastern Canada: A techno-economic assessment of net zero technologies." *Chaire de gestion du secteur de l'énergie*. Retrieved June 17, 2024 (<https://energie.hec.ca/decarbonizing-long-haul-trucking-in-eastern-canada/>).
- Whitmore, Johanne, and Pierre-Olivier Pineau. 2025. *État de l'énergie au Québec 2025. rapport préparé pour le gouvernement du Québec*. Chaire de gestion du secteur de l'énergie - HEC Montréal.
- Wolinetz, Michael. 2022. *Hitting Canada's Climate Targets with Biogas & RNG*. Navius Research.
- World Economic Forum. 2020. "Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation."
- WWF. 2022. "The State of Carbon in Canada's Natural Landscapes." *WWF.CA*. Retrieved July 18, 2023 (<https://wwf.ca/carbonmap/>).
- Zen and the Art of Clean Energy Solutions. 2020. "Hydrogen Strategy for Canada. Seizing the Opportunities for Hydrogen. A Call to Action."

Annexe 1 : Aperçu de la saison des incendies de l'année 2023 au Canada



Source : Jain et al., 2024

Annexe 2 : Représentation schématique du flux de biomasse entre les industries, de la récolte à l'élimination, dans le secteur forestier du Québec



Source : J. Harvey Consultant et Associés Inc.

Annexe 3 : Bioproduits et technologies non basées sur l'utilisation de la biomasse présentés par secteur d'utilisation finale

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Transport routier léger	Au Canada, le bioéthanol est déjà utilisé dans les véhicules légers en le mélangeant à l'essence. En 2021, la consommation d'éthanol était de 2 876 millions de litres par an au Canada. Une autre possibilité d'utilisation de la biomasse consiste à intégrer du biobrut (pétrole HTL) ou de la biohuile (huile de pyrolyse) pour le co-traitement des combustibles fossiles dans les raffineries, ceci afin de produire de l'essence à plus faible intensité carbone. Il sera nécessaire d'améliorer les bio-huiles avant leur insertion afin de les désoxygéner partiellement. Les étapes préalables dépendent de l'unité d'insertion de la raffinerie. La bio-huile issue de la pyrolyse présente une teneur en oxygène plus élevée, ce qui la rend moins adaptée et plus complexe pour une utilisation en co-traitement. La bio-huile d'Ensyn (appelée « <i>biocrude</i> » sur leur site web), qui est produite par un processus de pyrolyse rapide, est utilisée comme matière première pour le co-traitement des combustibles fossiles afin de produire du diesel et de l'essence.	L'électrification (BEV et PHEV) des véhicules légers est déjà commercialisée et déployée à plus grande échelle au Canada. Les objectifs fédéraux en matière de ventes de véhicules à zéro émission (VZE) au Canada pour tous les nouveaux véhicules légers sont fixés à 100 % d'ici à 2035 et à des objectifs intermédiaires d'au moins 20 % et 60 % pour 2026 et 2030 respectivement. Les BEV devraient prendre une part importante du marché des véhicules légers au Canada. Les véhicules légers à pile à combustible sont commercialisés aujourd'hui dans le monde entier et en nombre limité au Canada. Les piles à combustible devraient présenter davantage d'intérêt pour le secteur des transports moyens et lourds, où la demande d'énergie est élevée et les cycles d'utilisation sont longs.	Dunsky, 2022; Zen and the Art of Clean Energy Solutions, 2020; Steeper Energy, n.d.; Ensyn n.d.

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Transport routier de marchandises moyennes et lourdes	En 2021, les biocarburants représentaient 3,5 % du stock de diesel au Canada. De ce pourcentage, le biodiesel constituait environ 1,5 % et le carburant diesel renouvelable environ 2 %. Le parc de camions fonctionnant au gaz naturel comprimé (GNC) est déjà mature, mais l'utilisation du GNR devrait être limitée en raison de l'approvisionnement et de la concurrence d'autres secteurs. Une autre possibilité d'utilisation de la biomasse dans ce secteur est l'intégration du biobrut (huile HTL) pour le co-traitement des combustibles fossiles dans les raffineries, ceci afin de produire du diesel à plus faible intensité carbone. Il sera nécessaire d'améliorer les bio-huiles avant leur insertion afin de les désoxygéner partiellement. Les étapes préalables dépendent de l'unité d'insertion de la raffinerie. La bio-huile issue de la pyrolyse a une teneur en oxygène plus élevée, ce qui la rend moins adaptée et plus complexe pour une utilisation en co-traitement. La bio-huile d'Ensyn (appelée « biocrude » sur leur site web), qui est produite par un processus de pyrolyse rapide, est utilisée comme matière première pour le co-traitement des combustibles fossiles en vue de produire du diesel et de l'essence.	L'électrification devrait être une alternative pour les autobus, les fourgonnettes et certaines catégories de véhicules de taille moyenne. À plus long terme, l'électrification pourrait être une alternative pour les véhicules régionaux et les véhicules long-courriers dans certains cas d'utilisation seulement. Les poids lourds nécessitent des infrastructures particulières ou des batteries à haute densité énergétique pour être compétitifs (comme les batteries à l'état solide qui sont encore à l'état de prototype). La technologie des caténaires est une technologie mature dans les tramways, les trains légers et les trolleybus en Amérique du Nord. Les camions électriques à caténaire ont fait l'objet de déploiements pilotes réussis en Europe et en Californie. Les contraintes liées au déploiement de cette technologie au Canada sont principalement liées à sa mise en œuvre (coûts d'investissement élevés de l'infrastructure et manque d'essais dans des applications de véhicules routiers). Les électro-carburants comprennent l'e-diesel, qui peut être mélangé au diesel, et l'e-gaz, qui peut être mélangé au GNC. Ces deux types de carburants devraient être commercialisés à plus long terme, soit après 2030. Les véhicules à pile à combustible peuvent constituer une alternative, notamment pour les véhicules régionaux et longue distance, après 2040. Les défis pour les camions à pile à combustible sont le manque d'infrastructures de ravitaillement, la disponibilité limitée des véhicules et le prix de l'hydrogène vert.	Hongyu, 2024; Grinsven et al., 2021; Whitmore, 2023; IEA, n.d.; Steeper Energy, n.d.; Ensyn, n.d.

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Transport hors route	Les véhicules hors route utilisent à la fois des carburants diesel et de l'essence. Les alternatives issues de la biomasse comprendraient le bioéthanol, le biodiesel et le diesel renouvelable Cependant, cette catégorie étant trop diversifiée, l'évaluation par type de véhicules et de technologies disponibles est complexe.	Un large éventail de technologies pourrait être disponible pour ce secteur.	Thornton, Ratcliff, and Kelly, 2022; Steeper Energy, n.d.; Ensyn, n.d.
Transport aérien	Actuellement, le biocarburant d'aviation HEFA est le principal biocarburant SAF produit commercialement. Le biocarburant d'aviation produit à partir du processus ATJ est un produit émergeant et la première installation de production commerciale de LanzaJet a ouvert ses portes à Soperton, en Géorgie, en janvier 2024. Le troisième type de biocarburant d'aviation proche de la commercialisation est basé sur le procédé Fischer-Tropsch et la plus grande usine de production de biojet FT au monde, qui sera construite en Louisiane, aux États-Unis, a été annoncée en avril 2024. Une autre possibilité d'utilisation de la biomasse est le co-traitement des lipides et des FT-liquides avec du carburant d'origine fossile. Cette méthode est approuvée pour un maximum de 5 % d'intermédiaires biosourcés. Quant au biobrut valorisé (HTL Oil) et à la biohuile (huiles de pyrolyse), leur co-traitement ou leur utilisation pour la production de SAF est toujours à l'étude, mais à des niveaux de TRL inférieurs et n'est pas encore certifié. De nombreux défis techniques devront encore être relevés pour cette voie.	Les électro-carburants (ou PtL) sont l'alternative non-bio aux biocarburants d'aviation et ils pourront jouer un rôle dans la décarbonation du secteur après 2030. Un projet de démonstration existe au Canada avec le consortium SAF+ (utilisant le CO₂ des gaz de combustion industriels). En Europe, il a été annoncé récemment, soit en mai 2024, que la société suisse Metafuels envisageait, en collaboration avec European Energy, de construire une installation d'e-SAF capable de produire 12000 litres d'eSAF par jour. L'hydrogène liquide et les avions électriques à batterie nécessitent un développement plus poussé de la conception et de l'infrastructure aéronautique et devraient commencer à jouer un rôle dans la réduction des émissions du secteur à plus long terme. Ces deux technologies ne sont pas envisageables pour les vols long-courriers et leur rôle pourrait se limiter aux vols régionaux et court-courriers. Air Canada a acheté 30 avions régionaux électriques qui seront livrés en 2028. En ce qui concerne la technologie de l'hydrogène, Airbus effectuera des vols de démonstration d'ici 2026.	World Economic Forum, 2020; Allan, Goldman, and Tauvette, 2023; IEA Bioenergy Task 39, 2024; Brown, 2024; US Department of Energy, 2024; European Energy, 2024; Csonka, Lewis, and Rumizen, 2022

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Transport maritime	Le biométhanol peut être utilisé aujourd'hui dans les moteurs à combustion interne. De nombreux navires commerciaux ont ainsi été équipés de moteurs au méthanol. Moins de 0,2 Mt de méthanol renouvelable sont produites chaque année dans le monde, principalement sous forme de biométhanol. Le biométhanol était produit par un procédé de gazéification de la biomasse par la firme Enerkem en Alberta avant la récente fermeture de l'entreprise. Un autre projet, Recyclage Carbone Varennes, envisageait l'utilisation de la technologie d'Enerkem pour produire du méthanol, mais en incorporant également dans le processus du H₂ produit par électrolyse, ce qui en fait une combinaison de « biométhanol » et de « e-méthanol ». Actuellement, le biodiesel peut être utilisé jusqu'à un mélange de 20 % sans modification du moteur d'un navire. Des essais ont été réalisés avec des mélanges de biodiesel allant jusqu'à 30 %. D'un point de vue technologique, le diesel renouvelable HDRD et le FT-diesel peuvent remplacer le diesel en tant que mélange ou carburant d'appoint. Le gaz naturel comprimé (ou GNR, e-gaz) peut être viable pour les navires parcourant de courtes distances, mais pas pour la navigation en haute mer. L'utilisation de gaz naturel liquéfié (ou GNR liquéfié ou e-gaz) est limitée en raison du manque d'infrastructures de ravitaillement. La pyrolyse de la biomasse ou la HTL font l'objet de démonstrations à l'échelle pilote en vue de leur utilisation comme combustibles marins. À notre connaissance, aucune utilisation commerciale dans le secteur maritime n'a encore été réalisée.	L'e-diesel (PtL) peut remplacer le diesel d'un point de vue technique, mais sa production n'a pas encore atteint un niveau commercial. Des installations commerciales d'e-méthanol ou de Power-to-liquid sont en cours de développement : une installation commerciale de production d'e-méthanol est en construction à Kassø, au Danemark, et un autre projet d'e-méthanol à l'échelle commerciale (projet FlagshipONE) devrait être mis en service en 2025 en Suède. L'hydrogène vert convient mieux aux navires de petite ou moyenne taille et n'est pas encore prêt à être utilisé dans le secteur du transport maritime. La technologie des piles à combustible (FC) est disponible, mais l'hydrogène utilisé dans un moteur à combustion interne (ICE) est une technologie moins mature qui n'a pas d'exemples pratiques établis et qui en est actuellement au stade des essais. L'ammoniac est considéré comme l'un des carburants pouvant être utilisés pour la décarbonation du transport maritime, mais les niveaux technologiques actuels des FC et des ICE pour les applications de l'ammoniac en sont encore au stade du développement et de la recherche, avec peu d'applications dans le monde réel dans le secteur du transport maritime. Les navires électriques à batterie en sont au début de leurs opérations commerciales, mais en raison de la faible densité énergétique des batteries, ils sont limités aux courtes distances et aux déplacements nationaux.	IRENA, 2021; IRENA and Methanol Institute, 2021; Vikjær-Andresen, 2022; MITSUI & CO, 2023; IEA, n.d., Consulté le 18 juillet 2024; Steeper Energy, n.d.; Tan et al., 2021; NREL, 2021

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Transport ferroviaire	Le biodiesel et le diesel renouvelable peuvent être utilisés pour substituer partiellement ou complètement le diesel pétrolier. Une autre possibilité d'utilisation de la biomasse dans ce secteur est l'intégration du biobrut (huile HTL) pour le co-traitement des combustibles fossiles dans les raffineries, ceci afin de produire du diesel à plus faible intensité carbone. Il sera nécessaire d'améliorer les bio-huiles avant leur insertion afin de les désoxygéner partiellement. Les étapes préalables dépendent de l'unité d'insertion de la raffinerie. La bio-huile issue de la pyrolyse présente une teneur en oxygène plus élevée, ce qui la rend moins adaptée et plus complexe pour une utilisation en co-traitement. La bio-huile d'Ensyn (appelée « biocrude » sur leur site web), qui est produite par un processus de pyrolyse rapide, est utilisée comme matière première pour le co-traitement des combustibles fossiles afin de produire du diesel et de l'essence.	Environ 25 % des chemins de fer mondiaux sont électrifiés, principalement en Europe. Toutefois, en Amérique du Nord, les technologies de propulsion alternatives (batteries électriques et piles à hydrogène) constituent une solution alternative à l'électrification traditionnelle (caténaire) car elles ne nécessitent pas de modifier les lignes ferroviaires existantes. Les technologies des batteries électriques et des piles à combustible évoluent et ne pourront pas être déployées avant 2030. Elles présentent des obstacles économiques majeurs en raison de la nécessité de remplacer le parc automobile à grande échelle. Les batteries électriques ont plus de potentiel que les piles à combustible à hydrogène, qui présentent plus de défis et d'incertitudes. Des essais pour le premier train de marchandises électrique à batterie au monde ont été réalisés en Californie, mais des défis subsistent en ce qui concerne la technologie des batteries, l'infrastructure de chargement et la disponibilité d'électricité à faible intensité carbone. Un projet de R&D du Conseil national de la recherche du Canada et de Transport Canada a débuté en 2022 pour évaluer l'option d'utilisation de l'hydrogène dans le secteur ferroviaire, connu sous le nom « Hydrail ». L'e-diesel (également connu sous le nom de PtL) peut techniquement remplacer le diesel de pétrole, mais la technologie de production n'est pas encore commercialisée.	LaRochelle, McCauley, and May, 2022; Mandegari, Ebadian, and Saddler, 2023; Steeper Energy, n.d.; Ensyn n.d.; National Research Council of Canada, 2022

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Bâtiments résidentiels	Le GNR peut être utilisé pour le chauffage des bâtiments, en le mélangeant au gaz naturel. La production de GNR à partir de matières premières de première génération est déjà commercialisée et déployée au Canada. En revanche, la production de GNR à partir de biomasse lignocellulosique est émergente et n'est pas encore déployée à l'échelle commerciale. Sans la commercialisation des technologies de transformation de la biomasse ligneuse en GNR, la disponibilité de l'offre de GNR limiterait son rôle dans la décarbonation de ce secteur, notamment en raison de la demande concurrente de GNR dans le secteur industriel. Les systèmes de chauffage hybrides, combinant l'installation d'une pompe à chaleur électrique et d'une chaudière à gaz, sont également une option pour ce secteur. Dans les systèmes hybrides, les pompes à chaleur sont principalement utilisées pour le chauffage et le refroidissement, mais la chaudière à gaz peut être utilisée durant les jours très froids. Dans les communautés isolées, qui ne sont pas reliées aux infrastructures de distribution de gaz naturel ou d'électricité, d'autres types de combustibles peuvent être utilisés pour remplacer les combustibles fossiles, comme la biomasse dans les poêles à biomasse (sans conversion, sous forme de granulés, de briquettes, etc.). L'huile pyrolytique (bio-huile) a été testée en Europe pour les systèmes de chauffage résidentiels (20 kWth à 200 kWth). Cependant, il reste des défis à relever car les propriétés de la bio-huile diffèrent de celles du mazout conventionnel.	Les pompes à chaleur (à air ou géothermiques) sont les technologies les plus prometteuses pour la décarbonation des bâtiments, en raison de leur grande efficacité. Les plinthes électriques et les chaudières électriques pourraient faire partie d'un avenir carboneutre, mais elles sont moins intéressantes à déployer que les pompes à chaleur, car elles sont moins efficaces. L'e-méthane (ou e-gaz) peut également être mélangé au gaz naturel, mais sa production n'est pas encore commerciale. TES Canada a annoncé qu'une partie de l'hydrogène vert qui sera produit dans son installation au Québec sera utilisée pour produire du e-gaz. Les chaudières à hydrogène peuvent être utilisées pour chauffer les bâtiments si elles sont connectées à un réseau d'hydrogène vert, mais cette solution pose des problèmes de sécurité et des défis pour un déploiement à grande échelle. Le mélange d'hydrogène en faibles pourcentages avec l'infrastructure de distribution de gaz naturel est testé par les compagnies de gaz naturel dans le cadre de projets pilotes.	The Transition Accelerator, n.d. Consulté le 11 juin 2024 ; Canadian Climate Institute, 2023; Canadian Climate Institute, 2024b; Fortis BC, 2024; TESCanada H2 Inc., n.d.; CORDIS-EU, 2020

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Bâtiments C&I	Les bâtiments commerciaux et institutionnels (C&I) ont des charges de demande de chauffage plus élevées que les bâtiments résidentiels et, par conséquent, les défis et la vitesse de décarbonation peuvent être différents de ceux des bâtiments résidentiels (par exemple, en raison de la demande de pointe d'électricité). Cependant, d'un point de vue technologique, les solutions alternatives pour décarboner le chauffage des bâtiments sont les mêmes que celles décrites dans la section « Bâtiments résidentiels ».		
Chaleur industrielle, faible à moyenne température	Les besoins et les défis en matière de chauffage industriel varient considérablement d'une industrie à l'autre et les solutions technologiques peuvent être classées en fonction des températures de fonctionnement. Les bioproduits qui peuvent être utilisés pour la chaleur industrielle comprennent les granules de bois torréfiés (<i>biocoal</i> en anglais), le biogaz, le gaz de synthèse, la bio-huile, le biohydrogène et l'utilisation directe de la biomasse.	Il existe actuellement de nombreuses technologies d'électrification directe pour la chaleur industrielle, notamment les pompes à chaleur, la résistance électrique, l'induction, les arcs électriques et les torches à plasma, le chauffage infrarouge, les lasers et les faisceaux d'électrons. Cependant, toutes ces technologies ne peuvent pas être utilisées à grande échelle. Les pompes à chaleur industrielles commercialisées sont les plus prometteuses et sont actuellement disponibles pour la chaleur industrielle à des températures allant jusqu'à 150°C ou 165°C maximum. La technologie des pompes à chaleur pour les applications à très basse température (inférieure à 100 °C) est au point et peut être utilisée pour la décarbonation à court terme. Les pompes à chaleur industrielles sont particulièrement bien adaptées aux industries qui nécessitent principalement des températures inférieures à 200 °C, telles que les industries des aliments et des boissons, du textile, des produits du bois, etc. Globalement, les secteurs industriels ayant la plus grande part d'électrification basée sur les pompes à chaleur jusqu'à présent sont l'alimentation et les boissons ainsi que le tabac. L'adoption des pompes à chaleur est encore moins répandue dans les industries qui utilisent des procédés à haute et à basse température dans la même installation, comme le secteur de l'industrie chimique.	IEA BIOENERGY Task 40, 2021; Rissman, 2022; Deloitte, 2023

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Chaleur industrielle, haute température	Les températures élevées (supérieures à 500°C) sont surtout nécessaires dans les industries telles que la sidérurgie, les minéraux non métalliques comme le ciment et le verre, les produits chimiques et les métaux non ferreux. Les bioproduits qui peuvent être utilisés pour la chaleur industrielle comprennent le GNR pour remplacer le gaz naturel, les granules de bois torréfiées (<i>biocoal</i> en anglais) pour remplacer le charbon et l'huile pyrolytique pour remplacer le mazout lourd (par exemple, comme Arcelor Mittal l'utilise actuellement dans son usine de bouletage à Port-Cartier).	L'électricité n'est utilisée que dans certaines applications spécifiques pour la chaleur industrielle à haute température (par exemple, le chauffage à résistance dans la production de fibres de carbone). Toutefois, pour la plupart des processus à grande échelle tels que les craqueurs de vapeur et les fours à ciment, l'électrification reste un défi et n'est pas possible avec les développements technologiques actuels. Il existe des solutions pour des températures plus élevées qui pourraient éventuellement devenir largement applicables, par exemple la génération de plasma, mais elles sont jusqu'à présent limitées à des échelles plus petites. D'autres solutions pour la chaleur industrielle à haute température incluent l'hydrogène vert. L'hydrogène peut être utilisé pour la chaleur industrielle, mais l'adaptation des systèmes de chauffage au gaz existants à l'hydrogène présente de nombreux défis (transport, stockage, coût, propriétés de combustion, etc.). Dans l'industrie du ciment, l'hydrogène vert peut être utilisé pour la production de chaleur, mais pas dans tous les procédés. Pour les fours rotatifs (fonctionnant entre 1200°C et 1400°C), les différences des propriétés physiques et chimiques entre la combustion de l'hydrogène et celle du gaz naturel sont déterminantes pour les performances. Cependant, la production de chaleur pour les précalcinateurs (fonctionnant à 600°C-700°C) est généralement indifférente aux combustibles tant que des températures suffisantes sont atteintes et que l'hydrogène vert peut être utilisé.	Deloitte, World Wildlife Fund, and Renewable Thermal Collaborative, 2023; IEA, 2019, 2023a; IEA BIOENERGY Task 40, 2021

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Production de fer et d'acier	Dans les procédés conventionnels des hauts fourneaux au charbon, le charbon pulvérisé pourrait être partiellement remplacé par du biocarbone en tant que réducteur alternatif. L'utilisation de la biomasse peut réduire les émissions des hauts fourneaux, mais ne peut pas remplacer totalement les besoins en charbon et en coke du haut fourneau standard. L'injection directe de biomasse dans les hauts fourneaux est déjà appliquée commercialement au Brésil, mais à plus petite échelle. La conversion de la biomasse en biocarbone est moins avancée et peut convenir aux hauts fourneaux standard. Une autre solution consiste à remplacer entièrement le processus de fabrication du fer par un nouveau processus basé sur la réduction directe du minerai de fer en fer (DRI) sans le faire fondre, en utilisant un gaz réducteur. Généralement, le gaz réducteur est un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone dérivé du gaz naturel. Les alternatives pour le gaz réducteur comprennent l'hydrogène vert (H-DRI) ou la biomasse gazéifiée (syngas). Pour la fabrication de l'acier, le four à oxygène de base (BOF) ou le four électrique à arc (EAF) sont couramment utilisés aujourd'hui. Pour remplacer les sources de carbone fossile utilisées comme intrants de carbone dans le procédé de fabrication de l'acier dans le FEA, le biocarbone pourrait potentiellement être utilisé comme intrants clés dans le EAF (carbone de charge et carbone d'injection). La réduction de la fusion est également une technologie innovante qui est encore en cours de développement.	Les alternatives pour le gaz réducteur comprennent l'hydrogène vert (H-DRI). De nombreux projets pilotes à l'échelle mondiale testent le DRI-EAF avec l'utilisation de l'hydrogène. Ce procédé pourrait être déployé commercialement avant 2030. D'autres procédés utilisant l'électricité (électrolyseur et extraction électrolytique) ne sont pas encore commercialisés et ne seront probablement pas déployés avant 2040-2050.	CRIBE, 2025; Echterhof, 2021; IEA, n.d.; McKinsey & Company, 2020; Mission Possible Partnership, 2022; Somers, 2022

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Production d'ammoniac	L'ammoniac est produit à partir d'hydrogène. En 2022, environ 60 % de l'hydrogène d'origine fossile utilisé dans les industries servait à produire de l'ammoniac. Pour décarboner la production d'ammoniac, il faut de l'hydrogène à faible taux d'émission. L'utilisation du biohydrogène serait limitée par l'approvisionnement en biomasse.	La production d'e-ammoniac ne nécessite pas de carbone, ce qui la rend plus simple que la production d'autres e-carburants qui doivent trouver des sources de CO₂ disponibles, en particulier des sources de CO₂ biogénique proches des sources d'énergie renouvelables. Sur la base des projets annoncés au niveau mondial, l'AIE indique dans son rapport que la majorité de la production d'hydrogène vert pourrait être utilisée pour produire de l'e-ammoniac (suivi par l'e-méthanol et les carburants FT, puis l'e-méthane). Parmi les projets émergents, citons le projet de démonstration métallurgique de Hydrogen Energy en Chine, qui devrait produire 390 kt d'ammoniac à partir d'hydrogène vert et dont les opérations devraient commencer en 2025.	IEA, 2023b, 2023a; Sheldrick, 2023

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Production pétrochimique	Les produits pétrochimiques sont une catégorie de produits chimiques organiques obtenus principalement en utilisant des liquides de gaz naturel (LGN, principalement de l'éthane, du propane et des butanes) et des flux de raffinerie de pétrole tels que le naphta et le gas-oil léger. Actuellement au Canada, il y a peu de matières premières alternatives qui sont disponibles. L'éthylène est le produit pétrochimique produit en plus grande quantité au Canada et il est utilisé comme intermédiaire pour divers produits finis (emballages, plastiques). L'éthylène biosourcé peut être produit à partir de matières premières de la biomasse par le biais de la production d'éthanol. Le bioéthanol peut donc être utilisé pour produire du bioéthylène. Le méthanol est également un produit chimique primaire qui peut être produit en utilisant des matières premières de la biomasse par gazéification. Le biométhanol était produit par gazéification de la biomasse par la firme Enkema en Alberta avant la récente fermeture de l'entreprise. Le méthanol est utilisé comme produit chimique primaire pour la production de nombreux produits chimiques secondaires et, par conséquent, de nombreux produits de la vie courante. Outre le remplacement des matières premières conventionnelles par des matières premières de biomasse pour le même procédé, les matières premières de biomasse peuvent également être utilisées pour produire de nouveaux types de biomatériaux destinés à remplacer les matériaux et les plastiques d'origine fossile, tels que les polyhydroxyalcanoates (PHA) et les polyhydroxybutyrates (PHB) biodégradables.	Les alternatives pourraient inclure les technologies Power-to-X pour produire de l'e-méthanol ou de l'e-gaz à utiliser dans différents procédés.	Government of Canada, 2024; McKinsey & Company, 2023; Nesterenko et al., 2023; Sheldrick, 2023; U.S. Department of Energy, 2023

Secteurs d'usages finaux	Synthèse des technologies commerciales et émergentes pouvant être utilisées dans les secteurs d'utilisation finale		Références
	Bioproduits	Alternatives non basées sur l'utilisation de la biomasse	
Électricité et cogénération	La production d'électricité à partir de la biomasse peut se faire en utilisant des copeaux de bois, des résidus agricoles, des granules de bois ou du biocarburant par combustion. Le biogaz produit par digestion anaérobie ou le gaz de synthèse issu de la gazéification de la biomasse peuvent également être utilisés pour la production d'électricité. La conversion de la biomasse en électricité a un faible rendement et des rendements plus élevés sont obtenus par des systèmes de cogénération (CHP). Au Canada, la bioélectricité joue un rôle marginal et la plupart des bioénergies sont utilisées à des fins de production de chaleur. Au Canada, par exemple, la centrale d'Atikokan (Ontario) est passée du charbon aux granules de bois en 2014. Les systèmes de biomasse peuvent jouer un rôle dans la décarbonation des communautés éloignées en remplaçant l'électricité produite à partir du diesel et pour le chauffage des bâtiments. Par exemple, depuis 2017, Kwadacha FN exploite le premier système de cogénération (CHP) par gazéification de la biomasse, hors réseau et conforme aux standards des services publics, en utilisant des copeaux de bois. Le biogaz produit par digestion anaérobie est également utilisé pour la production d'électricité au Canada (environ 49 % de tout le biogaz produit en 2022). En 2022, une cinquantaine de projets de biogaz au Canada fournissaient une capacité de production d'électricité de 196 MW, mais l'intérêt se déplace vers l'utilisation du biogaz pour la production de GNR.	Les alternatives à la bioélectricité sont d'autres sources renouvelables pour la production d'électricité (y compris l'hydroélectricité, le solaire, l'éolien) et le nucléaire, en fonction du lieu et du contexte.	Airex Energy, 2016; IEA Bioenergy, 2021b; Indrawan et al., 2020; OPG, n.d.; Wolinetz, 2022

Annexe 4: Liste des parties prenantes et des spécialistes qui ont participé aux ateliers de travail et/ou qui ont fourni des commentaires sur le livre blanc

Nom	Prénom	Organisation
Adetona	Adekunbi	Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada
Aghabaramnejad	Milad	CanmetÉNERGIE à Varennes, Ressources naturelles Canada
Alward	Jonathan	Atlantica Centre for Energy
Beaumier	Louis	Institut de l'énergie Trottier
Bédard	Serge	CanmetÉNERGIE à Varennes, Ressources naturelles Canada
Bédard	André	Bureau d'exportation du bois du Québec
Bélanger	Normand	Fonds de solidarité Bioénergie (Fonds FTQ Bioénergie)
Bernier	Daniel	Union des producteurs agricoles
Bourdages	Alain	Produits forestiers Résolu
Bourque	Jean-Pierre	Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
Brewin	Dan	Plant Protein Alliance of Alberta (Alliance pour les protéines végétales de l'Alberta)
Broda	Joey	FortisBC
Byatt	Justin	Direction des opérations et du développement forestier, gouvernement du Nouveau-Brunswick
Chenel	Jean-Philippe	Consortium de recherche et innovations en bioprocédés industriels au Québec
Clark	Dylan	Pacific Institute for Climate Solutions
Dagher	Roberta	Institut de l'énergie Trottier
Dickie	Chris	RechercheNB
En bas	Sam	HEMPALTA
Downing	Melissa	Alberta and National Cattle Feeders' Association
Drevet	Tarra	The Simpson Centre
Durany	Gabriel	Plan A Capital
Edom	Éloïse	Institut de l'énergie Trottier
Ell	Wendy	Glacier FarmMedia
Mohammadi	Hana Fateme	University of British Columbia
Finet	Jean-Pierre	ROEE
Foxall	Ryan	BC Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation
Gagnon	Bruno	Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada
Gagnon	Yves	Université de Moncton
Germain	Louis	Conseil de l'industrie forestière du Québec (CIFQ)
Ghatala	Fred	Advanced Biofuels Canada
Goodison	Andrew	Canfor
Goulet	Nicole	Ontario Power Generation
Gulab	Sabrina	The Simpson Centre

Nom	Prénom	Organisation
Guy Adegbidi	Hector	Université de Moncton Campus d'Edmundston
Harvey	Jacques	J Harvey Consultant & Associés inc.
Hays	Fred	AB Beef
Hoffmann	Ron	SixRing
Holowaychuk	Volonté	Alberta Canola
Ishaque	Hanan	The Simpson Centre
Jazinaninejad	Mona	University of New Brunswick
Kehoe	Steve	BMO
Khennache	Lylia	Airex Énergie
Kiro	Ruth	Pollution Probe
Laframboise	Amélie	Ville de Montréal
Landry	Mathieu	Secrétariat du changement climatique, gouvernement du Nouveau-Brunswick
Langlois - Bertrand	Simon	Institut de l'énergie Trottier
Lee	Jason	Environnement et changement climatique Canada
levesque	Jonathan	Biomass Solution Biomasse
Lhermie	Guillaume	The Simpson Centre
Liu	Daniel	Ressources naturelles Canada
Locoh	Ayaovi	Institut de l'énergie Trottier (IET)
Maghzian	Ali	University of British Columbia
Mambo	Tatenda	The Simpson Centre
Marois-Mainguy	Olivier	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
Mathis	Chris	Viable Solutions
McGee	Michael	BioEnterprises
McKell	Bretagne	HEMPALTA
Meisser	Janay	UFA Co-Operative Ltd.
Mousse	David	Telus Agriculture
Mousse	Riley	TC Energy
Mousseau	Normand	Institut de l'énergie Trottier
Afzal	Muhammad	University of New Brunswick
Müssenberger	Frank	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
Naylor	Simon	Viridis Environnement
Niet	Taco	Simon Fraser University
Paré	Benoit	Centre de traitement de la biomasse de la Montérégie
Pauer	Stefan	Clean Energy Canada
Pinault	Eric	Université de Québec à Montréal
Prodan	Hugh	Bio Alberta
Rancourt	Emmanuelle	Vision Biomasse Québec - Nature Québec
Sanguinetti	Lucie	The Simpson Centre
Sebaa	Nazim	Association des consommateurs industriels de gaz

Nom	Prénom	Organisation
Sharma	Mahima	Association des produits forestiers du Canada
Sieppert	Jackie	School of Public Policy, University of Calgary
Sokhansanj	Shahab	University of British Columbia
Sorenson	Brian	Canary Biofuels
Tauvette	Geoff	Canadian Council for Sustainable Aviation Fuels
Thellen	Philippe	Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie (MEIE)
Thiffault	Evelyne	Université Laval
Thomson	Ian	Advanced Biofuels Canada
Blanc	Troie	BioComposites Group
Whitmore	Johanne	HEC
Wiskar	Shawn	The Simpson Centre
Wolinetz	Michael	Navius Research
Wong	Tammy	Ontario Power Generation
Xie	Sheng	Ressources naturelles Canada
Zhu	Hui	UBC Clean Energy Research Centre
Zuleta	Liliana	Emissions Reduction Alberta