



**ÉTUDE DE L'IMPACT DES LIGNES DE TRANSPORT D'HYDROÉLECTRICITÉ
SUR LES STOCKS ET LA DYNAMIQUE DU CARBONE BIOGÉNIQUE
FORESTIER DANS LE TERRITOIRE QUÉBÉCOIS**

Par Ange OLAPO

**Mémoire présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi en vue de l'obtention du
grade de Maîtrise ès sciences (M. Sc.) en ressources renouvelables**

Québec, Canada

© Ange OLAPO 2026

RÉSUMÉ

Les émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO₂) imputables de la production d'électricité représentent une part importante des rejets globaux. Mais les émissions attribuables au secteur électrique n'ont pas connu de croissance, et ce, grâce à l'essor des énergies renouvelables. L'agence internationale de l'énergie fait savoir que les énergies renouvelables notamment le solaire, l'éolien et l'hydroélectricité ont permis d'éviter 2,2 milliards de tonnes de CO₂ en 2022. Et parmi ces énergies renouvelables l'hydroélectricité reste la plus primordial et la plus fiable. Bien que sa mise en œuvre nécessite un investissement initial important, sa longévité et ses faibles coûts d'exploitation et d'entretien en font une option énergétique particulièrement compétitive. Dans le cadre de sa stratégie de transition énergétique, axée sur le plan pour une économie verte d'ici 2030, le gouvernement du Québec vise donc à réduire sa dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles importés. Pour y parvenir, il mise sur une électrification accrue de l'économie provinciale. Cette approche impliquera notamment une expansion significative des capacités de production, de transport et de distribution au Québec et vers les régions voisines. L'hydroélectricité, bien qu'il s'agisse d'une source d'énergie renouvelable, est totalement inutile sans le réseau de lignes électriques qui en constitue le vecteur essentiel. Ces lignes sont les artères vitales qui acheminent l'énergie depuis les barrages souvent situés dans des zones reculées vers les centres de consommation tels que les villes et les industries. La présence de ces lignes de transport d'électricité dans les zones forestières explique l'accent particulier mis, dans cette étude, sur le carbone forestier au sein des corridors de lignes électriques. Il est donc tout à fait pertinent qu'une étude portant sur l'impact des emprises de lignes électriques sur les stocks et la dynamique de carbone de la biomasse forestière au Québec ait été menée. Dans un premier temps, les peuplements forestiers du Québec ont été classés en fonction de leurs caractéristiques écologiques et de leur composition en espèces ; ensuite, une modélisation a été réalisée à l'aide du modèle du bilan du carbone du secteur forestier canadien (CBMCFS3), suivant l'approche de niveau 3 du GIEC, pour l'ensemble des groupes de peuplements identifiés, afin d'évaluer la perte de puits de carbone forestier attribuable à ces peuplements. Les simulations ont permis la quantification de la perte de puits de carbone attribuable à la mise en place sur le milieu forestier de ces emprises de lignes électriques. Une observation minutieuse a donc été portée sur la dynamique du carbone dans les forêts impactées par la mise en place de ces emprises. Les résultats sont sans équivoque. Les emprises réduisent considérablement et ce pendant le long termes la quantité de carbone que peut séquestrer le couvert végétal, en particulier le couvert végétal mature. Les zones forestières présentant la plus forte densité d'arbres ont donc été identifiées comme les principales responsables des pertes de puits de carbone imputables à la mise en place des emprises de lignes électriques. Les résultats finaux ont montré que les infrastructures de transport d'électricité en milieu forestier ont entraîné la perte d'environ 4 millions de tonnes de carbone forestier depuis leur installation soit environ 60 tonnes de carbone perdues par hectare de surface forestière, principalement en raison de la déforestation. L'implantation des lignes électriques sur le milieu forestier implique d'abattre les arbres présents, donc cela induit la déforestation, par ricochet diminution de la quantité de végétation sur place, et si la végétation sur place diminue, le potentiel de séquestration de carbone forestier diminue également et donc les émissions de gaz à effet de serre (GES) augmentent. Cette étude aura permis de comprendre l'influence direct des infrastructures de transport électriques sur la capacité des forêts au Québec à être des puits de carbone. Cet aspect doit grandement être pris en compte dans les

politiques gouvernementales de gestion des forêts et de lutte contre le changement climatique.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
TABLE DES MATIÈRES	iv
DÉDICACE	viii
REMERCIEMENTS.....	ix
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION.....	1
1.1. MISE EN CONTEXTE AUTOUR DU CYCLE DE CARBONE	1
1.2. LA PROVINCE DE QUÉBEC ET SA PRODUCTION HYDROÉLECTRIQUE	3
1.3. DIFFÉRENTES APPROCHES D'ESTIMATIONS DES ÉMISSIONS DE GES ...	5
1.4. MÉTHODE D'ESTIMATION DES STOCKS DE CARBONE BIOGÉNIQUE FORESTIER.....	7
1.4.1. MÉTHODES D'ESTIMATION DES STOCKS DE CARBONE	7
1.4.2. INVENTAIRES NATIONAUX	11
1.4.3. MODÈLES DE SIMULATION.....	11
1.5. PROBLÉMATIQUE.....	13
1.6. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	14
CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES	16
2.1. SITE D'ÉTUDE ET DONNÉES	16
2.1.1. SITE D'ÉTUDE	16
2.1.2. DONNÉES	18
2.2. MÉTHODOLOGIE	20
2.2.1. TRAITEMENT DES DONNÉES	20
2.2.2. MODÉLISATION DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE	26
2.2.3. ESTIMATION DES PERTES PAR ESPÈCE D'ARBRE ET PAR ZONE TOUCHÉE.....	28
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS	31
3.1. COURBES DE SÉQUESTRATION DU CARBONE POUR LES GROUPES D'ESPÈCES FORESTIÈRES	31
3.3. IDENTIFICATION DES PEUPELEMENTS LES PLUS TOUCHÉS	43
CHAPITRE 4 : DISCUSSION.....	45
4.1. COMPARAISON AVEC D'AUTRES RÉGIONS OU DES ÉTUDES SIMILAIRES 45	
4.2. ANALYSE CRITIQUE DES RÉSULTATS : FORCES ET LIMITES DES MÉTHODES UTILISÉES.....	47
CHAPITRE 5 : CONCLUSION	49
LISTE DE REFERENCES.....	50

ANNEXES.....	54
ANNEXE 1 : TABLEAU DES RENDEMENTS EN BOIS POUR DIVERS PEUPLEMENTS FORESTIERS PRODUCTIFS.....	55
ANNEXE 2 : POSTES DE TRANSMISSION D'ÉLECTRICITÉ ET LIGNES ÉLECTRIQUES DANS LE SUD DE LA PROVINCE DE QUÉBEC.....	63
ANNEXE 3 : LISTE DES PARCELLES D'ORIGINE À REGROUPER, AVEC LEURS SUPERFICIES.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1 : Répartition par IQS des différents groupes d'essences considérés.	23
Tableau2 : Groupes d'essences, superficie et densité des peuplements forestiers traversés par des couloirs de lignes électriques.	29
Tableau 4 Pertes de carbone des peuplements forestiers affectés par le LTE	42

LISTE DES FIGURES

Figure1 Localisation du site d'étude par rapport à la limite territoriale des forêts attribuables (ligne bleue). Les lignes électriques sont représentées par des lignes vertes.	18
Figure 2 : Superficie totale occupée par les groupes d'essences étudiés, classés selon la densité des arbres. La superficie représente l'étendue des essences forestières. EO = érable rouge, ER = érable à sucre, BB = bouleau blanc, BJ = bouleau jaune, PE = peuplier, FO = frêne noir, et FX-FT = peuplements de feuillus tolérants à l'ombre tels que le chêne et le hêtre, EE = épinette noire ou rouge, PB = pin blanc, SB = sapin baumier, SE = sapinière à épinette noire ou rouge, ML = mélèze, PU = pruche du Canada, TO = thuya occidental, RX = essences résineuses indéterminées.	22
Figure 3 Répartition par superficie des différents types de terres non forestières situées sous les lignes électriques.	25
Figure 4 Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour les peuplements à faible densité dans le scénario de projet (déforestation). L'année 0 correspond à l'année au cours de laquelle l'emprise de la ligne a été défrichée. Les acronymes figurant dans la légende désignent : BBJ : bouleau blanc et jaune ; EPB : épicéa blanc ; EE : épinette noire ou rouge ; MLZ : mélèze laricin ; PE : peuplier ; PG : pin gris ; TO : thuya occidentale ; SB : sapin baumier ; SE : Sapinière à Épinette.	32
Figure5 Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour des peuplements de densité moyenne.	34
Figure 6 . Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour les peuplements à haute densité.	36
Figure 7 Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour l'ensemble des peuplements, toutes densités confondues ou densité non spécifié. Les acronymes indiqués dans la légende désignent ER : Érable Rouge, ES : Érable à Sucre, FT : Feuillus Tolérants, PR : Pin Rouge, FO : Frêne noire, PU : Pruche du Canada, RX : Résineux indéterminés, PB : Pin Blanc.	39

DÉDICACE

À

MA MÈRE

KOMENAN AYA VIRGINIE

MON PÈRE

OLAPO BERNARD

À TOUTES MES SŒURS

OLAPO JÉMIMA

OLAPO VICTOIRE

MES CHERS ET BIEN-AIMÉS AMIS

ELISABETH SONGUÉ MAMA

HADJA HABY BAH

MA FILLE ADOPTIVE

AMI DIOP

En témoignage de mon amour profond, je vous dédie le fruit de mon travail, inspiré par cette pensée :

**Tout travail procure l'abondance, mais les paroles en l'air ne mènent qu'à la disette.
Proverbes 14:23**

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est l'aboutissement d'un travail n'aurait pu voir le jour sans l'aide et la collaboration d'une multitude de personnes et d'organismes que je tiens ici à remercier. C'est avant tout à DIEU que j'adresse mes premiers remerciements. Lui qui au quotidien m'a donné la force, la capacité, l'énergie nécessaire afin de mener à bien ce travail et a mis au-devant de moi des personnes de valeur pour me soutenir, me conseiller et m'orienter. Je voudrais très sincèrement remercier mon Directeur de recherche, le Professeur **Jean-François BOUCHER**, Directeur des programmes d'études de cycle supérieurs en Éco-conseil au département des sciences fondamentales à l'Université du Québec à Chicoutimi, pour sa remarquable contribution, ainsi que son dévouement exceptionnel tout au long de ces travaux de recherche sous sa direction. Votre engagement inébranlable votre passion pour la recherche et votre persévérance ont été une source d'inspiration pour moi et pour l'ensemble de l'équipe. Je suis également reconnaissant à la Professeure **Annie LÉVASSEUR**, ma co-directrice de recherche, Professeure-chercheure au département de génie de la construction de l'École de Technologie Supérieure (ETS) Montréal, pour son apport sans faille à l'équipe de recherche. J'accorde une reconnaissance particulière à la professeure **Évelyne THIFFAULT**, Professeure agrégée en sols forestiers au département des sciences du bois et de la forêt à l'Université Laval et Directrice scientifique de la forêt Montmorency, forêt d'enseignement et de recherche de l'Université Laval, qui est l'instigatrice de ce projet de recherche. Je tiens à souligner la qualité exceptionnelle de ses publications scientifiques. Ses articles ont été reconnu par la communauté scientifique et ont suscité un réel intérêt dans notre domaine. Un merci particulier au Professeur **Adoubi Vincent de Paul ADOMBI**, Professeur au département des sciences appliquées à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), mon ami personnel et très particulier qui n'a jamais ménagé d'effort pour m'accompagner dans l'aboutissement de ce projet. Je remercie également Monsieur **Réal BEAURÉGARD** et Monsieur **Pascal TREMBLAY** respectivement carothécaire et professionnel de recherche pour leur soutien inconditionnel notamment dans la compréhension et l'utilisation des différents logiciels de cartographie et de modélisation. Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à **HYDRO-QUEBEC** en collaboration avec le **CIRODD** et le **CRSNG** pour le généreux financement que vous nous avez accordé pour nos travaux de recherche. Grand merci à **Élisabeth Songué MAMA**, étudiante au baccalauréat en science infirmière l'UQAC pour sa force et son soutien inconditionnel tout le long de la rédaction de ce mémoire. Votre soutien financier fut d'une importance capitale pour la réalisation de notre projet et nous vous en sommes extrêmement reconnaissants. Grâce à vos investissements dans ce projet, nous avons pu progresser significativement dans cette étude et repousser les limites de la connaissance dans ce domaine. Nous sommes également conscients que votre soutien ne se limite pas qu'à une simple contribution financière. Votre engagement envers notre projet témoigne de votre confiance en nos capacités et de votre reconnaissance de l'importance de notre travail. Cela nous encourage à persévérer dans nos efforts et à travailler avec acharnement pour atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

L'objectif principal de cette étude est de quantifier la perte de stocks de carbone biogénique forestier attribuable à l'implantation des emprises de lignes électriques en milieu forestier.

Pour atteindre cet objectif, l'étude visera plus précisément à :

- Donner un bref aperçu de la province de Québec, notamment de sa végétation et des lignes de transport d'électricité qui la traversent ;
- Exposer la méthodologie utilisée dans cette étude ;
- Présenter les résultats obtenus ;
- Discuter de ces résultats ;
- Tirer les conclusions de notre étude.

1.1. MISE EN CONTEXTE AUTOUR DU CYCLE DE CARBONE

Le carbone biogénique forestier désigne le carbone stocké dans les forêts et leurs sols. Il provient de la biomasse vivante (arbres, plantes) formée par captation du CO₂ de l'atmosphère par le biais de la photosynthèse, ainsi que de la décomposition de la matière organique morte issue de la biomasse (Fahey *et al.* 2010) . Ce carbone, qui s'inscrit dans le cycle naturel du carbone entre l'atmosphère, la biosphère et les océans, joue un rôle essentiel dans la régulation du climat en piégeant et en stockant le (CO₂) présent dans l'atmosphère (Canadell et Raupach 2008; Nunes *et al.* 2020).

Le CO₂ est un gaz à effet de serre clé qui joue un rôle central dans le changement climatique (Crowley et Berner 2001). Le cycle du carbone est un processus naturel clé pour l'équilibre de la planète. Il dépend en grande partie des forêts. Celles-ci absorbent le CO₂

de l'air grâce à la photosynthèse. Elles en libèrent une partie par la respiration des plantes et la décomposition de la matière organique. Cependant, les actions humaines dérangent fortement cet équilibre. Et si cet équilibre n'est pas maintenu, l'augmentation de l'effet de serre peut être amplifié provoquant donc le changement climatique. Si la déforestation est complète et que le reboisement ne suit pas, la capacité des forêts à être des puits de carbone pourrait être permanemment affecté et le changement climatique pourra s'aggraver. Cependant, si la déforestation s'accompagne d'un reboisement, la capacité des forêts à séquestrer du carbone pourrait redevenir importante atténuant ainsi le changement climatique. Une bonne gestion du carbone biogénique améliore également la qualité des sols et préserve les ressources en eau, qui sont cruciales pour les communautés humaines et la santé des écosystèmes (Lal 2005). La gestion de la séquestration et du stockage du carbone biogénique forestier est donc essentielle pour soutenir les efforts mondiaux visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, le changement d'affectation des sols qui englobe des pratiques telles que la déforestation, l'agriculture intensive et l'urbanisation contribue au rejet de carbone biogénique dans l'atmosphère. Lorsque les forêts sont converties en terre pour l'agriculture ou pour l'urbanisme, la quantité de carbone auparavant stocké dans leur compartiment notamment (la biomasse vivante aérienne, la litière, le bois mort.) est libérée dans l'atmosphère sous forme de CO₂. Cette conversion n'entraîne pas seulement la perte immédiate de puits de carbone dans l'atmosphère, mais elle compromet également la capacité qu'a la forêt à stocker le carbone sur le long terme, donc de remplir sa fonction de puits de carbone dans la mesure où les terres agricoles et les zones urbaines n'ont pas les mêmes aptitudes et capacités de séquestration de carbone que les forêts (Le Quéré *et al.* 2018). Par ailleurs, les changements d'affectation des terres modifient la dynamique du carbone en bouleversant la composition et la structure des écosystèmes. Par exemple, Searchinger *et al.* (2018) ont étudié l'impact du changement

d'affectation des terres pour la production de biocarburant. Leur conclusion a été que ces différents changements diminuent la quantité de carbone forestier et affectent également la structure de tout l'écosystème forestier

Lewis *et al.* (2019) soulignent également cette préoccupation. Ils mettent en avant l'importance de restaurer les forêts naturelles pour séquestrer le carbone. La déforestation et le changement d'affectation des terres affectent également le microclimat et le cycle de l'eau, ce qui peut entraver la croissance des plantes et la capacité des écosystèmes à stocker le carbone (Lawrence et Vandecar (2015). Pan *et al.* (2011) ont également démontré ce phénomène dans leur étude, qui a évalué le rôle des forêts du monde y compris les forêts boréales dans le cycle global du carbone, en se concentrant sur les stocks et les flux de carbone. Dans leur étude, ils ont identifié la forêt boréale comme un puits de carbone important, mais menacé par les activités humaines (exploitation forestière). L'étude a souligné que la gestion durable des forêts boréales est essentielle pour préserver leur rôle de puits de carbone.

1.2. LA PROVINCE DE QUÉBEC ET SA PRODUCTION HYDROÉLECTRIQUE

L'hydroélectricité est l'une des principales sources d'énergie renouvelable à l'échelle mondiale ; elle représente 16 % de la production mondiale d'électricité et environ 2,5 % de la consommation totale d'énergie primaire (y compris les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et les autres sources d'énergie renouvelables)(Papon 2026) . Dans la province de Québec, au Canada, la production hydroélectrique dépassera les 200 térawattheures (TWh) en 2025, ce qui représentera 97 % de la production totale d'électricité de la province(Pineau et Whitmore 2025) .Bien que cette source d'énergie soit généralement considérée comme peu émettrice de carbone par rapport aux combustibles fossiles tels que

le pétrole, le gaz naturel ou le charbon(Krey *et al.* 2014) , la création et la gestion des emprises de lignes électriques, ainsi que la construction de réservoirs, constituent néanmoins une source d'émissions de gaz à effet de serre (GES). En effet, la création de ces emprises entraîne un changement de l'utilisation des sols qui ressemble à un déboisement. Cette interaction entre les infrastructures énergétiques et les écosystèmes forestiers souligne la nécessité d'adopter une approche complète pour évaluer l'impact. des lignes de transport d'électricité sur les émissions de gaz à effet de serre au Québec.

Dans cette optique, Levasseur *et al.* (2021) ont amélioré le calcul de l'empreinte carbone de l'électricité distribuée dans toute la province. Pour ce faire, La méthode nouvelle basée sur l'outil G-RES a été utilisée, ce qui a permis d'estimer les émissions provenant des réservoirs hydroélectriques. Ces données ont ensuite été ajoutées aux résultats de l'analyse du cycle de vie. Cela a permis d'évaluer l'impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie de la filière électrique québécoise partant de l'extraction des ressources jusqu'à la gestion de fin de vie des équipements.

. Cet article ne s'est pas contenté de rendre compte des émissions, mais a également révolutionné la manière dont elles sont calculées. Bien que cette étude tienne compte des émissions biogéniques provenant des réservoirs ainsi que des émissions associées au transport de l'électricité vers les consommateurs, elle ne prend pas en compte l'impact de la déforestation causée par la construction des lignes de transport sur les écosystèmes forestiers, d'où la pertinence de notre étude. Il est essentiel de produire des estimations précises de la perte de puits de carbone. En effet, les estimations actuelles des émissions de GES, telles que calculées dans le Rapport d'inventaire national (RIN) du Canada, soumis à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques sont basées sur l'approche dite de niveau 3 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (De Klein *et al.* 2006).

1.3. DIFFÉRENTES APPROCHES D'ESTIMATIONS DES ÉMISSIONS DE GES

Les lignes directrices du GIEC hiérarchisent le calcul des inventaires de GES suivant trois niveaux de complexité : les niveaux 1, 2 et 3. Ces lignes offrent à chaque pays la capacité de choisir le niveau qui lui conviendrait le mieux selon ses ressources disponibles tout en sachant que le niveau 1 constitue l'approche par défaut et le niveau 3, l'approche plus sophistiquée. Cette hiérarchisation par niveau peut être transposée dans le contexte de la quantification des émissions de GES imputable à l'implantation des lignes de transport d'électricité. Dans ce cas, la déforestation sous les lignes est une source d'émission que l'on peut quantifier avec ces différents niveaux de précision méthodologique selon les recommandations du GIEC. Le niveau 1, ou approche par défaut, utilise des facteurs d'émissions génériques et des données approximatives sur la superficie. Il est appliqué par la suite un facteur d'émission moyen par hectare, provenant de bases de données nationales ou internationales. Ce facteur représente la quantité moyenne de carbone stockée dans les biomasses vivantes aériennes et souterraines de la forêt. Le calcul est simple : la superficie en hectare multipliée par le facteur d'émission exprimé en tonne d'équivalent CO₂ par hectare (t CO₂e/ha). Bien que cette approche soit rapide et peu coûteuse, elle présente une incertitude considérable. Elle ne tient pas compte de la variabilité locale de la densité du couvert forestier.

Le niveau 2, ou approche intermédiaire, est un peu plus évolué que la méthode précédente. Elle utilise un facteur d'émission plus régional au lieu de facteur d'émissions générique comme dans le niveau 1. La superficie peut se mesurer de façon plus précise à l'aide de la photo-interprétation ou en traitant les images satellitaires. Les facteurs d'émissions proviennent d'études locales ou de directives forestières nationale. Le niveau 2

reproduit donc de façon plus juste les différents puits de carbone de la zone concernée, ce qui permet de réduire de beaucoup l'incertitude lié à cette méthode.

Le niveau 3 quant à lui est plus précis, mais exige plus de données. Il repose sur la mesure directe ou la modélisation détaillée des stocks de carbone avant et après la déforestation. Cela implique de réaliser des inventaires forestiers sur site le long des corridors avant le début des travaux d'échantillonnage pour mesurer le diamètre et la hauteur des espèces d'arbres présentes. L'après biomasse (brûlage sur place, décomposition ou utilisation comme bois) est aussi considéré pour estimer les émissions. Cette approche, plus robuste, permet de mieux prendre en compte la variabilité des peuplements forestiers. Elle demeure toutefois plus coûteuse et exige des efforts importants en matière d'acquisition, de traitement et d'analyse des données. Ainsi, le choix du niveau méthodologique repose principalement sur un compromis entre les ressources disponibles et le degré de précision requis par l'étude. Lorsque les données et les moyens le permettent, l'application du niveau 3 contribue à réduire significativement les incertitudes associées à l'inventaire des stocks de carbone. Elle permet ainsi d'obtenir des estimations plus fiables et plus crédibles, notamment dans le cadre des rapports internationaux liés aux engagements de l'Accord de Paris. Cette approche donne également aux décideurs une image précise des endroits, des moments et des modalités pour produire des émissions et faire des simulations plus fiables.

L'approche de niveau 3, plus détaillée et plus précise, pourrait donc être recommandée dans le cadre de ces travaux, car elle considère que la conversion des forêts en lignes électriques peut être estimée en convertissant une partie des stocks de carbone forestiers en émissions instantanées CO₂ et en transférant le reste du carbone de la biomasse vivante des forêts vers la matière organique morte, dont la décomposition est ensuite simulée. Cette approche, qui tient compte des aspects dynamiques et temporels

dans l'estimation des émissions de GES, est celle utilisée par le Canada pour déclarer ses émissions. Cependant, la principale lacune de l'approche utilisée par le Canada réside dans le fait que la perte de puits de carbone n'est pas considérée, ce qui pourrait conduire à une sous-estimation des émissions de GES dans les évaluations ; d'où le caractère innovant de notre étude, qui aborde directement les puits de carbone perdu.

1.4. MÉTHODE D'ESTIMATION DES STOCKS DE CARBONE BIOGÉNIQUE FORESTIER

Plusieurs méthodes ont été mises au point pour estimer les stocks de carbone biogénique dans les forêts. D'une part, il existe des modèles conventionnels, notamment des méthodes de mesure directe, des modèles allométriques(Chave *et al.* 2014) , des méthodes de télédétection(Lister *et al.* 2020) , des modèles de bilan carbone (Nandal *et al.* 2023), et des modèles d'inventaire nationaux(Friedlingstein *et al.* 2020) ; et, d'autre part, des modèles de simulation.

1.4.1. MÉTHODES D'ESTIMATION DES STOCKS DE CARBONE

Méthodes de mesure directe

Les méthodes de mesure directe consistent à mesurer le carbone directement dans la biomasse végétale et le sol en prélevant des échantillons, puis en les pesant et en les soumettant à une analyse chimique. Elles offrent un haut degré de précision, ainsi que des données spécifiques à chaque site, comme l'illustrent notamment les travaux de Houghton sur les flux nets de carbone résultant des changements d'affectation des sols dans les régions tropicales (Houghton 1999). Cependant, ces méthodes sont coûteuses et chronophages(Kauffman et Donato 2012) . Les sites de mesure sont souvent difficiles d'accès dans les régions reculées ou à forte biodiversité. Cela peut limiter la capacité à collecter des données dans certains écosystèmes(Sayer *et al.* 2013) .

Méthodes allométriques

Les modèles allométriques s'appuient sur des relations statistiques entre les dimensions des arbres, telles que le diamètre à hauteur de poitrine ou la hauteur, et leur biomasse pour estimer les stocks de carbone. Des travaux majeurs menés par Lambert *et al.* (2005) se sont concentrés sur l'élaboration d'équations allométriques spécifiques aux essences forestières canadiennes, dans le but d'améliorer les estimations des stocks de carbone contenus dans la biomasse vivante aérienne. L'objectif principal de cette étude était de mettre au point des méthodes fiables et scientifiquement validées pour estimer la biomasse sèche des différents composants de l'arbre notamment le tronc, les branches et le feuillage à partir de mesures simples telles que le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale. Ces équations ont été dérivées de données empiriques recueillies dans diverses régions écologiques du Canada et couvrent une trentaine d'essences, comprenant à la fois des feuillus et des conifères. L'une des principales conclusions de l'étude est que l'utilisation d'équations spécifiques à chaque espèce offre un très haut degré de précision. Les méthodes allométriques constituent donc des outils essentiels et efficaces pour estimer la biomasse aérienne, mais l'estimation précise de la biomasse souterraine (racines) reste un défi scientifique majeur (Freschet *et al.* 2021). Freschet *et al.* (2021) soulignent dans cette étude que seules 5 à 10 % des équations allométriques publiées sont calibrées à l'aide de mesures directes et exhaustives des racines. Les méthodes qui sont utilisées pour l'extraction racinaire fines les sous-estiment parfois, pourtant ces racines fines sont précieuses dans les échanges de carbone et peuvent présenter des structures fortement variables au sein d'une même espèce de l'ordre de 300%. Ce degré élevé de variation dépend principalement des conditions locales telles que le type de sol, la quantité d'eau disponible ou la teneur en nutriments. Or, les modèles standard, qui reposent uniquement sur le diamètre de la tige, ne tiennent pas compte de ces paramètres environnementaux.

De plus, Lambert et ses collègues proposent d'utiliser un facteur de conversion standard, fixé à environ 0,5, pour convertir la biomasse sèche en teneur en carbone, ce qui est conforme aux normes internationales actuelles. Leurs travaux ont joué un rôle important dans l'harmonisation des méthodes de calcul de la biomasse forestière au Canada. Aujourd'hui, ces méthodes font autorité et servent de base aux inventaires forestiers nationaux, aux bilans carbone et à l'élaboration de politiques de gestion visant à relever les défis liés au climat.

Les méthodes allométriques sont plus simples à appliquer et moins coûteuses que les mesures directes. En utilisant des relations mathématiques pour estimer la biomasse, ces méthodes présentent l'avantage d'éviter les mesures nécessitant un équipement complexe (Chave *et al.* 2005) . De plus, les travaux de Brown *et al.* (1989) soulignent qu'elles nécessitent généralement moins de temps sur le terrain, réduisant ainsi les coûts de main-d'œuvre et d'équipement, mais peuvent introduire des biais lorsque ces modèles sont appliqués à d'autres régions présentant des conditions écologiques différentes. Par ailleurs, les modèles allométriques nécessitent des mesures fiables de la hauteur, du diamètre et de la forme des arbres. Or, dans les forêts denses ou difficiles d'accès, la collecte de ces données n'est pas toujours aisée. Chave *et al.* (2005) ont souligné que la moindre imprécision dans ces mesures risquait de fausser les calculs de carbone.

Méthodes de télédétection

Les méthodes de télédétection, qu'elles reposent sur l'imagerie satellitaire ou sur des capteurs aéroportés, permettent d'estimer les stocks de carbone à l'aide d'indices de la végétation. Elles donnent de bons résultats pour la biomasse aérienne, mais peinent à évaluer la composante souterraine, qui peut pourtant représenter une part importante du carbone total, comme l'ont souligné (Dvorakova *et al.* 2020) . Une autre difficulté réside dans le fait que la résolution spatiale n'est pas toujours suffisamment fine pour saisir les

variations locales, en particulier dans les peuplements hétérogènes. (Saatchi *et al.* 2011) l'avaient déjà souligné. Par conséquent, les estimations peuvent être trop élevées ou trop faibles, selon les circonstances. Une étude plus récente, celle de Oehmcke *et al.* (2022) , a clairement démontré comment un simple changement de résolution peut modifier radicalement les chiffres relatifs à la biomasse, et par conséquent ceux relatifs au carbone.

Méthodes de bilan de carbone

Le bilan de carbone en foresterie repose sur différentes méthodes permettant d'évaluer la quantité de carbone stockée, séquestrée ou émise par les écosystèmes forestiers. Ces approches peuvent s'appuyer sur des inventaires forestiers, des mesures de biomasse et de croissance des peuplements, ainsi que sur des modèles de simulation permettant de suivre l'évolution des stocks de carbone au cours du temps. Les modèles de bilan carbone, tels que le **CBM-CFS3**, intègrent notamment la dynamique des peuplements, la mortalité, les récoltes, les perturbations et la décomposition de la matière organique afin d'estimer les variations des stocks de carbone.

Méthodes de changement de stocks

La méthode du changement de stock constitue une approche couramment utilisée pour évaluer les variations des stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers. Elle consiste à comparer les quantités de carbone présentes dans les différents compartiments forestiers à deux périodes données afin de déterminer l'évolution nette du stock au cours du temps. Les principaux réservoirs considérés comprennent généralement la biomasse aérienne et souterraine, le bois mort, la litière et le carbone organique du sol. La variation du stock peut ainsi être exprimée comme un gain ou une perte de carbone, permettant notamment d'évaluer la capacité d'un peuplement à agir comme puits ou comme source de carbone. Cette méthode peut être appliquée à différentes échelles spatiales et temporelles

et constitue une approche particulièrement pertinente pour l'évaluation des effets des perturbations, des changements d'utilisation des terres et des pratiques d'aménagement forestier.

1.4.2. INVENTAIRES NATIONAUX

Les inventaires nationaux permettent de collecter et d'analyser les données sur les forêts d'un pays. Leur objectif est de déterminer où se trouvent les forêts, leur composition, leur biomasse et le carbone qu'elles stockent, ainsi que leurs aspects socio-économiques. Ces inventaires sont réalisés régulièrement, mais le GIEC a noté que de nombreux pays ne disposent pas de données de niveau 3 précises pour quantifier leurs émissions dans tous les secteurs(Eggleston *et al.* 2006) . Et ce n'est pas un détail mineur, car la réalité de la séquestration du carbone est bien plus complexe et variable qu'on ne le suppose souvent(Woodbury *et al.* 2006).

1.4.3. MODÈLES DE SIMULATION

Les méthodes de simulation en foresterie permettent de représenter et de prévoir l'évolution des peuplements forestiers et de leurs stocks de carbone sur une période donnée. Elles reposent sur des modèles mathématiques et informatiques qui intègrent différentes variables, telles que la croissance des arbres, la mortalité, la régénération, la composition des peuplements et les perturbations naturelles ou anthropiques. Ces outils permettent ainsi d'examiner différents scénarios d'évolution forestière et d'évaluer leurs conséquences sur la dynamique des stocks de carbone. Cependant, ils sont plus complexes, nécessitent, plus de données et de puissance de calcul. Ils doivent toujours être calibrés et validés par rapport à des observations réelles ; sinon, leurs prévisions restent hypothétiques. Enfin, les modèles de dynamique du carbone, tels que CBM-CFS3, qui

suivent les échanges de carbone entre la biomasse vivante, la litière, le bois mort et l'atmosphère, et permettent, par exemple, de quantifier le puits de carbone d'une forêt gérée. CBM-CFS3 est un modèle basé sur des processus dynamiques qui répartit les flux et les stocks de carbone entre les différents réservoirs mentionnés ci-dessus. Des études ont validé ce modèle par rapport à des mesures empiriques de terrain, confirmant son efficacité et sa précision dans la prévision de la séquestration du carbone dans les forêts tempérées, boréales ou tropicales (Bernier *et al.* 2010) . Il est donc tout à fait approprié d'utiliser ce modèle dans le cadre de nos travaux.

LE CBMCFS3

Le CBMCFS3 ou MBC-SFC3 en français est le Modèle de Bilan Carbone du Secteur Forestier Canadien dans sa 3e version. C'est outil de modélisation très performant pour ce qui est de simuler la dynamique du carbone dans les écosystèmes forestiers notamment les paysage et les peuplements tout en servant à aider les professionnel de la foresterie à améliorer la précision dans leurs estimations des puits de carbone forestiers et leurs fluctuations dans le temps et ce, pour différents secteurs d'activités. L'utilité du CBMCFS3 se manifeste à travers sa double capacité à étudier les changements passés dans les stocks de carbone à partir de données historiques sur les perturbations naturelles ou les aménagements sylvicoles, tout en permettant de prévoir les évolutions futures en fonction des scénarios d'intervention et des aléas à venir, ce qui en fait un instrument prédictif d'une grande valeur pour anticiper les besoins et adapter les pratiques, d'autant que son mode opératoire est strictement conforme aux exigences du Système national de surveillance, de comptabilisation et de production de rapport du Canada (SNSCPR), utilisé pour produire les rapports officiels remis dans le cadre de la CCNUCC et pour préparer les déclarations requises par le Protocole de Kyoto, garantissant ainsi une reconnaissance institutionnelle et une fiabilité reconnue au niveau international. Parmi les forces majeures du CBMCFS3,

il est à souligner qu'il s'agit d'un cadre de modélisation complet capable de simuler la dynamique de l'ensemble des stocks de carbone forestier exigés en vertu du défunt protocole de Kyoto, à savoir la biomasse aérienne, la biomasse souterraine, la litière, le bois mort et le carbone organique du sol, ce qui offre une couverture exhaustive des réservoirs carbonés, et ce modèle s'aligne en outre parfaitement sur les méthodes d'estimation du carbone recommandées par le GIEC dans son rapport intitulé "Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie", renforçant ainsi sa légitimité scientifique et sa comparabilité à l'échelle mondiale. Cependant, pour ce qui est des capacités et limites du CBMCF3, il convient de retenir que le modèle attribue un stock de carbone neutre à la végétation de sous-bois, incluant les éricacées et les mousses, ce qui constitue une simplification méthodologique qui peut se justifier leur faible biomasse à l'échelle du peuplement, pourtant cette végétation doit être prise en compte dans les écosystème ou elle est abondante. cette limite ne remet pas en question la robustesse globale du modèle qui demeure un outil de référence pour ce qui est de comptabiliser le carbone dans le secteur forestier canadien.

1.5. PROBLÉMATIQUE

Les estimations actuelles de l'empreinte carbone de l'hydroélectricité, telles que calculées dans le Rapport d'inventaire national (RIN) du Canada soumis à la CCNUCC, reposent certes sur l'approche de niveau 3 du GIEC, mais ne tiennent pas compte de la perte de puits de carbone forestiers. Or, la manière dont le carbone est stocké et se décompose varie considérablement en fonction de la composition de la végétation. En ne tenant pas compte de la perte de puits de carbone, les orientations du GIEC concernant l'évaluation de l'impact carbone des corridors de lignes électriques les classent dans la même catégorie que les routes et les zones urbaines. Cette approche du GIEC, telle qu'elle est utilisée dans

l'inventaire canadien des GES soumis à la Convention-cadre des Nations unies, ne reflète pas fidèlement la réalité écologique, car une certaine proportion de biomasse subsiste sous forme de matière organique morte et dans le sol minéral après le déboisement visant à établir les emprises de lignes électriques (Janisch et Harmon 2002). L'approche de niveau 3 du GIEC peut donc être améliorée afin de mieux représenter les impacts de l'utilisation des sols, tels que les emprises de lignes électriques, en tenant compte du carbone piégé dans la matière organique et minérale du sol. Cette nouvelle approche améliorée sera mise en œuvre dans le cadre de la présente étude, et une modélisation basée sur le modèle CBM-CFS3 sera réalisée. Ce modèle permet de répartir le carbone libéré, d'une part, entre les émissions instantanées CO₂, et d'autre part, le carbone séquestré dans la biomasse, qui est converti en matière organique morte susceptible de se décomposer progressivement (ECCC 2024). Ce modèle offre donc une bien meilleure représentation de la dynamique du carbone et permet d'émettre l'hypothèse que les méthodes utilisées jusqu'à présent au Québec surestiment les émissions de GES associées au changement d'affectation des terres pour les lignes de transport d'électricité.

1.6. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Cette étude vise à améliorer la précision de l'évaluation des stocks de carbone forestier d'origine biogénique au sein des emprises de lignes électriques en utilisant des peuplements forestiers spécifiques ayant subi des perturbations et en tenant compte de l'aspect dynamique du stockage du carbone, qui fait défaut dans l'approche de l'inventaire canadien des GES.

À cette fin, le modèle CBM-CFS3 sera appliqué à des régions du sud du Québec traversées par des lignes de transport d'électricité. Pour atteindre cet objectif principal, les sous-objectifs suivants seront poursuivis.

- Cartographier les forêts du Québec en identifiant les zones traversées par des lignes électriques, en tenant compte de la composition des peuplements forestiers adjacents aux emprises.
- Regrouper les espèces forestières en catégories représentatives, de manière à réduire le nombre de groupes tout en couvrant l'ensemble du couvert forestier du sud du Québec.
- Générer des courbes de séquestration du carbone pour chaque groupe d'essences identifié.
- Évaluer la perte de puits de carbone associée à chaque groupe d'essences forestières en lien avec la mise en place d'emprises de lignes électriques

CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. SITE D'ÉTUDE ET DONNÉES

2.1.1. SITE D'ÉTUDE

Les travaux menés dans le cadre de cette étude portent exclusivement sur les peuplements forestiers, à l'exclusion des autres types d'habitats (zones humides, terres agricoles, etc.). La zone d'étude, d'une superficie d'environ 1,668 million de km², est située entre les latitudes 45° et 51° N et les longitudes 60° et 80° O, et englobe la partie sud de la province canadienne du Québec (Figure1). Environ 8 % de cette région est constitué de lacs et de cours d'eau, tandis qu'un couvert forestier dense, s'étendant sur quelque 905.000 km² recouvre près de 54 % du territoire. (AFSQ 2024) .

Les lignes électriques prises en compte dans cette étude sont celles situées en deçà de la limite territoriale des forêts « attribuables » (voir annexe 2), car la vaste zone forestière du nord du Québec n'est pas couverte par le programme d'inventaire écoforestier du Québec, qui recense les forêts publiques et privées du sud du Québec depuis 1970(Gouvernement du Québec 2025) . La limite des « forêts attribuables » ou la limite nord des forêts exploitables est en réalité une ligne tracée sur une carte pour délimiter deux mondes distincts. Au sud, l'exploitation forestière est autorisée et réglementée. Au nord, en revanche, elle est soit très limitée, soit tout simplement interdite, principalement parce que les conditions économiques ne rendent pas l'exploitation rentable. Dans l'ouest du Québec, cette ligne suit approximativement le 49e parallèle, non loin de la baie James. Elle se dirige ensuite vers le nord-est, mais son tracé n'est pas déterminé au hasard : il tient compte de la nature de l'environnement, des écosystèmes et des décisions administratives locales. En bref, il s'agit d'une limite à la fois géographique et pratique, séparant ce qui est géré comme

une forêt productive de ce qui s'apparente davantage à un environnement nordique moins accessible.

Selon les données d'Hydro-Québec, le réseau de transport d'électricité comprend environ 34 000 km de lignes électriques. Les lignes prises en compte dans cette étude représentent la grande majorité du réseau de transport (plus de 90 %, soit 30 600 km). Elles sont situées au sud de la limite des forêts exploitables, car le nord du Québec (Nunavik, Grand Nord) est peu peuplé et alimenté par des réseaux locaux (diesel ou micro-hydroélectricité). Les lignes de transport d'électricité modifient l'affectation des terres et créent des corridors de végétation où la végétation est régulièrement entretenue afin de la maintenir à une faible hauteur et de permettre l'accès aux infrastructures (Bricault 2017). . Ces corridors abritent une végétation composée de plantes herbacées, d'arbustes et de petits arbres qui bénéficient de l'ensoleillement, mais ils réduisent également le potentiel de séquestration du carbone des zones forestières.



Figure1 Localisation du site d'étude par rapport à la limite territoriale des forêts attribuables (ligne bleue). Les lignes électriques sont représentées par des lignes vertes.

2.1.2. DONNÉES

Les données utilisées dans cette étude ont été fournies par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts dans le cadre du cinquième inventaire écoforestier du sud du Québec. Il s'agit de données géospatiales répertoriant les essences présentes dans la zone d'étude. Le tracé des lignes de transport d'électricité nous a été fourni par Hydro-Québec. Les étapes nécessaires à la consolidation et à la classification de ces données écoforestières, afin de faciliter leur traitement et leur utilisation future, seront décrites dans la méthodologie.

2.1.2.1. DONNÉES FORESTIÈRES

Dix-huit groupes d'essences ont été identifiés aux fins de cette étude. Ces dix-huit groupes d'essences ont été identifiés à l'aide de la base de données répertoriant les lignes de transport d'électricité. Cette base de données a été analysée, puis superposée à la carte écoforestière du Québec à l'aide du logiciel ARCGIS, ce qui nous a permis d'identifier tous les peuplements forestiers situés à proximité des lignes électriques. Nous avons ensuite regroupé ces peuplements afin de ne retenir que les peuplements dominants. De cette manière, nous avons pu distinguer dix-huit grands groupes d'essences présents au sein de ces emprises, qui serviront de base à notre modélisation. Ils se composent principalement de peuplements de feuillus comprenant des espèces telles que l'érable rouge (EO), l'érable à sucre (ER), le bouleau blanc (BB), le bouleau jaune (BJ), le peuplier (PE), le frêne noir (FO) et des peuplements de feuillus tolérants à l'ombre (FX-FT) comme le chêne et le hêtre, ainsi que de peuplements de conifères comprenant l'épinette noire ou rouge (EE), le pin blanc (PB), le sapin baumier (SB), de sapinière à épinette noire ou rouge (SE), le mélèze (ML), la pruche (PU) et le thuya occidental (TO), ainsi que d'essences résineuses indéterminées (RX). L'évaluation des essences forestières s'est effectuée en se basant sur les données du cinquième Inventaire écoforestier du Sud-Québec, souvent désigné par son sigle IEQM, il fournit l'information non seulement sur les types de peuplement et leur âge, mais aussi sur leur répartition spatiale, sans oublier les caractéristiques climatiques et édaphiques qui influencent leur développement.(Benoit *et al.* 2024) .

2.1.2.2. DONNÉES SUR LES EMPRISES

Les données sur les emprises des lignes électriques viennent surtout d'Hydro-Québec qui est la société d'État qui s'occupe de la gestion et de l'entretien du réseau électrique de la province. Les données incluent des informations géospatiales sur

l'emplacement exact de ces lignes électriques, la largeur des emprises et les infrastructures liées.

2.2. MÉTHODOLOGIE

2.2.1. TRAITEMENT DES DONNÉES

Dans la cartographie forestière du le sud du Québec, les lignes de transport d'électricité et les peuplements forestiers sont tous deux représentés par des polygones. Par conséquent, les polygones se trouvent à l'intérieur de l'infrastructure électrique. Compte tenu de l'étendue considérable du réseau de transport dans le sud de la province (30 600 km de lignes), la modélisation complète de ce système a nécessité plusieurs milliers de polygones, 12 363 pour être précis correspondant aux peuplements forestiers. Le fichier initial contenant les lignes électriques a été superposé à la carte écoforestière du Québec à l'aide d'ArcGIS. Une zone tampon de 100 mètres, correspondant à la zone d'influence de la ligne de transport d'électricité, a ensuite été créée autour de ces emprises. Les peuplements forestiers ont été délimités en fonction de cette zone tampon afin de réduire le volume de données requis, en ne conservant ainsi que les peuplements situés dans un couloir de 100 mètres de part et d'autre des lignes électriques. La zone tampon a été délimitée en ligne droite dans ArcGIS afin d'éviter tout chevauchement. Au cours de ce processus de délimitation, les superficies des différents peuplements forestiers ont été automatiquement recalculées par le logiciel. La création de regroupements s'est donc avérée indispensable, d'une part parce que bon nombre de ces peuplements sont très similaires sur le plan écologique, et d'autre part parce qu'il était nécessaire de limiter le nombre de simulations requises afin de rendre la méthodologie réalisable. La liste des peuplements d'origine, ainsi que leurs superficies avant regroupement, est présentée à l'annexe 3.

La méthodologie utilisée a donc consisté à regrouper et à classer les essences productives présentes en deçà de la limite territoriale des forêts attribuables. Pour ce faire, plusieurs critères ont été appliqués. Le premier critère était la similitude des essences. Cela signifie que les forêts comportant des essences similaires ont été regroupées. Cette similitude est importante car certaines essences partagent des exigences écologiques communes, telles que le type de sol et les conditions climatiques, qui favorisent une coexistence harmonieuse (Gauthier et Vaillancourt 2008). Il convient de noter que seules les terres affectées à des fins forestières ont été prises en compte dans cette étude ; les terres affectées à des fins non forestières ont été exclues.

Pour chaque groupe identifié, le nom de l'espèce d'arbre dominante lui a été attribué en tant que classe, sur la base de la classification utilisée dans l'inventaire écoforestier. Le glossaire écoforestier, joint sous forme de fichier Excel à la dernière page de ce mémoire, permet de mieux comprendre ces éléments. À titre exemple, les codes BB1G et BBBG y sont décrits comme suit : « Bouleaux blancs et feuillus d'essences intolérantes avec épinettes blanches (dominance feuillue) » et « Bétulaie à bouleaux blancs avec épinettes blanches (dominance feuillue) ». L'essence « bouleau blanc » a simplement été associée à ces codes.

Dix-huit classes d'essences forestières ont ainsi été établies (Figure 2). Il s'agit de terrains à vocation forestière, comprenant des peuplements de feuillus, notamment l'érable rouge (EO), l'érable à sucre (ER), le bouleau blanc (BB), le bouleau jaune (BJ), le peuplier (PE), le frêne noir (FO), ainsi que des peuplements de feuillus tolérants à l'ombre (FX-FT) tels que le chêne et le hêtre. On trouve également dans la zone d'étude des peuplements de conifères constitués d'épinette noire ou rouge (EE), le pin blanc (PB), le sapin baumier (SB), de sapinière à épinette noire ou rouge (SE), de mélèze (ML), la pruche (PU) et de thuya occidental (TO), ainsi que des espèces de conifères indéterminés (RX). Enfin, on trouve

également des peuplements mixtes, c'est-à-dire une combinaison de peuplements de feuillus et de conifères. La figure 2 illustre ce phénomène.

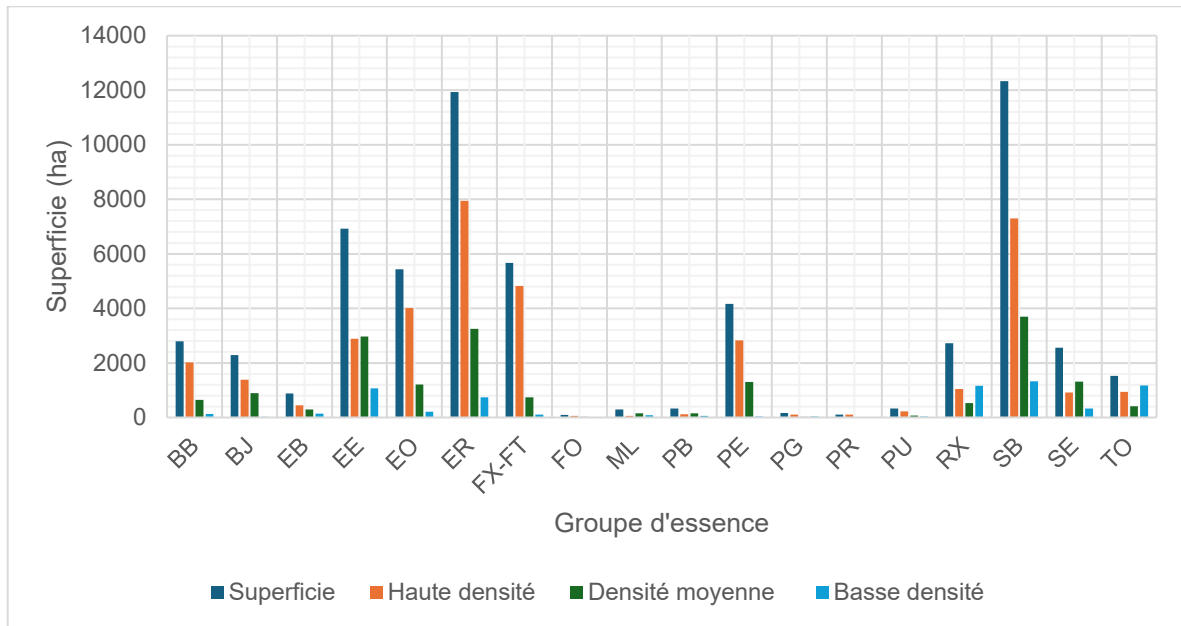


Figure 2 : Superficie totale occupée par les groupes d'essences étudiés, classés selon la densité des arbres. La superficie représente l'étendue des essences forestières. EO = érable rouge, ER = érable à sucre, BB = bouleau blanc, BJ = bouleau jaune, PE = peuplier, FO = frêne noir, et FX-FT = peuplements de feuillus tolérants à l'ombre tels que le chêne et le hêtre, EE = épinette noire ou rouge, PB = pin blanc, SB = sapin baumier, SE = sapinière à épinette noire ou rouge, ML = mélèze, PU = pruche du Canada, TO = thuya occidental, RX = essences résineuses indéterminées.

Au total, 10 groupes de peuplement répartis en densité faible, moyenne et élevée, et à 8 groupes de peuplement de toutes densités confondues ont été identifiés. Cependant, les peuplements de bouleau blanc et de bouleau jaune présentant les mêmes tables de rendement, ont donc été regroupés à des fins de modélisation, ce qui a réduit le nombre de groupes de peuplements à 17. La superficie et la densité sont des paramètres importants de la modélisation avec le modèle CBM-CFS3 en sylviculture. Ils aident le modèle à simuler

la dynamique des écosystèmes forestiers, permettent l'analyse des bilans de carbone. Ces paramètres exercent une influence décisive sur le rendement en bois et constituent, à ce titre, les principales données d'entrée de la modélisation. Un autre paramètre essentiel dans la modélisation avec CBM-CFS3 est l'indice de qualité du site, connu sous le nom d'IQS (Benoit *et al.* 2024). En sylviculture, l'IQS est une mesure utilisée pour évaluer le potentiel de productivité d'un site forestier en fonction de conditions écologiques telles que le climat, le sol et la topographie (Benoit *et al.* 2024). Il sert à prédire la croissance et le rendement des arbres dans une zone donnée, généralement sur la base de la hauteur dominante (hauteur moyenne des arbres les plus grands) d'une espèce à un âge de référence (souvent 50 ans). Plus l'IQS est élevé, plus les conditions du site sont favorables à la croissance des arbres. Dans le cadre de cette étude, la moyenne des indices de qualité de station pour chaque peuplement forestier a été pris en compte afin d'estimer les pertes de puits de carbone de la manière la plus cohérente possible (**tableau 1**). Il était ensuite essentiel de quantifier le carbone stocké dans ces écosystèmes forestiers.

Tableau1 : Répartition par IQS des différents groupes d'essences considérés.

Groupe d'essences forestières	Indice de qualité du site utilisé
Bouleau blanc et bouleau jaune	17
Épinette blanche	14
Épinette noire ou rouge	15
Érable rouge	19
Érable à sucre	15
feuillus tolérants	13
Mélèze	12
Peuplier faux-tremble	20
Pin gris	14

Pin rouge	16
Pin blanc	12
Thuya occidental	12
Sapin baumier	15
Frêne noire	13
Pruche du Canada	14
Résineux indéterminés	13
Sapinières à épinettes	14

Le tableau 1 présente les différents IQS pris en compte dans la modélisation réalisée à l'aide du modèle CBMCFS3. Les valeurs des IQS sont fournies dans les tables de rendement ligneux des différents peuplements forestiers, lesquelles figurent en annexe 1 du présent mémoire.

On constate également sur **la figure 2** (ci-dessus) que certains groupes d'essences, tels que « ER » et « SB », dominent en termes de superficie, avec des valeurs dépassant 12 000 hectares pour « SB » et avoisinant les 10 000 hectares pour « ER ». La répartition de la densité au sein de chaque groupe présente des variations significatives : les groupes « ER » et « SB » présentent des proportions élevées de forte densité, mais sont également très présents dans les zones de densité moyenne et faible, en particulier pour le groupe « SB ».

Bien que ces zones soient destinées à la sylviculture, on note également (Figure 3) la présence, à proximité des lignes électriques, de terrains agricoles (A), de terrains agricole à vocation forestière (AF), de milieux perturbés par l'activité humaine (ANT), de dépotoirs (DEF), de terrains dénudés humides (DH) et secs (DS), d'étendues d'eau (EAU), de

gravières (GR), d'îles (ILE), des sites inondés ou exondés non régénérés (INO), des routes et des autoroutes (RO), ainsi que des parties déboisées d'une villégiature (VIL), d'aulnaies (AL) qui constituent des écosystèmes forestiers où l'aulne (*Alnus glutinosa*) est l'espèce dominante. Les aulnaies poussent sur des sols humides, voire gorgés d'eau, pendant une grande partie de l'année. On les trouve généralement le long des berges, dans les plaines inondables ou au cœur de zones marécageuses. Cependant, ces habitats ne sont pas classés comme des terres propices à la sylviculture. En classant ces différents types d'habitats, les diverses communautés végétales établies autour des couloirs de lignes électriques ont été identifiées et décrites. Et cela est significatif : chacune de ces communautés végétales possède son propre mode de séquestration du carbone, avec des capacités qui varient considérablement en fonction de l'habitat.

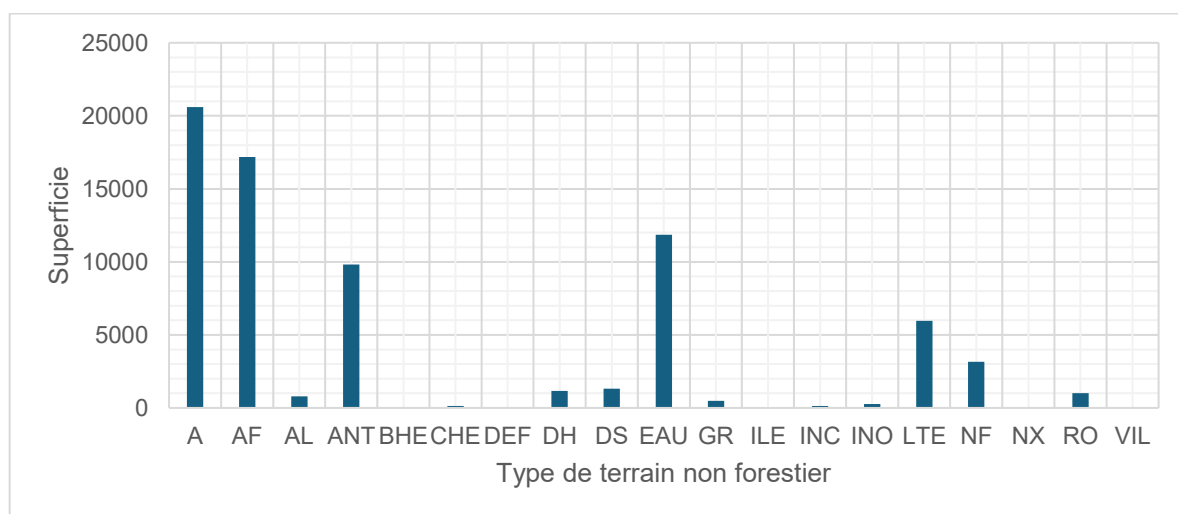


Figure 3 Répartition par superficie des différents types de terres non forestières situées sous les lignes électriques.

La figure montre la superficie couverte par les différents types de terres non forestières dans les corridors de lignes électriques. Les terrains agricoles (A) et agricoles à vocation forestières (AF) ont des proportions importantes, dépassant respectivement 20 000 et 15 000 hectares. Les catégories « AL », « EAU » et « NF » ont également des superficies

considérables avec des valeurs moins élevées mais importantes par rapport aux autres catégories. Et enfin plusieurs types de terrains comme « CHE », « DH », « DS », « INC » et « VIL », ont des superficies relativement faibles, proches de zéro. Cela signifie qu'ils ne représentent qu'une part minime de la superficie totale des terres non forestières. Le total combiné, incluant les peuplements forestiers productifs et les terres à usage non forestier, couvre une superficie de 147 494,4 ha. Cela comprend 62 010,8 ha de terres forestières productives et 85 483,6 ha de terres à usage non forestier.

2.2.2. MODÉLISATION DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE

La méthodologie utilisée pour analyser la séquestration et la perte de puits de carbone a consisté à réaliser des simulations à l'aide du modèle CBMCFS3 sur les différents peuplements forestiers traversés par ces emprises, afin d'évaluer la perte de puits de carbone dynamique imputable à la mise en place des emprises de lignes électriques sur le milieu forestier. Cette méthodologie a été réalisée suivant plusieurs étapes importantes, notamment la collecte de données d'entrée sur les types de peuplements forestiers présents au Québec, leurs caractéristiques écologiques et les essences dominantes, ainsi que la simulation de scénarios d'utilisation des terres. Il était ensuite essentiel de quantifier le carbone dans ces écosystèmes forestiers.

C'est précisément ce travail de quantification qui a été rendu possible par le modèle CBM-CFS3, lequel a également servi à simuler l'évolution des flux de carbone au fil du temps. Sur cette base, plusieurs scénarios d'aménagement du territoire ont été testés afin d'évaluer dans quelle mesure les corridors de lignes électriques affectent les puits de carbone forestier. À cette fin, deux scénarios ont été observés : d'une part, un scénario de référence dans lequel aucune emprise n'est aménagée et où la forêt est laissée à son évolution naturelle ; d'autre part, un scénario impliquant des lignes électriques, dans lequel le couvert forestier a été défriché sur toute la largeur des corridors. Le scénario de référence

a donc été modélisé comme une croissance normale des peuplements, ceux-ci étant laissés à leur développement spontané sans aucune perturbation supplémentaire ; en d'autres termes, l'évolution naturelle de la forêt basée sur des paramètres tels que la croissance, la mortalité naturelle et les perturbations naturelles (incendies, insectes, etc.). En revanche, dans le scénario du projet, la déforestation donc le changement d'affectation des terres a été intégré dans la modélisation. Seuls les courbes de croissance du scénario de projet (déforestation provoquée par la mise en place des emprises) ont été présentés dans l'étude car dans une étude d'aménagement forestier visant à évaluer l'impact d'un scénario de projet, il peut être pertinent de présenter principalement les courbes de séquestration issues du scénario de projet simulé avec le CBM-CFS3, notamment lorsque celui-ci intègre les perturbations ou changements d'affectation des terres tels que la déforestation. En effet, le scénario de référence représente généralement une situation contrefactuelle dans laquelle les peuplements sont supposés poursuivre leur développement selon leur état et leur dynamique naturels, sans intervention ou perturbation liée au projet. Ces courbes servent surtout à établir la ligne de base permettant de quantifier les différences entre l'évolution attendue sans projet et celle résultant du projet. Elles ne constituent donc pas nécessairement un résultat d'aménagement en elles-mêmes. L'objectif de l'étude étant de caractériser la dynamique de carbone sous le scénario de projet, la présentation des courbes correspondantes paraît suffisante dans la section consacrée aux résultats. Cette approche permet d'éviter de surcharger la présentation avec des trajectoires qui ne correspondent pas directement à l'évolution projetée de la forêt. Toutefois, du point de vue méthodologique, le scénario de référence n'est pas complètement omis de l'étude, même si ses courbes ne sont pas présentées dans le corps principal des résultats, sa description, ses hypothèses sont bien documentées dans le cadre de l'étude.

Dans le modèle CBM-CFS3, le changement d'affectation des terres n'est pas considéré comme une déforestation totale et définitive. En effet, la création et l'entretien des emprises de lignes électriques sont traités comme une déforestation partielle et récurrente. La forêt est maintenue à un stade de régénération grâce à des coupes récurrentes effectuées à intervalles réguliers (par exemple, tous les 5, 10 ou 15 ans) dans le modèle. La quantification de la perte des puits de carbone a donc été réalisée à l'aide du modèle CBM-CFS3, en observant le scénario de référence c'est-à-dire la forêt se développant sans perturbation et le scénario de gestion de l'emprise, ce qui a révélé une perte de puits de carbone et des émissions récurrentes dues à la décomposition ses débris de coupe sur la période comprise entre l'année d'implantation des lignes et 2024, correspondant à l'horizon temporel retenu pour cette étude (voir annexe 3, section durée moyenne d'impact de la LTE). C'est cette succession de phases notamment une perte soudaine suivie d'une reprise lente qui se reflète dans les courbes de séquestration du carbone (qui seront abordées plus loin dans la méthodologie), caractérisées par une baisse suivie d'une remontée au fil du temps. Pour évaluer les impacts à long terme de ces coupes à blanc sur le stockage du carbone, il était donc essentiel d'analyser les résultats de la simulation sur plusieurs décennies ; en effet, sur une courte période par exemple quelques années après la coupe on pourrait observer une repousse et une séquestration de carbone qui donneraient l'impression de minimiser l'impact. Cependant, en élargissant la période pour inclure plusieurs cycles d'abattage, l'effet cumulatif et permanent devient clair. Dans la simulation, l'année zéro, notée t_0 , est le moment où tout commence.

2.2.3. ESTIMATION DES PERTES PAR ESPÈCE D'ARBRE ET PAR ZONE TOUCHÉE.

L'estimation de la perte des puits de carbone forestiers a donc été réalisée, dans un premier temps, en caractérisant les peuplements forestiers traversés par les corridors de

lignes électriques ; c'est-à-dire en fournissant les différentes données écoforestières associées à ces peuplements, notamment leur âge, leur superficie, leur densité et l'IQS dans laquelle ils poussent. Ensuite, il était essentiel de quantifier le carbone stocké dans ces écosystèmes forestiers ; cela a été réalisé à l'aide du modèle de prévision CBMCFS3, qui a utilisé des tables de rendement forestier pour chaque peuplement.

Erreur ! Source du renvoi introuvable. présente sous forme tabulaire la figure 2, qui montrait l'ensemble des peuplements forestiers de la zone d'étude traversés par des couloirs de lignes électriques. Ce tableau donne un aperçu de l'étendue considérable des forêts affectées par ces corridors, ainsi que de leurs superficies et densités respectives. Cela nous permettra d'améliorer la précision de nos estimations des émissions de CO₂ biogénique. Les peuplements les plus touchés en termes de superficie restent le sapin baumier et l'érable à sucre, qui représentent ensemble près de 25 000 ha de forêt affectée, toutes catégories de densité confondues.

Tableau2 : Groupes d'essences, superficie et densité des peuplements forestiers traversés par des couloirs de lignes électriques.

Groupes d'essences forestières	Superficie en hectares	Densité		
		Élevée	Moyenne	Faible
Bouleau blanc (BB)	2 787,3	2 018,8	643,3	125,2
Bouleau jaune (BJ)	2 287,2	1 379,1	886,1	21,98
Épinette blanche (EPB)	874,2	443,3	296	134,9
Épinette noire ou rouge (EE)	6 926,6	2 886,6	2 968,6	1 071,5
Érable rouge (EO)	5 429,4	4 014,9	1 205,7	208,8
Érable à sucre (ES)	11 927,3	7 938,7	3 253,1	735,5
Feuillus tolérants (FT)	5 668	4 822	742	104
Frêne noire (FO)	94,4	53,5	26,5	14,4

Mélèze laricin (ML)	294,8	55	154,4	85,4
Pin blanc (PB)	328,4	120,5	150,3	57,6
Peuplier (PE)	4 170,3	2 826,9	1 303,3	40,1
Pin gris (PG)	161,8	102,4	22	37,4
Pin rouge (PR)	110,7	103,3	4,4	3
Pruche du Canada (PU)	329,8	219,9	72,5	37,4
Résineux indéterminés (RX)	2 722,1	1 041,5	522,17	1 158,43
Sapin baumier (SB)	14 701,75	7 302,4	3 699,5	3 699,85
Sapinière à épinette (SE)	2 555,4	915,7	1 308,8	330,9
Thuya occidental (TO)	2 520,3	939,6	412,1	1 168,6
Total	63 889,75	37 184,1	17 670,7	9 034,96

Les terrains à vocation non forestières comme les terrains agricoles, les aulnaies, les dénudés, les étendus d'eau, les routes...en dessous des lignes électriques s'étendent sur une superficie d'environ 85 000 hectares mais ceux-ci n'ont pas été considérés dans le cadre de ce présent travail.

Pour estimer les pertes totales de puits de carbone, chaque polygone correspondant à une emprise de ligne de transport s'est vu attribuer la perte partielle de puits de carbone correspondante, conformément à la modélisation réalisée à l'aide de l'outil CBM-CFS3 et à l'année d'établissement de l'emprise. Chacun de ces polygones a été associé à l'un des 18 groupes d'essences modélisés, puis la perte de puits de carbone a été calculée en fonction du temps écoulé depuis l'aménagement de l'emprise et de la portion spécifique de la courbe de séquestration qui lui est propre.

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS

3.1. COURBES DE SÉQUESTRATION DU CARBONE POUR LES GROUPES D'ESPÈCES FORESTIÈRES

Les figures 4 à 7 présentent les courbes de séquestration du carbone obtenues dans le cadre de cette étude pour les différents peuplements forestiers en fonction de leur densité. Les courbes de séquestration du carbone sont des modèles essentiels qui représentent l'accumulation de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire au fil du temps. Il convient de noter qu'au départ, les peuplements forestiers se sont développés de manière entièrement naturelle, à l'abri de toute perturbation externe. Les courbes de séquestration de carbone, qui correspondent aux espèces d'arbre ou aux types de peuplements, montrent une phase de croissance rapide au début, suivie d'un ralentissement. Pour des raisons de sécurité et de fiabilité du réseau, la réglementation exige une zone de dégagement permanente sous et autour des câbles. Ainsi, non seulement le stock initial est perdu lors du défrichement, mais la capacité future de séquestration du carbone est également fortement réduite tant que l'emprise est maintenue. Sont présentées ci-après les courbes de séquestration du carbone issues de la modélisation des peuplements forestiers au moyen du modèle CBM-CFS3, dans le cadre du scénario de projet, lequel correspond à la déforestation nécessitée par l'implantation des lignes de transport électrique.

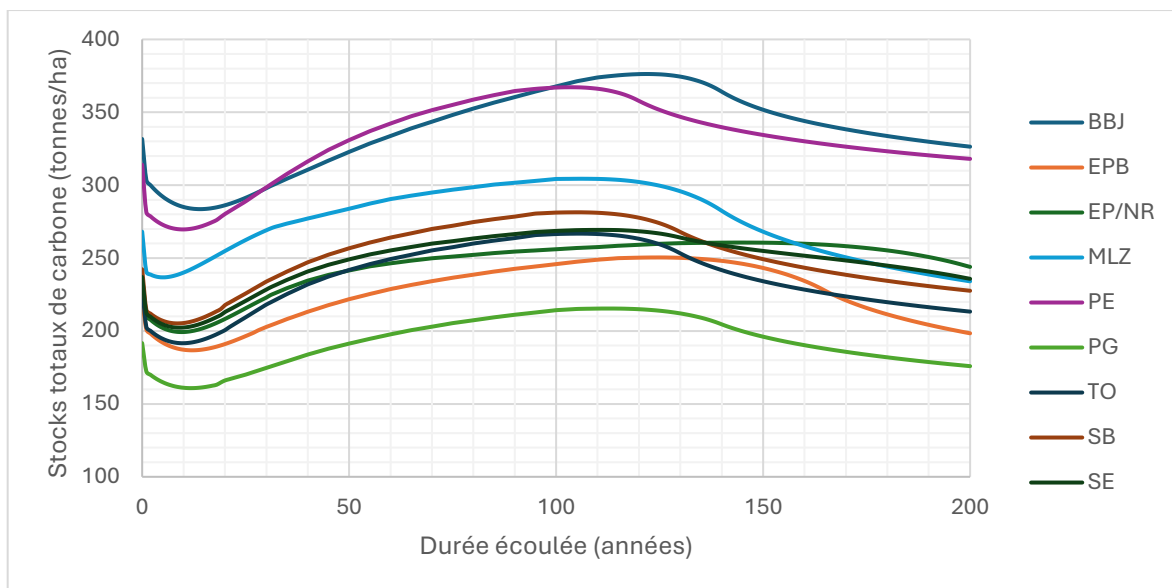


Figure 4 Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour les peuplements à faible densité dans le scénario de projet (déforestation). L'année 0 correspond à l'année au cours de laquelle l'emprise de la ligne a été défrichée. Les acronymes figurant dans la légende désignent : BBJ : bouleau blanc et jaune ; EPB : épicéa blanc ; EE : épinette noire ou rouge ; MLZ : mélèze laricin ; PE : peuplier ; PG : pin gris ; TO : thuya occidentale ; SB : sapin baumier ; SE : Sapinière à Épinette.

La figure 4 illustre l'évolution de la perte de puits de carbone pour les peuplements à faible densité, exprimée en tonnes par hectare, sur une période de 200 ans. On observe une tendance très nette, commune à toutes les courbes, qui peut être décomposée en trois phases principales : une baisse brutale et rapide du stock de carbone au cours des vingt à vingt-cinq premières années, provoquée par la coupe à blanc et la décomposition des résidus ligneux, qui libèrent d'énormes quantités de CO₂ dans l'atmosphère ; suivie d'une phase de rétablissement progressif, durant laquelle la forêt se régénère sur les terres défrichées, ce qui se traduit par une remontée des courbes et un pic de stockage de carbone

atteint entre 100 et 130 ans, marquant le moment où la biomasse accumulée est à son maximum ; et enfin, une phase de maturité et de léger déclin après 120 ans, lorsque la mortalité des vieux arbres et les processus de décomposition commencent à dépasser la croissance, entraînant une stagnation ou une baisse du puits de carbone.

Bien au-delà de ce schéma général, il existe cependant une variabilité notoire entre les types de peuplements notamment, les BBJ et PE qui ont des stocks initiaux de carbone élevés, environ 330 t par hectare. En revanche, Le peuplement PG a une courbe nettement plus basse. Son stock initial est de seulement 180 tonnes par hectare. Cela montre que sa capacité de séquestration du carbone est bien inférieure à celle des autres types de forêts. Quant au reste des peuplement en occurrence MLZ, EE, SE, SB, TO et EPB, ils se situent à la médiane Leur stock initial varie entre 200 et 300 tonnes. Après une perturbation, leur régénération maximale atteint généralement les 260 à 300 tonnes, ce qui est quand même un niveau qui reste inférieur ou juste égal à leur niveau initial. Cette représentation graphique permet donc de quantifier la perte de puits de carbone imputable à l'installation de ces lignes électriques, et il convient ici de distinguer deux échelles de temps. À court terme, l'effet est un choc immédiat : le déclin observé au cours des premières décennies correspond à une émission nette de carbone dans l'atmosphère, ce qui constitue une perte nette pour le bilan carbone de la région. À long terme, le système forestier se rétablit, mais l'enjeu principal réside dans l'écart par rapport à un scénario de référence dans lequel la forêt n'aurait jamais été perturbée ; en effet, si l'on considère l'ensemble de la période de 200 ans, la plupart des peuplements à l'exception notable de BBJ et PE ne parviennent pas à stocker, sur le site de la ligne électrique, plus de carbone qu'il n'y en avait à l'origine, ce qui signifie que la perte se traduit principalement par un déficit important, à savoir le fait que cette zone ne peut pas remplir son rôle de puits de carbone supplémentaire au même rythme qu'une forêt mature et non perturbée qui aurait continué à vieillir et à accumuler du

carbone tout au long de ces deux siècles. En fin de compte, cette modélisation réalisée à l'aide du modèle CBM-CFS3 démontre que la perturbation initiale est extrêmement grave et que le temps de rétablissement est très long, puisqu'il faut entre 100 et 150 ans pour que la forêt régénérée atteigne son pic de séquestration de carbone ; surtout, elle met en évidence l'importance cruciale de la nature du peuplement forestier affecté pour évaluer les pertes réelles et orienter d'éventuelles mesures de compensation écologique ou de crédits carbone. En effet, si une ligne électrique est installée à travers une forêt de type PG, la perte du puits de carbone est bien plus importante et durable que si elle traverse une forêt de type BBJ ou PE, ce qui souligne l'importance d'une planification tenant compte de la variabilité des essences et des capacités de stockage propres à chaque écosystème forestier au Québec.

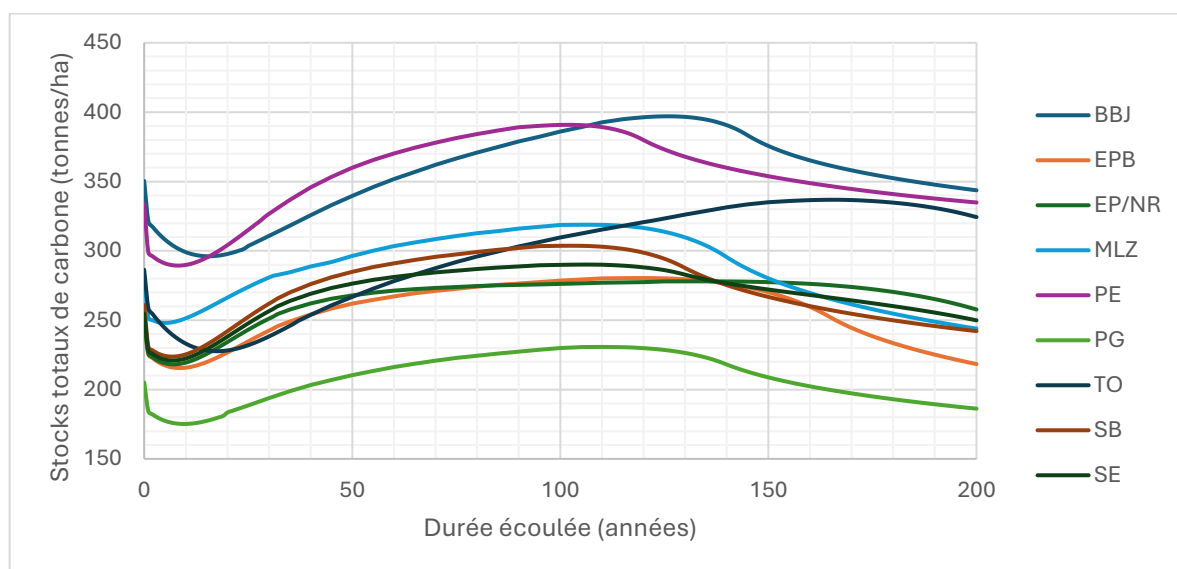


Figure5 Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour des peuplements de densité moyenne.

La figure 5, issue elle aussi du modèle CBM-CFS3 mais appliquée cette fois à des peuplements forestiers de densité moyenne, illustre la dynamique du carbone sur 200 ans qui suit le schéma temporel classique : une baisse initiale marquée causée par la coupe à blanc et la décomposition des débris, une phase de rétablissement progressif à mesure que la forêt repousse, puis une baisse ou une stabilisation liée à la maturité du peuplement ; toutefois, les amplitudes et les profils individuels sont beaucoup plus variés que sur le graphique précédent, car l'échelle verticale s'étend ici jusqu'à 450 tonnes par hectare. Les peuplements BBJ et PE se distinguent de manière spectaculaire, atteignant des stocks de carbone maximaux de plus de 400 tonnes par hectare à environ 130 et 110 ans respectivement, dépassant leurs stocks initiaux, qui étaient déjà très élevés (environ 380 et 390 tonnes), ce qui en fait de véritables puits de carbone à long terme malgré le choc initial, alors qu'en revanche, le peuplement PG confirme ses mauvaises performances en ne dépassant jamais un pic de 240 tonnes, avec une perte nette de près de 210 tonnes par rapport à son état initial, ce qui suggère une résilience moindre et une capacité de séquestration du carbone très limitée pour les terres reprises dans ce type de forêt. Une anomalie singulière est observée pour la courbe SB qui, après son déclin initial, entre dans un plateau quasi horizontal d'une durée d'une vingtaine d'années, entre 10 et 30 ans d'âge, avant de reprendre sa croissance vers un pic modeste à 120 ans ; ce plateau reflète soit une phase de régénération ralentie ou un changement de type de peuplement au sein de cette zone défrichée. Le reste du groupe, composé de MLZ, EPB, SE, EE, suit un schéma plus classique, avec des pics allant de 280 à 330 tonnes par hectare, toujours dans la fourchette de 100 à 120 ans, suivis d'un déclin progressif vers la fin de la période de deux siècles. Cependant, lorsque l'on compare ces tendances à l'objectif consistant à observer la perte de puits de carbone imputable à l'installation de lignes électriques, il apparaît clairement que la plupart de ces peuplements, même au sein de cette classe de densité moyenne, ne parviennent à retrouver leurs niveaux initiaux qu'au bout d'environ 150 ans

dans les cas les plus favorables (BBJ et PE), tandis que d'autres, tels que PG, SB ou même EPB, terminent la période de 200 ans avec un stock de carbone nettement inférieur à celui dont ils disposaient avant la perturbation, illustrant ainsi le caractère durable et profond de la perte de capacité de séquestration du carbone causée par les emprises de la lignes électriques ; il ne s'agit pas simplement d'une perte ponctuelle de biomasse, mais d'un décalage temporel majeur dans l'ensemble du processus de séquestration, l'absence de forêt mature pendant plusieurs décennies privant le système d'une capacité de stockage supplémentaire, et ce déficit ne peut être comblé que très tardivement, voire pas du tout, ce qui signifie que ces horizons temporels de plus d'un siècle et cette disparité significative entre les types de peuplements doivent être pris en compte dans toute évaluation environnementale ou stratégie de compensation carbone pour les projets d'infrastructures de transport d'électricité dans les zones forestières du Québec.

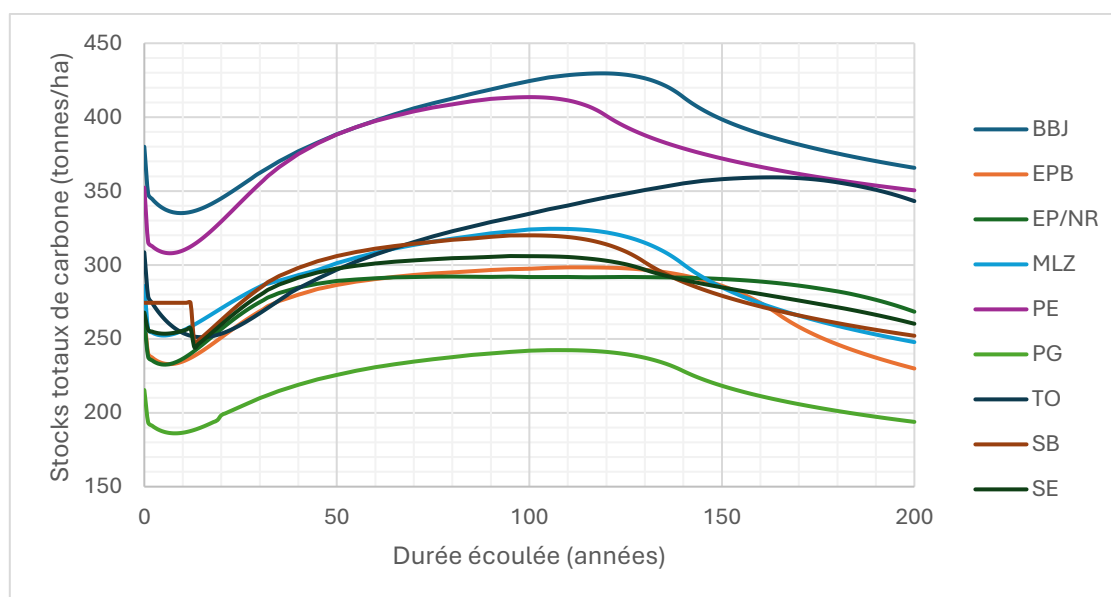


Figure 6 . Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour les peuplements à haute densité.

La figure 6 présente les résultats de la modélisation CBM-CFS3 pour les peuplements forestiers à haute densité. Ce scénario se distingue nettement du précédent en ce qu'il présente des niveaux de carbone initialement plus élevés ainsi que des taux de séquestration du carbone plus importants, atteignant des pics supérieurs à 430 tonnes par hectare pour certains types de forêts. L'observation la plus frappante concerne les peuplements de type BBJ et PE qui, malgré la perturbation initiale, dépassent de loin leur stock initial, atteignant des pics respectifs d'environ 430 et 415 tonnes par hectare vers 120 et 110 ans, ce qui signifie que pour ces espèces à haute densité, le système parvient non seulement à compenser la perte initiale, mais génère également un gain net de carbone à la fin des deux cents ans, une tendance plutôt positive qui, cependant, contraste fortement avec celle du peuplement PG, dont la courbe reste la plus basse de toutes, avec un pic dépassant à peine 240 tonnes par hectare avant de retomber à environ 200 tonnes à l'année 200, ce qui reflète une très faible capacité de récupération et un déficit persistant par rapport à son état initial. Une autre caractéristique notable est le comportement du peuplement TO, qui présente une progression extrêmement lente mais particulièrement soutenue, puisqu'il n'atteint son maximum d'environ 360 tonnes par hectare qu'aux alentours de 145 à 150 ans et se maintient à ce niveau élevé jusqu'à la fin de la période de modélisation, ce qui en fait un puits de carbone particulièrement précieux à très long terme pour les zones forestières. Les autres peuplements, tels que MLZ, EE, SE et SB, présentent des trajectoires intermédiaires avec des pics oscillant entre 290 et 320 tonnes par hectare sur une période de 100 à 120 ans, avant de décliner plus ou moins fortement, tandis que le peuplement EPB, après un pic modeste d'environ 300 tonnes, connaît un déclin plus marqué que ses homologues, terminant la période à seulement 230 tonnes par hectare bien en deçà de son stock initial. Lorsque l'on replace ces tendances dans le contexte de la perte de puits de carbone imputable à l'installation de lignes électriques, il apparaît clairement que, même pour les forêts initialement très denses et riches en carbone, la perturbation initiale entraîne

une perte instantanée majeure qui met plus d'un siècle à être compensée pour les espèces les plus résistantes et qui n'est jamais entièrement compensée pour les plus fragiles ; ce phénomène doit toutefois être interprété avant tout en le comparant à une forêt non perturbée qui, au bout de deux cents ans aurait théoriquement accumulé un stock de carbone bien supérieur à son pic actuel et aurait continué à agir comme un puits de carbone supplémentaire. Or, dans ce scénario à haute densité, l'emprise, même lorsqu'elle est recolonisée par une forêt de type BBJ ou PE, ne parvient à retrouver et à dépasser son niveau initial qu'après un décalage de plus de cent ans ; pendant cette période, le « déficit » par rapport à une forêt ancienne, mature et non perturbée représente une perte significative de séquestration de carbone pour le bilan carbone régional. Cela est d'autant plus vrai que la majorité des peuplements (PG, EPB, MLZ, SB, SE et EP/NR) voient leur stock s'éroder après avoir atteint leur pic, terminant la période de 200 ans avec un solde net négatif par rapport à leurs réserves initiales. En conclusion, cette modélisation démontre clairement que, même sur des sites à forte densité et potentiellement très productifs, la planification de grands projets d'infrastructures électriques ne peut se passer d'une analyse détaillée des types de peuplements concernés, car les pertes de puits de carbone sont extrêmement hétérogènes, la régénération prend un temps extrêmement long, et la fenêtre de compensation écologique, sur les deux siècles modélisés, ne permet qu'à une minorité d'essences de retrouver ou de dépasser leur stock initial, ce qui souligne la nécessité d'intégrer ces trajectoires décennales et ces variations spécifiques dans les futurs bilans d'émissions et les mécanismes de crédits carbone associés à la gestion des terres forestières au Québec.

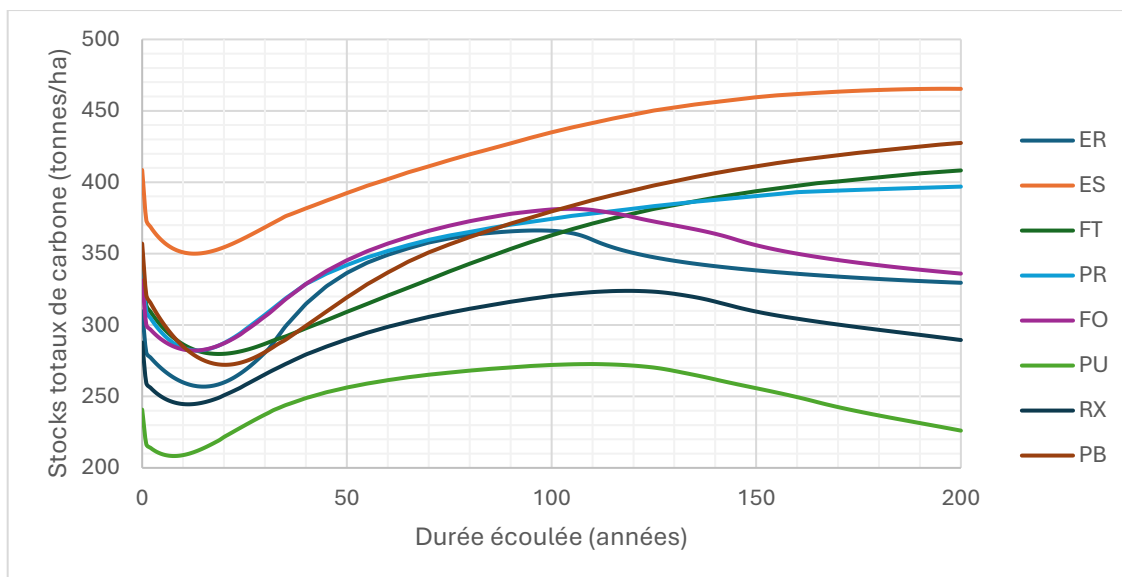


Figure 7 Évolution des stocks totaux de carbone au fil du temps, exprimés en tonnes par hectare, pour l'ensemble des peuplements, toutes densités confondues ou densité non spécifié. Les acronymes indiqués dans la légende désignent ER : Érable Rouge, ES : Érable à Sucre, FT : Feuillus Tolérants, PR : Pin Rouge, FO : Frêne noire, PU : Pruche du Canada, RX : Résineux indéterminés, PB : Pin Blanc.

La figure 7, concerne cette fois les peuplements forestiers de la zone d'étude dont les densités n'ont toutefois pas été spécifiée. Elle illustre une hétérogénéité encore plus grande dans la dynamique de la perte de puits de carbone que celle observée dans les simulations basées sur une densité spécifique ; car si le schéma en trois phases systématiquement induit par cette perturbation est bel et bien évident à savoir un déclin soudain et marqué au cours des deux premières décennies dû à la coupe à blanc et à la décomposition des résidus d'exploitation, suivi d'une phase de rétablissement progressif par régénération naturelle, puis enfin d'une phase de maturité caractérisée soit par un plateau, soit par un déclin plus ou moins prononcé , la fourchette des valeurs s'avère ici extrêmement variée, avec des écarts important entre les peuplements les plus performants et les moins performants. En effet, le peuplement ES (courbe orange) s'impose comme un acteur majeur de la

séquestration du carbone, puisqu'après une chute initiale sévère de 410 à 350 tonnes par hectare, il a progressé de manière quasi continue et régulière tout au long des 200 ans pour atteindre un stock final d'environ 465 tonnes par hectare, ce qui en fait le seul peuplement à afficher une séquestration nette de carbone en augmentation constante, sans phase de déclin due au vieillissement sur l'horizon temporel modélisé, tandis que le peuplement de pin blanc (courbe marron), après une baisse initiale encore plus marquée (de 360 à 270 tonnes), suit également une trajectoire ascendante très robuste et régulière, pour s'établir à environ 430 tonnes par hectare, dépassant ainsi largement son stock initial.

À l'inverse, le peuplement de PU, représenté par la courbe vert clair, présente une capacité de stockage du carbone plus faible, avec un stock initial d'environ 240 tonnes de carbone par hectare. Après une première diminution, le stock atteint près de 210 tonnes, avant de connaître une légère augmentation jusqu'à un maximum d'environ 270 tonnes vers 110 ans. Il diminue ensuite progressivement pour atteindre environ 230 tonnes à la fin de la période de simulation. Ainsi, malgré des fluctuations au cours du temps, le stock de carbone demeure relativement stable sur l'ensemble de la période, ce qui traduit une séquestration nette du carbone très faible, voire presque nulle. Les peuplements ER et RX, représentés respectivement par les courbes bleu foncé et bleu marine, figurent également parmi les moins performants en matière de stockage du carbone, avec des stocks initiaux d'environ 310 tonnes de carbone par hectare. Ils connaissent des creux à 250 tonnes et des pics qui se stabilisent entre 320 et 330 tonnes vers 110-120 ans, avant de diminuer pour retomber à environ 290 tonnes à 200 ans, ce qui est un résultat clairement négatif par rapport à leurs niveaux de départ. La principale différence entre cette analyse et les graphiques précédents, qui classaient les peuplements en fonction de leur densité, réside dans le fait que le regroupement sans distinction de densité révèle l'extrême diversité des réponses à une même perturbation : un peuplement de type ES, même touché par la déforestation, s'avère

être un puits de carbone exceptionnel et durable, tandis qu'un peuplement de type PU ou RX ne parvient jamais à compenser sa perte initiale; ce qui signifie que la perte de puits de carbone attribuable aux lignes électriques est non seulement un phénomène temporellement long, la récupération et le dépassement du stock initial prenant souvent plus d'un siècle, et uniquement pour les meilleurs types, mais qu'elle est également totalement dépendante de la nature et de la composition des peuplements traversés par l'emprise.. En termes de bilan carbone, il suffit d'observer les trajectoires pour constater que, pour la majorité des types de forêts (PU, ER, RX, FO, et même PR en fin de cycle de vie), le stock de carbone à 200 ans reste inférieur ou à peine égal à ce qu'il était au temps zéro, reflétant un déficit permanent et une incapacité à recréer le puits de carbone supplémentaire que cette forêt aurait constitué si elle n'avait pas été perturbée, d'où la nécessité pour les acteurs de la gestion forestière et de la compensation écologique de ne pas considérer ces zones comme des systèmes neutres en carbone à long terme, mais plutôt comme des zones où les stocks de carbone sont chroniquement appauvris et où seuls des choix de gestion très ciblés ou des mesures de reboisement spécifiques pourraient tenter de réduire ce déficit, en gardant à l'esprit que même les meilleures essences telles que l'ES, PB ou FT, qui génèrent à terme un gain net, ne reviennent à un niveau supérieur à leur état initial qu'après une période de 50 à 80 ans un délai pendant lequel le « puits de carbone » reste déficitaire par rapport à une forêt non exploitée.

3.2. SYNTHÈSE DES IMPACTS CUMULÉS

Erreur ! Source du renvoi introuvable. ci-dessous présente le bilan carbone pour chaque groupe d'essences, en fonction de la partie de la courbe de séquestration du carbone affectée par l'implantation des emprises de lignes électriques les traversant.

L'évaluation de la perte de puits de carbone imputable aux emprises de lignes électriques a rappelons le, été réalisée à l'aide du modèle CBMCFS3. Cette modélisation a

permis, dans un premier temps, de quantifier la perte de puits de carbone par hectare pour chaque type de peuplement forestier traversé. L'estimation totale pour un peuplement forestier donné est obtenue en extrapolant la perte par unité de surface (valeurs par hectare) à la superficie totale de ce peuplement sur toute la durée de son exploitation, c'est-à-dire depuis l'année d'implantation des lignes qui le traverse jusqu'à l'année 2024. Par exemple, la perte totale de carbone (T) d'un peuplement donné est donc fonction de sa perte par hectare (P) et de sa superficie (S), selon l'équation : $T = P \times S$.

Tableau 3 Pertes de carbone des peuplements forestiers affectés par le LTE

Groupes d'essences forestières productives	Superficies touchées (ha)	Perte de puits de carbone en (t) par durée d'impact
Bouleau blanc et bouleau jaune	5 074,9	33 6491,99
Épicéa blanc	874,2	47 729,14
Épicéa noir ou rouge	6 926,6	380 544,23
Érable à sucre	11 927,3	689 159,39
Feuillus tolérants	5 668	307 659,04
Pin gris	161,8	7 044,13
Peuplier	4 170,3	343 341,53
Pin Blanc	110,7	7 798,82
Thuya occidentale	1 520,3	143 604,71
Sapin baumier	12 332	824 475,35
Pin rouge	328,4	33 280,05
Érable rouge	5 429,4	587 406,78
Mélèze	294,8	12 918,64

sapinières à épinettes	2 555,4	165 336,58
Conifères non spécifiés	2 722,1	133 845,65
Frêne noir	94,4	10 401,93
Pruche du Canada	329,8	16 216,266
Totaux	60 520,4	3 703 912,70

Ce tableau récapitulatif présente les peuplements forestiers et les superficies qu'ils couvrent, mais fournit aussi, et surtout, des informations sur la perte de puits de carbone induite par l'établissement des lignes de transport électriques. Notre estimation, réalisée à l'aide de ce modèle, nous permet d'établir une perte moyenne de puits de carbone de 60 tonnes de carbone par hectare de superficie affectée depuis l'année d'implantation des lignes électriques jusqu'à 2024. Ce tableau répond à l'objectif de notre étude, qui était de quantifier la perte de puits de carbone pour chacun des peuplements forestiers traversés par les emprises de lignes électriques depuis leur installation.

3.3. IDENTIFICATION DES PEUPLEMENTS LES PLUS TOUCHÉS

Au Québec, l'établissement de lignes électriques dans les zones forestières a affecté plusieurs types de peuplements forestiers, entraînant des pertes importantes de puits de carbone. Les forêts du sud du Québec, qui couvrent une grande partie du territoire, ont été particulièrement affectées car elles sont assez denses et séquestrent de grandes quantités de carbone dans leurs différents compartiments. Les peuplements les plus affectés par la mise en place de ces emprises sur le milieu forestier méridional québécois sont les peuplements de sapins baumier où l'impact s'est étendu sur plus de 12500 ha de forêt générant la perte d'environ 825000 tonnes de carbone forestier. Les peuplements d'érable

à sucre suivent cette tendance, avec plus de 12 000 ha de forêt touchés, ce qui a entraîné une perte de près de 700 000 tonnes de carbone. Juste derrière, on trouve les peuplements d'érable rouge qui, sur une superficie de plus de 5 000 ha de forêt touchée, ont entraîné une perte de près de 590 000 tonnes de carbone. Ce podium est complété par l'ensemble des peuplement forestiers qu'ils soient feuillus (bouleaux, peuplier, frêne...), résineux (épinette, pin, pruche, thuya occidentale...) ou mixte qui se trouvent le long des emprises de lignes électriques.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

4.1. COMPARAISON AVEC D'AUTRES RÉGIONS OU DES ÉTUDES SIMILAIRES

Harper *et al.* (2005) se sont particulièrement intéressés aux effets de lisière dans les forêts fragmentées, principalement boréales ou tempérées, où les conifères et les feuillus notamment l'épinette, le pin, le peuplier et le bouleau coexistent dans des paysages caractérisés par l'agriculture ou la sylviculture, typiques de l'Alberta et de la Saskatchewan. Leurs observations montrent que les infrastructures linéaires telles que les lignes électriques créent des brèches dans le couvert végétal qui modifient la structure forestière et réduisent les puits de carbone, un résultat que nos propres travaux confirment, avec des pertes quantifiées d'une ampleur similaire.

Bradshaw et Warkentin (2015) ont quantifié l'importance de ces forêts. Elles contiennent environ 30 % du carbone forestier mondial. En utilisant les différentes méthodes d'estimation des stocks de carbone forestier notamment les inventaires de terrain, les modélisations ainsi que les données satellitaires, les chercheurs ont montré que la déforestation dans ces différentes zones étudiées a généré des pertes moyennes de 30 à 70 tonnes de carbone par hectare. Les émissions les plus élevées se trouvent là où la conversion des terres est la plus intense, surtout en Sibérie et au Canada.

L'étude de Balshi *et al.* (2009) a évalué l'impact de ces facteurs sur les stocks de carbone dans les forêts boréales d'Amérique du Nord et de Russie. Grâce au modèle GFED et aux données MODIS, les chercheurs ont mesuré les émissions de CO₂ qui proviennent de la biomasse vivante aérienne et de la décomposition de débris organiques. Leurs résultats ont montré une perte moyenne de 55 à 65 tonnes de carbone par hectare. Ce qui est plus ou moins en adéquation avec les résultats présentés dans cette présente étude où les pertes moyennes sont estimées à 60 tonnes de carbone par hectare

Liu *et al.* (2025) ont analysé le puits de carbone terrestre aux États-Unis entre 1985 et 2020. Les chercheurs ont fait une combinaison entre modélisations et méthodes de télédétection pour en venir à la conclusion selon laquelle le changement d'affectation des terres est le facteur qui exerce la plus influence le carbone forestier provoquant la perte d'environ 70 téragrammes de carbone (Tg C). Ce phénomène est bien plus important que les effets climatiques, des incendies ou de l'érosion. Le puits de carbone, qui avait atteint son apogée dans les années 1990, montre depuis 2000 une tendance à l'inversion et est devenu une source d'émissions. Même l'effet de fertilisation par le CO₂, apportant un gain d'environ 69 Tg C par an, ne suffit pas à compenser les pertes liées à l'occupation des sols. Cela confirme une fois de plus le rôle crucial des changements d'affectations des terres dans l'appauvrissement du carbone forestier.

Moyano *et al.* (2025) ont examiné un cas plus local : le parc naturel national des Farallones de Cali, en Colombie. Les chercheurs ont d'abord identifié les facteurs principaux de changement d'affectation des terres. Il s'agit notamment des différents accès routiers, les activités agricoles et l'industrie minière. Ils ont constaté par la suite que la biomasse forestière avait diminué de 3,3% en 20 ans, ce qui équivalait à une perte de 2,1 millions de tonnes de carbone. À l'horizon 2100, les projections montrent qu'un scénario de développement intensif pourrait entraîner une perte de carbone pouvant atteindre 15 tonnes par hectare. À l'inverse, un scénario axé sur la protection des forêts permettrait de limiter, voire d'inverser cette tendance, avec des gains pouvant atteindre 4 tonnes de carbone par hectare. Ces résultats soulignent l'importance des choix de gestion forestière dans l'évolution des stocks de carbone. Une gestion favorisant la conservation des peuplements peut ainsi contribuer à maintenir et à renforcer le rôle des forêts comme puits de carbone, y compris dans les territoires soumis à de fortes pressions.

4.2. ANALYSE CRITIQUE DES RÉSULTATS : FORCES ET LIMITES DES MÉTHODES UTILISÉES.

L'un des objectifs de ce mémoire était de cartographier les forêts du Québec afin d'identifier les peuplements forestiers traversés par les emprises de lignes électriques, puis d'établir des courbes de séquestration du carbone pour chacun de ces peuplements, dans le but d'évaluer la perte de puits de carbone associée à ces peuplements forestiers perturbés par le changement d'affectation des terres. On a supposé que l'installation de lignes électriques en milieu forestier entraînait une perte de puits de carbone forestiers équivalente au rendement ligneux pouvant être associé aux peuplements forestiers présents au moment de la perturbation. Un autre objectif du mémoire était d'établir une comptabilisation plus précise et plus détaillée tenant compte des puits de carbone perdus associée à ce type de perturbation. Cet objectif a été atteint avec succès dans cette étude, qui a révélé que, pour l'ensemble des peuplements forestiers traversés par les emprises de lignes électriques, il y a eu une perte ou un déficit d'environ 4 millions de tonnes de carbone.

La principale limite de cette étude réside dans l'absence d'une quantification de la perte nette réelle de carbone associée à l'implantation des LTE. Cette limite découle principalement de l'absence de prise en compte, dans la modélisation, de la repousse naturelle de la végétation au sein des emprises ainsi que dans les zones périphériques affectées par les perturbations

La repousse naturelle désigne la végétation de sous-bois qui se régénère spontanément sous les lignes de transport d'électricité (LTE) quelques années après leur implantation. En raison des limites inhérentes aux données disponibles et aux paramètres de modélisation, cette dynamique de recolonisation naturelle n'a pas pu être intégrée aux

simulations réalisées à l'aide du modèle CBM-CFS3. En revanche, dans le scénario de projet, la déforestation directement induite par les activités anthropiques liées à l'implantation des LTE dans le milieu forestier a été explicitement prise en compte dans la modélisation CBM-CFS3. Ainsi, les simulations du scénario de projet intègrent les pertes de stocks de carbone associées à la conversion initiale des superficies forestières, sans toutefois considérer la reconstitution progressive de la végétation naturelle sous les emprises des lignes.

En effet, la régénération progressive de la végétation permettrait, au fil du temps, de récupérer partiellement les stocks de carbone initialement perdus à la suite de la déforestation. En la négligeant, l'étude peut surestimer le déficit de carbone à long terme parce qu'elle va assimiler toute la biomasse initiale disparue à une perte définitive. Elle ne va donc pas tenir compte ni de la dynamique de succession des espèces, ni de la croissance des nouvelles plantes, ni du stockage temporaire ou permanent du carbone dans les litières et les sols en cours de restauration.

Pour corriger cette limitation, il faut réviser le protocole d'évaluation. Il serait utile d'intégrer une modélisation dynamique du bilan carbone sur plusieurs décennies. Cette modélisation soustrairait de la perte initiale de biomasse aérienne et racinaire le carbone séquestré par la repousse naturelle sur les emprises.

Il convient donc de rappeler que les pertes de puits de carbone présentées dans cette étude sont des pertes brutes. Notre étude n'a pas examiné le stockage réel de carbone effectué par les emprises après leur installation et une végétation à faible croissance persiste, se développe et laisse du carbone à la surface et dans le sol après la création d'une emprise.

CHAPITRE 5 : CONCLUSION

Dans cette étude, une approche de niveau 3 qui s'adresse directement aux puits de carbone perdus a été utilisée pour améliorer la précision des estimations des puits de carbone des peuplements forestiers affectés par l'installation des emprises de lignes électriques au Québec, en se basant sur les superficies forestières réelles et détaillées occupées par ces peuplements. Pour mener à bien cette étude, il a fallu identifier et regrouper les peuplements forestiers impactés par la mise en place des emprises ; cette étape a été suivie d'une modélisation à l'aide du modèle CBMCFS3 sur l'ensemble des groupes de peuplements identifiés afin de déterminer la perte brute de carbone qui leur est attribuable. Cette étude a révélé que les peuplements forestiers affectés par les emprises pouvaient être regroupés en 17 groupes distincts, avec chacun sa propre courbe de séquestration du carbone au fil du temps. Une analyse des différentes courbes de séquestration du carbone générées par ces peuplements au sein des corridors de lignes a révélé que la mise en place de ces infrastructures a entraîné une perte d'environ 4 millions de tonnes de carbone forestier depuis leurs installations, soit l'équivalent de 60 tonnes de carbone par hectare, principalement due à la déforestation, à la fragmentation des écosystèmes et à la perturbation des sols. Cette étude souligne la nécessité de concilier le développement des infrastructures énergétiques avec la préservation des écosystèmes forestiers, qui jouent un rôle crucial dans la lutte contre le changement climatique et la séquestration du carbone à l'échelle mondiale. Notre approche d'évaluation de la perte des puits de carbone pourrait être améliorée. L'idée serait de calculer la perte nette réelle en tenant compte de la repousse végétale dans les zones touchées.

LISTE DE REFERENCES

AFSQ. 2024. La composition des forêts du Québec : comment s'y reconnaître! Consulté le December 2025, <https://www.afsq.org/fr/articles-ete-2024/type-foret-quebec>

Balshi MS, Mcguire AD, Duffy P, Flannigan M, Kicklighter DW et Melillo J. 2009. Vulnerability of carbon storage in North American boreal forests to wildfires during the 21st century. *Global change biology*, 15 : 1491-1510.

Benoit C, Bergeron C, Caron Y, Cyr G, Laflamme J, Leboeuf A, Major M, Morin P, Paiement I, Pomerleau I, Laflèche V et Chaguala V. 2024. Cartographie du cinquième inventaire écoforestier du Québec méridional Méthodes et données associées. forêts Mdrned, Quebec, 132 p.

Bernier P, Guindon L, Kurz W et Stinson G. 2010. Reconstructing and modelling 71 years of forest growth in a Canadian boreal landscape: a test of the CBM-CFS3 carbon accounting model. *Canadian journal of forest research*, 40 : 109-118.

Bradshaw CJA et Warkentin IG. 2015. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux. *Global and Planetary Change*, 128 : 24-30.

Bricault S. 2017. Analyse multicritère du potentiel de dynamisme de croissance de la végétation au Québec pour améliorer la périodicité des entretiens forestiers cycliques des lignes hydroélectriques du réseau de distribution. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, 65 p.

Brown S, Gillespie AJR et Lugo AE. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35 : 881-902.

Canadell JG et Raupach MR. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320 : 1456-1457.

Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N et Kira T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145 : 87-99.

Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WB, Duque A, Eid T, Fearnside PM et Goodman RC. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20 : 3177-3190.

Crowley TJ et Berner RA. 2001. CO₂ and climate change. *Science*, 292 : 870-872.

De Klein C, Novoa R, Ogle S, Smith K, Rochette P, Wirth T, McConkey B, Mosier A et Rypdal K. 2006. Émissions de N₂O des sols gérés, et émissions de CO₂ dues au chaulage et à l'application d'urée. (GIEC) Gdeislédc, Hayama, Japon.

Dvorakova K, Shi P, Limbourg Q et van Wesemael B. 2020. Soil organic carbon mapping from remote sensing: The effect of crop residues. *Remote Sensing*, 12 : 1913.

ECCC. 2024. Rapport d'inventaire national 1990–2022 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. Division des Inventaires et rapports sur les polluants.

Eggleston H, Buendia L, Miwa K, Ngara T et Tanabe K. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.

Fahey TJ, Woodbury PB, Battles JJ, Goodale CL, Hamburg SP, Ollinger SV et Woodall CW. 2010. Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8 : 245-252.

Freschet GT, Pagès L, Iversen CM, Comas LH, Rewald B, Roumet C, Klimešová J, Zadworny M, Poorter H, Postma JA, Adams TS, Bagniewska-Zadworna A, Bengough AG, Blancaflor EB, Brunner I, Cornelissen JHC, Garnier E, Gessler A, Hobbie SE, Meier IC, Mommer L, Picon-Cochard C, Rose L, Ryser P, Scherer-Lorenzen M, Soudzilovskaia NA, Stokes A, Sun T, Valverde-Barrantes OJ, Weemstra M, Weigelt A, Wurzbürger N, York LM, Batterman SA, Gomes de Moraes M, Janeček Š, Lambers H, Salmon V, Tharayil N et McCormack ML. 2021. A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements. *New Phytologist*, 232 : 973-1122.

Friedlingstein P, O'sullivan M, Jones MW, Andrew RM, Hauck J, Olsen A, Peters GP, Peters W, Pongratz J et Sitch S. 2020. Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data*, 12 : 3269-3340.

Gauthier S et Vaillancourt M-A. 2008. Aménagement écosystémique en forêt boréale. Presses de l'Université du Québec, Canada, 604 p.

Gouvernement du Québec. 2025. Inventaire forestier du Nord québécois. Consulté le December 2025, <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/forets/recherche-connaissances/inventaire-forestier/types/nord-quebecois>

Harper KA, Macdonald SE, Burton PJ, Chen J, Brosfokske KD, Saunders SC, Euskirchen ES, Roberts D, Jaiteh MS et Esseen PA. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation biology*, 19 : 768-782.

Houghton RA. 1999. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990. *Tellus B*, 51 : 298-313.

Janisch JE et Harmon ME. 2002. Successional changes in live and dead wood carbon stores: implications for net ecosystem productivity. *Tree Physiology*, 22 : 77-89.

Kauffman JB et Donato DC. 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Cifor Bogor, Indonesia, 50 p.

Krey V, Masera O, Blanford G, Bruckner T, Cooke R, Fisher-Vanden K, Haberl H, Hertwich E, Kriegler E et Mueller D. 2014. Annex II: Metrics & Methodology. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Press CU, 48 p.

Lal R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220 : 242-258.

Lambert M-C, Ung C-H et Raulier F. 2005. Canadian national tree aboveground biomass equations. *Canadian journal of forest research*, 35 : 1996-2018.

Lawrence D et Vandecar K. 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, 5 : 27-36.

Le Quéré C, Andrew RM, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J, Pickers PA, Korsbakken J, Peters G et Canadell J. 2018. Global Carbon Budget 2018, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 2141–2194.

Levasseur A, Mercier-Blais S, Prairie YT, Tremblay A et Turpin C. 2021. Improving the accuracy of electricity carbon footprint: Estimation of hydroelectric reservoir greenhouse gas emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136 : 110433.

Lewis SL, Wheeler CE, Mitchard ET et Koch A. 2019. Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, 568 : 25-28.

Lister AJ, Andersen H, Frescino T, Gatzolis D, Healey S, Heath LS, Liknes GC, McRoberts R, Moisen GG et Nelson M. 2020. Use of remote sensing data to improve the efficiency of national forest inventories: A case study from the United States national forest inventory. *Forests*, 11 : 1364.

Liu J, Sleeter BM, Zhu Z, Cochrane MA, Zhou Q, Wang B, Domke GM, Selmants PC, Windham-Myers L et Zhu Q. 2025. Land change, fire, and climate weaken carbon sink in the conterminous United States. *Science Advances*, 11 : eadx7823.

Moyano N, Duque F et Sanchez K. 2025. Impacts of land use change and climate-forcing scenarios on carbon storage dynamics in the Farallones de Cali national natural park. *Environmental and Sustainability Indicators* : 101108.

Nandal A, Yadav SS, Rao AS, Meena RS et Lal R. 2023. Advance methodological approaches for carbon stock estimation in forest ecosystems. *Environmental monitoring and assessment*, 195 : 315.

Nunes LJ, Meireles CI, Pinto Gomes CJ et Almeida Ribeiro NM. 2020. Forest contribution to climate change mitigation: Management oriented to carbon capture and storage. *Climate*, 8 : 21.

Oehmcke S, Li L, Revenga JC, Nord-Larsen T, Trepekli K, Gieseke F et Igel C. Deep learning based 3D point cloud regression for estimating forest biomass. Dans : *Proceedings of the 30th international conference on advances in geographic information systems*, 2022. p. 1-4.

Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL et Canadell JG. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333 : 988-993.

Papon P. 2026. AIE (Agence internationale de l'énergie), *World Energy Outlook 2025*, Paris: AIE, novembre 2025, 519 p. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0a7a40a4-5dcb-4d6e-a7ad-76a1c90ec8eb/WorldEnergyOutlook2025.pdf>. Consulté le 30 janvier 2026. *Futuribles*, 471 : 143-146.

Pineau P-O et Whitmore J. 2025. État de l'énergie au Québec 2025. Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal[En ligne](consulté le 21 mars 2025) Disponible à l'adresse: http://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2017/12/EEQ2018_WEB-FINAL.pdf.

Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ET, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL et Hagen S. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108 : 9899-9904.

Sayer J, Sunderland T, Ghazoul J, Pfund J-L, Sheil D, Meijaard E, Venter M, Boedhihartono AK, Day M et Garcia C. 2013. Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the national academy of sciences*, 110 : 8349-8356.

Searchinger TD, Beringer T, Holtsmark B, Kammen DM, Lambin EF, Lucht W, Raven P et van Ypersele J-P. 2018. Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. *Nature Communications*, 9 : 3741.

Woodbury PB, Heath LS et Smith JE. 2006. Land Use Change Effects on Forest Carbon Cycling Throughout the Southern United States. *Journal of Environmental Quality*, 35 : 1348-1363.

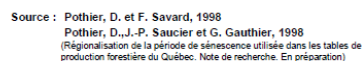
ANNEXES

Tables de rendement provinciales

Indice de qualité de station		Densité relative		Maturité à la souche pour les tiges de			Âges de sénescence à la souche		Code SYLVA II
		Valeur à 100 ans	9 cm	13 cm	17 cm	Début	Fin		
								et plus au DHP	
9	faible	0.1351	150	155	-	140	250	nEpnQue09I	
	moeyenne	0.4065	125	140	-			nEpnQue09M	
	forte	0.6026	90	110	-			nEpnQue09S	
12	faible	0.3438	125	135	-	135	225	nEpnQue12I	
	moeyenne	0.5492	95	110	115			nEpnQue12M	
	forte	0.6817	70	90	100			nEpnQue12S	
15	faible	0.4969	95	100	105	135	225	nEpnQue15I	
	moeyenne	0.6475	70	85	95			nEpnQue15M	
	forte	0.7382	55	70	85			nEpnQue15S	
18	faible	0.5863	75	70	80	130	220	nEpnQue18I	
	moeyenne	0.7017	55	60	70			nEpnQue18M	
	forte	0.7665	45	50	70			nEpnQue18S	
21	faible	0.6817	50	50	60	125	215	nEpnQue21I	
	moeyenne	0.7414	40	40	55			nEpnQue21M	
	forte	0.7832	35	40	55			nEpnQue21S	

Tables de rendement du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc (Dsb)

Indice de qualité de station	Densité relative		Maturité à la souche pour les tiges de			Âges de sénescence à la souche		Code SYLVA II
		Valeur à 100 ans	9 cm	13 cm	17 cm	Début	Fin	
			et plus au DHP					
9	faible	0.1351	145	150	-	135	235	nEpnDsb09I
	mooyenne	0.4065	125	140	-			nEpnDsb09M
	forte	0.6026	90	110	-			nEpnDsb09S
12	faible	0.3438	125	135	-	130	215	nEpnDsb12I
	mooyenne	0.5492	95	110	115			nEpnDsb12M
	forte	0.6817	70	90	100			nEpnDsb12S
15	faible	0.4969	95	100	105	125	205	nEpnDsb15I
	mooyenne	0.8475	70	85	95			nEpnDsb15M
	forte	0.7382	55	70	85			nEpnDsb15S
18	faible	0.5863	70	70	80	120	190	nEpnDsb18I
	mooyenne	0.7017	55	60	70			nEpnDsb18M
	forte	0.7665	45	50	70			nEpnDsb18S
21	faible	0.6817	50	50	60	100	140	nEpnDsb21I
	mooyenne	0.7414	40	40	55			nEpnDsb21M
	forte	0.7832	35	40	55			nEpnDsb21S



Tables de rendement

Indice de qualité de station	Densité relative		Maturité à la souche pour les tiges de			Âges de sénescence à la souche		Code SYLVA II
		Valeur à 100 ans	9 cm	13 cm	17 cm	Début	Fin	
			et plus au DHP					
15	faible	0.4329	90	95	105	105	145	nPetQue15I
	moyenne	0.6174	80	85	95			nPetQue15M
	forte	0.7314	70	80	90			nPetQue15S
18	faible	0.5559	75	80	90	95	135	nPetQue18I
	moyenne	0.6849	70	75	85			nPetQue18M
	forte	0.7641	60	70	80			nPetQue18S
21	faible	0.6388	60	60	70	95	135	nPetQue21I
	moyenne	0.7382	55	55	65			nPetQue21M
	forte	0.8168	50	55	65			nPetQue21S
24	faible	0.6994	50	50	55	90	125	nPetQue24I
	moyenne	0.7832	45	50	55			nPetQue24M
	forte	0.8581	40	45	50			nPetQue24S

Érable rouge en peuplements naturels purs et réguliers

[illegible]

Illustration des tables de rendement

Le graphique illustre les tables de rendement, montrant le volume marchand brut en m³ cubes par hectare en fonction de l'âge à la souche (20 à 130 ans) pour trois classes de qualité (IQS) : 21, 19 et 17. Les courbes indiquent que le rendement augmente avec l'âge jusqu'à un pic (autour de 75-85 ans) et diminue ensuite. La classe IQS 21 présente le plus haut rendement, suivie de IQS 19, puis de IQS 17.

Âge à la souche	Volume marchand brut (m³ cubes/ha) - IQS = 21	Volume marchand brut (m³ cubes/ha) - IQS = 19	Volume marchand brut (m³ cubes/ha) - IQS = 17
25	10	10	10
30	40	30	25
35	75	55	50
40	105	75	75
45	125	100	90
50	145	120	105
55	165	135	115
60	180	145	120
65	190	155	120
70	195	165	120
75	200	170	120
80	205	170	118
85	205	170	115
90	200	165	110
95	190	155	105
100	175	140	95
105	155	120	80
110	110	90	65
115	50	45	45
120	0	0	25
125	0	0	0

Âge (1,3m)	IQS		
	17	19	21
20		11.3	12.1
25	12.5	14.1	15.2
30	14.1	16.0	17.2
35	15.3	17.3	18.6
40	16.1	18.2	19.6
45	16.7	18.9	20.4
50	17.1	19.3	20.8
55	17.5	19.8	21.3
60	17.8	20.1	21.7
65		20.3	21.6
70		20.5	22.0
75			22.3

Nombre d'années pour atteindre 1,3 mètre (approximation)			
IQS	17	19	21
Nombre d'années	5	5	5

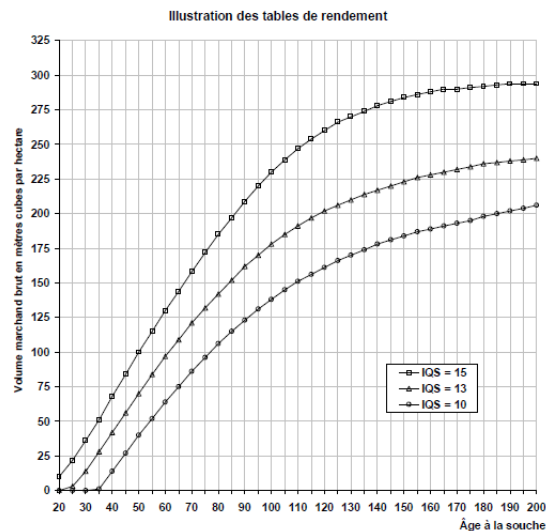
Indice de qualité de station	Code SYLVA II
17	nEroQué17M
19	nEroQué19M
21	nEroQué21M

Source : Bégin, J. et al.1990.

Feuillus tolérants en peuplements naturels réguliers

Tables de rendement

Indice de qualité de station	Âge à la souche																			
	maturité	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
Volume marchand brut en mètres cubes par hectare																				
10	95				1	14	27	40	52	64	75	86	96	106	115	123	131	138	145	151
13	90	3	14	28	42	56	70	84	97	109	121	132	142	152	162	170	178	185	191	197
15	85	10	22	36	51	66	81	95	109	123	137	150	163	176	188	199	209	218	226	234



Indice de qualité de station	Code SYLVA II
10	nFt_Ont10M
13	nFt_Ont13M
15	nFt_Ont15M

Abaque de prédiction de la hauteur dominante (m) en fonction de l'âge à la souche et de l'indice de qualité de station (IQS) à 50 ans

Âge total	IQS		
	10	13	15
20	3.5	4.8	6.2
25	4.8	6.3	7.9
30	6.0	7.7	9.5
35	7.2	9.1	11.1
40	8.4	10.4	12.5
45	9.4	11.6	13.9
50	10.4	12.8	15.2
55	11.4	13.8	16.3
60	12.2	14.8	17.4
65	13.0	15.6	18.3
70	13.7	16.4	19.2
75	14.3	17.1	19.9

Âge total	IQS		
	10	13	15
80	14.9	17.7	20.8
85	15.4	18.2	21.2
90	15.9	18.7	21.7
95	16.3	19.1	22.1
100	16.6	19.4	22.5
105	16.9	19.7	22.8
110	17.1	20.0	23.0
115	17.3	20.2	23.2
120	17.5	20.3	23.4
125	17.7	20.4	23.6
130	17.8	20.5	23.7
135	17.9	20.6	23.8

Âge total	IQS		
	10	13	15
140	18.0	20.7	23.9
145	18.0	20.7	23.9
150	18.1	20.7	24.0
155	18.1	20.8	24.0
160	18.1	20.8	24.0
165	18.1	20.8	24.0
170	18.2	20.8	24.0
175	18.2	20.9	24.1
180	18.2	20.9	24.1
185	18.2	20.9	24.1
190	18.2	20.9	24.1
195			

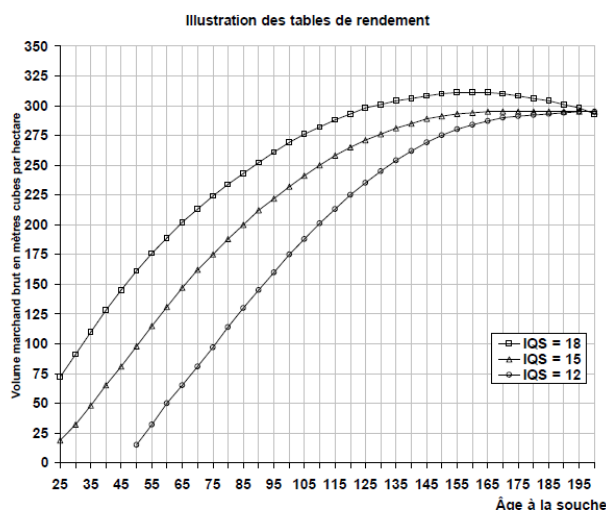
Note : Tables utilisées, dans le modèle SYLVA II, pour simuler la croissance du bouleau jaune, des chênes, du tilleul, du hêtre, de l'osier, des frênes et des essences dites autres feuillus en peuplements naturels.

Source : Plonski, W.-L., 1974

Érable à sucre en peuplements naturels purs et réguliers

Tables de rendement

Indice de qualité de station	Âge à la souche																			
	maturité	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
Volume marchand brut en mètres cubes par hectare																				
12	130							15	32	50	65	81	97	114	130	145	160	175	188	201
15	85	19	32	48	65	81	98	115	131	147	162	175	188	200	212	222	232	241	250	258
18	50	72	91	110	128	145	161	176	189	202	213	224	234	243	252	261	269	276	282	288



Indice de qualité de station	Code SYLVA II
12	nErsQue12M
15	nErsQue15M
18	nErsQue18M

Abaque de prédiction de la hauteur dominante (m) en fonction de l'âge à la souche et de l'indice de qualité de station (IQS) à 50 ans

Âge total	IQS		
	12	15	18
20			
25		10.9	
30		12.7	
35		14.3	
40		15.8	
45		17.2	
50	15.3	18.4	
55	16.2	19.6	
60	13.5	17.1	20.6
65	14.1	17.9	21.6
70	14.7	18.6	22.4
75	15.2	19.3	23.1

Âge total	IQS		
	12	15	18
80	15.7	19.9	23.8
85	16.1	20.4	24.4
90	16.5	20.9	24.9
95	16.9	21.3	25.3
100	17.2	21.7	25.7
105	17.5	22.1	26.0
110	17.8	22.4	26.3
115	18.0	22.7	26.5
120	18.2	22.9	26.6
125	18.4	23.1	26.7
130	18.6	23.3	26.7
135	18.7	23.5	26.8

Âge total	IQS		
	12	15	18
140	18.8	23.6	26.8
145	18.9	23.6	26.8
150	19.0	23.7	
155	19.1	23.7	
160	19.1	23.8	
165	19.1	23.8	
170	19.2	23.8	
175	19.2		
180	19.2		
185			
190			
195			

Source : Carpentier, J.-P., 1995

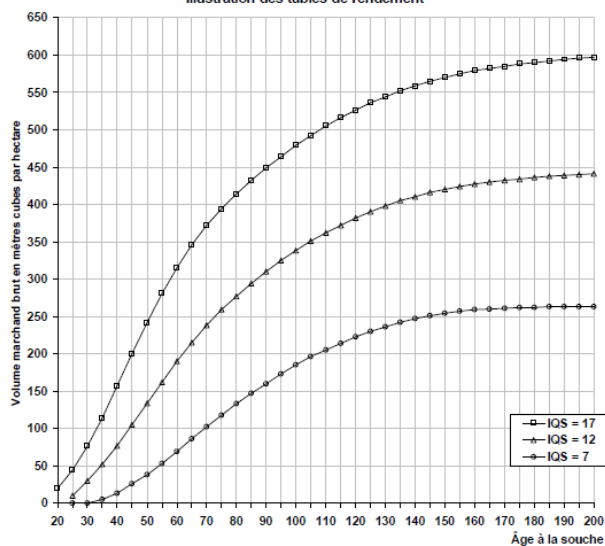
Note : les valeurs en caractères italiques sont extrapolées.

Pin blanc en peuplements naturels purs et réguliers

Tables de rendement

Indice de qualité de station	maturité (souche)	Âge à la souche																																				
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
		Volume marchand brut en mètres cubes par hectare																																				
7	105				5	13	26	38	53	69	86	102	118	133	147	160	173	185	196	205	214	223	230	236	242	247	251	254	257	259	260	261	262	262	263	263	263	263
12	85		10	30	52	77	105	134	162	190	215	238	259	277	294	310	325	338	351	362	372	382	390	398	405	410	416	420	424	427	430	432	434	436	438	439	440	441
17	65	20	44	76	114	157	200	242	281	315	346	372	394	414	432	446	464	479	492	505	516	526	536	544	552	559	565	570	575	579	582	585	588	590	592	594	596	597

Illustration des tables de rendement



Indice de qualité de station	Code SYLVA II
7	nPibOnt67M
12	nPibOnt12M
17	nPibOnt17M

Abaque de prédiction de la hauteur dominante (m)
en fonction de l'âge à la souche et
de l'indice de qualité de station (IQS) à 50 ans

Âge total	IQS		
	7	12	17
20	2.3	3.0	3.8
25	2.7	4.5	6.0
30	3.3	6.1	8.3
35	4.1	7.7	10.6
40	5.1	9.4	12.9
45	6.0	10.9	15.1
50	7.0	12.4	17.1
55	8.1	13.8	18.9
60	9.1	15.1	20.6
65	10.1	16.3	22.1
70	11.0	17.4	23.4
75	11.8	18.4	24.5

Âge total	IQS		
	7	12	17
80	12.6	19.3	25.5
85	13.4	20.1	26.5
90	14.1	20.8	27.3
95	15.0	21.5	28.1
100	15.3	22.2	28.8
105	15.8	22.8	29.5
110	16.4	23.3	30.1
115	16.8	23.8	30.7
120	17.2	24.3	31.2
125	17.6	24.7	31.7
130	18.0	25.0	32.1
135	18.3	25.4	32.5

Âge total	IQS		
	7	12	17
140	18.5	25.7	32.8
145	18.7	25.9	33.1
150	18.9	26.1	33.4
155	19.0	26.3	33.6
160	19.1	26.5	33.8
165	19.2	26.6	34.0
170	19.3	26.7	34.1
175	19.4	26.8	34.2
180	19.4	26.9	34.3
185	19.5	26.9	34.4
190	19.5	27.0	34.5
195			

Note : Tables utilisées, dans le modèle SYLVA II, pour simuler la croissance de la pruche en peuplements naturels.

Source : Plonski, W.-L., 1974

Tables de rendement provinciales

Âge à la souche

[illegible]

Indice de qualité de station	Densité relative		Maturité à la souche pour les tiges de			Âges de sénescence		Code SYLVA II
		Valeur à 100 ans	9 cm	13 cm	17 cm	à la souche		
			et plus au DHP			Début	Fin	
9	faible	0.2487	110	115	-	105	155	nPigQue09f1
	moynenne	0.4588	95	100	-			nPigQue09f2
	forte	0.5734	80	90	-			nPigQue09f3
12	faible	0.4248	95	100	-	105	155	nPigQue12f1
	moynenne	0.549	80	90	-			nPigQue12f2
	forte	0.6384	70	80	-			nPigQue12f3
15	faible	0.5726	75	85	90	105	150	nPigQue15f1
	moynenne	0.6815	65	75	85			nPigQue15f2
	forte	0.725	55	70	75			nPigQue15f3
18	faible	0.6656	60	70	90	100	145	nPigQue18f1
	moynenne	0.7314	50	65	85			nPigQue18f2
	forte	0.7390	40	55	90			nPigQue18f3

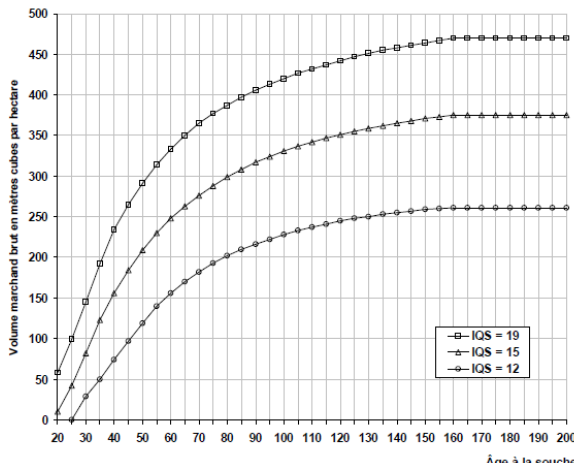
Source :
Pothier, D. et F. Savard, 1998.

Tables de rendement

Tables de rendement

Indice de qualité de station	maturité	Âge à la souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	130	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		Volume marchand brut en mètres cubes par hectare																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
12	65			29	50	74	97	119	140	156	170	182	193	202	210	216	222	228	233	237	241	245	248	250	253	255	257	259	260	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261

Illustration des tables de rendement



Indice de qualité de station	Code SYLVA II
12	nPirOnt12
15	nPirOnt15
18	nPirOnt18

Abaque de prédiction de la hauteur dominante (m)
en fonction de l'âge à la souche et
de l'indice de qualité de station (IQS) à 50 ans

Age	IQS			
	total	12	15	19
20	4.7	6.9	8.9	
25	6.3	8.8	11.1	
30	7.7	10.5	13.0	
35	9.0	12.0	14.7	
40	10.2	13.3	16.2	
45	11.2	14.5	17.5	
50	12.1	15.5	18.6	
55	12.9	16.4	19.6	
60	13.6	17.2	20.5	
65	14.1	17.9	21.3	
70	14.6	18.4	22.0	
75	15.0	18.9	22.6	
80	15.4	19.4	23.1	
85	15.6	19.8	23.6	
90	15.9	20.1	24.0	
95	16.1	20.4	24.4	
100	16.3	20.7	24.8	
105	16.5	20.9	25.1	
110	16.6	21.2	25.4	
115	16.8	21.3	25.7	
120	16.9	21.5	25.9	
125	17.0	21.7	26.2	
130	17.2	21.8	26.4	
135	17.3	21.9	26.6	
140	17.4	22.0	26.7	
145	17.4	22.0	26.7	
150	17.5	22.1	26.8	
155	17.5	22.2	26.9	
160	17.5	22.3	27.0	
165	17.6	22.4	27.1	
170	17.6	22.4	27.1	
175	17.6	22.4	27.1	
180	17.6	22.4	27.1	
185	17.6	22.4	27.1	
190	17.6	22.4	27.1	
195	17.6	22.4	27.1	

Source : Plonski, W.-L., 1974

Sapin baumier en peuplements naturels purs et réguliers

Tables de rendement provinciales (Qué.)

Indice de qualité de station	Densité relative	Âge à la souche																																							
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200			
		Volume marchand brut en mètres cubes par hectare (tiges de 9 cm et plus)																																							
9	faible	0	1	1	3	5	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	36	39	41	43	45	47	48	48	48	47	46	44	42	38	34	29	22	14							
	moyenne	1	3	6	10	15	19	24	29	33	37	41	45	48	52	55	57	60	62	64	66	67	67	67	66	65	62	59	55	50	44	37	28	18							
	forte	4	8	14	20	27	33	39	44	49	54	58	62	65	68	71	74	76	78	79	81	81	81	81	81	79	77	73	69	64	58	51	43	33	20						
12	faible	1	4	9	14	21	29	36	44	51	58	65	71	77	83	88	93	97	102	105	107	107	106	103	98	91	81	69	54	34											
	moyenne	6	14	23	33	44	55	65	75	84	92	99	106	112	117	122	127	131	134	137	138	137	134	129	122	112	100	84	65	41											
	forte	17	30	44	59	72	85	97	107	116	124	131	137	143	148	152	156	159	162	164	164	161	157	150	141	129	114	96	74	46											
15	faible	6	14	25	37	51	64	77	89	100	111	120	129	137	145	152	158	164	169	172	172	167	158	144	125	98	62														
	moyenne	19	36	54	73	91	108	123	136	148	159	168	176	184	191	197	202	207	211	213	211	203	191	173	148	116	73														
	forte	39	63	87	110	130	147	163	176	187	197	206	213	220	225	230	234	238	242	242	238	229	214	193	165	129	81														
18	faible	18	35	55	76	95	113	130	144	157	169	180	189	196	205	212	219	225	228	226	219	206	188	162	127	80															
	moyenne	42	70	98	124	146	166	183	197	210	220	230	238	245	251	257	262	267	268	264	254	238	215	184	144	90															
	forte	68	103	135	163	186	205	221	235	246	255	263	270	276	281	286	290	293	294	288	276	258	232	198	155	97															
21	faible	42	70	99	124	147	166	182	196	208	218	228	235	243	249	254	260	261	256	243	223	193	152	96																	
	moyenne	71	108	141	169	192	211	226	239	249	258	266	272	278	283	287	291	291	284	268	245	211	166	105																	
	forte	101	143	178	206	228	246	260	271	280	287	293	298	303	306	310	313	312	303	286	260	224	175	110																	

Indice de qualité de station	Densité relative	Maturité à la souche pour les tiges de				Âges de sénescence à la souche		Code SYLVA II
		Valeur à 100 ans	9 cm	13 cm	17 cm	Début	Fin	
			et plus au DHP					
9	faible	0.2256	120	125	125	115	190	nSabQue09I
	moyenne	0.5373	95	105	110			nSabQue09M
	forte	0.7086	75	90	100			nSabQue09S
12	faible	0.43	95	100	110	110	170	nSabQue12I
	moyenne	0.641	75	85	100			nSabQue12M
	forte	0.7818	60	75	90			nSabQue12S
15	faible	0.5455	80	80	90	110	155	nSabQue15I
	moyenne	0.7132	60	70	80			nSabQue15M
	forte	0.8149	45	60	75			nSabQue15S
18	faible	0.6434	60	60	60	105	150	nSabQue18I
	moyenne	0.7666	50	50	55			nSabQue18M
	forte	0.8356	40	45	55			nSabQue18S
21	faible	0.7206	45	45	45	100	140	nSabQue21I
	moyenne	0.7983	40	40	40			nSabQue21M
	forte	0.8478	35	35	40			nSabQue21S

Source :
Pothier, D. et F. Savard, 1998

Thuya de l'Est en peuplements naturels purs et réguliers

Tables de rendement

Indice de qualité de station	Densité relative	Âge à la souche																																							
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200			
		Volume marchand brut en mètres cubes par hectare (tiges de 9 cm et plus)																																							
9	faible	0	1	2	4	7	11	15	20	26	31	37	43	50	56	62	68	73	79	85	90	95	100	105	109	114	118	122	125	127	128	128	126	124	120	115	109				
	moyenne	2	5	9	16	23	31	39	48	57	65	74	82	90	97	105	112	118	124	130	136	141	146	151	156	160	164	167	170	171	170	169	166	162	156	148	139				
	forte	8	15	25	35	47	58	70	81	92	102	111	121	129	137	144	151	158	164	170	175	180	184	189	193	197	200	203	204	205	203	200	196	190	182	172	161				
12	faible	2	6	12	20	30	41	53	65	77	89	101	112	124	134	145	154	164	173	181	189	197	204	211	218	223	227	230	230	229	226	220	213	203	191	177	159				
	moyenne	11	22	36	52	69	86	102	119	134	149	162	175	187	199	209	219	228	237	245	252	260	266	272	278	283	286	287	285	282	276	268	258	245	229	210	189				
	forte	33	54	77	99	121	142	161	179	195	210	224	237	248	259	269	278	286	294	301	307	313	319	324	329	333	334	333	330	324	317	306	293	277	259	237	212				
15	faible	23	43	66	90	114	137	160	181	200	218	235	250	265	278	290	301	312	322	331	339	347	355	362	368	373	376	376	374	368	360	349	335	318	297	272	244				
	moyenne	43	71	100	129	157	182	206	228	247	265	282	297	310	323	334	345	354	363	371	379	386	393	399	405	409	411	410	406	399	389	376	360	341	318	291	261				
	forte	72	106	140	172	201	228	252	273	292	309	325	339	351	363	373	383	392	399	407	414	420	426	431	436	439	440	438	433	425	413	399	381	360	336	307	274				

Indice de qualité de station	Densité relative		Maturité à la souche pour les tiges de			Âges de sénescence à la souche		Code SYLVA
		Valeur à	9 cm	13 cm	17 cm	Début	Fin	
		100 ans	et plus au DHP					
9	faible	0.3211	150	155	160	150	235	nThoQue09I
	moyenne	0.5225	115	125	155			nThoQue09M
	forte	0.6449	85	100	130			nThoQue09S
12	faible	0.4767	110	120	140	140	235	nThoQue12I
	moyenne	0.6174	85	95	110			nThoQue12M
	forte	0.7127	60	75	95			nThoQue12S
15	faible	0.6420	70	80	80	140	235	nThoQue15I
	moyenne	0.6958	60	65	70			nThoQue15M
	forte	0.7382	50	60	65			nThoQue15S

Source : Pothier, D. et F. Savard, 1998

Tables de rendement

62

**ANNEXE 2 : POSTES DE TRANSMISSION D'ÉLECTRICITÉ ET LIGNES ÉLECTRIQUES
DANS LE SUD DE LA PROVINCE DE QUÉBEC**

Parcelles d'origine avant le regroupement	SUPERFICIE totale en ha	Regroupement forestier	Durée moyenne d'impact de la LTE (années)
BBBB	53,3	Bouleau blanc/jaune BB	55
BBBBE	109,5		
BBBBR	59		
BBBBBS	520,2		
BBPE	154,1		
BBPEE	67,6		
BBPER	74,9		
BBPES	134,8		
BGBG	55,8		
BGBGEB	3,2		
BGBGRX	3,6		
BGBGSB	14,9		
BGEO	25,3		
BGEOEB	3,6		
BGEOPU	11,8		
BGEORX	40,9		
BGEOSB	98,7		
BGEOSE	16,5		
BGFH	48,7		
BGFHSB	7,7		
BGFI	2,7		
BGFN	10		
BGFNEB	3,1		
BGFX	25		
BGFXRX	1,8		
BGFXSB	22,8		
BGPE	67,1		
BGPERX	10,6		
BGPESB	6,1		
BGPESE	3,1		
BJBJ	455,9		
BJBJPU	6,8		
BJBJSB	567,1		
BJBP	33,3		
BJBPSB	132,8		

BJEO	36,4		
BJEOPU	37,4		
BJEORX	32,5		
BJEOSB	151,2		
BJEOTO	15,2		
BJER	407		
BJERRX	5,2		
BJERSB	132,9		
BJFN	10		
BJFTPU	11,2		
BJFTRX	6,3		
BJFTSB	7,9		
BJFXPU	2		
BJFXRX	3,3		
BJFXSB	215,2		
BJPESB	17,6		
BPBJSB	107,3		
BPBP	126,6		
BPBPSB	516,5		
BPEO	37,7		
BPEORX	7,1		
BPEOSB	66,4		
BPFNSB	8,7		
BPFTSB	19,7		
BPFXRX	4,1		
BPFXSB	216,2		
BPPE	14,8		
BPPERX	4,3		
BPPESB	1,9		
EB	53,4	Épinette blanche EPB	54
EBB	494,3		
EBEB	37		
EBEBBG	5,1		
EBEBFX	4,2		
EBFX	16,8		
EBRX	14,5		
EBRXFT	6,1		
EBSB	91,7		
EBSBBG	13,5		
EBSBBP	6,7		
EBSBEO	6,6		

EBSBFI	28,8	Érable rouge EO	53
EBSBFX	7,7		
EBTO	8,3		
EE	6 161,6		
EFI	186,6		
EME	32,2		
ENEN	223,8		
ENFI	5,1		
ENFX	6,7		
ENML	84		
ENMLFH	10,7		
ENRX	23,2		
ENRXFX	2,6		
ENSB	354,5		
ENSBBJ	14,2		
ENSBBP	16,6		
ENSBE0	10,5		
ENTO	13,1		
EOBG	135,9		
EOBGEB	5,8		
EOBGPU	21,4		
EOBGRX	27		
EOBGSB	234,2		
EOBGSE	40,3		
EOBJ	104		
EOBJPU	23,4		
EOBJRX	119,1		
EOBJSB	468		
EOBJSE	15,9		
EOBJTO	44,1		
EOBP	4,2		
EOBPRX	23,4		
EOBPSB	134,4		
EOEO	324		
EOEOEP	4,4		
EOEOML	13,2		
EOEOPU	10,8		
EOEORX	159,3		
EOEOSB	675,5		
EOEOSE	12,4		
EOEOTO	28,8		

EOES	45,4		
EOESSB	11,2		
EOFH	13,1		
EOFHRX	13,9		
EOFHSB	22,5		
EOFI	158,6		
EOFIPU	23,7		
EOFIRX	147,6		
EOFISB	267,4		
EOFITO	9,9		
EOFO	3,8		
EOFOSB	5,6		
EOFOTO	10,7		
EOFT	154,8		
EOFTPb	3,7		
EOFTPU	88,6		
EOFTRX	177,3		
EOFTSB	142		
EOFTTO	15,4		
EOFX	138,2		
EOFXRX	72,6		
EOFXSB	273,1		
EOFXTO	10,8		
EOPE	378,9		
EOPEPB	5		
EOPEPU	38		
EOPERX	97,2		
EOPESB	470,9		
EPE	462,1	Épinette blanche EPB	51
EPEP	13		
EPG	243,8		
EPL	79,5		
EPML	18,9		
EPN	256,9		
EPRXBJ	2,9		
EPRXBP	6,4		
EPSB	60,1		
EPSBEO	24,8		
ERBG	3	Érable rouge	72
ERBJ	1120,5		
ERBJRX	27,6		

ERBJSB	128,4		
ERBP	24,2		
ERBPSB	5,2		
ERER	57,7		
ERFI	38,2		
ERFISB	20,9		
ERFT	2 206,8		
ERFTEB	4,2		
ERFTPb	18,8		
ERFTPU	71,3		
ERFTRX	31,5		
ERFTSB	135,5		
ERFTTO	4,9		
ERFX	91,8		
ERFXSB	15,7		
ERPE	200,6		
ERPEPB	9,7		
ERPERX	11,3		
ERPESB	6,7		
ES	5 292,9	Érable à sucre ES	53
ESBJ	119,5		
ESBJRX	16,4		
ESBJSB	11,2		
ESBP	6,6		
ESEO	185,4		
ESEOSB	4,8		
ESES	877,1		
ESESSB	10,2		
ESFA	8,6		
ESFI	9		
ESFT	1 084,5		
ESFTRX	23,9		
ESFTSB	9,3		
ESFX	22,5		
ESPE	10,9		
FHBG	23,7	Feuillus indéterminés FX	52
FHEO	70,5		
FHEOML	15,3		
FHEORX	32,3		
FHEOSB	7,8		
FHEOTO	6,7		

FHFH	46,9		
FHFHML	5,8		
FHFHRX	5,9		
FHFHTO	42,3		
FHFIRX	13,1		
FHFN	6,7		
FHFO	38,9		
FHFP	19,6		
FHFT	14		
FHFTPb	4,6		
FHFX	124,4		
FHFXXR	12,1		
FHFXTb	21		
FHPE	89,9		
FHTA	5,2		
FIBJRX	4,6		
FIBJSB	8,7		
FIBP	20,1		
FIEO	222,6		
FIEOEB	10,9		
FIEOPU	44,5		
FIEORX	99,5		
FIEOSB	467,6		
FIEOSE	41,2		
FIEOTb	8,8		
FIER	49,6		
FIFH	65,7		
FIFN	14,5		
FIFNRX	31,3		
FIFO	46,1		
FIFT	20,2		
FIFTPb	7,4		
FIFTRX	21,1		
FIFTSB	28,4		
FIFX	32,5		
FIFXXR	14,5		
FIFXSB	25,2		
FXBG	18,3		
FXBGRX	4,8		
FXBJSB	2,5		
FXEB	24,2		

FXEO	21		
FXEOPB	4,4		
FXEOSB	4,6		
FXEOTO	8,8		
FXER	10,1		
FXFH	4,8		
FXFI	27,3		
FXFIRX	11,6		
FXFN	51,4		
FXFNRX	44,3		
FXFNTO	5,9		
FXFPTO	6,9		
FXFT	8,4		
FXFX	545,8		
FXFXRX	573,6		
FXPE	27		
FXPERX	5,3		
FXPESB	1,9		
FXPR	9,1		
FXRZ	55,8		
FZ	24,1		
FNBGEB	2,8	Frêne noire FO	54
FNEO	12,4		
FNFH	3,8		
FNFN	161,8		
FNFNRX	17,4		
FNFNSE	4,3		
FNFT	83		
FNFX	108,9		
FNFXRX	95,3		
FOEO	3,7		
FOEORX	10,3		
FOEOSB	3,5		
FOFH	44,5		
FOFHSB	11,9		
FOFO	2,7		
FOFX	6,5		
FOPE	6,5		
FOPESB	4,8		
FTBG	1,1	Feuillus tolérants FXFT	56
FTBJ	17,7		

FTBJPU	46,2		
FTBJRX	9		
FTCR	1,6		
FTCRPB	3,8		
FTEO	18,3		
FTEOPB	8,5		
FTEOPU	6		
FTEORX	27,7		
FTEOSB	43,2		
FTEOTO	10,5		
FTER	235,2		
FTERPB	5,2		
FTERPU	25,5		
FTERRX	65,5		
FTERSB	23,3		
FTERSE	24,3		
FTERTO	7,9		
FTES	277,6		
FTESPB	12,5		
FTESSB	4,7		
FTESTO	2,7		
FTFAPB	7,4		
FTFH	14,5		
FTFI	77,1		
FTFIPU	6,6		
FTFIRX	29,4		
FTFISB	11,3		
FTFITO	15,5		
FTFN	11		
FTFP	22,9		
FTFT	125,4		
FTFTPB	5,4		
FTFTPU	14		
FTFTRX	45		
FTFTSB	19,4		
FTFX	131,2		
FTFXPB	15,4		
FTFXRX	10,9		
FTFXSB	11,1		
FTFXTO	6,5		
FTHG	13,2		

FTPE	87,1		
FTPERX	25,8		
FTPESB	4,5		
FTTA	22,5		
MLEN	24	Mélèze Laricin MLZ	39
MLEP	21,8		
MLML	54,1		
MLMLFH	9,4		
MLMLFX	7,5		
MLRX	18,8		
MLRXEO	14,2		
MLRXFI	4,8		
MLSB	54,5		
MLSBBJ	9,6		
MLSBFI	9,4		
MLSBPE	29		
MLTO	5,5		
PBPB	53,2	Pin blanc PB	72
PBPBEO	6,5		
PBPBFT	18		
PBPBPE	3,6		
PBPUFT	3,9		
PBRX	28,3		
PBRXBG	4,7		
PBRXEO	14		
PBRXFT	51,1		
PBRXPE	4		
PBSB	88,2		
PBSBEO	15,9		
PBSBFT	16,4		
PBSBPE	5,6		
PBTO	5,4		
PBTOFH	6,4		
PBTOFT	3,2		
PEBB	222	Peuplier PE	47
PEBBE	178,8		
PEBBR	124		
PEBBS	96,8		
PEBG	140,2		
PEBGEP	8,1		
PEBGRX	2,5		

PEBGSB	115,6		
PEBGSE	9,5		
PEBJSB	24,7		
PEBP	33,8		
PEBPRX	14,1		
PEBPSB	66,2		
PEEO	494		
PEEOPB	29		
PEEOPR	5,6		
PEEOPU	4		
PEEORX	159,7		
PEEOSB	523,8		
PEEOTO	59,6		
PEER	50,3		
PEERPU	16,7		
PEERRX	9,4		
PEERSB	11,5		
PEES	21,2		
PEFH	12,5		
PEFHRX	8,8		
PEFHSB	14,9		
PEFHTO	2,5		
PEFNRX	9,4		
PEFNSB	5		
PEFT	119,9		
PEFTEP	7		
PEFTPB	3,2		
PEFTSB	45,9		
PEFTTO	13,7		
PEFX	148		
PEFXRX	37,8		
PEFXSB	111,2		
PEPE	561,6		
PEPEE	256,2		
PEPEEP	8,4		
PEPER	74		
PEPERX	15,1		
PEPES	66,2		
PEPESB	172,4		
PEPETO	4,1		
PGE	131,9	Peuplier PE	47

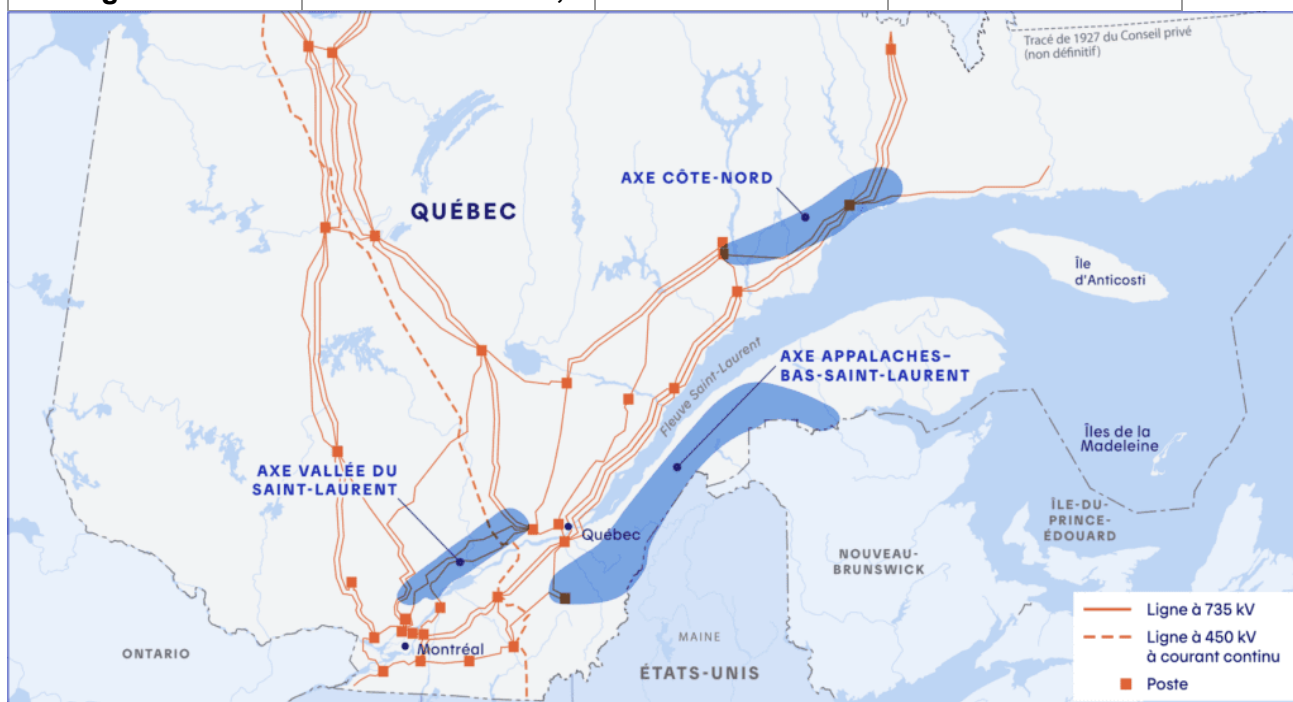
PGPE	16,7		
PIG	12,8		
PR	74,9		
PREB	16,4		
PRFX	11,1		
PRRX	1,7		
PSFX	6,6		
PUEB	3,3		
PUPB	8,1		
PUPUBJ	12,4		
PUPUEO	51,7		
PUPUFT	35,5		
PUPUFX	9,8		
PURX	12,7		
PURXBJ	9,5		
PURXEO	10,4		
PURXFT	16,7		
PURXPE	10		
PUSB	12,5		
PUSBBJ	18,9		
PUSBEO	45		
PUSBFT	41,8		
PUSBFX	5,7		
PUTOBG	7,3		
PUTOEO	18,5		
RXEB	14,8	Résineux indéterminés RX	56
RXEPFT	4,7		
RXPBFI	31,2		
RXPBFT	5,8		
RXPUFH	5,3		
RXRX	510,6		
RXRXBJ	7,6		
RXRXFH	9,2		
RXRXFI	4,8		
RXRXFN	38,5		
RXRXFT	6		
RXRFXFX	385,7		
RXRZ	51,7		
RXSB	18,9		
RXSBEO	3,9		
RXSBFI	5,6		

RXSBFT	37,8		
RXSEFI	4,7		
RXTO	11,7		
RXTOFH	4,7		
RXTOFI	7,2		
RZ	900,3		
RZBP	13,7		
RZCRBJ	1,4		
RZFN	3,2		
RZFX	180,3		
RZFZ	5,5		
RZRX	72,4		
SB	86,1	Sapin baumier SB	47
SBB	1 168,5		
SBEB	122,7		
SBEBBG	48,4		
SBEBBP	4,8		
SBEBEO	136,6		
SBEBFI	25,1		
SBEBFT	10,2		
SBEBFX	23,4		
SBEBPE	13,6		
SBEN	798,6		
SBENBJ	21,7		
SBENBP	38,7		
SBENEO	20,2		
SBENFH	20,2		
SBENFI	4,6		
SBENFN	4,6		
SBENFT	7,6		
SBENFX	11,4		
SBEP	215,5		
SBEPBJ	8,1		
SBEPEO	43,2		
SBEPFI	50,8		
SBEPFX	3,1		
SBEPPE	7,7		
SBML	41,2		
SBMLEO	4,4		
SBMLFX	13,3		
SBMLPE	2,3		

SBPB	32,4		
SBPBEO	30,4		
SBPBFI	6		
SBPU	16		
SBPUBG	3,6		
SBPUBJ	2,8		
SBPUEO	11,4		
SBPUFI	6,8		
SBPUFT	50,6		
SBRX	412,2		
SBRXBG	13,2		
SBRXBP	12,9		
SBRXEO	202,8		
SBRXFH	7,1		
SBRXFI	43,1		
SBRXFN	9,4		
SBRXFT	33,5		
SBRXFX	99		
SBRXPE	56,7		
SBSB	2919		
SBSBBG	48,6		
SBSBBJ	193,3		
SBSBBP	2 063,4		
SBSBEO	728,4		
SBSBER	4		
SBSBFH	8,3		
SBSBFI	210,5		
SBSBFT	7,9		
SBSBFX	138,3		
SBSBPE	159,9		
SBTO	473,3		
SBTOBG	12,3		
SBTOBJ	99,9		
SBTOBP	11,9		
SBTOEO	253,2		
SBTOFH	44,8		
SBTOFI	114,6		
SBTOFO	3,7		
SBTOFX	33,8		
SBTOPE	40,7		
SE	2 392,9		53

SEEB	8,5	Sapinières à épinette	
SEPU	8		
SERX	4,9		
SETO	70,8		
SETOEO	60,4		
SETOFH	5		
SETOFI	4,9		
TOEB	7,7	Thuya occidentale TO	45
TOEBFI	13,1		
TOEBFT	12		
TOML	33,8		
TOPB	13,9		
TOPBBG	2,5		
TOPBFN	6,3		
TOPUBG	11,5		
TOPUEO	6,3		
TOPUFH	1,8		
TOPUFI	7,3		
TORX	74,3		
TORXBG	4,4		
TORXBJ	3,8		
TORXEO	16,1		
TORXFH	23,9		
TORXFI	23,2		
TORXFN	4,4		
TORXFT	12,8		
TORXFX	9,3		
TORXPE	12,1		
TOSB	390,4		
TOSBBG	15,9		
TOSBBJ	40,7		
TOSBEO	82,3		
TOSBFH	72,4		
TOSBFI	36,8		
TOSBFX	49,5		
TOSBPE	21,8		
TOSE	38,2		
TOSEEO	1,5		
TOSEFH	6,5		
TOSEFT	6,6		
TOSEPE	6,7		

TOTO	258,3		
TOTOBG	7,3		
TOTOEO	4,7		
TOTOFH	45,6		
TOTOFI	11		
TOTOFN	10,5		
TOTOFP	8,6		
TOTOFT	27,4		
TOTOFX	26,4		
TOTOPE	50,7		
(vide)	85 483,6		
Total général	147 494,4		



ANNEXE 3 : LISTE DES PARCELLES D'ORIGINE À REGROUPER, AVEC LEURS SUPERFICIES

Une description des différents codes utilisés dans cette nomenclature est fournie dans le fichier Excel joint à cette page du document.



DICTIONNAIRE_CAR
TE_ECO_ORI.xlsx