

Ressources naturelles
et Forêts

Québec



ÉTUDE DE DÉTERMINATION DES CONDITIONS TECHNICOÉCONOMIQUES NÉCESSAIRES À L'IMPLANTATION DE CENTRES DE VALORISATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU QUÉBEC



ÉQUIPE DE TRAVAIL

Groupe DDM

Bruno Del Degan, ing.f. M. Sc.	Directeur de projet
Julia Trappe, ing.f., M. Sc.	Chargée de projet
Dominic Tremblay, ing.f.	Chargé de projet adjoint
Carolann Forgues-Imbeault, M. Sc.	Économiste, modélisations et analyse
Cendrine Guillemette	Révision linguistique

Comité de pilotage

Jean-Pierre Bourque, ing., M. Sc.	Service du développement de l'industrie des produits forestiers (MRNF)
François Baril, ing.f.	Service du développement de l'industrie des produits forestiers (MRNF)
Ariel Bélanger, ing.f.	Direction de la gestion de l'approvisionnement en bois (MRNF)
Nicolas Laflamme, ing.f.	Bureau du développement de l'hydrogène vert et des bioénergies (MEIE)
Frank Müssenberger ing.f., M. Sc.	Direction de l'expertise en réduction des Émissions de gaz à effet de serre (MELCCFP)
Marta Trzcianowska, Ph. D.	Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers (MRNF)

Référence à citer :

DEL DEGAN, MASSÉ, 2024. *Étude de détermination des conditions technicoéconomiques nécessaires à l'implantation de centres de valorisation de la biomasse forestière au Québec*. Rapport présenté à la Direction générale de l'approvisionnement en bois et du développement économique, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 52 p. + annexes. *Référence interne : 23-1672*.



SOMMAIRE EXÉCUTIF

Cette étude présente les conditions technicoéconomiques requises pour implanter des centres de valorisation de la biomasse forestière (CVB) au Québec.

Aux fins d'octroi de droits forestiers uniquement, la biomasse forestière est définie à la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*, comme étant la matière ligneuse non marchande issue des activités d'aménagement forestier ou de plantations à courtes rotations réalisées à des fins de production d'énergie, en excluant les souches et les racines¹. L'étude élargit la définition pour y inclure les branches marchandes et les bois marchands de faible qualité sans preneurs. Au-delà de la définition de la biomasse forestière définie par la *Loi*, cette étude soulève le potentiel de bois d'opportunité dans certaines régions, dont le bois issu de feux, d'épidémies ainsi que les résidus de première transformation. On estime, au Québec, à 5,5 millions de tonnes métriques anhydres (tma) la quantité de biomasse forestière, dont moins de 10 % sont attribuées et au mieux 1 % est récoltée et mise en valeur. Le potentiel de valorisation est en conséquence fort important.

Un CVB est un lieu doté d'espaces et d'équipements spécialisés qui permettent la réception et le conditionnement de la biomasse à des fins d'utilisation énergétique ou autres. Une fois conditionnée, cette biomasse est utilisée sur place ou encore acheminée vers un ou des utilisateurs finaux. Il existe au Québec de nombreuses cours à bois adjacentes aux usines de transformation du bois qui peuvent présenter un potentiel pour évoluer en CVB. Ces cours à bois disposent généralement d'espaces, d'équipements utiles pour les CVB (ex. : balance, chargeuse, etc.), d'un utilisateur majeur de matière ligneuse, d'une capacité électrique et d'une main-d'œuvre qualifiée compétente. Cependant, cela ne signifie pas que ces cours à bois présentent tous les attributs requis pour permettre la mise en place d'un CVB. En conséquence, l'enjeu est davantage de générer les synergies favorables aux implantations de CVB.

Des enjeux importants affectent l'implantation de CVB sur le territoire, tels que la planification, l'intégration et les modes des récoltes (66 % des arbres sont récoltés en bois tronçonnés, ce qui répartit la biomasse sur l'ensemble des parterres de coupe) ainsi que l'absence de preneurs majeurs de biomasse.

De nombreuses contraintes à l'implantation de CVB sont anticipées, et ce, selon les formes de valorisation envisagées. La rentabilité économique est au cœur des contraintes compte tenu des valorisations escomptées et des modèles d'affaires qui ne permettent pas en ce moment d'absorber l'ensemble des coûts. Selon les meilleures estimations, les coûts d'approvisionnement de la biomasse varient de 50 \$/tma à 70 \$/tma et la valeur des produits varie de 105 \$/tma à 125 \$/tma.

Trois gabarits théoriques de CVB ont été établis en matière de volumes de biomasse à traiter afin de cerner les coûts d'implantation (moins de 10 000 tma, de 10 000 à 50 000 tma, et plus de 50 000 tma). Dépendamment du gabarit, les investissements vont varier de 1,9 M\$ à 8,8 M\$.

Les régions du Saguenay–Lac-Saint-Jean, de la Mauricie, de l'Outaouais, de la Gaspésie et de Chaudière-Appalaches s'avèrent candidates à l'implantation de CVB considérant la synergie, la dynamique régionale et la disponibilité de la biomasse.

¹ https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/fic-00632-biomasse_2023-2028-4.4.0.pdf

Plusieurs conditions à l'implantation d'un CVB sont essentielles comme la présence d'un preneur de biomasse stable détenant un droit garantissant un approvisionnement, des coûts d'approvisionnement raisonnables, une localisation optimale dans la chaîne de valeur forestière de la région ainsi qu'une synergie dans les activités de récolte, de transport et de conditionnement. De plus, il y aurait intérêt à élargir la définition même de la biomasse forestière afin d'inclure les essences qui sont actuellement sans preneurs de même que les bois non marchands.

Des incitatifs temporaires devraient être considérés pour accélérer l'émergence des CVB. Selon les perspectives énergétiques et la valeur des produits issus de la transformation de la biomasse forestière, il s'avère stratégique que le Québec encourage la mise en place d'un réseau de CVB qui ne fera que rendre plus compétitif l'utilisation de la biomasse forestière au bénéfice du développement des régions, de l'industrie, des travailleurs et des générations futures.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. PORTRAIT DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU QUÉBEC	3
1.1 Biomasse forestière.....	3
1.2 Centres de valorisation de la biomasse (CVB).....	5
2. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	8
2.1 Étape 1 : Revue de littérature	8
2.2 Étape 2 : Entrevues régionales avec le MRNF	9
2.3 Étape 3 : Entrevues avec les principaux acteurs clés	9
2.4 Étape 4 : Production du rapport.....	10
3. RÉSULTATS OBTENUS	10
3.1 Principaux enjeux à considérer	10
3.1.1 Planification des récoltes.....	10
3.1.2 Intégration des récoltes et du transport	11
3.1.3 Droits forestiers	13
3.1.4 Preneurs de biomasse	13
3.2 Procédés de récolte de biomasse.....	14
3.3 Transport de la biomasse forestière	17
3.4 Conditionnement et entreposage	19
3.5 Équipements requis au conditionnement.....	24
3.6 Coûts d'investissement	30
3.7 Coûts de préparation du site et frais d'exploitation	34
3.8 Main-d'œuvre requise pour l'exploitation d'un CVB	35
3.9 Synthèse des coûts associés au CVB	36
3.10 Modèle d'affaires et structure de gouvernance	38
4. CONDITIONS D'IMPLANTATION D'UN CVB.....	39
4.1 Preneurs stables de biomasse.....	39
4.2 Coûts d'approvisionnement de la biomasse	39
4.3 Intégration des preneurs au tissu industriel	40
4.4 Garantie de volumes	41
4.5 Optimisation des activités.....	41
4.6 Investissements à l'implantation	41
5. ANALYSE DE LA RENTABILITÉ.....	42
5.1 Analyse du marché de la biomasse forestière	42
5.2 Analyse de sensibilité de la rentabilité d'un CVB en fonction du transport	43
6. RÉGIONS PROPICES À L'IMPLANTATION DE CVB.....	45
7. CONSTATS ET PISTES D' ACTIONS.....	48
CONCLUSION	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Disponibilité de la biomasse forestière.....	4
Tableau 2	Pourcentage de récolte de biomasse en forêt publique en fonction de l'attribution.....	5
Tableau 3	Format des bois livrés aux usines selon la déclaration des industriels.....	12
Tableau 4	Cout d'approvisionnement de la biomasse en forêt sous forme de baguettes et de cimes (valeur de 2023).....	16
Tableau 5	Évaluation des couts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse par Kessler Nadeau (en valeur de 2023).....	16
Tableau 6	Cout de transport selon le mode de transformation.....	18
Tableau 7	Nombre de camions requis pour la production de 215 tma/jour en fonction de la distance de transport.....	19
Tableau 8	Niveaux de tolérance à la qualité de la biomasse.....	21
Tableau 9	Investissements en équipements et en infrastructures (CVB de 10 000 tma et moins)	32
Tableau 10	Investissements en équipements et en infrastructures (CVB de 10 000 tma à 50 000 tma).....	33
Tableau 11	Investissement en équipements et en infrastructures (CVB de 50 000 tma à 200 000 tma).....	34
Tableau 12	Frais d'exploitation des différents CVB selon le volume traité.....	35
Tableau 13	Cout d'approvisionnement biomasse en forêt sous forme de baguettes et de cimes en \$/tma.....	36
Tableau 14	Évaluation des couts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse	36
Tableau 15	Estimation des couts d'approvisionnement dans un rayon de 100 km.....	37
Tableau 16	Estimation de l'évolution du cout de transport en \$/tma selon la distance de transport ..	43
Tableau 17	Régions propices à l'implantation d'un CVB.....	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Schéma de la chaîne de valeur de la biomasse forestière.....	6
Figure 2	Schéma d'un CVB modèle.....	7
Figure 3	Schéma des principales chaînes de récolte de biomasse forestière au Québec.....	17
Figure 4	Empilement de biomasse sous forme de baguettes (CFM, 2023).....	18
Figure 5	Biomasse en billots et baguettes prête à être déchiquetée en usine (CFM, 2023).....	20
Figure 6	Cour d'entreposage de la biomasse pour (CFM, 2023)	23

Figure 7	Balance à bois à l'entrée du site Vallière	25
Figure 8	Déchiquteuse Kesla C645 en opération (Photo de Coopérative forestière Matapédia)	25
Figure 9	Broyage en forêt de biomasse et chargement dans un semi-remorque à plancher mobile pour expédition	26
Figure 10	Entrepôts pour stockage de biomasse conditionnée et prête à l'expédition (CFM, 2023)	27
Figure 11	Chargeuse frontale Komatsu 380 (Komatsu Europe, 2019)	28
Figure 12	Chargeuse sur chenilles configurée pour la manutention de biomasse forestière (FPInnovations, 2022)	29
Figure 13	Chargeuse sur roues munie d'une remorque à billot (CFM, 2023)	29
Figure 14	Chargeuse forestière manipulant les grumes destinées à la biomasse (Site Vallières, 2023)	30
Figure 15	Vue du site Vallières à La Tuque (Photo OIFQ, 2015)	31
Figure 16	Résidus de première transformation pouvant être valorisés en bioénergie.....	40
Figure 17	Croissance du cout de transport en \$/tma avec l'augmentation des distances entre la forêt et le CVB	44

CARTE

Carte 1	Régions propices à l'implantation d'un CVB	46
---------	--	----

ANNEXE

Annexe 1	Liste des participants
----------	------------------------

INTRODUCTION

L'utilisation de la biomasse forestière pour la production d'énergie au Québec n'est pas nouvelle en soi. L'usage historique du bois de chauffage est un exemple assez probant. En fait, la popularité de cette ressource est inversement liée aux fluctuations des prix des produits pétroliers et de l'électricité et stimulée par les engagements gouvernementaux de réduction de consommation d'énergies fossiles. Une partie négligeable de la consommation énergétique du Québec (8 %) repose sur cette ressource. On peut notamment penser à la biomasse forestière qui représente une partie intégrante de la structure de l'industrie forestière québécoise. Plus précisément, les résidus de l'exploitation forestière ont pratiquement toujours été utilisés pour la production de chaleur, de vapeur et d'électricité dans le secteur de la transformation du bois.

Aujourd'hui, plusieurs éléments militent pour élargir et optimiser l'usage de la biomasse forestière. Le Québec connaît la disponibilité de cette matière première région par région à la suite de la dernière étude produite sur ce sujet². L'approche préconisée afin d'optimiser sa mise en valeur consiste à concentrer la matière ligneuse dans des centres de valorisation de la biomasse forestière (CVB).

Au Québec, on retrouve sur le territoire plusieurs sites qui s'apparentent à des CVB et d'autres qui sont organisés pour livrer une biomasse forestière à des fins énergétiques selon des paramètres techniques précis. Depuis maintenant plus de dix ans, différents projets alimentent des circuits courts en biomasse forestière conditionnée in situ. Plusieurs autres projets vont dans le même sens, mais il demeure que l'approvisionnement manque de structure et d'économie d'échelle et que la chaîne d'approvisionnement n'est pas optimisée. En améliorant la chaîne de valeur avant la livraison, il deviendrait possible de mieux structurer la filière, d'accroître les volumes disponibles au marché, mais également de générer des économies à tous les acteurs économiques de la filière autant pour les entrepreneurs que les entreprises de transformation.

Dans ce contexte, l'étude traite de l'approvisionnement et du conditionnement de la biomasse forestière dans le but de la valoriser pour les besoins de l'industrie forestière et des bioénergies/bioproducts dans les circuits énergétiques afin de remplacer les énergies fossiles et, éventuellement, pour d'autres applications (ex. : métallurgie, chimie verte, matériaux biosourcés, etc.). Cette initiative s'inscrit notamment dans la stratégie gouvernementale, formulée dans le cadre du plan pour une économie verte 2030 (PEV). Ce plan définit notamment la volonté gouvernementale d'accroître de 50 % la production de bioénergies. De plus, la Stratégie québécoise sur l'hydrogène vert et les bioénergies entend favoriser la mise en place d'écosystèmes énergétiques régionaux (EER) en matière de bioénergies. Par EER, on entend la mise en place de projets intégrés permettant de combiner les approvisionnements en biomasse, la production de différentes formes de bioénergies et leurs usages dans une même région, et ce, dans une perspective d'efficacité et d'autonomie énergétique.

À ce compte, l'étude détermine les conditions technicoéconomiques nécessaires à l'implantation de CVB, c'est-à-dire un lieu doté d'espaces et d'équipements qui permettront le conditionnement de façon optimale de cette matière première afin de lui conférer un maximum de valeur économique et environnementale pour différents usages et de la destiner à un utilisateur. L'idée sous-jacente est de

² Groupe WSP Canada inc. Inventaire de la biomasse disponible pour produire de la bioénergie et portrait de la production de la bioénergie sur le territoire québécois

concentrer, dans la mesure du possible, la biomasse forestière et même les bois destinés au sciage et à la pâte à un seul endroit afin d'optimiser le tri et le conditionnement avant de les expédier vers les utilisateurs. Ce concept pourra différer un peu d'une région à l'autre selon les considérations techniques et économiques.

Les objectifs poursuivis par le mandat visent à :

- Déterminer les paramètres normatifs, techniques (logistique d'approvisionnement, procédés et équipements de conditionnement) et économiques (rayon de transport, volume minimal, etc.) ;
- Identifier les besoins en investissements, les frais d'exploitation ainsi que les besoins en main-d'œuvre ;
- Dresser le modèle d'affaires type d'un CVB, ainsi que la structure de gouvernance ;
- Présenter les conditions d'implantation d'un CVB ;
- Analyser la sensibilité de la rentabilité en lien avec le transport de la biomasse forestière.

À notre avis, différents aspects de la chaîne de valeur devront être couverts, dont :

- Les modalités de planification des récoltes afin de minimiser le nombre de chantiers ;
- Les modalités de récolte ;
- Les modalités de transport de la biomasse forestière de la forêt au CVB ;
- Les procédés de conditionnement (déchiquetage, broyage et séchage) ainsi que les caractéristiques cibles (teneur, granulométrie) ;
- Les équipements nécessaires au conditionnement peuvent s'équivaloir. Cependant, selon les volumes à traiter, certaines considérations devront être prises (une taille optimale de CVB tient compte d'un ensemble de variables).
- Les autres équipements et installations typiques d'un CVB (manutention, type de site, superficie, etc.) ;
- La variation de la main-d'œuvre requise, des capitaux requis et des coûts de mise en place selon la taille du CVB ;
- Les frais d'exploitation à considérer selon le gabarit du CVB ;
- Plusieurs modèles d'affaires possibles (CVB à même une cour à bois, CVB séparé qui ne reçoit que de la biomasse forestière, etc.) ;
- La structure de propriété et de gouvernance s'avère un enjeu dans la mesure où plusieurs entités sont parties prenantes (sous-traitants, opérateurs privés, preneurs de biomasse, MRC, municipalités, détenteurs de garantie d'approvisionnement, etc.).
- La structure de gouvernance présente également un enjeu dans la mesure où plusieurs entités participent comme parties prenantes (utilisateurs de biomasse, sous-traitants, opérateurs privés, preneurs de biomasse, MRC, municipalités, détenteurs de garantie d'approvisionnement, l'industrie forestière régionale, etc.).

Cette étude doit être utilisée à titre informatif, elle n'a pas de valeur légale et ne pourra pas être utilisée comme source d'information officielle dans l'élaboration d'un projet visant l'implantation d'un centre de valorisation de la biomasse.

1. PORTRAIT DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU QUÉBEC

Ce chapitre définit la biomasse forestière et présente la disponibilité des volumes selon les régions. De plus, les CVB y sont schématisés et décrits dans la chaîne de valeur forestière du Québec.

1.1 Biomasse forestière

Aux fins d'octroi de droits forestiers uniquement, la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier* (LADTF) définit la biomasse forestière comme étant la matière ligneuse non marchande issue des activités d'aménagement forestier ou de plantations à courtes rotations réalisées à des fins de production d'énergie, en excluant les souches et les racines³. Cette définition légale peut être élargie en y intégrant toute forme de résidu de bois non utilisé pouvant être valorisé pour son potentiel énergétique. La biomasse forestière peut ainsi inclure les essences sans preneurs, les bois non marchands, les bois morts issus de feux ou d'épidémies, les résidus de première transformation du bois tels que la sciure, les écorces et les rabotures, ainsi que les résidus de construction, rénovation et démolition (CRD).

Le Forestier en chef a la responsabilité d'évaluer la quantité de biomasse forestière associée aux possibilités forestières. Le volume de biomasse évalué par le Forestier en chef demeure un potentiel brut lié aux volumes attribués par le gouvernement. En 2017, le Forestier en chef recommandait d'élargir la définition légale de biomasse forestière afin d'y inclure les bois sans preneurs⁴. En effet, l'intégration de ces bois à la filière de la biomasse constitue un moyen de rendre possible l'aménagement de forêts dégradées, appauvries ou rejetées de la planification et de remettre ces superficies en valeur.

Dans le cadre de cette étude, la biomasse forestière, telle que définie par les critères d'octroi de droit d'approvisionnement de la *LADTF*, sera prise en considération de même que les branches marchandes, les bois marchands de faible valeur et sans preneurs. Les bois morts issus de feux de forêt ou d'épidémies d'insectes sont considérés comme des bois d'opportunité selon la volumétrie disponible et leurs coûts de mise en valeur. De plus, afin de bien cadrer les centres de valorisation de la biomasse, d'autres sources complètent l'approvisionnement, dont celles issues d'activités industrielles (sciures, rabotures, écorces, etc.) lorsqu'elles peuvent présenter un intérêt régional de mise en valeur dans le cadre d'un CVB.

³ A-18.1 - *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*, 86.2.

⁴ BMMB, https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/fic-00632-biomasse_2023-2028-4.4.0.pdf

Tableau 1 Disponibilité de la biomasse forestière⁵

Région	Biomasse en forêt privée 2020 (tma/an)	Résidus de récolte 2020 (tma/an)	Bois sans preneurs en forêt publique 2020 (tma/an)	Total de biomasse disponible (tma/an)	Volume octroyé 2023-2028 (tma)	Récolte 2022- 2023 (tmv)	Volume total de biomasse non exploitée (tma)
Bas-Saint-Laurent (01)	137 138	200 376	69 228	406 742	37 346	nd	369 396
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	45 045	541 282	57 103	643 430	178 241	nd	465 189
Capitale-Nationale (03)	60 753	95 895	28 952	185 600	14 338	nd	171 262
Mauricie (04)	80 472	486 600	142 270	709 342	109 782	nd	599 560
Estrie (05)	164 295	91 762	82 950	339 007	2 206	nd	336 801
Outaouais (07)	143 088	384 824	257 692	785 604	81 182	nd	704 422
Abitibi-Témiscamingue (08)	44 684	364 896	109 088	518 668	122 042	nd	396 626
Côte-Nord (09)	10 418	236 870	52 176	299 464	68 998	nd	230 466
Nord-du-Québec (10)	0	330 152	53 546	383 698	174 215	nd	209 483
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	46 861	146 385	45 322	238 568	41 348	nd	197 220
Chaudière-Appalaches (12)	150 431	117 050	57 652	325 133	7 875	nd	317 258
Lanaudière (14)	59 559	114 366	60 401	234 326	39 527	nd	194 799
Laurentides (15)	121 040	213 401	143 053	477 494	59 585	nd	417 909
Total	1 063 784	3 323 859	1 159 433	5 547 076	936 685	84 516	5 504 818

Le tableau 1 présente le portrait de la biomasse exploitable dans les diverses régions du Québec selon l'inventaire de biomasse disponible réalisé par WSP en 2020. De ce tableau, il est possible de constater que plus de 5,5 millions de tonnes anhydres de biomasse s'avèrent théoriquement disponibles annuellement. Cette biomasse inclut les résidus ligneux, comme les branches et les cimes laissées sur le parterre de coupe après les opérations de récolte. De plus, une composante de la biomasse forestière disponible se trouve dans les tiges de dimension commerciale, mais dont l'essence est caractérisée comme non commerciale.

Malgré le potentiel de biomasse disponible, moins de 1 million de tonnes anhydres sont octroyées annuellement sous forme de mise à l'enchère et de permis d'intervention pour la récolte de bois aux fins d'approvisionnement d'une usine de transformation du bois (PRAU). Des volumes octroyés en forêt publique, seule une faible partie est récoltée. En effet, le tableau 2 présente les attributions annuelles en tonne métrique verte (tmv) par rapport au volume récolté. On constate qu'en moyenne seulement 6 % du volume attribué en forêt publique au cours des 14 dernières années a fait l'objet de récolte. Par conséquent, la biomasse forestière au Québec reste une ressource très peu exploitée.

⁵ WSP. 2021. Inventaire de la biomasse disponible pour produire de la bioénergie et portrait de la production de la bioénergie sur le territoire québécois, Rapport réalisé par WSP Canada Inc., pour le compte du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. Réf. WSP : 201-03354-00. 277 pages et tableaux, figures, cartes et annexes.

Tableau 2 Pourcentage de récolte de biomasse en forêt publique en fonction de l'attribution⁶

Année	Attribution (tmv)	Récolte (tmv)	Récolte/ attribution (%)
2009-2010	722 550	8 942	1,24%
2010-2011	1 239 879	6 852	0,55%
2011-2012	1 691 536	47 864	2,83%
2012-2013	1 306 036	42 247	3,23%
2013-2014	1 032 736	41 278	4,00%
2014-2015	992 336	54 972	5,54%
2015-2016	715 186	44 448	6,21%
2016-2017	723 900	54 068	7,47%
2017-2018	634 900	20 305	3,20%
2018-2019	755 000	23 413	3,10%
2019-2020	755 000	100 086	13,26%
2020-2021	997 000	140 760	14,12%
2021-2022	997 000	120 726	12,11%
2022-2023	997 000	84 516	8,48%
Moyenne			6,10%

D'après les entrevues réalisées, ce manque d'intérêt serait principalement causé par la faible rentabilité et le coût de récupération élevé de cette matière, ainsi que le manque de débouchés potentiels dans les marchés régionaux.

1.2 Centres de valorisation de la biomasse (CVB)

Dans le cadre de cette étude, un centre de valorisation de la biomasse peut prendre différentes formes et sa taille variera selon les usages, les volumes et le tissu industriel déjà existant. Dans sa plus simple expression, un CVB se présente comme un lieu où la biomasse forestière est acheminée de la forêt, conditionnée selon des paramètres précis, puis expédiée vers les utilisateurs à des fins énergétiques. À l'autre bout du spectre, on peut imaginer un CVB qui s'inscrit dans un complexe industriel (sciage, papier, cogénération, etc.) où se concentrent toutes les formes de matière ligneuse, incluant la biomasse, et qui s'insère dans un processus de valorisation complet. Entre ces deux modèles, on peut également imaginer des cours de transit qui valorisent par le tri et le tronçonnage les bois résineux et les feuillus destinés au sciage, au déroulage et à la production de pâtes et papiers, mais également où l'on pourrait concentrer de

⁶ BMMB, 2023, Pourcentage de récolte de biomasse en forêt publique en fonction de l'attribution, Données tirées de Mesubois https://mesurage.mrn.gouv.qc.ca/edm/mes_edm.mesurage_et_facturation.

la biomasse forestière et des bois sans preneurs. Ces lieux de transit permettraient de valoriser l'ensemble de la matière ligneuse et la rediriger, après triage, vers les utilisateurs selon leurs spécificités.

Par conséquent, un CVB se caractérise par un lieu doté d'espaces et d'équipements spécialisés qui permettent la valorisation de la biomasse. Ce lieu peut être adjacent à une cour à bois ou entièrement indépendant, et sert à la réception et au conditionnement de la biomasse à des fins d'utilisation énergétique ou de produits forestiers. Une fois conditionnée, cette biomasse est utilisée sur place ou encore acheminée vers l'utilisateur final.

Le CVB doit également s'intégrer dans toute la chaîne de production afin d'optimiser la valeur économique de sa mise en place. De la planification des travaux d'aménagement forestier, à la récolte de la matière ligneuse, jusqu'à son transport vers le CVB pour le tri, le conditionnement et la préparation de la biomasse et son utilisation, l'intégration de toutes ces facettes permet d'assurer dans toute la chaîne de production la pleine valorisation de la matière ligneuse. Les figures suivantes présentent de façon schématique la chaîne de valeur de la biomasse forestière et un CVB modélisé.

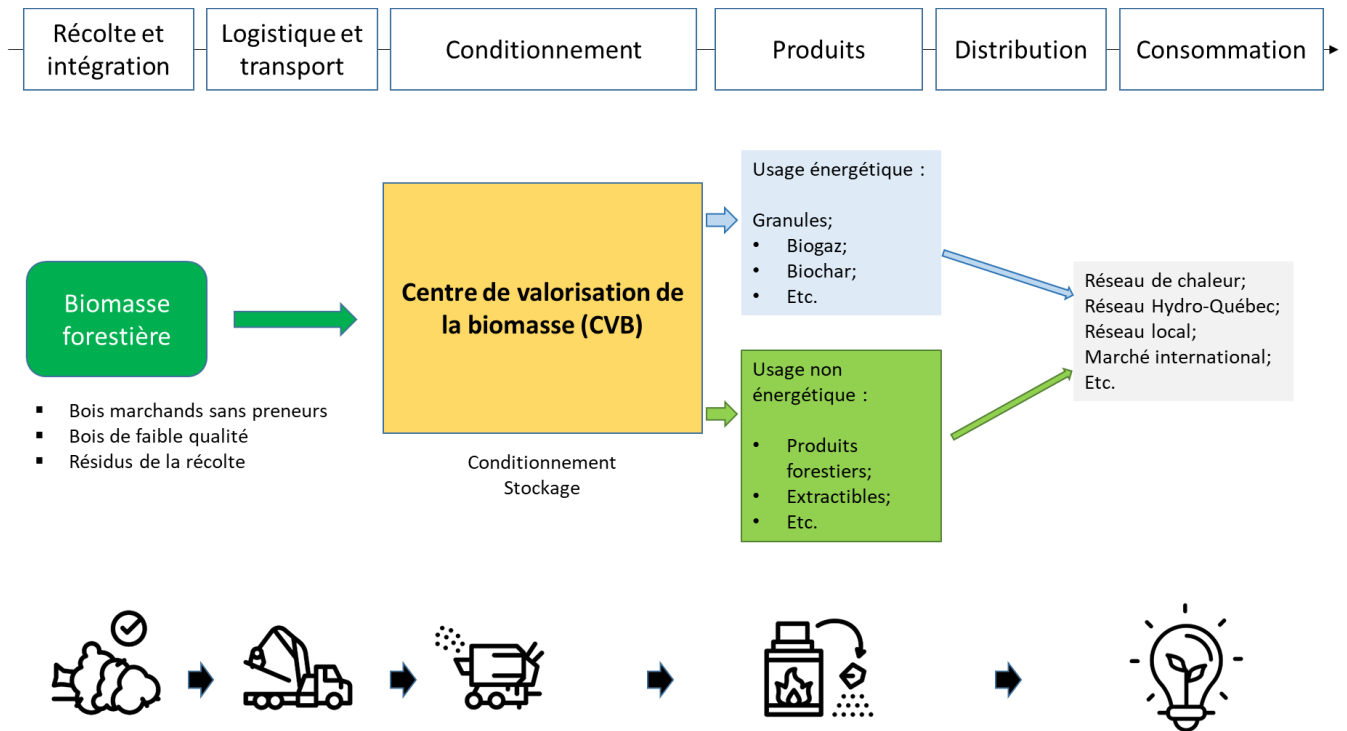


Figure 1 Schéma de la chaîne de valeur de la biomasse forestière

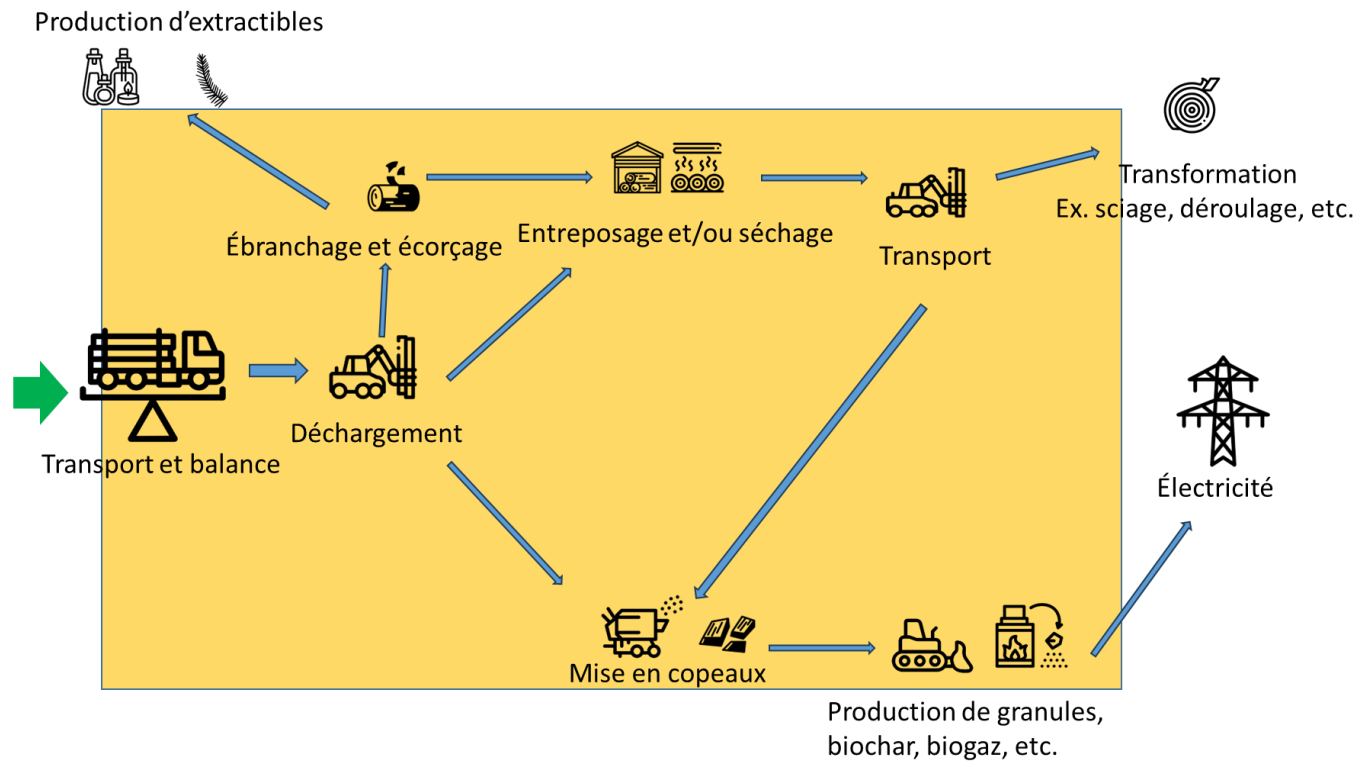


Figure 2 Schéma d'un CVB modèle

Le développement de cette filière peut s'avérer une solution dans la lutte aux changements climatiques en offrant une alternative aux carburants fossiles pour la production de bioénergie à partir d'une ressource renouvelable. Plusieurs défis liés aux coûts d'approvisionnement freinent actuellement la mobilisation de la biomasse dans la chaîne de valeur.

2. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche méthodologique de cette étude se subdivise en quatre grandes phases de travail telles que présentées au schéma suivant.



2.1 Étape 1 : Revue de littérature

Pour la première étape du projet, une revue de littérature a été réalisée. Les sources consultées sont larges et incluent FPInnovations, le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), Ressources naturelles Canada (RNCan), FORAC, la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF), Innofibre, WSP, des études de cas et d'autres références pertinentes.

L'objectif de cette revue de littérature vise l'analyse de la chaîne de valeur de la biomasse forestière au Québec. Cela comprend la description de toutes les composantes de la chaîne de valeur, telles que les procédés de récolte et de récupération de la biomasse, le transport, le conditionnement, l'utilisation/marché, ainsi que l'origine de la biomasse (récoltes, écorces, produits conjoints) et les produits potentiels qui en découlent.

Les coûts des différents modes opératoires se basent sur la littérature existante ainsi que sur les coûts de la main-d'œuvre liés aux composantes de la chaîne de valeur. De plus, les tendances actuelles d'utilisation de la biomasse forestière et les dernières innovations de ce secteur seront présentées.

Deux groupes de discussion ont permis de recueillir plus d'informations sur la situation actuelle de la biomasse au Québec : le premier groupe est composé de ressources internes du MRNF, plus précisément des chargés de la gestion de l'approvisionnement en bois et des conseillers en développement industriel. Le deuxième groupe a couvert les innovations du secteur de la bioénergie avec le concours des sources et ressources du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie (MEIE.).

2.2 Étape 2 : Entrevues régionales avec le MRNF

Cette deuxième étape méthodologique a consisté en la réalisation d'entrevues virtuelles avec les autorités de toutes les régions administratives du MRNF afin de recueillir des informations générales et spécifiques sur la dynamique et l'utilisation de la biomasse forestière. Les entrevues avaient pour but de déterminer le modèle de récolte et le mode de gestion principal utilisés dans chaque région. Pendant ces entrevues, des informations sur les expériences vécues dans la région, les acteurs clés impliqués dans la gestion de la biomasse, les initiatives en cours de même que les cours de bois ou les différents CVB en service étaient au cœur des discussions.

Les objectifs spécifiques de ces entrevues ont été les suivants :

- Connaître les enjeux régionaux liés à la biomasse forestière ;
- Déterminer le modèle de récolte principal utilisé dans chaque région ;
- Déterminer le mode de gestion de la biomasse spécifique à chaque région ;
- Identifier l'utilisation actuelle et possible de la biomasse dans chaque région ;
- Identifier les acteurs clés impliqués dans la gestion de la biomasse dans chaque région ;
- Identifier les initiatives, les cours de bois ou les CVB en service ;
- Identifier les différents niveaux des CVB ou de cours de bois en service.

2.3 Étape 3 : Entrevues avec les principaux acteurs clés

La troisième étape méthodologique a consisté à tenir des entrevues avec les principaux acteurs clés qui œuvrent dans le secteur de la biomasse. Ces entrevues ont été essentielles pour recueillir des informations détaillées sur les schémas opératoires existants, les intérêts d'investissement, les paramètres techniques et économiques, ainsi que d'autres aspects importants liés au développement des CVB.

Un questionnaire général a été utilisé lors des entrevues portant sur des sujets tels que la description du schéma opératoire actuel, le nombre d'employés et les frais d'exploitation, la description des équipements utilisés, les modalités du transport, le marché actuel et potentiel, ainsi que la disponibilité de la matière première forestière dans chaque région. Les entrevues ont permis d'évaluer les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces (FFOM) en matière d'installation d'un CVB dans chaque région selon les besoins et la vision d'approvisionnement des entreprises clientes.

À partir de ces résultats, quelques acteurs clés ont été sélectionnés afin de recueillir leur intérêt à investir dans les CVB. Un questionnaire spécifique a été préparé pour sonder cet intérêt, les conditions nécessaires à leur participation, ainsi que la structure de gouvernance requise pour la mise en place des CVB.

De plus, des visites sur le terrain ou en usine pour certaines régions où des acteurs clés ont montré un intérêt à investir ont été réalisées. Ces visites ont permis de mener des entrevues plus approfondies et de mieux comprendre les opérations et les besoins spécifiques de ces acteurs.

2.4 Étape 4 : Production du rapport

La quatrième étape méthodologique a consisté à produire le rapport final qui résume toutes les informations collectées, les analyses effectuées et les conclusions tirées de l'étude sur les centres de valorisation de la biomasse forestière.

Le rapport comprend les éléments suivants :

- Un portrait actuel de la récolte de biomasse forestière au Québec et la présentation des principaux CVB implantés dans les régions ;
- Une description détaillée de la méthodologie adoptée, des résultats de la collecte d'informations et des limites de l'étude ;
- La présentation détaillée des résultats de l'étude ;
- Une analyse de sensibilité de la rentabilité du CVB au rayon de transport moyen forêt-CVB et à la demande en biomasse ;
- Un résumé des principaux constats et pistes de réflexion.

3. RÉSULTATS OBTENUS

Ce chapitre présente les principales informations et les données collectées découlant de la revue de littérature, des entrevues réalisées, des rencontres sur le terrain de même que les analyses effectuées selon chacune des composantes de la chaîne de valeur en faisant ressortir les constats, les contraintes et les pistes de solutions à envisager dans l'optique d'optimiser, mais surtout de générer les conditions propices à la mise en place de CVB.

3.1 Principaux enjeux à considérer

Malgré l'intérêt de toutes les régions présentant une disponibilité importante de biomasse, plusieurs enjeux majeurs sont signalés et affectent le développement de la filière de la biomasse. Ces enjeux varient d'intensité selon les régions, mais également selon le tissu industriel propice ou non à la venue d'un CVB. Essentiellement, on discerne plusieurs contraintes importantes à prendre en compte, dont :

- La planification des récoltes de biomasse forestière ;
- L'intégration des récoltes ;
- Les droits forestiers ;
- Les preneurs de biomasse.

3.1.1 Planification des récoltes

De l'avis de différents industriels et de plusieurs autorités gouvernementales régionales, la planification des chantiers de récolte en forêt publique tient compte principalement des besoins des bénéficiaires de garanties d'approvisionnement en bois. La biomasse forestière de même que les essences sans preneurs ne font pas encore pleinement partie des critères de planification des récoltes autant en matière de

disponibilité volumétrique que de localisation. Les essences sans preneurs en sont un exemple éloquent où les secteurs plus abondants sont essentiellement évités. Le MRNF gèle les strates composées d'essences sans preneurs, ce qui fait en sorte que les essences désirées y sont soustraites des récoltes des bénéficiaires de garanties. Cette problématique amènera à long terme une difficulté majeure d'approvisionnement dans les forêts de l'État.

Sur le plan plus technique, la planification des récoltes n'intègre pas, pour le moment, les considérations plus opérationnelles que pourraient avoir les détenteurs de PRAU de biomasse. Il n'y a pas d'exemple probant au Québec de planifier de façon opérationnelle les chantiers de récolte, incluant le volet biomasse ou essences sans preneurs. La pratique veut simplement que les attributions de biomasse s'insèrent dans les chantiers de récolte des bénéficiaires de garanties d'approvisionnement de bois. La récolte de biomasse est ainsi réalisée à posteriori de la récolte du bois marchand, ce qui n'assure pas une pleine optimisation. C'est en ce sens que l'intégration des activités de récupération de la biomasse dans la planification des récoltes sur les chantiers doit être envisagée, ce qui permettrait d'abaisser les coûts et de jeter les premiers jalons d'une optimisation des attributions au bénéfice de tous les utilisateurs. Il sera donc important que le preneur de biomasse s'engage également dans les activités d'intégration.

À titre d'exemple, la planification des chantiers devrait tenir compte des coûts de transport de la biomasse. Une variété de distances entre les chantiers et le preneur de biomasse devra être considérée afin d'obtenir des coûts de transport qui permettent la mise en valeur de cette ressource. La littérature indique que des distances moyennes de transport de 50 à 60 km sont à privilégier.

3.1.2 Intégration des récoltes et du transport

On entend par intégration des récoltes et du transport de la biomasse, que les activités d'aménagement de la matière ligneuse (biomasse et bois rond) se fassent de façon concomitante et entièrement agrégée afin d'optimiser les coûts et d'atteindre une efficacité pour toute la chaîne de valeur. Au Québec, l'atteinte de ces niveaux d'intégration est loin d'être possible pour différentes raisons énoncées précédemment.

Il existe au Québec, essentiellement deux modes de récolte, soit par arbres entiers ou bois tronçonnés. La récolte par arbres entiers implique que l'arbre soit transporté jusqu'au chemin avec ses branches pour être ensuite ébranché et tronçonné au fin bout. Les branches et les houppiers sont par la suite regroupés en andains. Dans ce contexte, tous les résidus de biomasse forestière sont mis en andains qu'il suffit de broyer et de transporter par camion vers les sites de valorisation.

La récolte en bois tronçonnés implique d'ébrancher et de tronçonner les arbres sur place et de ramener au chemin que les billes de bois selon les longueurs établies. La biomasse qui se compose de branches et de houppiers se trouve donc répartie sur l'ensemble des aires de récolte souvent concentrées sur les sentiers de débardage afin de minimiser les impacts environnementaux. Ce mode de récolte implique donc d'amasser simultanément les branches et les houppiers, puis de les ramener au bord du chemin avec les bois tronçonnés ou encore de retourner au chantier après la récolte des bois tronçonnés, d'y récupérer la biomasse et de la ramener au chemin.

On estime que moins des deux tiers des volumes de bois récoltés en forêt publique se composent de bois tronçonnés et plus du tiers en arbres entiers. En forêt privée, peu de bois sont façonnés en longueur et sont davantage tronçonnés au site d'abattage. L'arrivée des abatteuses multifonctionnelles depuis près de 30 ans en est la cause et cette tendance devrait se poursuivre. La récolte en bois tronçonnés amène une contrainte en répartissant sur toute l'aire de récolte la biomasse forestière, nécessitant de parcourir toute la superficie avec un transporteur adapté afin de récolter la biomasse et la ramener au chemin à des fins de valorisation. Plusieurs études ont été conduites par FPInnovations démontrant qu'il serait possible d'intégrer lors des récoltes, des stratégies amenant à concentrer la biomasse à des endroits précis permettant par la suite d'optimiser l'efficacité du porteur forestier. En conséquence, un des enjeux principaux de la récolte de biomasse forestière relève de sa dispersion sur l'aire de coupe et des modes de récolte à mettre en place afin de diminuer les coûts.

En conséquence, l'intégration de la récupération de la biomasse forestière, des essences sans preneurs, des bois issus de feux ou d'épidémies devra s'inscrire dans une démarche d'intégration des opérations afin d'optimiser toute la chaîne de production et de valeur. Le tableau suivant présente pour l'ensemble des territoires forestiers publics du Québec, les volumes et les proportions de récolte en bois en longueur ou en bois tronçonnés.

Tableau 3 Format des bois livrés aux usines selon la déclaration des industriels⁷

Région	Bois livrés aux usines		Volume marchand net récolté en 2020-2021 (tma)	Biomasse disponible (tma/an)
	Bois en longueur	Bois tronçonnés		
Bas Saint-Laurent (01)	0%	100%	1 394 700	406 742
Saguenay–Lac-Saint-Jean (02)	0%	100%	6 354 900	643 430
Capitale-Nationale (03)	45%	55%	312 100	185 600
Mauricie (04)	45%	55%	3 143 600	709 342
Estrie (05)	45%	55%	59 000	339 007
Outaouais (07)	80%	20%	1 033 800	785 604
Abitibi-Témiscamingue (08)	80%	20%	2 300 200	518 668
Côte-Nord (09)	0%	100%	1 050 800	299 464
Nord-du-Québec (10)	60%	40%	3 030 300	383 698
Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine (11)	0%	100%	1 223 500	238 568
Chaudière-Appalaches (12)	45%	55%	194 900	325 133
Lanaudière (14)	80%	20%	569 300	234 326
Laurentides (15)	80%	20%	978 600	477 494
Total			21 645 700	5 547 076

⁷ Desrochers, L. 2022 Guide Biomasse Faciliter l'intégration de la biomasse à la chaîne d'approvisionnement régulière de bois marchand au Québec. FPInnovations. Québec. 51 p.

Le potentiel de récupération de biomasse semble à priori plus important en forêt privée compte tenu du mode de mise en marché des bois. Les producteurs façonnent les bois selon les exigences des acheteurs, ce qui, dans certains cas, génère beaucoup de biomasse forestière laissée sur les parterres de coupe. En effet, les exigences des acheteurs de bois qui bonifient les producteurs forestiers lorsque les diamètres au fin bout sont supérieurs à un certain diamètre. Cette pratique favorise le respect des critères de façonnage au détriment de l'optimisation de la matière ligneuse, ce qui engendre plus de gaspillage. Enfin, il existe un potentiel de bois sans preneurs important en forêt privée si l'on tient compte des volumes de pâtes non récoltés étant donné la faible valeur marchande de ces bois sur pied.

3.1.3 Droits forestiers

Les droits forestiers conférés aux bénéficiaires de garanties d'approvisionnement en bois et de permis d'intervention pour la récolte de bois aux fins d'approvisionnement d'une usine de transformation du bois (garantie d'approvisionnement et PRAU) ou en biomasse forestière sont du même ordre et de même importance selon la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*. Tous les bénéficiaires ont les mêmes statuts et les mêmes obligations. Les bénéficiaires doivent s'entendre par le biais d'une convention d'intégration qui prévoira l'ensemble des responsabilités, des obligations et des frais pour les travaux de récolte prévus dans une unité d'aménagement. Tous les bénéficiaires doivent signer cette convention et présenter les surfaces sujettes à des interventions afin que l'État délivre les permis d'intervention requis.

Cette disposition des conventions d'intégration constitue un enjeu central qui peut limiter la possibilité d'intégrer les récoltes ou encore de partager des lieux de récolte entre bénéficiaires. En effet, un bénéficiaire refusant de signer la convention d'intégration peut bloquer les récoltes de tous les autres bénéficiaires.

À l'heure actuelle, les détenteurs de PRAU signent les conventions d'intégration, mais ne récoltent pas, ou du moins, une très faible proportion des volumes octroyés. Les bénéficiaires de PRAU de biomasse forestière privilégient généralement d'autres sources d'approvisionnement.

3.1.4 Preneurs de biomasse

L'absence de preneurs de biomasse à des fins énergétiques à fort volume dans une région forestière est un frein au développement de la filière. Malgré les volumes importants en biomasse et/ou en essences sans preneurs dans certaines régions, il est difficile de structurer la filière, mais surtout d'attirer une ou des entreprises capables de mettre en valeur la ressource. C'est dans ce contexte que le gouvernement du Québec, par l'entremise du MEIE, a lancé une démarche visant à supporter le déploiement du concept des écosystèmes énergétiques régionaux (EER)⁸. Par cette démarche, le MEIE annonce qu'il souhaite jouer un rôle de catalyseur dans le développement de projets de production de bioénergies qui répondront spécialement aux besoins de décarbonation des différentes clientèles à l'échelle régionale et locale. Cette approche vise la mobilisation et l'optimisation de l'ensemble des maillons de la chaîne de valeur et la mise en place de conditions gagnantes au développement de la filière des bioénergies et de l'hydrogène vert.

Sans la présence de preneurs de biomasse forestière au sens large et à fort volume, la mise en place d'un CVB sera difficile et peu probable sur le plan économique. Les régions disposant d'une grappe industrielle

⁸ [Appel d'intérêt sur les écosystèmes énergétiques régionaux - Guide explicatif \(quebec.ca\)](#)

complexe requérant des besoins énergétiques importants ou encore permettant l'exportation de produits par des réseaux de transport présentent beaucoup d'opportunités d'implantation d'un CVB.

3.2 Procédés de récolte de biomasse

La récolte et le transport de la biomasse sont des étapes essentielles dans la chaîne d'approvisionnement. On distingue deux grands procédés : la récolte et la mise en bordure de chemin, suivi du transport de la biomasse entière à des fins de broyage à l'usine, ainsi que la récolte intégrée avec la mise en copeaux de la biomasse en forêt, suivie du transport de la biomasse vers les différents sites de transformation.

Le premier grand procédé consiste à récolter la biomasse sous forme de baguettes, de billes de bois et à les transporter vers une installation de broyage. Cette approche présente l'avantage de permettre la collecte de grandes quantités de biomasse en un seul passage, en utilisant des équipements de récolte spécialisés. Une fois sur le site de broyage ou de déchiquetage, la biomasse est transformée en copeaux et conditionnée. Elle est ensuite acheminée vers sa destination, généralement une usine de production d'énergie ou une installation de transformation de la biomasse en biochar ou en biocarburants. Ce modèle est souvent privilégié dans les régions où les infrastructures routières sont bien développées et où les distances de transport sont relativement courtes.

Le deuxième modèle, la récolte intégrée avec la mise en copeaux de la biomasse en forêt, repose sur l'idée de déchiqueter la biomasse sur le lieu de sa récolte. Dans ce cas, des équipements de transformation mobiles sont utilisés directement en forêt pour réduire les arbres, les baguettes et les branches en copeaux selon les dimensions spécifiées. Les copeaux sont ensuite transportés directement aux utilisateurs ou vers des lieux de conditionnement avant de les transporter vers les différents preneurs. Cette approche permet de réduire la manipulation de la biomasse et d'économiser sur les coûts de transport, car les copeaux occupent moins d'espace que la biomasse en vrac. De plus, cette méthode peut réduire l'impact environnemental en limitant les déplacements des équipements de récolte. Cependant, elle nécessite une logistique plus complexe. En effet, cette approche requiert le déplacement de semi-remorques à plancher mobile destinées au transport de copeaux, qui n'ont pas été conçus pour circuler sur des chemins forestiers. Ce type d'équipement est donc sujet à beaucoup plus de bris que des camions de transport forestier traditionnels. De plus, des travaux de voirie forestière additionnels sont parfois nécessaires afin de permettre aux camions d'atteindre le site de chargement des copeaux. Par la suite, le déchiquetage de la matière en forêt nécessite le déplacement de l'équipement de transformation en forêt. Cet équipement peut prendre différentes formes, que ce soit une déchiqueteuse télécommandée sur chenilles ou une déchiqueteuse installée sur un camion forestier spécialement conçu pour cette tâche.

Le choix entre ces deux modèles dépend de divers facteurs, notamment la nature des peuplements récoltés, la distance de transport, les coûts opérationnels, la disponibilité de la main-d'œuvre, les infrastructures routières et la capacité de traitement. Le choix du mode de récolte est influencé par les composantes de la chaîne de transformation et de mise en valeur de la biomasse. À titre d'exemple, si l'écorce est mise en valeur séparément de la partie ligneuse, l'écorçage doit être réalisé avant le déchiquetage, ce qui ne peut être effectué qu'au site de valorisation. Dans ce contexte, la biomasse forestière entière devra être transportée au site de mise en valeur.

Au Québec, comme mentionné plus tôt, les deux procédés de récolte forestière les plus communs sont par arbres entiers et bois tronçonnés. Pour le procédé de récolte par arbres entiers, les arbres sont abattus et regroupés en petites piles à l'aide d'une abatteuse-groupeuse. Ces piles d'arbres sont ensuite débardées

jusqu'au bord du chemin à l'aide d'un débardeur à grappin. Il est important de noter que les arbres sont trainés sur le sol, ce qui peut amener une contamination de terre et de boue par les cimes des arbres au passage, éléments qui peuvent entraîner des conséquences importantes sur les procédés de transformation qui suivront. Une fois au bord du chemin, les arbres sont ébranchés à l'aide d'une ébrancheuse, puis empilés en tronc entier ou en bois en longueur. Enfin, ils sont transportés tels quels jusqu'à l'usine. Les branches et les cimes sont généralement laissées en bordure de chemin, souvent sous les empilements de bois en longueur. Toutefois, il demeure possible de broyer ces résidus afin de mettre en valeur cette biomasse.

Le procédé de récolte par bois tronçonnés implique que les arbres coupés soient façonnés sur le parterre de coupe. Cette opération de façonnage, consistant à ébrancher et à tronçonner les arbres, peut être réalisée par une seule machine, l'abatteuse-façonneuse ou multifonctionnelle, ou par deux machines distinctes, soit une abatteuse-groupeuse suivie d'une façonneuse. Dans les deux cas, les résidus, tels que les branches et les cimes d'arbres, sont laissés sur le parterre de coupe, généralement sur les sentiers d'abattage. Cela permet de protéger les sols et de préserver la régénération établie entre les sentiers. Les bois tronçonnés, sous forme de billes de différentes longueurs, sont ensuite transportés jusqu'au bord du chemin à l'aide de porteurs forestiers. Il est à noter que pour ce procédé de récolte, la mise en valeur des résidus forestiers laissés sur le parterre de coupe est beaucoup plus complexe et potentiellement moins rentable que pour la récolte par arbres entiers.

Les principales distinctions entre ces deux procédés résident dans la manière dont les arbres sont manipulés et façonnés. Chacun de ces procédés présente ses avantages et ses inconvénients en fonction des besoins spécifiques du chantier, des sols, de la régénération et d'autres considérations environnementales.

Impact financier des choix de chaîne d'approvisionnement :

Afin d'évaluer les considérations financières liées au type de chaîne d'approvisionnement choisi, les études réalisées par Desrochers (2016) évaluent les coûts de récupération de la biomasse et l'étude de Kessler Nadeau (2015) offre des comparatifs de coûts entre les différents procédés de façonnage, de récolte et de traitement de la biomasse forestière.

L'étude réalisée par Desrochers (2016) compare les coûts associés à la récupération de biomasse forestière lors d'une première éclaircie commerciale en forêt résineuse. Dans cette étude, la matière ligneuse est récoltée par bois tronçonnés, puis façonnée en divers produits afin d'évaluer l'impact du façonnage sur les coûts d'approvisionnement. Les principaux résultats sont présentés au tableau 5 et indiquent que le coût bord de chemin de la biomasse, peu importe le procédé utilisé, varie entre 36 \$ et 40 \$/m³. Enfin, la récupération de la biomasse forestière en bordure de chemin coûte près de 10 \$/m³ de plus que la récolte de bois marchand. Le coût bord de chemin réfère à l'ensemble des frais d'exploitation requis pour amener la biomasse en bordure de chemin.

Tableau 4 Cout d'approvisionnement de la biomasse en forêt sous forme de baguettes et de cimes (valeur de 2023)⁹

Scénario	Description	Cout abattage- façonnage (\$/m ³)	Cout débardage (\$/m ³)	Cout bord de chemin (\$/m ³)
1	Façonnage des cimes en baguettes de 8 pi	18,04 \$	19,30 \$	37,34 \$
2	Façonnage des cimes en baguettes de 12 pi	15,55 \$	21,28 \$	36,83 \$
3	Façonnage des cimes en baguettes de 12 pi et récupération de la cime restante	14,08 \$	25,00 \$	39,08 \$
4	Scénario de référence du bois marchand	19,12 \$	10,12 \$	29,24 \$

Tableau 5 Évaluation des couts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse par Kessler Nadeau (en valeur de 2023)¹⁰

Scénario	Description	Méthode de récolte	Transformation primaire	Transport secondaire sur une distance de 100 km	Frais moyens d'exploitation (\$/tma)
1	Bois long non intégré	Bois long	Déchiqueteuse	Semi-remorque à plancher mobile	129,56 \$
2	Bois court intégré	Bois court	Déchiqueteuse	Semi-remorque à plancher mobile	115,26 \$
3	Bois long intégré	Bois long	Déchiqueteuse	Semi-remorque à plancher mobile	92,77 \$
4	Bois long intégré	Bois long	Broyeur	Semi-remorque à copeaux	111,91 \$

Une seconde étude réalisée par Kessler Nadeau (2015) évalue cette fois les couts de quatre chaînes d'approvisionnement présenté au tableau 6. Cette étude est particulièrement intéressante, car elle permet de comparer l'effet de l'intégration des activités de récupération de biomasse forestière aux opérations de récolte. En d'autres termes, une opération intégrée consiste à récupérer la biomasse forestière en même temps que le bois marchand. Dans une opération non intégrée, la biomasse forestière est récupérée lors d'une seconde intervention après la récupération du bois marchand. De plus, cette étude permet de comparer les couts d'approvisionnement issus de récoltes de bois tronçonnés par rapport à un procédé par arbres entiers.

Bien que les couts d'approvisionnement répertoriés par cette étude soient plus élevés que ceux discutés lors des visites, il est tout de même possible d'en tirer certaines conclusions intéressantes. Tout d'abord, la récupération de biomasse forestière par arbres entiers (92,77 \$/tma) est plus économique que la récolte par bois tronçonnés (115,26 \$/tma). De plus, le constat le plus important est l'écart entre le cout d'approvisionnement d'une opération intégrée et non intégrée. En effet, l'intégration des opérations de récupération de biomasse aux opérations de récolte de bois marchand permet une économie de 36,79 \$/tma. Autrement dit, il en coûte entre 15 \$/tma et 37 \$/tma de biomasse de plus en n'intégrant pas les opérations de récolte à celles de récupération de la biomasse.

⁹ Desrochers, L. 2016. Récolte intégrée de biomasse lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux naturel. FPInnovations ; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec. 60 p.

¹⁰ Kessler Nadeau, G. 2015. Évaluation des coûts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse. Mémoire de fin d'étude, Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt Québec (Québec). 63 p.

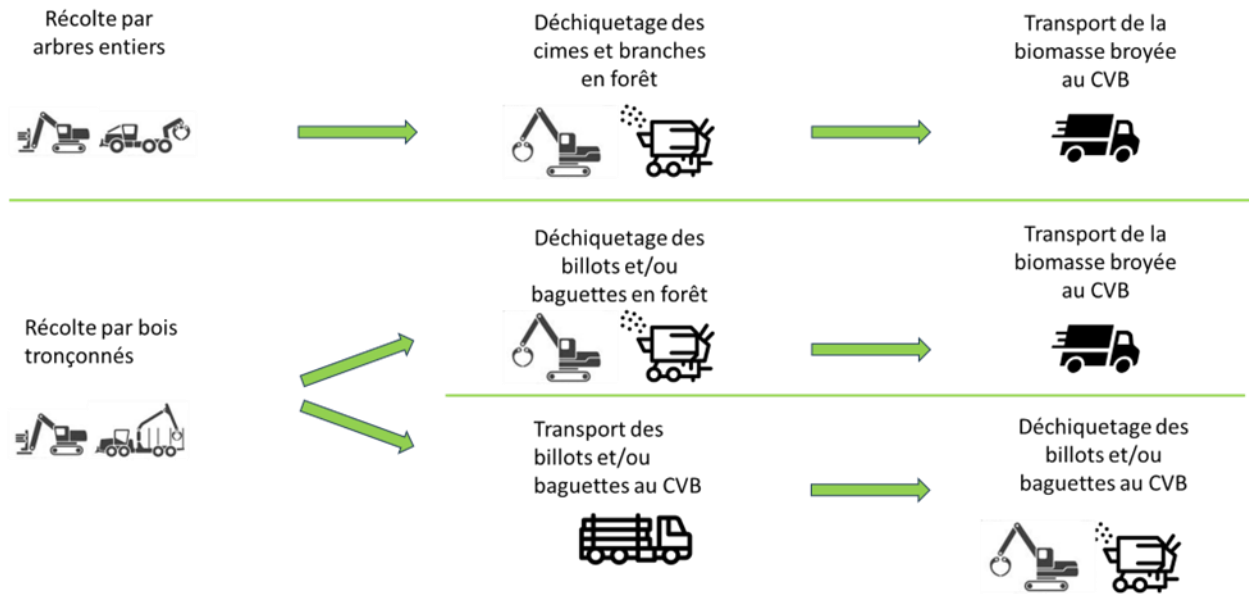


Figure 3 Schéma des principales chaînes de récolte de biomasse forestière au Québec

En somme, la biomasse forestière présente des coûts variables à chaque étape du processus, avec des coûts globalement plus élevés que le bois marchand, principalement en raison des défis liés au débardage et au déchiquetage en forêt. La revue des deux études présentées précédemment permet de constater que le choix du procédé de récolte de la biomasse devrait être fait en fonction du contexte de la chaîne d’approvisionnement de l’ensemble des produits tirés de la forêt. Toutefois, l’élément le plus important à prendre en considération afin d’optimiser les coûts de récolte est l’intégration de la récupération de biomasse forestière au reste des opérations de récolte. La récupération simultanée des résidus forestiers et du bois marchand offre le potentiel de réduire jusqu’à 37 \$/tma les prix bord de chemin de la biomasse.

3.3 Transport de la biomasse forestière

Le transport de la biomasse vers le CVB n’est pas complexe dans la mesure où la qualité des chemins est suffisante pour permettre l’accès à des semi-remorques à copeaux ou à plancher mobile. Toutefois, le choix du mode de transport de la biomasse est intimement lié à la méthode de récolte privilégiée, ainsi qu’à la chaîne de transformation subséquente de la biomasse. Comme mentionné précédemment, il existe principalement deux méthodes pour transporter la biomasse forestière du site de récolte jusqu’au CVB. Celle-ci peut être acheminée sous forme de bois ronds ou de baguettes à l’aide de camions forestiers traditionnels, puis déchiquetée ou broyée directement au CVB. Inversement, la matière ligneuse peut être déchiquetée ou broyée directement en forêt, puis transportée à l’aide de camions semi-remorques à plancher mobile ou encore de camions semi-remorques à copeaux. Les études de Desrochers (2016) et de Kessler Nadeau (2015) évaluent différents scénarios de transport intégrés dans une chaîne d’approvisionnement complète, permettant d’apprécier les coûts, les avantages et les désavantages de chacun.



Figure 4 Empilement de biomasse sous forme de baguettes (CFM, 2023)

Comme mentionné à la section 3.5 sur les procédés de récolte, l'étude de Desrochers en 2016 présente quatre scénarios de récolte, suivis du transport sur une distance de 61 km de la biomasse par troncs façonnés en 8 ou 12 pi, de la récolte de cimes restantes et du transport de la matière déchiquetée ou entière. Au tableau 7 présentant les couts répertoriés par cette étude, il est intéressant de noter que, contrairement à la récolte, le scénario le plus avantageux d'un point de vue de transport est le scénario 1 avec un cout de transport de 14,79 \$/m³. Ce scénario consiste à transporter la matière sous forme de bois ronds de 8 pi, puis à la déchiqueter au site de valorisation. Cependant, l'auteur mentionne que le manque de performance du transport de billots de 12 pi s'explique par l'incapacité de charger le camion au maximum de sa capacité avec ce produit. Le simple fait de mélanger les chargements de bois ronds de 12 pi avec d'autres produits permet de réduire le cout de transport à un niveau similaire au cout de transport des billots de 8 pi, d'où l'intérêt de réaliser des travaux intégrés.

Tableau 6 Cout de transport selon le mode de transformation¹¹

Scénario	Description	Cout bord de chemin (\$/m ³)	Déchiquetage en forêt (\$/m ³)	Cout de transport sur une distance de 61 km (\$/m ³)	Déchiquetage en usine (\$/m ³)	Cout de la matière livrée en usine et déchiquetée (\$/m ³)
1	Façonnage des cimes en baguettes de 8 pi	37,34 \$		14,79 \$	11,62 \$	63,75 \$
2	Façonnage des cimes en baguettes de 12 pi	36,83 \$		18,18 \$	11,62 \$	66,63 \$
3	Façonnage des cimes en baguettes de 12 pi et récupération de la cime restante	39,08 \$	16,27 \$	11,17 \$		66,52 \$

Le scénario 3 présente le cout de transport de la matière déchiquetée en forêt. À première vue, ce scénario semble être le plus avantageux que le scénario 2. Toutefois, le cout de déchiquetage en forêt étant plus élevé, les gains monétaires sur le transport sont similaires à la hausse du cout de déchiquetage au site de valorisation. De manière générale, il ne semble pas y avoir de différence significative entre le transport de la biomasse en bois ronds et le transport en copeaux. Le choix entre l'une ou l'autre des méthodes de

¹¹ Desrochers, L. 2016. Récolte intégrée de biomasse lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux naturel. FPInnovations ; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec. 60 p.

transport est davantage influencé par des facteurs autres que le coût, tels que la source de la matière, le procédé d'approvisionnement, la destination des produits, etc.

Peu importe le mode favorisé de transport de la biomasse, la distance de transport entre la ressource et le CVB est l'un des points les plus cruciaux de la chaîne d'approvisionnement. D'après l'étude réalisée par FPInnovations (2022), sur une distance de transport de 150 km et plus, le coût de transport représente 50 % du coût d'approvisionnement de la biomasse forestière. Afin d'assurer la rentabilité des opérations forestières, il est donc crucial que le CVB soit localisé le plus près possible de sa source d'approvisionnement. Le tableau 8 présente les résultats des tests réalisés par FPInnovations qui évaluent le nombre de camions requis pour transporter 215 tma de biomasse sous forme de copeaux par jour.

Tableau 7 Nombre de camions requis pour la production de 215 tma/jour en fonction de la distance de transport¹²

Distances de transport (km)	Cycle aller-retour (heure)	Capacité de transport par camion		Camions requis
		(voyages/jour)	(tma/sem.)	
25	3	5	394	3
50	4	4	306	4
75	4	3	263	4
100	5	3	219	5
125	6	2	175	6
150	7	2	131	8

Cette même étude a également permis d'établir un gradient de coût de transport approximatif variant de 10 \$/tma sur 20 km à 37 \$/tma sur 150 km.

En somme, le choix du mode de transport en billots ronds ou en copeaux n'a pas d'impact direct sur le coût de transport ; il sera plutôt influencé par le contexte de la chaîne de production, comme le coût et les avantages de déchiqeter en forêt plutôt qu'en usine. La source de la biomasse et la logistique des interventions de récolte influencent également le choix du mode de transport. Dans un contexte de récupération de la biomasse intégrée à la récolte de bois marchands, il pourrait être préférable d'un point de vue logistique de transporter la biomasse sous forme de bois ronds. Ce choix évite l'ajout d'équipements supplémentaires, comme des camions broyeurs et des camions à copeaux parallèlement aux camions de transport de bois ronds traditionnels. Inversement, si la récupération de la biomasse s'effectue sous forme de branches et de billots secs en forêt un an après la récolte, il serait alors préférable de déchiqeter directement la matière.

3.4 Conditionnement et entreposage

Le conditionnement et l'entreposage de la biomasse forestière dépendent grandement de l'utilisation que l'on souhaite en faire. Cette étape réfère au moment où la biomasse forestière est triée, stockée et

¹² Desrochers, L. 2022 Guide Biomasse Faciliter l'intégration de la biomasse à la chaîne d'approvisionnement régulière de bois marchand au Québec. FPInnovations. Québec. 51p.

conservée selon la qualité exigée. Le produit peut être stocké de différentes façons en tenant compte des quantités, de l'utilisation sur place ou de l'acheminement vers les utilisateurs. La biomasse forestière peut être placée dans des entrepôts extérieurs, préférablement couverts et bien aérés, afin de la protéger de la détérioration causée par l'humidité et les moisissures. Elle peut également être entreposée dans les locaux d'une usine de granules après avoir été densifiée (Nature Québec, Biomasse forestière – document de synthèse).

Broyage

La réduction de la matière ligneuse, en copeaux ou en particules, pouvant ensuite être valorisée par les composantes de la chaîne de transformation est multiple. Cette opération peut être réalisée par broyage ou par déchiquetage, et ce, en forêt ou en usine.

Comme mentionné lors de la présentation des modes de transport, le choix entre le déchiquetage en forêt ou en usine est intimement lié au type de biomasse récupérée. En effet, la récupération de branches favorisera grandement un déchiquetage en forêt, alors que la récupération de baguettes risque de favoriser le déchiquetage/broyage en usine. En ce qui concerne l'impact de cette décision sur le coût de la chaîne d'approvisionnement, celui-ci est relativement négligeable. Bien que le coût du déchiquetage en forêt soit presque 40 % plus élevé en forêt qu'au site de valorisation, l'écart entre le transport en copeaux et en billots/baguettes est inversement proportionnel, de sorte que le coût de ces deux maillons de la chaîne d'approvisionnement est très similaire.

L'une des avenues permettant de réduire les coûts de transformation de la matière est l'emploi d'installations alimentées à l'électricité plutôt que le diesel. De manière générale, un équipement électrique est moins dispendieux à acquérir et à faire fonctionner qu'un équipement au diesel. Ce changement de mode d'alimentation permet de réduire les coûts de déchiquetage d'environ 10 \$/tma. Toutefois, un équipement alimenté à l'électricité doit absolument être fixé à la cour d'usine ou au CVB. Celui-ci ne peut être utilisé pour transformer la biomasse en forêt.



Figure 5 Biomasse en billots et baguettes prête à être déchiquetée en usine (CFM, 2023)

La réduction de la biomasse par un procédé de déchiquetage ou de broyage est intimement liée au procédé de récolte. Comme mentionné dans l'étude de Kessler Nadeau (2015), chacun de ces procédés

comporte des avantages et des inconvénients. De manière générale, un broyeur sera plus adapté à transformer la biomasse issue d'un procédé de récolte par arbres entiers. Dans ce procédé, les arbres sont trainés au sol par les débardeurs. La matière ligneuse en bord de chemin est donc beaucoup plus à risque de présenter une proportion importante de contaminants, tels que des roches, de la terre, du sable, etc. Les couteaux du broyeur étant plus résistants que ceux de la déchiqueteuse, ce type d'équipement est plus en mesure de traiter la matière présentant un taux de contamination plus élevé. De plus, lors de la transformation de bois sec, le broyeur est également plus efficace pour cette même raison. En ce qui concerne les déchiqueteurs, ceux-ci sont moins polyvalents que les broyeurs, mais ils ont l'avantage d'être moins énergivores et donc moins coûteux à faire fonctionner. Ainsi, le choix entre un broyeur et un déchiqueteur dépend énormément de la qualité du produit d'entrée. Une source de biomasse sèche ou contaminée sera transformée plus efficacement par un broyeur, tandis qu'une biomasse verte exempte de contaminants sera transformée à moindre coût par un déchiqueteur.

Lors de la réalisation de cette étape de transformation, il est important de considérer la qualité de l'extrait. Cette qualité est évaluée principalement par la quantité de contaminants dans la biomasse, mais également par la granulométrie des copeaux. Bien que chaque équipement et procédé de transformation des copeaux de biomasse ait des exigences différentes en ce qui concerne la qualité des intrants, le tableau 9 permet de montrer une tendance générale des granulométries tolérées.

Tableau 8 Niveaux de tolérance à la qualité de la biomasse

Granulométrie moyenne (mm)	Type d'équipement ou procédé de transformation	Tolérance aux impuretés
5	Production de diesel synthétique	Intolérant
25	Bouilloire à biomasse résidentielle	Intolérant
75	Bouilloire à biomasse commerciale	Tolérant

Séchage

Tout comme la granulométrie, le besoin en taux d'humidité dépend énormément des procédés et des équipements de mise en valeur de la biomasse. Bien que des chaudières industrielles, telles que celles utilisées dans les centrales de cogénération, soient en mesure de brûler de la biomasse verte ($H_0 > 50\%$), les chaudières à biomasse de petite et moyenne dimension, comme les chaudières résidentielles, exigent une biomasse présentant des critères de granulométrie et d'humidité bien spécifiques. De plus, il faut noter que l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau contribue à réduire le rendement énergétique du système. En effet, une tonne de biomasse dont le taux d'humidité est de 50 % correspond à $\pm 2\,200$ kWh d'énergie, alors qu'une tonne de biomasse à un taux de 30 % d'humidité fournit $\pm 3\,320$ kWh d'énergie, soit 1,5 fois plus. C'est pourquoi le séchage est l'une des étapes les plus délicates du conditionnement de la biomasse. En ce qui concerne la biomasse d'origine forestière, le séchage de la fibre est principalement réalisé sous forme d'arbres entiers, pendant une période d'un an. Cette opération consiste à laisser sécher les empilements de biomasse sous forme de bois ronds ou de branches dans la cour de l'usine ou en forêt sur le bord du chemin. Tout comme de nombreuses autres étapes liées à la récolte et au conditionnement de la biomasse, le choix entre le séchage en usine ou en forêt présente chacun des avantages et inconvénients.

Le séchage en forêt est une avenue de conditionnement intéressante surtout dans le cadre de chaînes d'approvisionnement reposant sur la mise en valeur des branches et des cimes. Ainsi, cette méthode de séchage s'imbrique parfaitement dans une récolte par arbres entiers empilant la totalité de la biomasse en bordure de chemin, la laissant sécher, puis en revenant l'année suivante afin de la broyer et de la transporter jusqu'au CVB sous forme de copeaux. Le séchage en forêt présente toutefois un certain nombre d'inconvénients. Tout d'abord, il est important de bien bâcher les empilements à partir de mi-septembre. Sans protection lors de la période hivernale, l'accumulation de neige dans les piles ainsi que les précipitations printanières risquent grandement de faire grimper le taux d'humidité des piles lors du dégel. De plus, l'entreposage en forêt présente un risque financier pour l'entrepreneur général responsable de la récolte de la matière, car celui-ci est payé seulement à la livraison du bois en usine. Il doit donc attendre un an avant que la matière ligneuse soit livrée et ainsi recevoir les retours sur son investissement.

Par la suite, la biomasse peut être séchée sous forme de billots ronds en usine ou au CVB. Tout comme le séchage en forêt, cette avenue de conditionnement implique que le bois soit empilé et séché durant un an. Bien que ce procédé ne présente pas les risques financiers associés au séchage en forêt, il implique que le CVB doit disposer de suffisamment d'espaces d'empilement afin d'y stocker l'équivalent de près de deux ans de production, soit un an de biomasse verte en cours de séchage et un an de réserve sèche permettant de répondre à ses engagements annuels. Il va sans dire que de manière générale, ce mode de conditionnement de la biomasse est davantage favorisé par les centres s'approvisionnant presque exclusivement de bois ronds ou de baguettes, qui sont ensuite broyés ou déchiquetés sur place une fois secs.

Que le séchage de la biomasse forestière soit réalisé en forêt ou au CVB, les délais pour la réduction du taux d'humidité de 50 % à 30 % sont relativement similaires. Toutefois, selon les saisons, les délais de séchage varient grandement. D'entrée de jeu, la performance du séchage à l'air libre est optimale en saison estivale. En effet, selon une étude réalisée par FPIInnovations, pour de la biomasse récoltée au mois de juin et de juillet, le temps de séchage de la matière se situe entre 10 et 14 semaines. À partir du mois d'août et de septembre, et ce, jusqu'à la fonte des neiges, le taux d'humidité dans la fibre tend à stabiliser, voire à augmenter, notamment en raison des précipitations saisonnières. C'est pourquoi il est recommandé de bâcher la matière à partir du mois de septembre. Cette protection permettra d'éviter la rehausse du taux d'humidité tout en permettant de poursuivre le séchage. Cependant, le séchage d'hiver sous bâche est considérablement moins efficace, pouvant permettre la réduction du taux d'humidité de 5 à 10 % pour une période de 6 mois¹³.

¹³ Volpé, S. 2016, Info note no. 10: Log seasoning to add value to bioenergy operation; FPIInnovation. 3 p.



Figure 6 Cour d'entreposage de la biomasse pour (CFM, 2023)

Il serait également possible de procéder au broyage de la matière verte en forêt pour ensuite sécher les copeaux en usine ou au CVB. Toutefois, cette chaîne d'approvisionnement implique une série de choix non optimaux au niveau des procédés de récolte, de transport, en plus d'exiger la mise en place de silos ou d'abris d'entreposage additionnels en usine. Pour ces raisons, ce procédé est très peu employé.

Comme mentionné précédemment, plusieurs chaufferies, surtout des chaufferies destinées à un usage résidentiel, exigent un taux d'humidité bien spécifique. Afin de réguler le taux d'humidité des copeaux, il est pratique courante de mélanger plusieurs empilements à des taux d'humidité ou de compositions différents afin d'obtenir le niveau désiré. Il est même possible d'employer des plaquettes de résidu sec ($H_0 < 15\%$) issues de débris de construction, de rénovation et de démolition afin de réguler le taux d'humidité de la biomasse.

En résumé, le choix de sécher la biomasse ou non dépend grandement des équipements à alimenter ainsi que du type de marché local pour la matière. De manière générale, une biomasse sèche offre un meilleur potentiel de combustion que la biomasse verte. Toutefois, le séchage de la matière implique des considérations logistiques et financières qui varieront grandement d'une région à l'autre et d'une chaîne d'approvisionnement à l'autre.¹⁴⁻¹⁵

Absence de contaminants et taux de cendre

La gestion des déchets de combustion est une étape inévitable dans presque tout processus de combustion. Bien que légalement, la biomasse brûlée doit être dépourvue de contaminants tels que la peinture, le vernis, le solvant, etc., il arrive cependant que la biomasse comprenne une certaine proportion de pierres, de sable ou de glace, occasionnée entre autres par les procédés de récolte et/ou de conditionnement. Il implique donc de prendre un certain nombre de précautions afin de limiter la présence de plusieurs contaminants, surtout si la biomasse est destinée à des chaufferies de type résidentiel,

¹⁴ Serra R., Thiffault E., et Béland M. 2016. Conditionnement et suivi du transfert d'humidité de mélange de plaquettes de différentes origines. Fédération québécoise des coopératives forestières ; Université Laval. Québec (Québec). 25 p.

¹⁵ Serra, R. et Desrochers, L. 2016. Valorisation énergétique de plaquettes d'écorce et de dosses. Fédération québécoise des coopératives forestières ; FPIInnovations. 30 p.

plus sensibles. Ainsi, si la biomasse transformée vise particulièrement un marché d'installation résidentiel, il serait souhaitable de favoriser un procédé de récolte par bois tronçonnés plutôt que par bois en longueur, ainsi que de favoriser la transformation de bois ronds ou de baguettes plutôt que de branches. De plus, il est possible d'installer certains équipements destinés à la décontamination de la matière à l'entrée du CVB. En effet, certains équipements tels qu'un système de rouleaux sont en mesure de séparer les contaminants des billots avant la transformation de ceux-ci.

L'accumulation de cendres dans les chaufferies varie grandement selon les caractéristiques de la biomasse alimentant celles-ci. Tout d'abord, une forte proportion de contaminants tels qu'évoqués ci-dessus influence à la hausse le taux de cendre résiduelle après combustion. Par la suite, les caractéristiques granulométriques de la biomasse affecteront la performance de la combustion et, par conséquent, la quantité de particules résiduelles dans les chambres de combustion. En effet, plus la granulométrie est grossière, moins la combustion des copeaux sera efficace, entraînant ainsi une plus grande accumulation de cendres. Ensuite, l'origine spécifique des copeaux influencera le pourcentage de cendre résiduelle après combustion. Des copeaux d'origine résineuse produiront en moyenne 2 % du volume de cendres, tandis que des copeaux de feuillus en produiront 1,5 %. Finalement, la combustion de l'écorce engendrera une accumulation de 7 % du volume de cendres. Par conséquent, selon le type de biomasse brûlée, les besoins en décendrage varieront grandement. Par exemple, pour les chaudières des centrales de cogénération, l'élimination de la cendre représente un coût d'environ 20 \$ la tonne¹⁶.

3.5 Équipements requis au conditionnement

De nombreux équipements sont nécessaires au conditionnement de la biomasse forestière. Ceux-ci varieront en fonction de la taille du CVB ainsi que du type de clientèle approvisionnée. Les prix de référence associés aux différents équipements sont tirés des entrevues, de la littérature et de demandes d'estimation de coûts auprès de certains fournisseurs. Les autres équipements et les infrastructures typiques d'un CVB (appareils de manutention, entrepôts, etc.) doivent être considérés.

Balances à bois

Les balances à bois sont nécessaires à l'entrée des CVB afin de déterminer le volume de biomasse livré provenant de la forêt, ainsi que les volumes de biomasse conditionnée qui sont expédiés chez les clients. Un équipement de pesage de camion de base coûte environ 95 000 \$.

¹⁶ (FQFC, https://fqcf.coop/wp-content/uploads/specialistes_de_l_approvisionnement_en_biomasse_forestiere.pdf)



Figure 7 Balance à bois à l'entrée du site Vallière

Déchiqueteuses

Les déchiqueteuses sont utilisées pour réduire la biomasse en copeaux de bois ou en matière végétale déchiquetée. Ces copeaux sont souvent utilisés pour la production de granules de bois, de compost ou de paillis.



Figure 8 Déchiqueteuse Kesla C645 en opération (Photo de Coopérative forestière Matapédia)

À titre de référence, une déchiqueteuse de 150 à 260 kW installée sur un camion forestier muni d'une chargeuse peut coûter environ 565 000 \$ en 2023. Cet équipement est en mesure de traiter entre 20 000 et 24 000 tma de biomasse par année.



Figure 9 Broyage en forêt de biomasse et chargement dans un semi-remorque à plancher mobile pour expédition

Broyeurs

Les broyeurs sont utilisés pour réduire en particules, appelées « broyats », des matériaux tels que des écorces, des feuilles ou d'autres déchets de biomasse.

À titre de référence, le prix d'un broyeur fixe peut varier entre 500 000 \$ pour un broyeur électrique à 750 000 \$ pour une installation au diesel. Une installation de cet ordre est en mesure de traiter jusqu'à 36 000 tma par année. À titre de référence, le coût d'exploitation d'une installation au diesel est d'environ 20 à 25 \$/tma alors qu'une installation électrique coûte entre 10 et 15 \$/tma.

Séchoirs

Les séchoirs sont utilisés pour réduire l'humidité de la biomasse, ce qui est essentiel pour la combustion efficace de la biomasse ou la production de granules de haute qualité. Des séchoirs avec convoyeur sont utilisés principalement afin de sécher la biomasse broyée qui est destinée à la production de biochar. L'investissement nécessaire à l'installation d'un séchoir à bande en mesure de traiter la biomasse forestière est d'environ 1,1 M\$.

Convoyeurs

Les convoyeurs servent à déplacer la biomasse entre les différentes étapes de traitement, du déchiquetage au stockage. Selon les distances de convoyage et les configurations d'usine, un convoyeur peut coûter entre 3 000 \$ et 6 000 \$ du mètre linéaire.

Silos et entrepôts de stockage

Les silos et les entrepôts de stockage permettent l'entreposage de la biomasse conditionnée avant son utilisation ou sa vente. Ils protègent la biomasse des intempéries et permettent de gérer les stocks. Le prix de construction des systèmes d'entreposage varie grandement selon la région géographique et le type d'infrastructure choisie. À titre de référence, la Fédération québécoise des coopératives forestières estime qu'un entrepôt de 2 000 m² est nécessaire pour un CVB traitant 20 000 tonnes annuellement. Par conséquent, 1 m² permet d'entreposer 10 tonnes de biomasse à un prix unitaire d'environ 200 \$/m², en valeur actualisée de 2023.



Figure 10 Entrepôts pour stockage de biomasse conditionnée et prête à l'expédition (CFM, 2023)

Installations de tri

Les installations de tri séparent les matériaux indésirables de la biomasse, tels que les contaminants, les pierres ou les métaux. Une installation de tri permettant de retirer les contaminants des billots ronds à l'entrée de l'usine peut revenir en moyenne à 500 000 \$. De plus, un tamiseur rotatif peut être placé à la sortie de chaque déchiqueteuse afin de trier au fur et à mesure la biomasse conditionnée. À titre d'exemple, un tamiseur en mesure de fournir à la production d'une déchiqueteuse de 150 à 260 kW coûte entre 150 000 \$ et 200 000 \$.

Équipement de chargement et manutention

Les équipements de manutention sont requis pour charger, décharger et manipuler la biomasse lors de son transport entre les différents sites de transformation et de stockage.

Plusieurs types d'équipements peuvent être utilisés pour le chargement de la biomasse selon la configuration du site de valorisation et le type de produit expédié. Généralement, une chargeuse frontale munie d'un godet ainsi qu'un camion semi-remorque à plancher mobile sont nécessaires, et peuvent coûter respectivement 400 000 \$ et 300 000 \$. En ce qui concerne la productivité des équipements, un tel camion semi-remorque peut transporter entre 16 et 23 tma par voyage selon les configurations, alors qu'une chargeuse frontale est en mesure de charger qu'un seul camion à la fois.



Figure 11 Chargeuse frontale Komatsu 380 (Komatsu Europe, 2019)

Une chargeuse frontale configurée pour le transport et la manutention de billots ronds se détaille à environ 460 000 \$. De manière générale, une chargeuse est assignée à chaque broyeur ou déchiqueteuse.

Afin qu'un CVB soit en service l'hiver, des équipements de déneigement devront être prévus à cet effet. L'option la plus simple qui s'offre aux opérateurs est d'adapter une chargeuse frontale, essentielle à plusieurs autres activités de manutention, afin que celle-ci puisse réaliser le déneigement. Un coût additionnel de 14 000 \$ est à considérer pour les équipements de déneigement.

Une chargeuse sur chenilles (pelle) munie d'un grappin peut également être employée pour alimenter le broyeur ou la déchiqueteuse de biomasse au site de valorisation. Ce type d'engin neuf coûte environ 425 000 \$ et sa productivité est liée directement au broyeur ou à la déchiqueteuse auxquels il est assigné. Une chargeuse ne peut alimenter qu'une seule installation à la fois, toutefois, celle-ci est en mesure de fournir à la production de plus grosses installations transformant jusqu'à 36 000 tma par an.



Figure 12 Chargeuse sur chenilles configurée pour la manutention de biomasse forestière (FPInnovations, 2022)

Finalement, une chargeuse sur roues munie d'une remorque à billots pourrait s'avérer utile afin de manutentionner les billes et billots à leur arrivée au site de valorisation. Ce même engin peut également être employé pour déplacer les billots de la cour à bois vers les différents points de transformation, conditionnellement à condition qu'il soit muni d'une remorque à billot. Neuf, ce type de chargeuse se détaille entre 1,1 M\$ à 1,2 M\$. Il est possible d'obtenir un engin similaire d'occasion en bon état pour environ 395 000 \$. Le nombre de chargeuses nécessaires varie grandement en fonction de la configuration de la cour ainsi que du nombre de voyages reçus simultanément.



Figure 13 Chargeuse sur roues munie d'une remorque à billot (CFM, 2023)



Figure 14 Chargeuse forestière manipulant les grumes destinées à la biomasse (Site Vallières, 2023)

3.6 Coûts d'investissement

La mise en place d'un CVB implique des coûts considérables en ce qui a trait à l'investissement, et il est essentiel de prendre en compte divers équipements et infrastructures pour garantir un fonctionnement efficace. Les estimations d'investissement nécessaires à la mise en place des différents CVB s'appuient sur des études réalisées par le Groupe DDM, la Fédération québécoise des coopératives forestières, FPInnovations, ainsi que sur les informations recueillies lors des différentes visites. Il s'agit ici d'estimations du coût de mise en place des CVB. Les coûts d'acquisition des sites, des infrastructures et des équipements font l'objet d'une grande variabilité selon les conditions du marché et le contexte régional. De plus, les besoins en équipements et en infrastructures peuvent varier considérablement selon le tissu industriel de la localité ainsi que la source de la biomasse exploitée.



Figure 15 Vue du site Vallières à La Tuque (Photo OIFQ, 2015)

On peut distinguer à priori trois grands types de CVB selon les volumes de biomasse qui seront traités :

- CVB de moins de 10 000 tma/an ;
- CVB entre 10 000 et 50 000 tma/an ;
- CVB de 50 000 à 200 000 tma/an.

CVB de moins de 10 000 tma annuellement

Le CVB traitant des volumes inférieurs à 10 000 tma annuellement dont la biomasse est généralement destinée à des fins énergétiques alimentant des réseaux de chaleur urbains ou encore complétant les besoins énergétiques de chaudières plus importantes. Ce type de CVB s'approvisionne en biomasse principalement sous forme de billots ou de baguettes séchés empilés dans la cour à bois. Comme les caractéristiques granulométriques et le taux d'humidité des copeaux varient grandement selon les clients, la biomasse est déchiquetée au fur et à mesure selon les besoins de livraison. Les livraisons sont saisonnières selon les besoins des clients, le CVB est donc actif à temps partiel. Les équipements de ce type de CVB sont généralement mobiles afin de répondre à des besoins de déchiquetage divers, tels que le conditionnement de la biomasse directement chez les clients, par exemple. Le tableau suivant présente les équipements et les coûts rattachés. On estime à un besoin d'environ 2,2 M\$, les investissements requis.

Tableau 9 Investissements en équipements et en infrastructures (CVB de 10 000 tma et moins)

Équipement	Prix
Balance à bois	95 000 \$
Chargeuse frontale avec équipement de déneigement	415 000 \$
Chargeuse sur roues	395 000 \$
Déchiqueteuse 150 kW à 260 kW montée sur camion	565 000 \$
Sous-total	1 470 000 \$
Infrastructure	Prix
Autorisation environnementale d'entreposage de biomasse	56 000 \$
Achat du terrain (2,61 ha)	33 930 \$
Aménagement de la cour à bois (2,61 ha)	64 500 \$
Gravelage de l'aire de transformation (1100 m ²)	7 150 \$
Pavage de l'aire de transformation (1100 m ²)	22 000 \$
Entrepôts (300 m ²)	57 900 \$
Sous-total	241 480 \$
Sous-total	1 711 480 \$
Contingence (10 %)	171 148 \$
Investissement total	1 882 628 \$

CVB de 10 000 à 50 000 tma annuellement

Le CVB traitant des volumes de 10 000 tma à 50 000 tma annuellement produit de la biomasse généralement destinée à des fins énergétiques et à l'alimentation des procédés de transformation industrielle (pyrolyse, biochar, etc.). Toutefois, selon les régions, ce type de CVB peut également alimenter des réseaux urbains de chaleur et des chaudières de production d'énergie. Comme ce type de CVB vise principalement une clientèle industrielle, la biomasse est conditionnée et livrée de manière plus continue tout au long de l'année. Ce CVB s'approvisionne principalement en biomasse sous forme de bois ronds ou de baguettes, bien qu'il soit possible qu'il s'approvisionne également en branches et en cimes broyées en forêt. Tout comme les CVB de moins de 10 000 tma, l'équipement de conditionnement est principalement mobile, offrant notamment la possibilité de conditionner la biomasse directement en forêt, limitant ainsi l'espace d'entreposage nécessaire sur le site du CVB. Le tableau suivant présente les équipements et les coûts rattachés. On estime à environ 4,6 M\$ les investissements requis.

Tableau 10 Investissements en équipements et en infrastructures (CVB de 10 000 tma à 50 000 tma)

Équipement	Prix
Balance à bois	95 000 \$
Déchiqueteuse montée sur camion 430 kW à 570 kW	750 000 \$
Pelle configurée pour la manutention de biomasse	425 000 \$
Chargeuse frontale avec un équipement de déneigement	415 000 \$
Chargeuse sur roues	395 000 \$
Sous-total	2 080 000 \$
Infrastructure	Prix
Autorisation environnementale d'entreposage de biomasse	56 000 \$
Achat du terrain (4,72 ha)	61 360 \$
Aménagement de la cour à bois (4,72 ha)	121 776 \$
Gravelage de l'aire de transformation (2,26 ha)	146 900 \$
Pavage de l'aire de transformation (2,26 ha)	452 000 \$
Entrepôts (2000 m ²)	385 000 \$
Sous-total	1 223 036 \$
Sous-total	3 303 036 \$
Contingence (10 %)	330 304 \$
Investissement total	3 633 340 \$

CVB de 50 000 à 200 000 tma annuellement

Le CVB traitant des volumes de 50 000 tma à 200 000 tma annuellement, produit de la biomasse principalement destinée à des fins énergétiques de production de vapeur et d'électricité et à l'alimentation de procédés industriels de grand gabarit comme la production de biochar, de pyrolyse et de granules. Ce type de CVB est généralement rattaché à un client principal qui consomme presque, voire la totalité de sa production annuelle. Pour cette raison, les équipements de ce type de CVB sont généralement fixes et la biomasse livrée est principalement sous forme de billots ou de baguettes. Toutefois, selon le contexte régional, il est possible de voir des équipements fixes et mobiles afin de bénéficier du volume de biomasse contenu dans les cimes et les branches. Il est à noter que selon le type de client, le séchage de la biomasse au CVB n'est pas toujours nécessaire. En effet, les centrales de cogénération vont généralement s'alimenter directement de biomasse verte. De ce fait, il est possible que les besoins en terrain et en infrastructures pour l'entreposage et le séchage de la biomasse soient moindres que le modèle proposé. Le tableau suivant présente les équipements et les coûts rattachés. On estime à environ 7,3 M\$ les investissements requis.

Tableau 11 Investissement en équipements et en infrastructures (CVB de 50 000 tma à 200 000 tma)

Équipement	Prix
Balance à bois	95 000 \$
Chargeuse sur roues	395 000 \$
Écorceur à tambour	1 000 000 \$
Broyeurs fixes (2)	2 700 000 \$
Séchoir à bande	1 100 000 \$
Chargeuses frontales (2) dont une avec un équipement de déneigement	815 000 \$
Sous-total	6 105 000 \$
Infrastructure	Prix
Autorisation environnementale d'entreposage de biomasse	56 000 \$
Achat du terrain (9,44 ha)	122 720 \$
Aménagement du terrain (9,44 ha)	243 552 \$
Gravelage de l'aire de transformation (4,72 ha)	293 800 \$
Pavage de l'aire de transformation (4,72 ha)	944 000 \$
Entrepôts 1000 m ²	200 000 \$
Sous-total	1 860 072 \$
Sous-total	7 965 072 \$
Contingence (10 %)	796 507 \$
Investissement total	8 761 579 \$

Ces trois cas de figure requièrent des niveaux d'investissement importants. De plus, il faudra tenir compte si les activités de valorisation de la biomasse se font à même des complexes industriels déjà existants disposant déjà d'équipements, d'un espace de traitement, de bâtiments et d'équipements roulants. À cet effet, le fait de créer un CVB à même une cour à bois et à proximité d'industriels forestiers réduit significativement les coûts en capital et en frais d'exploitation.

3.7 Coûts de préparation du site et frais d'exploitation

L'exploitation d'un CVB implique différents frais visant à garantir son fonctionnement. Ces coûts vont varier considérablement en fonction du volume traité annuellement ainsi que du type de clientèle approvisionnée. Ainsi, le tableau 13 présente une estimation des ordres de grandeur des frais d'exploitation engendrés par la mise en service des trois modèles de CVB présentés précédemment.

Tableau 12 Frais d'exploitation des différents CVB selon le volume traité

Équipement	Frais d'exploitation (\$/tma)		
	CVB moins de 10 000 tma/an	CVB moins de 10 000 à 50 000 tma/an	CVB moins de 50 000 à 200 000 tma/an
Balance à bois	1 \$	1 \$	1 \$
Manutention (chargeuse sur roues et/ou frontale)	4 \$	4 \$	4 \$
Chargeuse sur chenilles	0 \$	14 \$	0 \$
Déchiqueteuse/broyeur	23 \$	16 \$	10 \$
Séchage entreposage	3 \$	3 \$	8 \$
Total (\$/tma)	29 \$	38 \$	23 \$

Le tableau présente une compilation de divers coûts d'exploitation tels que captés lors des visites et des entrevues avec les différents opérateurs de biomasse forestière. Cependant, il est à noter que les coûts varient grandement d'un modèle à l'autre et dans la littérature. Cette variation s'explique par des facteurs plus profonds que la simple optimisation des coûts de transformation.

En effet, la structure de la chaîne de transformation des différents opérateurs de biomasse forestière est intimement liée au contexte de disponibilité de la ressource ainsi que le type et la taille des marchés régionaux. Inévitablement la structure des CVB potentiels devra inévitablement s'adapter au contexte régional, influençant les équipements nécessaires et les frais d'exploitation.

À titre d'exemple, les modèles pour les CVB de 10 000 tma et moins ainsi que le CVB de 10 000 à 50 000 tma seraient théoriquement interchangeables. Le modèle de moins de 10 000 tma étant un CVB fonctionnant à temps partiel alors que celui de 10 000 à 50 000 tma fonctionne à temps plein. L'écart entre les frais d'exploitation de ces CVB s'explique par le type de biomasse transformée. Le CVB de moins de 10 000 tma transforme la biomasse sous forme de baguettes et de billots d'essences résineuses sur le site, alors que celui de 10 000 à 50 000 transforme de la biomasse sous forme de cimes et de branches feuillues en forêt. Dans ce cas bien précis, l'écart des coûts de transformation s'explique par le contexte régional de la disponibilité de la biomasse, et non par le volume de matière transformée.

3.8 Main-d'œuvre requise pour l'exploitation d'un CVB

La main-d'œuvre nécessaire à l'exploitation d'un CVB variera selon la taille du CVB de même que du niveau d'intégration des activités avec les autres utilisateurs de matière ligneuse. L'installation d'un CVB à même la cour d'une scierie, d'une usine de pâte ou encore d'une installation de cogénération permettra de réduire les besoins en main-d'œuvre et en équipements, puisqu'ils pourront être partagés entre les différentes opérations. Pour ce faire, la main-d'œuvre requise sera déterminée selon le gabarit du CVB et de son niveau d'intégration.

CVB de moins de 10 000 tma annuellement

Comme ce type de CVB ne fonctionne pas en continu, il ne permet pas d'occuper un travailleur toute l'année. Pour déchiqueter la biomasse, deux opérateurs sont nécessaires : un pour opérer la déchiqueteuse et un autre pour transporter la biomasse de la cour à bois jusqu'au site de déchiquetage. Cette opération nécessite donc deux travailleurs pour environ 500 heures par an, mais un seul opérateur multitâche qui approchera la biomasse, puis la réduira en copeaux dans un deuxième temps peut

également être envisagé. Le salaire moyen d'un opérateur se situe entre 30 et 35 \$/h ; toutefois, il est à noter que celui-ci varie grandement selon la région et l'expérience.

CVB de 10 000 à 50 000 tma annuellement

Pour les CVB traitant des volumes de 10 000 tma à 50 000 tma, trois opérateurs ainsi qu'un superviseur seront requis. Avec un salaire annuel moyen de 60 000 \$ pour un opérateur et 70 000 \$ pour un contremaître, le total de la masse salariale se situe à 250 000 \$.

CVB de plus de 50 000 à 200 000 tma annuellement

Le CVB traitant des volumes de plus de 50 000 tma annuellement requerra un total de six travailleurs, soit cinq opérateurs et un contremaître. En utilisant les mêmes échelles salariales de référence que pour l'exemple précédent, soit 60 000 \$/annuellement pour un opérateur et 70 000 \$/annuellement pour un contremaître, la masse salariale totale se situera à 370 000 \$.

3.9 Synthèse des coûts associés au CVB

Les coûts associés au CVB varient grandement selon les expérimentations réalisées et les contextes régionaux. Les études réalisées par Desrochers (2016) et Kessler Nadeau (2015) permettent de synthétiser les coûts de récolte, de transport et de traitement selon plusieurs scénarios envisagés.

Tableau 13 Coût d'approvisionnement biomasse en forêt sous forme de baguettes et de cimes en \$/tma¹⁷

Scénario	Description	Coût abattage-façonnage (\$/tma)	Coût débardage (\$/tma)	Déchetage en forêt (\$/tma)	Coût de transport sur une distance de 61 km (\$/tma)	Déchetage en usine (\$/tma)	Coût de la matière livrée en usine et déchetée (\$/tma)
1	Façonnage en baguettes de 8 pi	39,30 \$	42,05 \$	0,00 \$	32,22 \$	25,32 \$	138,89 \$
2	Façonnage en baguettes de 12 pi	33,88 \$	46,36 \$	0,00 \$	39,61 \$	25,32 \$	145,16 \$
3	Façonnage en baguettes de 12 pi récupération de la cime restante	30,68 \$	54,47 \$	35,45 \$	24,34 \$	0,00 \$	144,92 \$

Tableau 14 Évaluation des coûts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse¹⁸

Scénario	Description	Méthode de récolte	Transformation primaire	Transport secondaire sur une distance de 100 km	Frais moyens d'exploitation (\$/tma)
1	Bois long non intégré	Bois long	Déchetageuse	Semi-remorque à plancher mobile	129,56 \$
2	Bois court intégré	Bois court	Déchetageuse	Semi-remorque à plancher mobile	115,26 \$
3	Bois long intégré	Bois long	Déchetageuse	Semi-remorque à plancher mobile	92,77 \$
4	Bois long intégré	Bois long	Broyeur	Semi-remorque à copeaux	111,91 \$

¹⁷ Desrochers, L. 2016. Récolte intégrée de biomasse lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux naturel. FPInnovations ; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec. 60 p.

¹⁸ Kessler Nadeau, G. 2015. Évaluation des coûts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse. Mémoire de fin d'étude, Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt Québec (Québec). 63 p.

Bien que ces deux expérimentations permettent de mettre en lumière la répartition des coûts associés à chacune des étapes et d'identifier les procédés les plus performants, les coûts découlant de ces études sont élevés par rapport à des coûts captés en situation réelle de production. De ce fait, le tableau suivant réalisé par la Fédération québécoise des coopératives forestières en 2013, synthétise les coûts associés au CVB de manière plus représentative de la réalité des opérateurs de biomasse.

Tableau 15 Estimation des coûts d'approvisionnement dans un rayon de 100 km¹⁹

Détail des coûts (\$/tma)	Forêt publique		Forêt privée	
	Vert	Conditionné	Vert	Conditionné
Récolte en forêt/achat livrée	29,40 \$	29,20 \$		
Transport (rayon de 100 km)	19,33 \$	19,33 \$	63,64 \$	63,64 \$
Coûts connexes	17,31 \$	17,31 \$		
Sous-total (livrée au CVB)	66,04 \$	65,84 \$	63,64 \$	63,64 \$
Centre de conditionnement	5,72 \$	8,61 \$	5,19 \$	7,70 \$
Déchiquetage/broyage	20,18 \$	20,18 \$	15,19 \$	15,19 \$
Livraison	9,89 \$	9,89 \$	9,89 \$	9,89 \$
Administration et financement	18,02 \$	18,50 \$	16,62 \$	17,07 \$
Total	119,82 \$	123,00 \$	110,53 \$	113,48 \$

D'après la littérature et les entrevues réalisées, les coûts de récolte en \$/tma sont relativement similaires. Toutefois, la récolte de biomasse par arbres entiers semble être le mode de récolte le plus favorable, suivi de près par la récolte de baguettes de 8 pi. L'élément exerçant le plus d'influence sur les coûts d'approvisionnement est sans nul doute la distance de transport. De plus, l'expérience des opérateurs démontre que l'approvisionnement en forêt privée est plus abordable qu'en forêt publique, soit 10 à 20 \$/tma de moins. Ainsi, les coûts d'approvisionnement se situent généralement entre 50 et 70 \$/tma. À la sortie du CVB, la biomasse est généralement vendue et livrée au client entre 105 et 125 \$/tma.

¹⁹ FQCF, 2013, Filière de la biomasse forestière destinée à la production de chaleur : Plan directeur de la Fédération québécoise des coopératives forestières, https://www.fqcf.coop/wp-content/uploads/Plan_directeur.pdf 88p.

3.10 Modèle d'affaires et structure de gouvernance

Un modèle d'affaires se définit comme étant un modèle économique qui démontre comment une entreprise crée de la valeur et génère des revenus. Essentiellement, l'objet est de définir ce que le CVB produira et vendra. Or, tous les CVB auront des modèles d'affaires similaires, c'est-à-dire produire une biomasse qui sera destinée à un utilisateur qui spécifiera le produit requis en termes d'humidité, de granulométrie, de contenu en écorce, etc. De plus, les modèles se distingueront selon les chaînes de valeur et la valorisation qui sera faite au CVB. Il est donc difficile de cerner un modèle d'affaires unique de même qu'une structure de gouvernance qui pourraient s'appliquer de façon particulière à des CVB. On retrouve plutôt différents modèles et structures possibles.

Essentiellement, on pourrait distinguer les modèles d'affaires suivants :

- Récolte sur parterre de coupe, broyage au bord du chemin forestier, transport au CVB, conditionnement, transport vers les acheteurs ;
- Récolte en bordure de chemin, broyage au bord de chemin forestier, transport au CVB, conditionnement, transport vers les acheteurs ;
- Récolte sur parterre de coupe, transport au CVB, broyage au CVB, conditionnement, transport vers les acheteurs ;
- Récolte en bordure de chemin, transport au CVB, broyage au CVB, conditionnement, transport vers les acheteurs.

Les CVB se distinguent selon leur intégration dans la chaîne de valeur :

- CVB intégré à des activités de gestion de cour à bois de bénéficiaires de garanties d'approvisionnement (ex. : Bois CFM inc.) ;
- CVB faisant office de cour de transit de bois et de conditionnement de la biomasse (ex. : site Vallières) ;
- CVB attendant à un site de preneurs de biomasse (ex. : Greenleaf Power/Saint-Félicien).

Les CVB pourront également se particulariser selon le mode de gouvernance. On entend par gouvernance, les voies et les moyens par lesquels ceux qui apportent les capitaux s'assurent d'obtenir un retour sur leur investissement. La gouvernance repose sur trois axes majeurs :

- Une réglementation et des processus qui encadrent l'organisation ;
- Une stratégie qui s'appuie sur les valeurs et la culture d'entreprise ;
- Les parties prenantes (employés, actionnaires, sociétaires, clients, fournisseurs).

La gouvernance de l'organisation est le système par lequel une organisation prend des décisions et les applique en vue d'atteindre ses objectifs. À ce titre, on peut distinguer les différents types de gouvernance selon que le CVB soit :

- Intégré verticalement dans la chaîne de valeur ;
- Au service de plusieurs bénéficiaires ;
- Une entité régionale qui voit à la valorisation de la matière ligneuse.

Le CVB intégré verticalement implique une gouvernance corporative qui voit à la mise en valeur de l'ensemble de la biomasse dont elle peut disposer, mais surtout qui a comme but de maintenir son opération principale. On peut penser à une corporation importante qui met en place un CVB dans le but de s'assurer que son modèle d'affaires premier soit consolidé. Ce modèle de gouvernance corporatif maintient et accroît la rentabilité des opérations de l'ensemble des composantes du conglomérat.

Une entreprise œuvrant au service de plusieurs bénéficiaires implique une participation à la gouvernance partagée entre tous les partenaires du CVB. Ce mode de gouvernance répartit les retombées du CVB selon la part relative de tous les partenaires.

Enfin, une gouvernance régionale peut être envisagée où tous les partenaires de la chaîne de valeur s'impliquent directement au développement du CVB. Les producteurs de bois, les bénéficiaires, les transformateurs, les utilisateurs, les acteurs régionaux et gouvernementaux composent la gouvernance.

4. CONDITIONS D'IMPLANTATION D'UN CVB

L'implantation de CVB au Québec requiert la mise en place de conditions favorables, mais surtout qui consolident et assurent à long terme et de façon intégrée la pérennité de toute la chaîne de valeur. Les conditions sont autant au niveau technique que socioéconomique et variables selon les contextes régionaux.

4.1 Preneurs stables de biomasse

La condition la plus importante consiste probablement à identifier pour chacune des régions disposant de suffisamment de biomasse sous toutes sortes de formes un ou des preneurs stables à grand volume détenant des contrats à long terme. Les filières de production énergétique (cogénération, réseaux de chaleur), de biochar (métallurgie, amendement des sols), de biocombustibles, de granules de bois, de molécules spécialisées sont toutes des candidates à considérer. Ces preneurs de biomasse requièrent des contrats à long terme pour justifier les investissements requis. Il est difficile de prioriser une filière par rapport à une autre en matière de potentiel de rentabilité. Le contexte régional et la structure industrielle en place permettront de retenir une filière plutôt qu'une autre.

4.2 Coûts d'approvisionnement de la biomasse

Les coûts d'approvisionnement de la biomasse forestière représentent probablement la deuxième condition importante de mise en place d'un CVB. Selon les consultations menées avec les principaux preneurs de biomasse, les coûts d'approvisionnement ne permettent pas dans les conditions actuelles la mise en place de CVB. Il est difficile de rentabiliser les opérations en raison des investissements requis. Les seuils de rentabilité des différentes filières suggèrent des coûts d'approvisionnement égaux ou inférieurs à 70 \$/tma livrée en usine.

4.3 Intégration des preneurs au tissu industriel

Une condition favorable à l'implantation d'un CVB est l'intégration de plusieurs preneurs de matière ligneuse et de biomasse sur un ou près d'un même site permettant d'optimiser les synergies et d'éliminer pratiquement les coûts de transport. Dans le paysage industriel québécois, des exemples s'en approchent déjà, tels que le site de cogénération de Greenleaf Power, le site de tronçonnage et de valorisation Vallières, la cour de transit de Saint-Pamphile et le parc industriel de Val-d'Or. Tous ces sites ou zones industrielles présentent des attributs notables permettant d'intégrer les preneurs de biomasse forestière dans la chaîne de valeur de l'industrie forestière déjà existante (sciage, déroulage, pâtes et papiers, cogénération, etc.). Les avantages à l'intégration dans le tissu industriel surpassent les désavantages. Ici, l'enjeu consiste à regrouper tous les intérêts autour du CVB.

Cela implique le partage équitable des frais d'exploitation (récolte, voirie, certification, mesurage, etc..) et une synergie régionale forte entre les scieurs, les papetiers, les recycleurs de bois de construction, de rénovation et de démolition ainsi que les producteurs d'énergie qui permettra l'émergence d'écosystèmes complets de valorisation.



Figure 16 Résidus de première transformation pouvant être valorisés en bioénergie

4.4 Garantie de volumes

L'ensemble des preneurs de biomasse forestière, au sens large, soulèvent toujours les enjeux de garantie à long terme de volumes afin d'assurer la pérennité de leur modèle d'affaires. Comment, dans ce contexte, peut-on s'assurer de l'implantation d'un CVB sans compter sur une garantie de volume à long terme auprès des preneurs de biomasse? La garantie de volume doit être octroyée aux preneurs de biomasse qui seront une partie prenante du CVB. Selon les intervenants industriels consultés, les volumes non attribués, les essences sans preneurs ou encore attribuées, mais non récoltées présentant une grande disponibilité devraient être considérés dans l'octroi de garanties de biomasse forestière aux preneurs. Cette possibilité permettrait d'abaisser les coûts d'approvisionnement et de hausser les possibilités de valorisation au CVB.

4.5 Optimisation des activités

Une condition favorable à l'implantation d'un CVB concerne la disponibilité d'une main-d'œuvre compétente autant pour le volet de l'approvisionnement que pour le volet des activités sur le site. L'enjeu central vise surtout la main-d'œuvre requise à la récolte. Dans plusieurs régions du Québec, les entreprises qui récoltent des bois marchands manquent d'entrepreneurs forestiers, de transporteurs et même de personnel d'usine. En conséquence, il sera difficile de disposer d'opérateurs et de transporteurs de biomasse, étant donné que la main-d'œuvre forestière est déjà pleinement occupée dans les activités courantes des entreprises de transformation du bois. Il est clair qu'une seule intervention de récolte et de transport (bois et biomasse) dans un même chantier amène une forme d'optimisation. Cependant, au total, moins de volumes de bois marchands seront récoltés. Le même enjeu concerne l'exploitation d'un CVB, à moins qu'il soit intégré à un complexe industriel et où les ressources pourront être partagées.

Les baisses annoncées de possibilité forestière pour les années à venir auront pour effet de réduire les récoltes en forêt et ainsi rendre disponibles une main-d'œuvre et des équipements que l'on pourrait utiliser pour intégrer la récolte de biomasse. Il existe donc une opportunité conjoncturelle pour intégrer l'ensemble des opérations de récolte de bois marchands et de biomasse forestière surtout dans les régions affectées directement touchées par les baisses de possibilités.

4.6 Investissements à l'implantation

L'implantation d'un CVB requiert des investissements importants, surtout si peu d'infrastructures et d'équipements sont disponibles au site prévu. Dans la mesure où l'État souhaite encourager la récolte et la mise en valeur de la biomasse forestière, des appuis financiers à l'implantation et à l'exploitation du CVB pourraient être envisagés. La plupart des plans d'affaires examinés ou de projet de valorisation de la biomasse ont nécessité ou nécessitent des aides financières remboursables et non remboursables afin de mettre en place les équipements requis et soutenir les opérations. Ces appuis réduisent les frais d'exploitation, ce qui rend la biomasse forestière plus intéressante pour un preneur surtout si cela s'inscrit dans un engagement à long terme.

5. ANALYSE DE LA RENTABILITÉ

5.1 Analyse du marché de la biomasse forestière

Le marché de la biomasse forestière comprend plusieurs produits différents, chacun ayant ses propres conditions de marché. Dans le contexte actuel, trois produits de transformation permettent d'établir la valeur de cette ressource. Parmi ces produits, on retrouve le granule de bois, la biomasse en copeaux destinée à la production d'énergie, les biocarburants, ainsi que le biochar pour des usages agricoles et industriels.

Le prix courant du diesel a grandement varié au cours des dernières années. Pendant les sept dernières années, le prix minimum du diesel à la rampe de chargement a maintenu une moyenne d'environ 80 ¢/L. Les années 2015 et 2016 ont enregistré les niveaux les plus bas depuis la crise de 2008. Cependant, cette situation ne reflète pas nécessairement la dynamique réelle du marché, car les pays de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) ont intentionnellement contribué à une surabondance mondiale pour contrecarrer les progrès des énergies renouvelables. Bien que de tels événements puissent se reproduire, les chances sont plutôt minces. D'après les meilleures estimations, le prix du baril de pétrole devrait se maintenir entre 80 et 125 \$ US d'ici 2040. D'après les meilleures estimations, la valeur sur le marché d'une tonne de biomasse transformée en biocarburant se situe entre 350 et 500 \$/tma.

Le marché du biochar se distingue principalement par deux grands groupes de produits : ceux destinés à un usage industriel en substitution au charbon, et ceux destinés à un usage agricole, comme agent d'amendement des sols. Le biochar destiné à un usage industriel bénéficie d'un marché important au Canada et en Amérique du Nord. Malgré la diminution de l'utilisation du charbon de bois pour la production d'électricité au Canada, la consommation à des fins industrielles, en particulier dans l'industrie métallurgique, demeure significative. La production canadienne de charbon est estimée à 48 millions de tonnes en 2021, dont les deux tiers sont destinés à l'exportation. Le prix moyen du charbon au cours des dix dernières années varie entre 150 et 250 \$ la tonne. Cette donnée souligne la robustesse du marché du biochar destiné à un usage industriel, avec des perspectives encourageantes pour les producteurs et les acteurs du secteur²⁰. La situation est bien différente en ce qui concerne les usages agricoles du biochar. Bien que celui-ci offre le potentiel théorique de substituer l'usage d'engrais par du biochar dans l'amendement des sols, son efficacité demeure limitée. C'est pourquoi le marché du biochar à vocation agricole est à ce jour très faible²¹.

La demande mondiale pour des granulés de bois connaît une croissance importante ces dernières années, surtout sur les marchés européen et asiatique. Le marché québécois, quant à lui, est relativement faible, avec une consommation annuelle estimée à 60 000 tonnes en 2010. Le marché local présente un intérêt très faible par rapport au marché européen, qui pour sa part consomme 27 millions de tonnes de granulés par an, pour une production de seulement 16,9 millions de tonnes annuellement²². À l'heure actuelle, 65 % des exportations canadiennes de granulés de bois vers l'Europe sont réalisées à partir de la Colombie-

²⁰ Statistique Canada 2023 <https://ressources-naturelles.canada.ca/nos-ressources-naturelles/mines-materiaux/donnees-statistiques-et-analyses-sur-l'exploitation-miniere/faits-mineraux-metiaux/faits-charbon/20082>

²¹ Robert M. Campbell, Nathaniel M. Anderson, Daren E. Dugaard, Helen T. Naughton. 2018. Financial viability of biofuel and biochar production from forest biomass in the face of market price volatility and uncertainty, Applied Energy, Elsevier

²² Bois Laurentide, 2020, <https://boislaurentides.com/wp-content/uploads/March%C3%A9-europ%C3%A9en-de-la-granule-20-09-29.pdf>

Britannique, avec une distance de transport d'environ 16 000 km. En raison de sa plus grande proximité (5000 km), le Québec est dans une position privilégiée pour concurrencer la production de l'ouest et profiter de la demande européenne pour valoriser la biomasse forestière issue des forêts québécoises. Le prix des granulés de bois a connu d'importantes fluctuations ces dernières années ; toutefois, en 2022, le prix d'exportation vers les marchés européens était stable à 152 \$/tonne anhydre²³.

En somme, la valeur des produits transformés à partir de la biomasse forestière varie selon le contexte des marchés. Toutefois, parmi les différents produits analysés, le prix courant pour la biomasse semble suivre une tendance entre 150 à 250 \$/tma, à l'exception du biodiésel dont le prix moyen sur le marché est légèrement supérieur.

5.2 Analyse de sensibilité de la rentabilité d'un CVB en fonction du transport

Les coûts en transport représentent l'élément le plus critique en ce qui a trait à la rentabilité d'un CVB. Afin d'évaluer le taux de variation des coûts de transport, l'étude de FPInnovations a servi de référence pour l'évaluation du nombre de camions nécessaire au transport journalier de 215 tma de biomasse découpée en fonction de 6 distances de transport de référence. Des estimations sur les coûts de transport ont été tirées de l'étude de FPInnovations, à partir d'un taux horaire des transporteurs et en fonction du nombre de camions impliqués et des temps de cycle (forêt/CVB).

Tableau 16 Estimation de l'évolution du coût de transport en \$/tma selon la distance de transport²⁴

Distance de transport (km)	Cycle aller-retour (h)	Capacité de transport par camion			Masse théorique par camion (tma)	Camions requis	Total des heures de transport par jour (h)	Taux horaire estimé (\$/h)	Coût de transport estimé (\$/tma)	Variation (\$/tma)
		voyages/jour	tma/sem.	tma/jour						
25	2,7	4,5	394	79	17,5	3	36,5	96,07 \$	16,29 \$	
50	3,6	3,5	306	61	17,5	4	44,1	96,07 \$	19,71 \$	3,42 \$
75	4,4	3,0	263	53	17,5	4	52,8	96,07 \$	23,59 \$	3,89 \$
100	5,2	2,5	219	44	17,5	5	65,0	96,07 \$	29,05 \$	5,45 \$
125	6,0	2,0	175	35	17,5	6	72,0	96,07 \$	32,17 \$	3,13 \$
150	6,9	1,5	131	26	17,5	8	82,8	96,07 \$	37,00 \$	4,83 \$

²³ Lebel, L. Boukherroub, T. Lemieux, S. 2015. Vers la valorisation de la biomasse forestière dans l'Est canadien : une étude de cas au Québec. Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprises, de logistique et de transport, Université Laval (Québec). 10 p.

²⁴ Desrochers, L. 2022 Guide Biomasse Faciliter l'intégration de la biomasse à la chaîne d'approvisionnement régulière de bois marchand au Québec. FPInnovations. Québec. 51 p.

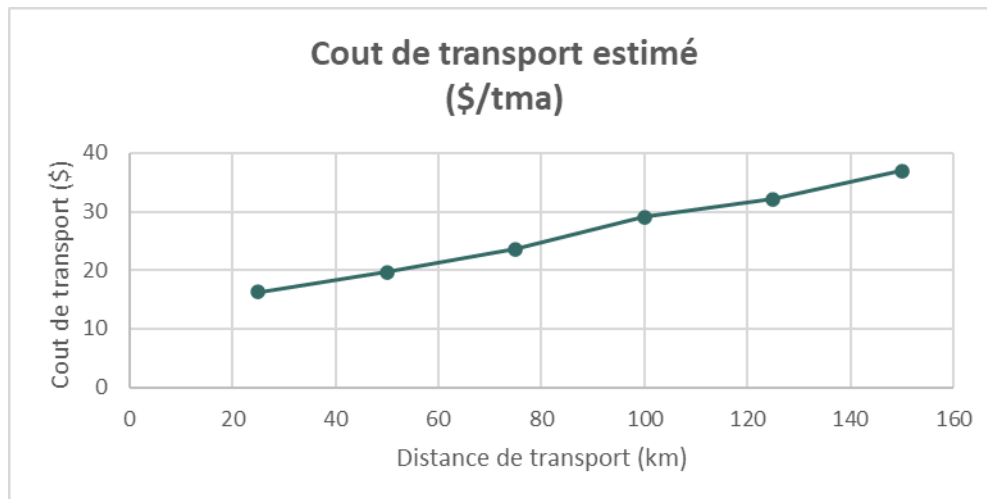


Figure 17 Croissance du cout de transport en \$/tma avec l'augmentation des distances entre la forêt et le CVB

En étudiant de plus près la variation des couts de transport à chaque tranche de 25 km additionnels, il est possible de constater un accroissement marqué de 5,85 \$/tma pour des distances de 75 à 100 km. Cette hausse marquée du cout de transport explique grandement pourquoi la majorité des preneurs de biomasse au Québec limite leur rayon d'approvisionnement sous la barre des 100 km, voire 50 km dans le cas de plus petits preneurs de biomasse.

6. RÉGIONS PROPICES À L'IMPLANTATION DE CVB

Plusieurs régions du Québec présentent des attributs propices à l'implantation d'un CVB. L'analyse qui permet de faire ressortir les régions les plus aptes découle des données empiriques de biomasse disponibles ainsi que des entrevues menées avec les autorités régionales et les acteurs clés du secteur. Plusieurs critères ont été retenus dans le but d'identifier les régions les plus favorables à une implantation. À cette étape, les considérations de coûts d'approvisionnement qui pourraient différer d'une région à l'autre ne font pas partie de l'analyse, car les données ne sont pas suffisamment granulaires. Au total, les cinq critères suivants ont été retenus :

- Une synergie régionale des acteurs qui s'investissent à la mise en place d'un projet et qui valorisent la biomasse forestière, mais qui s'inscrit également dans la consolidation du secteur forestier en renforçant la grappe industrielle régionale.
- Des volumes de biomasse forestière et des bois sans preneurs suffisants et disponibles sur une base à court et à long terme ;
- Les initiatives en place ou en émergence qui se manifestent par un regroupement d'acteurs intéressés, dont la présence d'un preneur majeur de biomasse et d'exploitants intéressés ;
- Des équipements de base (chargeuse, balance, etc.), des cours à bois et des installations disponibles avec, dans certains cas, la présence d'infrastructures ferroviaires ou portuaires.
- L'état de maturité des projets de valorisation de la biomasse présentés/analysés ou qui ont fait l'objet d'une étude préliminaire ou de faisabilité ou encore de demandes de soutien de l'État et d'autres partenaires.

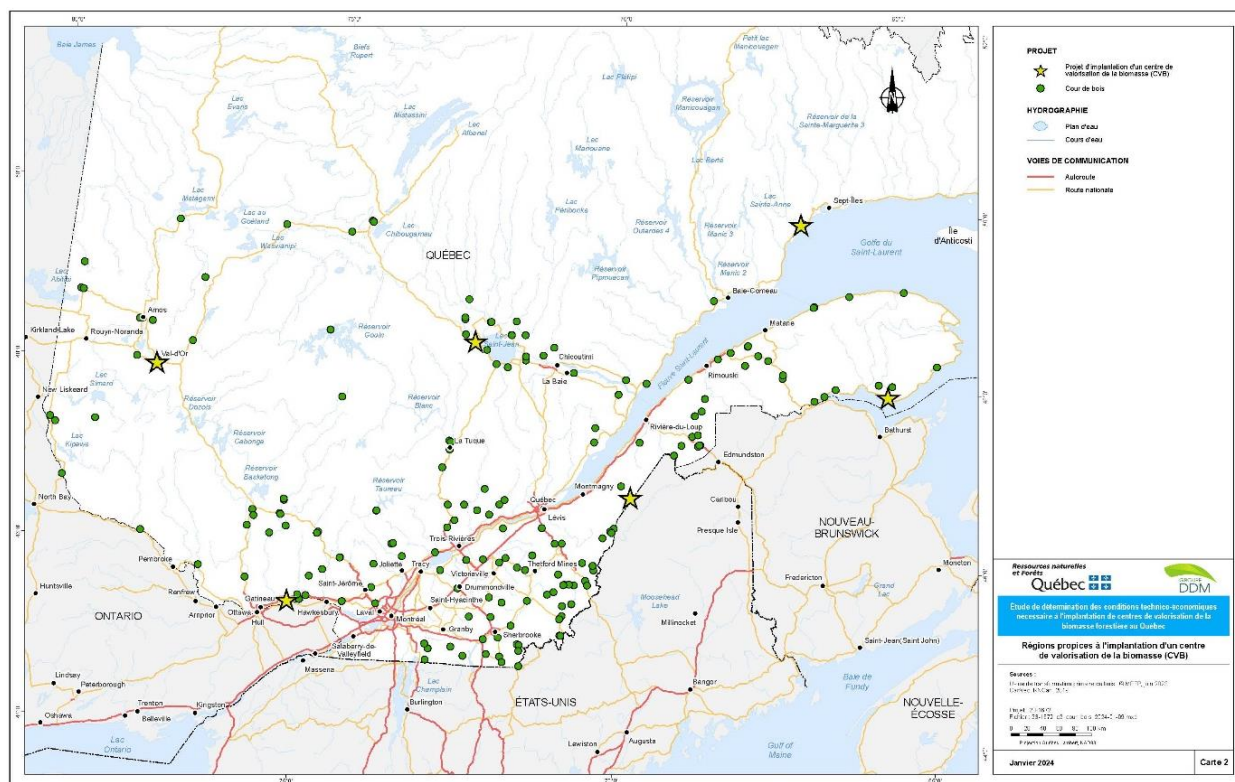
Tableau 17 Régions propices à l'implantation d'un CVB

Région	Synergie régionale	Disponibilité biomasse à long terme et bois sans preneurs	Initiative en place	Équipement et site potentiel	Maturité des projets
Bas-Saint-Laurent (01)	OUI	NON	OUI	OUI	ND
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Capitale-Nationale (03)	NON	NON	NON	ND	ND
Mauricie (04)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Estrie (05)	NON	NON	ND	ND	ND
Outaouais (07)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Abitibi-Témiscamingue (08)	OUI	NON	OUI	OUI	ND
Côte-Nord (09)	ND	NON	OUI	OUI	OUI
Nord-du-Québec (10)	ND	NON	OUI	OUI	ND
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Chaudière-Appalaches (12)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Lanaudière (14)	ND	NON	ND	OUI	ND
Laurentides (15)	ND	NON	ND	OUI	ND

Le tableau 18 présente succinctement les résultats selon les critères et les régions du Québec. Les régions surlignées en gris sont, selon les analyses, les plus propices à l'implantation d'un CVB, soit :

- Saguenay–Lac-Saint-Jean ;
- Mauricie ;
- Outaouais,
- Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine ;
- Chaudière-Appalaches.

Carte 1 Régions propices à l'implantation d'un CVB



Saguenay–Lac-Saint-Jean

Cette région regroupe plusieurs initiatives de mise en valeur de la biomasse forestière. Plusieurs projets sont en développement, dont celui de Greenleaf Power et des acteurs régionaux qui visent à valoriser la biomasse forestière en produisant du biochar et d'autres produits issus de cette transformation, tout en alimentant un réseau de chaleur destiné à une production en serre et à du chauffage urbain.

Une forte synergie régionale est présente de même qu'un preneur de biomasse important. Des volumes de biomasse forestière sont disponibles et les infrastructures requises sont présentes. Le projet renforce la grappe industrielle et participe fortement au développement régional.

Mauricie

La Mauricie, au-delà du projet Bioénergie La Tuque (BELT), présente des attributs importants pour la mise en place d'un CVB. Cette région peut faire l'objet d'initiatives de mise en valeur de la biomasse forestière compte tenu de la disponibilité importante de biomasse forestière et de bois sans preneurs. La région dispose également de sites performants pour la gestion des bois feuillus (ex. : site Vallières). Un projet permettrait de renforcer la grappe industrielle et de participer fortement au développement régional. Une synergie régionale est présente, cependant des enjeux d'accès à la ressource semblent retarder la mise en place d'un projet prometteur.

Outaouais

Cette région, aux fins de cette étude, comprend également la partie sud de la région du Témiscamingue. Le gisement de biomasse forestière et de bois sans preneurs est probablement le plus important du Québec. De plus, l'établissement d'un preneur de biomasse et de bois sans destination permettrait de consolider toute la filière forestière de l'Outaouais. Un projet ambitieux aurait pu prendre la forme d'un CVB autour duquel quatre preneurs de biomasse majeurs (produits extraits des écorces, bioraffinage, production de biochar et cogénération) auraient façonné un complexe industriel important, d'autant plus que ce projet aurait pu se localiser près d'entreprises dans la transformation du bois. Malheureusement, le contexte économique défavorable a conduit à l'abandon du projet.

Une synergie régionale importante est en place, surtout sur le plan de la consolidation et du développement de la filière forestière. Une opportunité consisterait à revisiter ce projet avec de nouveaux partenaires.

Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine

La péninsule gaspésienne est loin des marchés de sciage et de pâtes et papiers. Cette dernière exporte ses copeaux destinés aux pâtes et papiers sur de grandes distances, ce qui réduit la rentabilité des entreprises. Pourtant, la Gaspésie, particulièrement en son centre, près de Bonaventure, dispose d'un important gisement de biomasse forestière et d'essences sans preneurs. Ce contexte réduit le développement régional et abaisse fortement la rentabilité des usines en place. Une concertation régionale a permis d'identifier plusieurs projets de valorisation de la biomasse forestière autour d'un potentiel CVB qui permettrait l'établissement d'un preneur important de biomasse.

Chaudière-Appalaches

La région de Chaudière-Appalaches, aux fins de cette étude, inclut une partie du territoire de la Capitale-Nationale et du Bas-Saint-Laurent. La particularité de cette région concerne la présence abondante de forêts privées avec un gisement important de biomasse forestière et de bois de trituration sans vraiment de preneurs. En effet, les producteurs privés façonnent les bois pour satisfaire les spécifications des industriels, surtout en ce qui concerne le fin bout de l'arbre. Cela engendre l'abandon de beaucoup de matière ligneuse, même marchande, sur les parterres de coupe. Plusieurs avantages concurrentiels militent en faveur de la région, comme la proximité de grands bassins de population, la présence d'un réseau de transport routier, ferroviaire et maritime important et l'abondance de complexes industriels. Plusieurs projets de valorisation de biomasse forestière et de coproduits du sciage ont fait l'objet d'études de faisabilité, particulièrement à Saint-Pamphile. De plus, depuis quelques années, des partenaires

producteurs de bois se sont regroupés afin de faire émerger un projet de production de biochar qui nécessitera la mise en place d'un CVB.

7. CONSTATS ET PISTES D' ACTIONS

Cette étude axée sur les conditions technicoéconomiques nécessaires à l'implantation de centres de valorisation de la biomasse forestière s'appuie sur différents facteurs permettant de tirer les principaux constats, mais également de faire ressortir les pistes d'actions les plus pertinentes. Il est important de rappeler que cette étude s'inscrit sur la nécessité du Québec à poursuivre sa décarbonisation et à augmenter sa production énergétique.

Principaux constats d'ordre technique et économique :

- La ressource « biomasse forestière » est largement disponible en considérant l'inclusion des bois sans preneurs, issus de feux et d'épidémies d'insectes.
- Les procédés de récolte diffèrent selon les régions (bois en longueur et bois tronçonnés), ce qui amène des différences opérationnelles significatives.
- Les distances de transport de la fibre de la forêt au CVB ont un impact important sur les coûts d'approvisionnement.
- La rentabilité liée à l'approvisionnement est faible et les coûts d'approvisionnement sont élevés par rapport à la récolte de bois ronds, ce qui explique la faible récolte de biomasse attribuée. La récolte de biomasse en forêt publique est de l'ordre d'en moyenne 6 % de la biomasse attribuée pour les 14 dernières années.
- Sur le territoire québécois, de nombreux sites présentent les caractéristiques de base pour accueillir des CVB, surtout si les activités se dérouleront à proximité d'une usine de transformation du bois.
- Plusieurs initiatives au Québec se rapprochent d'un CVB en ce qui a trait à la taille, au volume conditionné et aux équipements requis.
- La planification et l'intégration des récoltes de bois et de la biomasse forestière ne font pas partie des pratiques des entreprises, à quelques exceptions près.
- Les détenteurs de PRAU de biomasse forestière n'exercent pas leurs droits, car cette matière ligneuse, vu son coût, sera substituée par des sources alternatives plus avantageuses et le PRAU sert plutôt à sécuriser les approvisionnements à la marge.
- Le paysage industriel ne fait pas apparaître spontanément des preneurs de biomasse. Leurs modèles d'affaires ont de la difficulté à accueillir les coûts d'approvisionnement élevés.
- Les procédés de récolte, surtout en bois tronçonnés, accentuent les coûts d'approvisionnement, compte tenu de la dispersion de la ressource sur tout le parterre de coupe.

- Grâce à l'estimation, à la validation des données de terrain et à la littérature, les prix bord de chemin de la biomasse varient actuellement entre 30 et 50 \$/tma. L'intégration des interventions au moment de la récolte des bois marchands pourrait, selon la littérature, réduire jusqu'à 30 \$/tma ces prix, permettant ainsi d'assurer un cout bord de chemin autour de 30 \$/tma.
- Le transport de la biomasse varie de 19 à 29 \$/tma pour une distance moyenne de 100 km selon les modes retenus. De plus, les couts s'accroissent selon les distances jusqu'au CVB qui passent de 16,3 \$/tma pour 25 km de transport à 37 \$/tma pour 125 km.
- Le conditionnement de la biomasse dépend de l'usage à laquelle elle est destinée et varie de 25 à 35 \$/tma.
- Selon la taille du CVB, les investissements totaux requis varieront de 1,9 à 8,8 M\$. Ces investissements peuvent être moindres, dépendant de la synergie possible avec les autres utilisateurs.
- Les couts de production de la biomasse dépendant de l'usage varieront de 105 à 125 \$/tma.
- La structure de gouvernance peut différer selon les modèles d'affaires et chacun présente des avantages et inconvénients.
- Plusieurs conditions à l'implantation d'un CVB sont requises :
 - Un preneur stable à long terme de biomasse avec une garantie d'approvisionnement ;
 - Des couts d'approvisionnement qui permettent la réalisation des plans d'affaires ;
 - La localisation du CVB au centre de la chaîne de valeur forestière de la région ;
 - L'optimisation de l'ensemble des activités de récolte, de transport et de conditionnement de la biomasse forestière ;
- Cinq régions présentent les attributs permettant le déploiement d'un CVB, ou du moins un projet pilote : Saguenay–Lac-Saint-Jean, Mauricie, Outaouais, Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine et Chaudière-Appalaches.

Principales pistes d'actions :

- L'industrie de la transformation du bois requiert énormément d'énergie pour ses opérations. La récolte de biomasse forestière destinée à combler des besoins énergétiques de la filière s'avère une opportunité à explorer et à développer.
- Élargir la définition de la biomasse forestière, en incluant les bois marchands sans preneurs, ceux issus des feux de forêt et d'épidémies d'insectes qui ont perdu leur valeur marchande. Ces inclusions permettent de qualifier et de quantifier davantage le panier d'approvisionnement en biomasse forestière et contribuent à abaisser les couts d'approvisionnement.
- Consolider, autant au niveau de la planification qu'au niveau des récoltes, les opérations afin d'abaisser les couts et de bénéficier de la main-d'œuvre et des infrastructures en place. Cela peut signifier, notamment, d'accorder des allègements financiers à la sylviculture, qui pourrait favoriser la pleine valeur des forêts publiques, ce qui implique de les aménager et de récolter les essences non désirées afin de régénérer ces surfaces à leur plein potentiel. On pourrait notamment imaginer un crédit sylvicole à cet effet.

- Peu importe le type de récolte (bois en longueur ou tronçonnés), la biomasse forestière prend toute sa valeur en bordure de chemin. Des règles de récolte bonifiées pourraient exiger que la biomasse forestière avec sa définition élargie soit récoltée et concentrée en bordure de chemin. Ces règles pourraient s'appliquer dans les régions où un ou des preneurs de biomasse sont présents.
- Cibler des marchés de la bioénergie à forte valeur ajoutée qui permettent de favoriser la rentabilité des investissements pour l'implantation et l'exploitation d'un CVB. Des soutiens spécifiques temporaires à l'implantation et à l'exploitation d'un CVB pourraient également favoriser la mise en place d'une telle filière. La plupart des projets examinés ne peuvent se déployer en raison de l'ampleur des investissements et de la durée de mise en service, mais surtout du moment de l'implantation du preneur de biomasse. Dans certains cas, c'est un enjeu de marché et pour d'autres, une question de technologie et de rodage.
- L'arrivée d'un preneur de biomasse dans une région est probablement l'élément clé dans le déploiement de la filière énergétique des bioénergies. Ce preneur de biomasse, dépendamment des volumes requis pour ses activités, permettra à d'autres utilisateurs de fibres de s'approvisionner dans des strates dites « gelées ». Cette arrivée est, en conséquence, bénéfique pour toute la filière forestière régionale. À des fins d'attractivité, les avantages procurés par l'établissement d'un preneur de biomasse devraient être partagés dans toute la chaîne de valeur forestière de la région.
- Plusieurs filières de valorisation de la biomasse s'avèrent éligibles à des crédits carbone, puisqu'elles permettent la séquestration du carbone (ex. : biocharbon comme amendement du sol). Un mécanisme devrait être mis en place afin de faire ruisseler les crédits vers les activités d'approvisionnement et de conditionnement de la biomasse, donc vers le CVB. L'idée consiste à rémunérer le CVB pour valoriser la biomasse et d'agir en tant qu'agent de développement et de consolidation de la filière énergétique. Pour les projets de cogénération, il serait également de mise qu'un taux avantageux électrique soit octroyé par Hydro-Québec afin d'encourager la production d'électricité carboneutre.
- Un ou deux projets pilotes devraient être soutenus et conduits dans les régions présentant le plus de potentiel de déploiement. Un soutien gouvernemental devrait être envisagé pour le démarrage des implantations de CVB. Le soutien pourrait être examiné aux étapes d'approvisionnement et de conditionnement de la biomasse forestière.

Toutes ces pistes d'actions devront faire l'objet d'analyses plus approfondies dans le but d'établir une stratégie d'implantation de CVB selon les régions. On peut imaginer l'élaboration d'une initiative qui impliquerait les partenaires de la chaîne de valeur et qui définirait les conditions permettant la mise en place durable de CVB. Déjà, il existe différents programmes applicables qu'il y aurait lieu de répertorier et de compléter avec des mesures spécifiques et applicables à l'approvisionnement (ex : règles de récolte), au transport et au conditionnement de la biomasse. L'ensemble des mesures existantes et celles à développer permettront la mise en place durable de CVB. Un groupe de travail engagé spécifiquement à élaborer une stratégie structurante devra être mis à place.

Plusieurs modalités de mise en œuvre sont donc à être développées pour atteindre les objectifs d'implantation et de durabilité des CVB. Enfin, toutes les conditions de soutien devront être définies selon les critères d'implantation présentés au chapitre 4.

CONCLUSION

La réalisation de cette étude de détermination des conditions technicoéconomiques nécessaires à l'implantation de centres de valorisation de la biomasse forestière contribuera à identifier les conditions technicoéconomiques nécessaires à l'implantation de centres de valorisation de la biomasse forestière au Québec.

L'implantation de centres de valorisation de la biomasse sur le territoire québécois peut permettre d'optimiser la ressource forestière, de consolider le secteur forestier et de contribuer à la décarbonisation de l'économie du Québec. Cependant, plusieurs contraintes à l'implantation sont anticipées, et ce, selon les formes de valorisation envisagées. Les coûts d'approvisionnement sont au cœur des contraintes en ce qui concerne la rentabilité, et les modèles d'affaires actuels ne peuvent pas absorber pleinement ces coûts importants.

Les régions du Saguenay–Lac-Saint-Jean, de la Mauricie, de l'Outaouais, de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine et de Chaudière-Appalaches présentent les conditions de base à l'implantation de CVB. Chacune de ces régions se distingue pour des motifs et des enjeux différents, et plus particulièrement, pour l'abondance de biomasse forestière ou de preneurs intéressés.

Afin d'assurer le succès d'un CVB, un certain nombre de conditions technicoéconomiques gagnantes doivent être réunies. Tout d'abord, la présence d'un marché stable pour la biomasse forestière transformée est essentielle. Cette stabilité du marché peut se traduire par un ou plusieurs preneurs de biomasse disposant de contrats à long terme, assurant ainsi un débouché durable pour la grande majorité de la production du CVB. Ensuite, le CVB doit bénéficier d'une source d'approvisionnement en matière première stable, idéalement à un coût raisonnable, soit inférieur à 50 à 70 \$/tma. Enfin, il est crucial que le CVB soit bien intégré dans le tissu industriel régional, afin d'optimiser les distances de transport de la matière entre les preneurs, ainsi que de maximiser l'utilisation de la main-d'œuvre disponible.

Des actions et des mesures peuvent également contribuer à soutenir l'implantation de CVB. La définition même de la biomasse forestière devra éventuellement, selon la pertinence, inclure les essences sans preneurs et les bois non marchands. Il existe différents programmes applicables qu'il y aurait lieu de répertorier et de compléter avec des mesures spécifiques et applicables à l'approvisionnement (ex. : règles de récolte), au transport et au conditionnement de la biomasse afin de soutenir la filière. Malgré ces mesures, des actions particulières impliquant les partenaires de la chaîne de valeur seront nécessaires pour assurer des conditions favorables à l'implantation de centres de valorisation de la biomasse forestière. En ce sens, une forte synergie régionale facilitera l'intérêt d'un preneur de biomasse et le soutien des autres consommateurs de fibre.

À plus long terme, le prix de l'énergie et des produits issus de la transformation de la biomasse forestière de même que la croissance de la valeur des crédits carbone devraient favoriser la compétitivité et accentuer graduellement l'utilisation de la biomasse forestière.



Bruno Del Degan, ing.f., M. Sc.
Directeur de projet

Julia Trappe, ing.f., M. Sc
Chargée de projet

Dominic Tremblay, ing.f.,
Chargé de projet adjoint

ANNEXE 1

Liste des participants

Comité de pilotage

Jean-Pierre Bourque, Service du développement de l'industrie des produits forestiers (MRNF)
François Baril, Service du développement de l'industrie des produits forestiers (MRNF)
Ariel Bélanger, Direction de la gestion de l'approvisionnement en bois (MRNF)
Nicolas Laflamme, Bureau du développement de l'hydrogène vert et des bioénergies (MEIE)
Frank Müssenberger, Direction de l'expertise en réduction des émissions de gaz à effet de serre (MELCCFP)
Marta Trzcianowska, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers (MRNF)

Analystes DGAB et ressources de la Direction de la gestion des forêts dans les régions du MRNF

Paul Labbé, DGAB
Luc Lavallée, 01-DGFO
Lise Harrisson, 11-DGFO
Catherine Tardif, DGAB
Véronique Drolet, 04-DGFO
Luc Deslauriers, DGAB
Danielle Bourdonnais, 02-DGFO
Émilie Lapointe, 09-DGFO
François Audet, 14-15-07-DGFO
Nicolas Pouliot, 08-DGFO
Sébastien Leduc, 10-DGFO
Claude Fréchette, 10-DGFO

Ministère de l'économie et de l'énergie (MEIE)

Nicolas Laflamme
Philippe Thellen

Ressources naturelles Canada

Marzouk Benali, gestionnaire de projets – Recherche et développement en bioraffinage forestier et optimisation de procédés industriels

Entreprises, organisations, initiatives

Dino Mili, Greenleaf Power
Pierre Cormier, Produits forestiers Résolu inc.
Stéphane Nolet, Groupe Rémabec
Paul Busque, Association des propriétaires de boisés de Beauce
Simon Roy, Coopérative forestière de La Matapédia
Frédéric Tremblay, Tronco Site Vallières (Groupe Rémabec)