



Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs



CARACTÉRISATION DE LA QUALITÉ DU BOIS : les propriétés du bois

Document de référence

Janvier 2019

Rédaction

Guillaume Giroud, ing.f., *Ph. D.*

Révision

Julie Barrette, ing.f., *Ph. D.*

Mélanie Major, ing.f., *M. Sc.*

Pierre-Luc Couillard, ing.f. *M. Sc.*

Isabelle Pomerleau, ing.f.

Coordination

Mélanie Major, ing.f., *M. Sc.*

Isabelle Legault, ing.f., *M. Sc.*

Mise en page

Josianne Savard, agente de secrétariat

Révision linguistique

Anne Veilleux, réviseure linguistique

Confection des cartes et de la page couverture

Valérie Roy, t.a.a.g.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2019

PDF ISBN : 978-2-550-83427-4

Table des matières

Introduction	4
Contexte	4
Spectroscopie proche infrarouge	5
Les propriétés du bois	5
Densité du bois	5
Rigidité du bois	6
Objectif	6
Estimation de la densité et de la rigidité du bois	6
Informations concernant l'utilisation des données	9
Symbologie	9
Informations concernant l'utilisation de la symbologie	9
Conclusion	11
Références	12
Annexe – Cartes provinciales de la densité et de la rigidité du bois, par essence	13
Cartes de densité.....	14
Cartes de rigidité.....	17

Introduction

La Direction des inventaires forestiers (DIF) a entrepris, en 2012, un projet d'acquisition de connaissances sur la caractérisation de la qualité du bois. Les données issues de ce projet caractérisent le potentiel de qualité des tiges¹ et sont associées à chaque peuplement de la carte écoforestière originale. Issue de différentes sources, l'information contenue concerne les propriétés du bois des principales essences boréales du Québec et, prochainement, des taux de carie pour certaines espèces résineuses.

Contexte

La valeur du panier de produits des peuplements résineux dépend des dimensions et du défilement des tiges, de la présence de défauts internes, mais aussi des propriétés intrinsèques du bois, telles que la densité et la rigidité, puisque le bois d'œuvre résineux est utilisé principalement à des fins structurales (Giroud 2017). Depuis plus de 40 ans, la publication *Résistance et propriétés connexes des bois indigènes au Canada* de Jessome (1977) est le document le plus cité, lorsqu'il s'agit de faire référence aux propriétés physiques et mécaniques des bois canadiens exempts de défaut. Ces propriétés ont été mesurées en laboratoire en respectant les normes de référence très exigeantes en la matière. Toutefois, cette étude repose sur un nombre restreint d'arbres et de sites échantillonnés et, jusqu'à récemment, aucune information n'était disponible sur la variabilité géographique de ces propriétés en forêt. Cette absence de connaissances s'explique principalement par les efforts et les coûts considérables associés à la réalisation d'un inventaire sur les propriétés du bois, lequel suppose l'échantillonnage de milliers d'arbres et leurs analyses en laboratoire. Au début des années 2010, un partenariat entre l'industrie et la recherche, financé par le Centre canadien sur la fibre de bois et le Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada, a permis de réaliser un inventaire de la qualité de la fibre de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du sapin baumier (*Abies balsamea*) à l'échelle de Terre-Neuve, démontrant, par le fait même, l'importante variabilité régionale des propriétés du bois exemptes de défaut, et la faisabilité d'estimer ces mêmes propriétés à l'échelle du peuplement forestier (Lessard 2013). À la suite de cette démarche, une papetière, partenaire du projet, a pu réaliser des économies substantielles sur ses coûts d'opération, en s'approvisionnant davantage en sapin, ayant les qualités désirées pour la pâte, laquelle ressource se situait plus près de l'usine que l'épinette noire habituellement recherchée (communications personnelles).

De façon générale, l'épinette noire produit un bois ayant d'excellentes propriétés mécaniques. Les autres essences résineuses, dont le sapin, peuvent également produire du bois d'œuvre de qualité. Il apparaît ainsi pertinent de pouvoir localiser les régions ou les peuplements à fort potentiel de bois dense et rigide pour ces essences, particulièrement s'ils se situent à proximité des usines produisant du bois classé mécaniquement. Cette réflexion sur la localisation des peuplements ou des régions à fort potentiel peut se transposer au contexte des pâtes et papiers, mais en considérant les propriétés de la fibre importantes pour le papier, comme la densité du bois, la longueur des fibres et la masse linéique, qui est le rapport de la masse par unité de longueur de fibre. La localisation des peuplements ou des régions à fort potentiel de bois rigide est de moindre importance dans le cas des essences boréales feuillues, comme le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), puisque l'utilisation de ces essences à des fins structurales est marginale. Par contre, la localisation des peuplements ou des régions à faible densité est déterminante pour la fabrication de panneaux. La fabrication de panneaux de grandes particules orientées (OSB, *oriented strandboard*) est en effet adaptée à des essences de faible densité, comme le peuplier faux-tremble au Québec.

¹ Il est important de noter que ces informations ne remplacent ni ne font référence aux données issues de la classification de la qualité des tiges sur pied (CL_QUAL /A-B-C-D) qui, elles, sont disponibles dans les données des placettes-échantillons temporaires du 2^e, 3^e, 4^e et 5^e inventaire et des placettes-échantillons permanentes.

C'est dans ce contexte que la DIF a décidé d'évaluer la faisabilité technique et scientifique d'un inventaire sur les propriétés du bois au Québec (Defo et al. 2013a, 2013b). Après avoir comparé l'ensemble des technologies disponibles, la spectroscopie proche infrarouge s'est avérée la technologie la plus appropriée pour mettre à profit l'échantillonnage unique que représentent les milliers de carottes de bois récoltées annuellement dans les placettes-échantillons temporaires de la DIF. Les résultats de cette étude ont également permis de démontrer l'influence de la station et des conditions de croissance sur les propriétés du bois de l'épinette noire.

Spectroscopie proche infrarouge

Les applications de la spectroscopie proche infrarouge au bois sont nombreuses (Giroud 2017). Il s'agit d'une technique, rapide et non destructive, requérant peu de préparation. La spectroscopie proche infrarouge utilise la gamme infrarouge du spectre électromagnétique comprise entre 780 et 2500 nm. Il s'agit d'une spectroscopie d'absorption dont le principe repose sur l'absorption du rayonnement proche infrarouge par la matière organique, laquelle est intimement liée à la nature chimique du bois. La calibration consiste à relier les spectres d'absorbance à des mesures de propriétés du bois, au moyen d'analyses multivariées. Ce modèle de calibration nécessite des mesures précises provenant de méthodes de référence. SilviScan® est l'instrument de référence lorsqu'il s'agit de calibrer des modèles proches infrarouges destinés à prédire les propriétés du bois à partir de carottes d'inventaire. De nombreuses calibrations proches infrarouges ont ainsi été développées pour plusieurs essences, dont le sapin baumier et l'épinette noire. Avec SilviScan®, les propriétés du bois sont mesurées par densitométrie à rayons X, diffractométrie à rayons X et analyse d'images. Il faut noter que la rigidité du bois mesurée avec SilviScan® est environ 10 % plus élevée que la rigidité dite statique, c'est-à-dire mesurée avec des tests mécaniques en flexion, et que les résultats des deux méthodes sont hautement corrélés. Des différences plus importantes ont été rapportées dans la littérature pour les essences feuillues entre des mesures dynamiques et des mesures statiques de rigidité.

Les propriétés du bois

Densité du bois

La densité du bois est un concept physique permettant de comparer le poids de différents matériaux à volume égal. C'est la propriété la plus étudiée, parce qu'elle est corrélée aux autres propriétés et à plusieurs caractéristiques technologiques du bois. La densité du bois influence notamment le coût du transport, le prix d'achat du bois au poids, la résistance mécanique, le rendement en pâte, ainsi que les différentes propriétés acoustiques, thermiques et calorifiques du matériau. En outre, la densité du bois est un facteur clé pour l'évaluation de la biomasse forestière et de la bioénergie.

La densité du bois est le rapport de la masse au volume. Elle s'exprime donc en kilogramme par mètre cube (kg/m^3). Cette relation est étroitement liée à la teneur en humidité de la pièce de bois. C'est pourquoi la masse et le volume sont toujours exprimés à une teneur en humidité donnée. La densité basale, plus spécifiquement, correspond donc au rapport de la masse anhydre, c'est-à-dire de la masse sèche, sur le volume de bois à l'état vert. Il est intéressant de mentionner que la densité de la paroi cellulaire est d'environ 1500 kg/m^3 , peu importe l'essence. Les essences ont donc des densités différentes parce qu'elles ont des porosités différentes. La densité du bois varie aussi à l'intérieur d'une même essence, d'un même arbre et d'un même cerne.

La densité du bois est directement corrélée à la proportion de bois d'été (ou bois final) dans un cerne. Le cambium produit du bois d'été, une fois la production des feuilles et des pousses annuelles terminée. Ce bois contient des cellules plus petites avec des parois plus épaisses que le bois de printemps (ou bois initial). Chez la plupart des essences résineuses, un taux de croissance élevé favorisera la production de bois initial, plus poreux, et donc moins dense, que le bois final. Toutefois,

cette relation peut être influencée par d'autres facteurs comme l'âge, la vitalité de l'arbre, la proportion de cimes vivantes, la station (sol, eau, pente) ou encore le climat. À titre d'exemple, le *Southern Pine Inspection Bureau* aux États-Unis définit une règle de classement visuel pour le bois de plantation de pin, basée essentiellement sur le nombre de cernes et sur la proportion de bois final afin d'évaluer la qualité structurale des sciages. La pièce de bois sera classée de qualité supérieure si elle contient au moins 6 cernes par pouce et un tiers de bois final, ou si elle contient au moins 4 cernes par pouce et la moitié de bois final.

Rigidité du bois

Le bois soumis à une contrainte va se déformer. La rigidité du bois est la résistance du bois à la déformation. Plus le bois est rigide, moins il se déforme. On utilise le module d'élasticité (MOE) pour exprimer la rigidité du bois. Le MOE est le rapport de la contrainte (force) à la déformation sous la limite proportionnelle, c'est-à-dire dans la zone d'élasticité du bois. Au-delà de cette limite, le bois commence à se déformer de façon irréversible. Le MOE s'exprime en méga ou en gigapascals (MPa ou GPa). Le MOE est utilisé en ingénierie pour déterminer les dimensions des poutres connaissant la déformation admissible selon les normes de construction, la portée de la poutre et la charge à supporter. La résistance du bois est la propriété la plus importante lorsque le bois est destiné à un usage structural. Elle est aussi étroitement corrélée à la densité du bois.

Au Canada, la plupart des sciages résineux sont classés visuellement selon les règles de classification pour le bois d'œuvre canadien définies par la Commission nationale de classification des sciages (*National Lumber Grades Authority*, NLGA). La résistance est estimée indirectement par le classement visuel des sciages résineux, puisqu'elle est fortement influencée par la présence des nœuds, du bois de compression, et par l'inclinaison du fil, naturelle ou conséquente au débitage. Dans le calcul des contraintes admissibles, les ingénieurs utilisent donc un facteur de réduction de la résistance du bois exempt de défaut, lequel varie selon la classe visuelle du sciage. Toutefois, plusieurs usines classent aussi mécaniquement leurs bois afin d'en connaître précisément la rigidité au moyen d'équipements spécialisés, comme le bois classé par contrainte mécanique (MSR, *machine stress-rating*). Ces bois à valeur ajoutée sont appréciés des ingénieurs parce qu'ils réduisent l'incertitude sur la résistance réelle des sciages permettant ainsi de les utiliser à leur plein potentiel dans des applications d'ingénierie, comme les poutrelles, les fermes de toit ou encore le lamellé-collé. Il existe, en principe, plusieurs grades MSR allant d'une rigidité moyenne de 8,3 à 16,5 GPa, ce qui démontre la variabilité naturelle de la rigidité des sciages résineux.

Objectif

L'objectif de cet inventaire provincial des propriétés du bois est d'estimer la densité et la rigidité du bois à l'échelle du peuplement forestier pour les principales essences boréales du Québec (épinette noire, épinette blanche [*Picea glauca*], sapin baumier, pin gris [*Pinus banksiana*], bouleau à papier et peuplier faux-tremble) de manière à pouvoir inclure ces éléments de valeur dans les différentes prises de décisions, afin d'investir au bon endroit, au bon moment, de la bonne façon, ou encore de faire cheminer le bon bois, à la bonne usine, pour le bon usage.

Estimation de la densité et de la rigidité du bois

L'estimation de la densité et de la rigidité du bois repose, pour chaque essence, sur deux modèles statistiques imbriqués : un premier modèle à l'échelle du cerne et un second à l'échelle du peuplement forestier (Giroud 2017). Le premier modèle utilise, comme variables explicatives, les valeurs d'absorbance dans le proche infrarouge, l'âge cambial, la largeur du cerne et la distance de la moelle au cerne de référence afin d'estimer la densité et la rigidité du bois à l'échelle du cerne. L'absorption de la lumière proche infrarouge est donc mesurée sur chaque carotte de la moelle à l'écorce. Ces

carottes, prélevées systématiquement à 1 mètre de hauteur, sont préalablement encollées et sablées de la même manière, offrant une finition parfaite pour la mesure spectrale. D'autre part, le bois de ces carottes est généralement exempt de défauts, considérant que ces carottes sont prélevées avec soin pour permettre la mesure précise des cernes. Toutefois, lorsque des défauts sont apparents sur la carotte, tels que du bois de compression, des résidus de colle ou autres, ils sont alors systématiquement annotés et les cas les plus problématiques sont retirés, l'objectif étant d'analyser des mesures relatives et comparables de propriétés de bois exempt de défauts. Les carottes sont également numérisées, puis analysées au moyen du logiciel WinDendro® afin de dénombrer et de mesurer la largeur des cernes de croissance. Pour cette première étape de modélisation, la méthode statistique de référence en spectroscopie, soit la régression des moindres carrés partiels (PLS, *partial least squares regression*), a été utilisée. Cette méthode statistique est particulièrement appropriée lorsque les variables explicatives sont nombreuses et fortement colinéaires. À titre d'exemple, les modèles développés utilisent plus de 2000 valeurs d'absorbance, correspondant chacune à des longueurs d'onde différentes. Cette méthode statistique est appliquée à l'ensemble des carottes de bois récoltées dans les placettes-échantillons temporaires de la DIF. Les estimations de densité et de rigidité obtenues à l'échelle du cerne sont, par la suite, moyennées à l'échelle de l'arbre-étude, en pondérant les valeurs en fonction de la surface des cernes. Les valeurs sont finalement moyennées à l'échelle du peuplement forestier pour servir d'intrants au second modèle. Le second modèle utilise des variables cartographiques photo-interprétées (par exemple l'âge du peuplement, la densité du couvert, la hauteur de l'étage supérieur, la composition en essences, etc.) et des variables géoclimatiques (par exemple les coordonnées du peuplement et des variables climatiques) pour estimer la densité et la rigidité du bois à l'échelle du peuplement forestier. Pour cette dernière étape de modélisation, des régressions linéaires mixtes ont été utilisées afin de tenir compte de l'autocorrélation à l'intérieur des unités écologiques dans lesquelles les carottes de bois ont été récoltées.

Des estimations de densité et de rigidité du bois, ainsi que leurs intervalles de confiance à 95 %, ont été générées pour l'ensemble des peuplements forestiers productifs de la carte écoforestière originale, soit des peuplements de plus de 7 mètres de hauteur (figure 1). Ces estimations sont disponibles à l'échelle du peuplement lorsque l'une des six essences modélisées (épinette noire, épinette blanche, pin gris, sapin baumier, bouleau à papier, peuplier faux-tremble) est photo-interprétée dans l'étage supérieur du peuplement. Il faut noter que l'analyse par spectroscopie proche infrarouge concerne les carottes de bois récoltées dans les placettes-échantillons temporaires entre 2011 et 2016 (figure 2). Quoi qu'il en soit, des estimations suffisamment fiables ont pu être générées pour les territoires non échantillonnés. Une métadonnée (IN_SON_BOI) dans la table relationnelle indique si le peuplement fait partie ou non du territoire échantillonné. Il est prévu de poursuivre l'analyse des carottes de l'inventaire au cours des prochaines années de manière à échantillonner l'ensemble de la forêt aménagée.

Figure 1. Table relationnelle des données de propriétés du bois (extrait)

Table

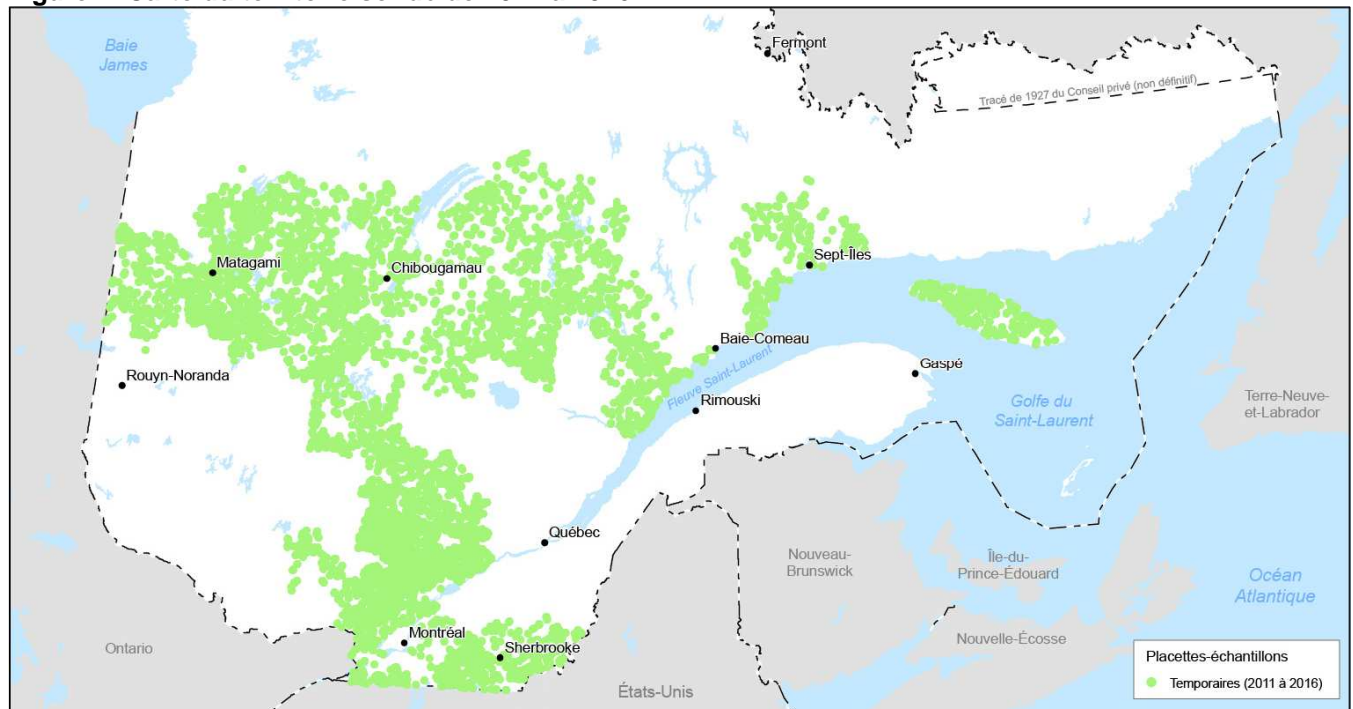
PROPRIETES_BOIS_PEE_ORI_PROV

OBJECTID*	GEOCODE*	ESSENCE	DEN	IC DEN INF	IC DEN SUP	MOE	IC MOE INF	IC MOE SUP	IN SON BOI
1	+0,26+628457,53	BOP	513,7	482	546,9	17,2	15,1	19,2	O
2	+0,26+628457,53	EPN	441,1	417,4	465,2	13	11,3	14,8	O
3	+0,26+628457,53	PET	405,9	385,9	424,2	14,9	13,8	15,9	O
4	+0,26+628457,53	SAB	369,2	344,4	394,4	9,9	8,7	10,9	O
5	+0,32+488312,33	BOP	498,4	466	531,1	16,5	14,4	18,4	N
6	+0,32+488312,33	PET	410,3	391,8	429,3	15,2	14,1	16,4	O
7	+0,32+488312,33	SAB	355,9	331,9	380,9	9,4	8,2	10,6	N
8	+0,38+416999,53	BOP	520,5	487,9	551,7	17,6	15,3	19,8	N
9	+0,38+416999,53	PET	410	391,3	428,3	14,8	13,6	16	O
10	+0,38+416999,53	SAB	359,4	337,4	382,3	9,7	8,5	10,9	N
11	+0,41+804402,54	EPB	431,9	404,7	457,7	10	8,3	11,7	O
12	+0,41+804402,54	EPN	438,7	413,7	463,4	12,7	10,7	14,6	O
13	+0,41+804402,54	SAB	387,1	362,5	411,8	10,3	9,1	11,4	O
14	+0,62+838688,51	EPN	460,5	436,2	484,3	13,9	12	15,7	O
15	+0,62+838688,51	SAB	399,3	377,4	421	10,4	9,2	11,6	O
16	+1,04+834097,28	BOP	501,6	467,5	536,5	16,7	14,9	18,7	N
17	+1,04+834097,28	EPN	453,7	430,1	479,3	13,4	11,7	15,2	O
18	+1,04+834097,28	SAB	387,8	364,8	411,4	10,2	9	11,4	O
19	+1,13+759681,85	EPN	474	446,7	500,1	13,8	12	15,5	O
20	+1,77+812048,19	EPN	439	411,9	464,4	13,1	11,3	15	O
21	+1,77+812048,19	SAB	389	364,2	413,8	10,7	9,4	12	O
22	+1,95+400923,12	EPB	388,2	362,4	415,4	9,6	7,9	11,4	N
23	+1,95+400923,12	EPN	448,8	424,2	473,5	13,9	12,1	15,8	N
24	+1,95+400923,12	SAB	362,2	339,1	384,6	9,8	8,6	11,1	N
25	+10,28+618691,34	BOP	494,8	462,9	528,5	16,1	14	18,1	O
26	+10,28+618691,34	EPN	438,4	414,9	462,5	12,7	10,8	14,7	O
27	+10,28+618691,34	SAB	378,4	355,3	403,2	10	8,7	11,1	O
28	+10,53+598198,38	EPN	443,7	418,9	467,6	13	11,1	14,8	O
29	+10,53+598198,38	SAB	382,2	357,3	407	10,3	9,1	11,6	O
30	+10,81+454489,97	BOP	503,8	472,4	536	16,6	14,6	18,6	N
31	+10,81+454489,97	PET	408,4	390,2	427,2	15,1	14	16,2	O
32	+10,81+454489,97	SAB	359,9	335,6	385,1	9,6	8,4	10,8	N
33	+100,22+717816,24	BOP	484,4	451,5	516,1	15,3	13,3	17,5	N
34	+100,22+717816,24	EPN	454,6	431	478,1	12,9	11,1	14,7	O
35	+100,22+717816,24	SAB	384,5	360,8	411	10	8,7	11,1	O
36	+100,57+842856,80	EPN	462,3	438,5	486,6	14,1	12,3	15,9	O
37	+100,57+842856,80	SAB	399,7	376,8	423,1	10,6	9,5	11,8	O

(0 sur 10158194 sélectionnés)

PROPRIETES_BOIS_PEE_ORI_PROV

Figure 2. Carte du territoire sondé de 2011 à 2016



Informations concernant l'utilisation des données

Les estimations de densité et de rigidité du bois sont issues de modèles statistiques. Ainsi, les valeurs associées à chaque peuplement forestier sont des estimations de la valeur réelle. Chaque valeur de densité et de rigidité est donc accompagnée de son intervalle de confiance à 95 % qui nous renseigne sur l'erreur de prédiction propagée par les deux étapes de modélisation. Un intervalle de confiance est l'étendue dans laquelle il est probable de retrouver la réponse moyenne pour des valeurs données des variables explicatives du modèle. Plus un intervalle de confiance est étroit autour de la valeur estimée, plus l'estimation est précise. Les deux prédictions sont statistiquement différentes l'une de l'autre lorsque leurs intervalles de confiance ne se chevauchent pas. Prenons l'exemple fictif d'un modèle d'estimation de la densité du bois d'une espèce donnée qui aurait comme seule variable explicative l'âge du peuplement. Si la densité du bois prédit avec ce modèle est de 455 kg/m³ pour un âge de peuplement de 50 ans, avec un intervalle de confiance de 430 à 480 kg/m³, nous pouvons alors être certains à 95 % que cette étendue inclut la moyenne des densités du bois de tous les peuplements ayant un âge de 50 ans.

La densité et la rigidité du bois ont été mesurées sur des carottes de bois prélevées à 1 mètre de hauteur. Il est connu que ces propriétés varient à l'intérieur de l'arbre, mais que des estimations à hauteur de poitrine, ou à 1 mètre de hauteur, constituent des indicateurs suffisamment fiables et représentatifs. De plus, il est bon de rappeler que ces propriétés sont exemptes de défauts à des fins de comparaison. En réalité, les propriétés du bois sont influencées par différents facteurs, tels que les nœuds, le bois de réaction ou encore la carie. Finalement, les modèles ont été développés avec des arbres études codominants et dominants. Les estimations de densité et de rigidité à l'échelle du peuplement forestier ne s'appliquent donc qu'aux arbres de l'étage supérieur.

Enfin, les données de densité et de rigidité du bois, à l'échelle du peuplement, devraient être utilisées de façon relative, c'est-à-dire pour comparer les valeurs entre elles et identifier des secteurs à fort potentiel, en tenant compte des intervalles de confiance. Par exemple, une valeur de rigidité dans un peuplement donné ne permet pas de prédire précisément la rigidité qu'aura le bois issu de ce peuplement. Par contre, une valeur de rigidité élevée par rapport aux autres peuplements permet de prédire que la rigidité du bois issue de ce peuplement aura un plus fort potentiel que les autres si leurs intervalles de confiance ne se chevauchent pas. Au final, la spatialisation des données de densité et de rigidité du bois permet surtout d'identifier des zones à fort potentiel sur le territoire.

Symbologie

Des symbologies (classifications thématiques des valeurs) provinciales ont été développées pour la densité, et la rigidité du bois (figure 3 et figure 4) pour chacune des six essences analysées : l'épinette noire, le sapin baumier, l'épinette blanche, le pin gris, le bouleau à papier et le peuplier faux-tremble. Ces symbologies permettent aux utilisateurs de visualiser les données dans un SIG, par exemple Arcmap. Le nombre de classes définies et les valeurs seuils proposés varient selon la propriété du bois et l'essence. L'ensemble des cartes provinciales de densité et de rigidité du bois ainsi que leurs légendes respectives par essence sont présentées en annexe.

Informations concernant l'utilisation de la symbologie

La symbologie, appliquée aux données des propriétés du bois, donne un aperçu visuel de leur répartition spatiale, mais il est important de noter qu'elle ne permet pas de prendre en compte les valeurs d'intervalles de confiance. Ainsi, des peuplements qui semblent appartenir à deux classes de données différentes (couleurs différentes selon la symbologie) pourraient en fait ne pas être statistiquement différents l'un de l'autre, si leurs intervalles de confiance se chevauchent. Pour localiser des peuplements ou des régions à fort potentiel de bois dense ou rigide, les intervalles de confiance doivent être intégrés dans l'analyse des données.

Figure 3. Exemple de cartographie provinciale des données de rigidité pour l'épinette noire

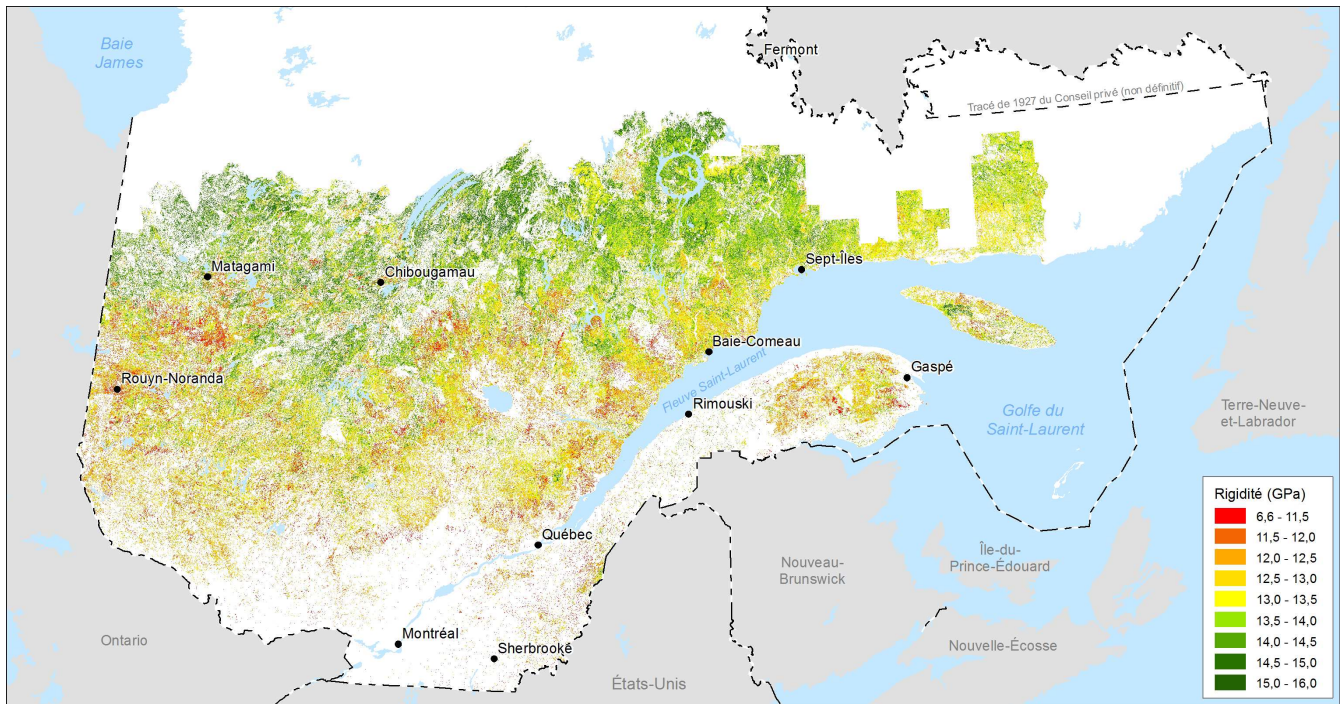
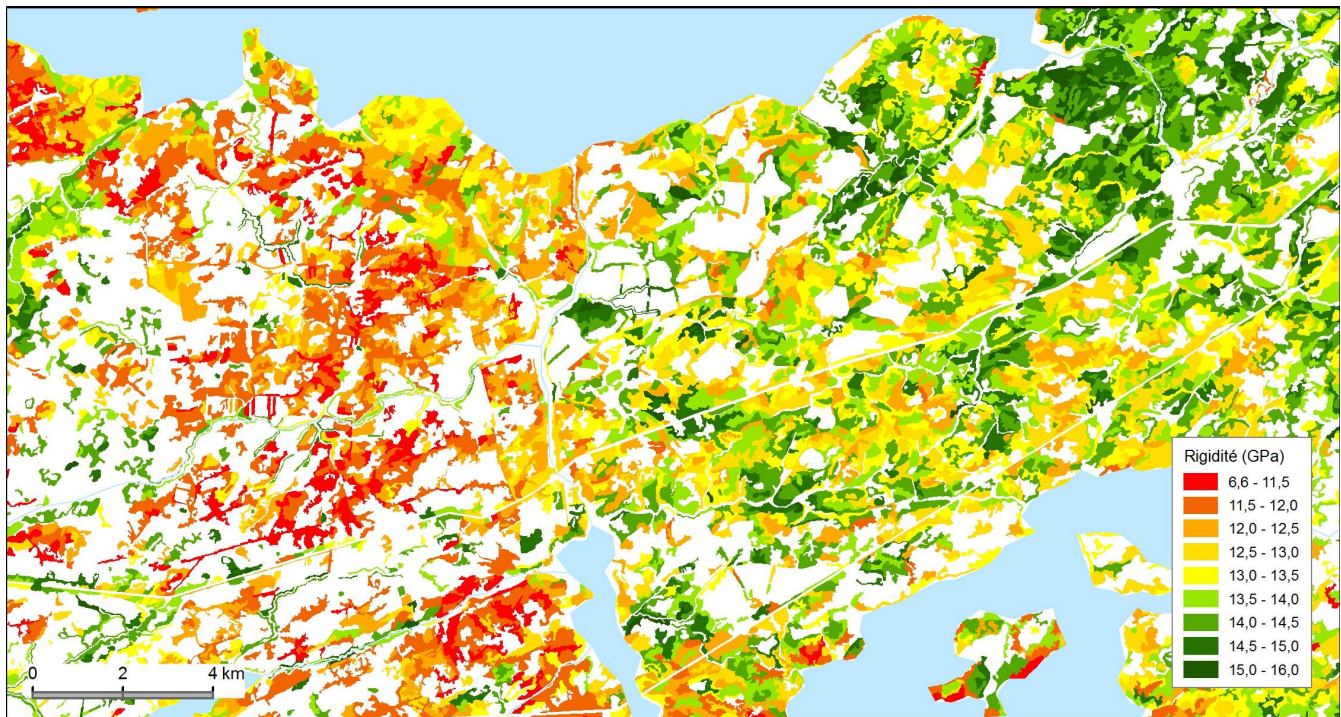


Figure 4. Exemple de cartographie locale des données de rigidité pour l'épinette noire



Conclusion

La méthode proposée permet d'estimer la densité et la rigidité du bois à l'échelle du peuplement écoforestier pour les principales essences boréales du Québec. Il est désormais possible de localiser les peuplements et les régions en fonction de leur potentiel de bois dense ou rigide. Cette information est de première importance lorsqu'il s'agit d'évaluer la valeur marchande des bois sur pied. Elle est ainsi complémentaire à l'estimation du volume marchand et des taux de carie. Au cours des prochaines années, l'échantillonnage et l'analyse par spectroscopie proche infrarouge des carottes de l'inventaire se poursuivront de manière à couvrir l'ensemble de la forêt aménagée du Québec. Il sera alors possible de mettre à jour les modèles de spatialisation, d'autant plus que la caractérisation des peuplements forestiers s'avère également de plus en plus précise grâce aux nouvelles connaissances et technologies d'inventaire forestier.

Références

DEFO, M., G. GIROUD et J. BÉGIN. 2013a. Étude de faisabilité portant sur la caractérisation de la qualité de la fibre de bois à partir des données de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM). Rapport n° 1, étude de faisabilité technologique. Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers, Québec, Québec. 49 pages.

DEFO, M., G. GIROUD et J. BÉGIN. 2013b. Étude de faisabilité portant sur la caractérisation de la qualité de la fibre de bois à partir des données de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM). Rapport n° 2, étude de faisabilité scientifique. Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers, Québec, Québec. 50 pages.

GIROUD, G. 2017. Développement d'une méthode d'inventaire de la qualité de la fibre au Québec. 2017. Thèse de doctorat. Université Laval. 103 pages. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/27812>.

JESSOME, A. P. 1977. Résistance et propriétés connexes des bois indigènes au Canada. Forintek Canada Corp. Sainte-Foy, Québec. 37 pages.

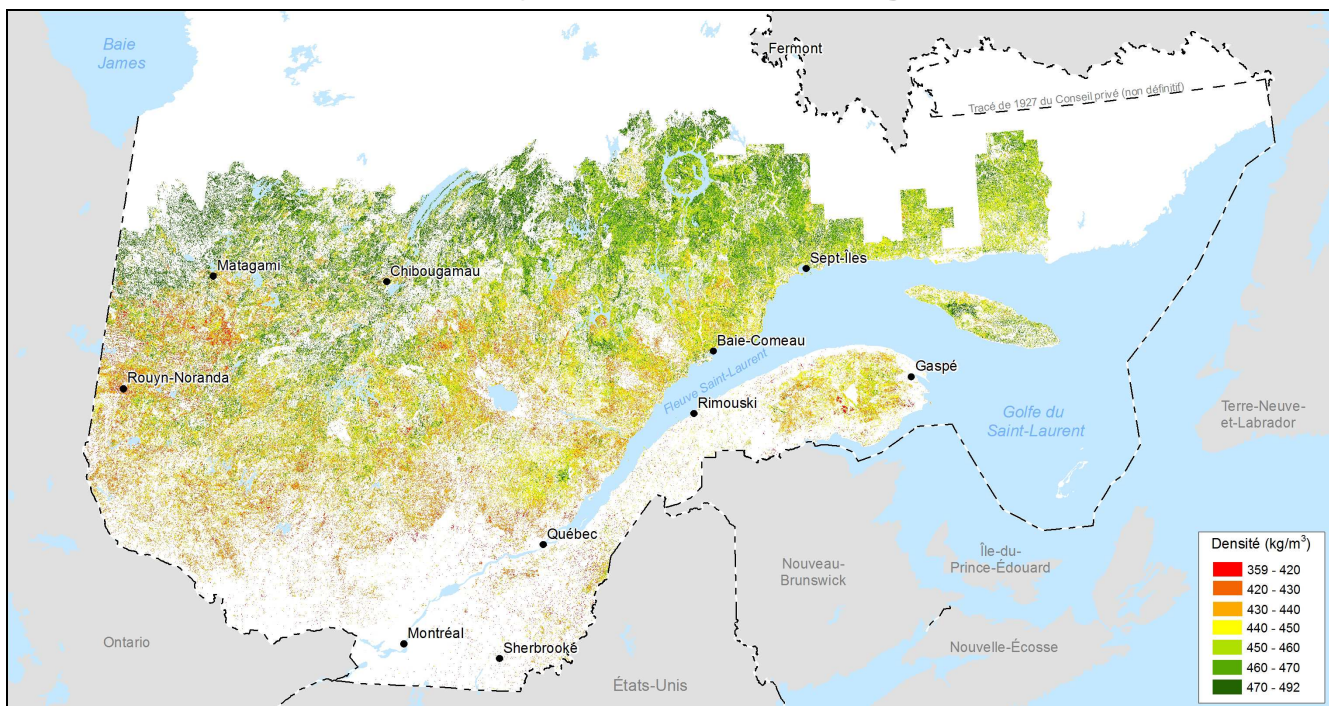
<ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/Public/Bibliointer/Mono/2017/04/0508792.pdf>.

LESSARD, É. 2013. Modélisation et cartographie des propriétés de la fibre de bois, à partir de données environnementales et d'inventaire forestier : cas de la forêt boréale à Terre-Neuve. Mémoire de maîtrise. Université de Sherbrooke. 103 pages. <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/6522>.

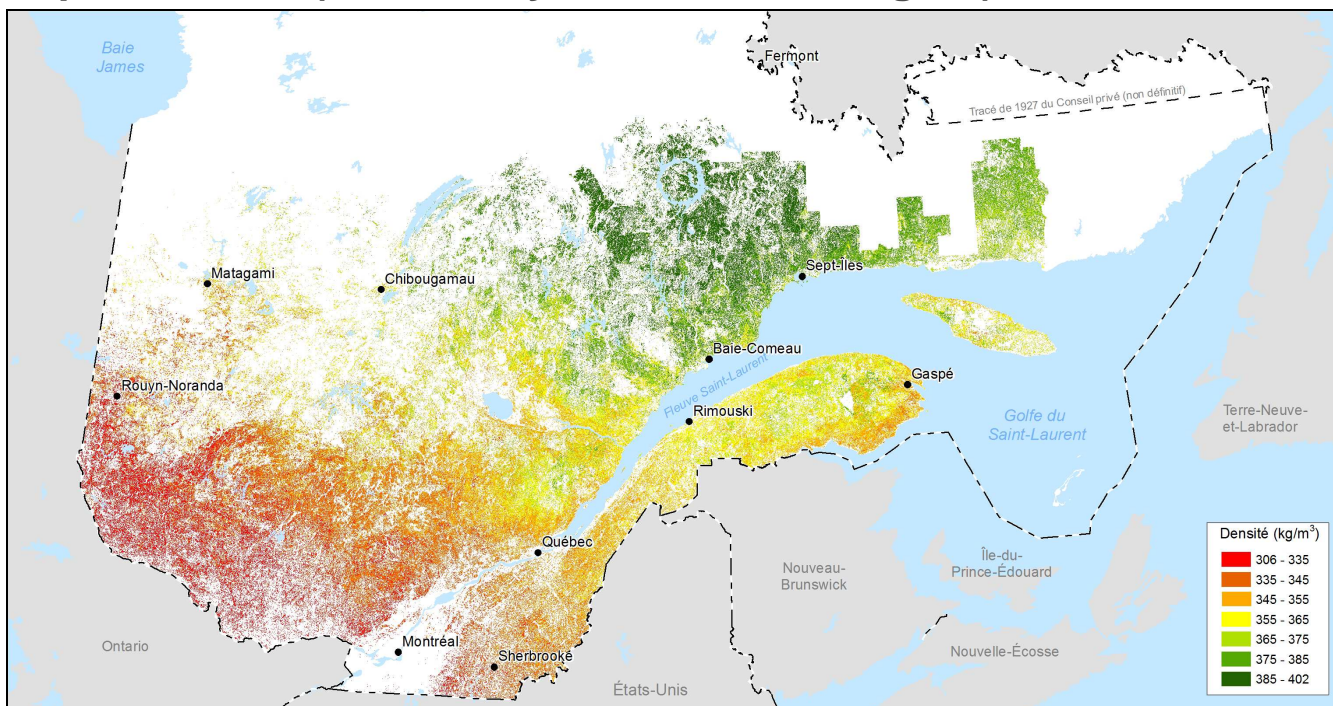
Annexe – Cartes provinciales de la densité et de la rigidité du bois, par essence

Cartes de densité

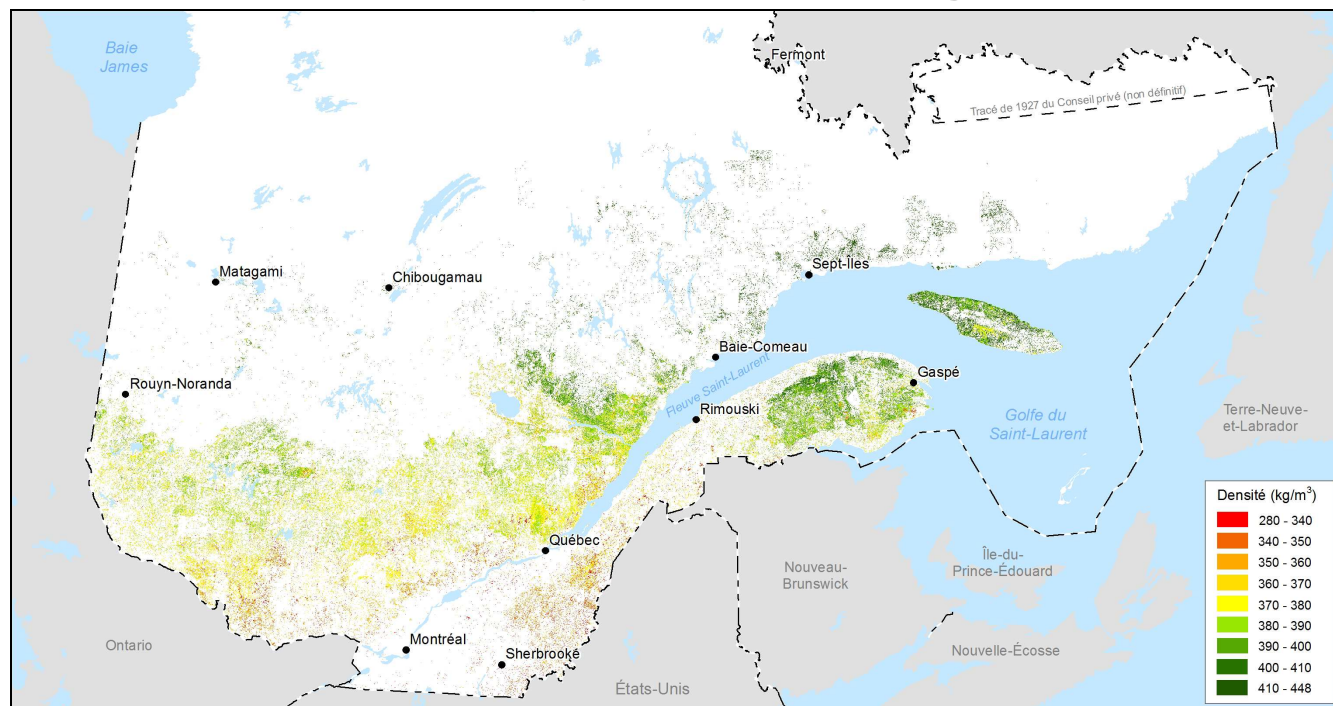
Épinette noire (valeur moyenne : $452 \pm 18 \text{ kg/m}^3$)



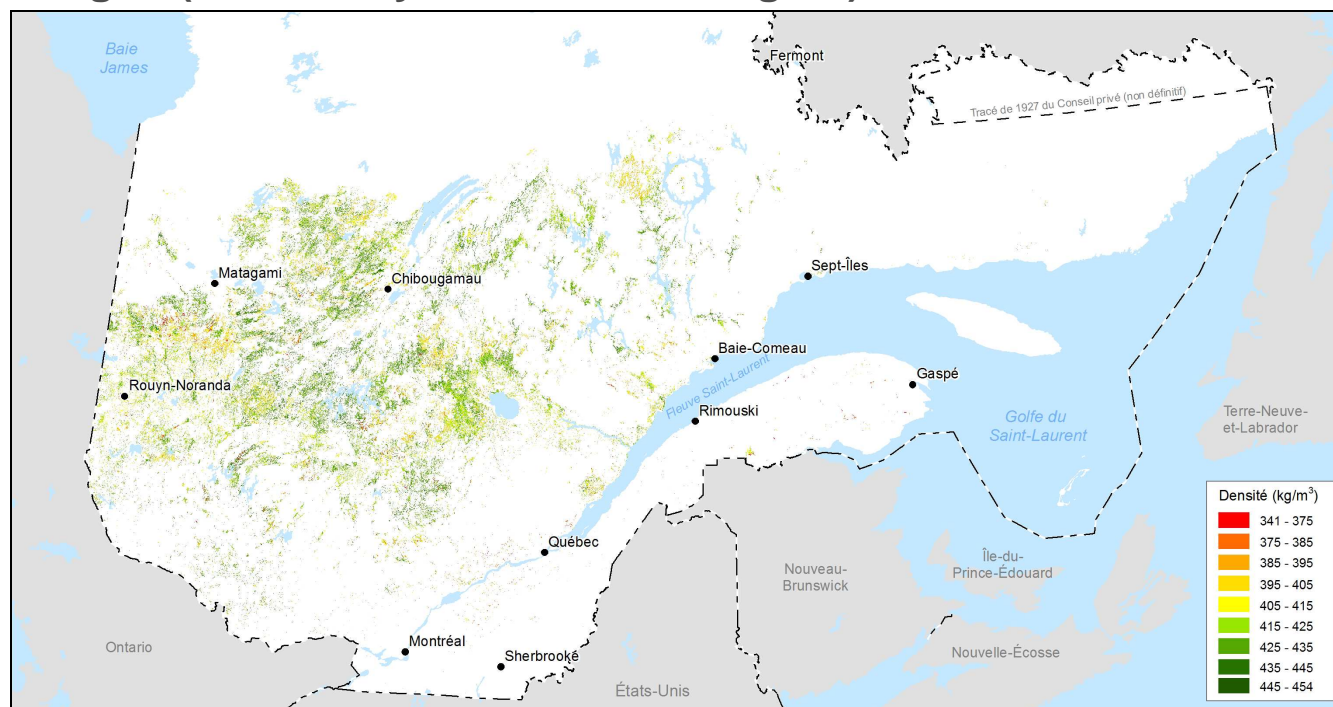
Sapin baumier (valeur moyenne : $357 \pm 20 \text{ kg/m}^3$)



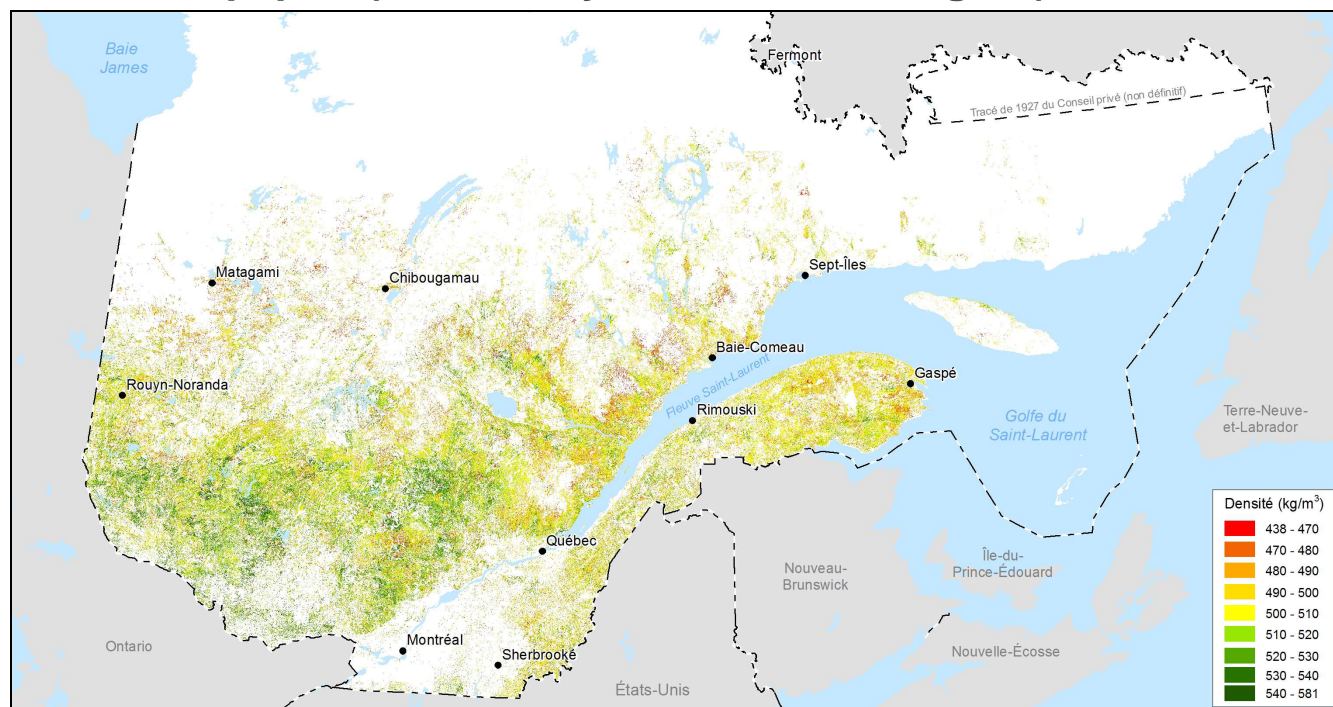
Épinette blanche (valeur moyenne : $379 \pm 21 \text{ kg/m}^3$)



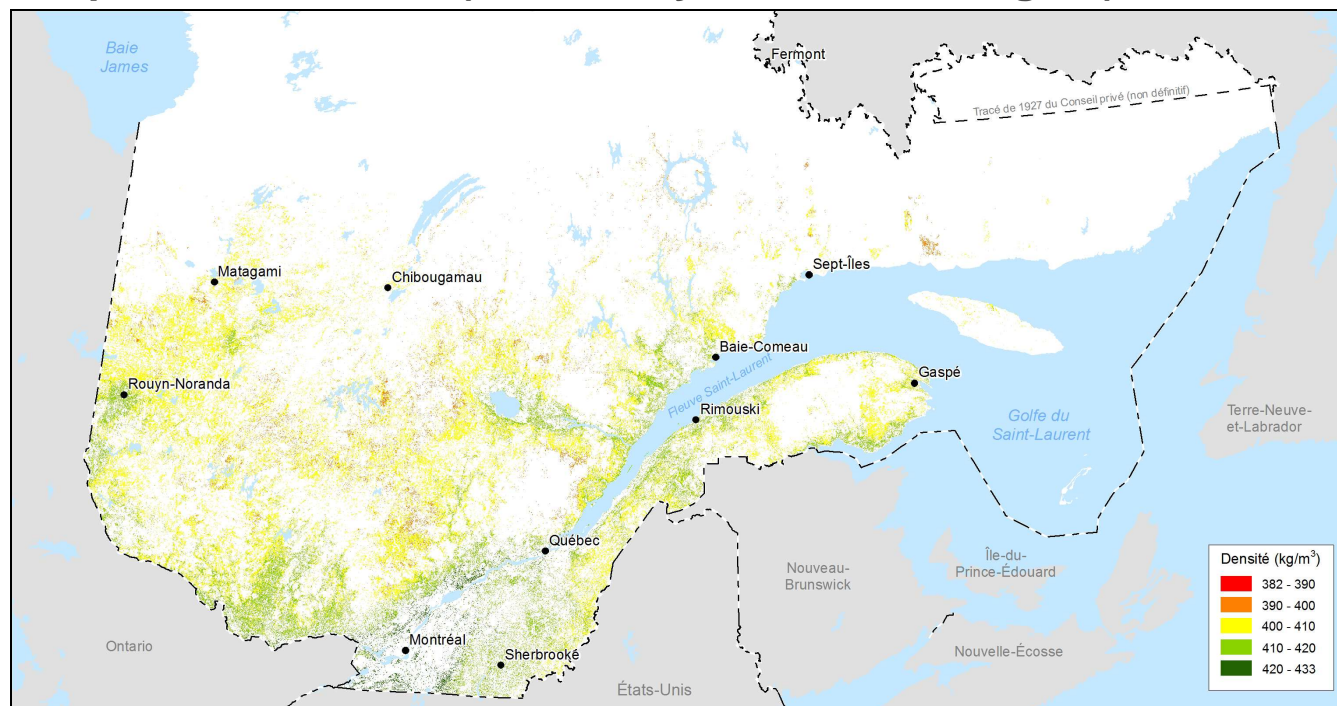
Pin gris (valeur moyenne : $419 \pm 16 \text{ kg/m}^3$)



Bouleau à papier (valeur moyenne : $504 \pm 18 \text{ kg/m}^3$)

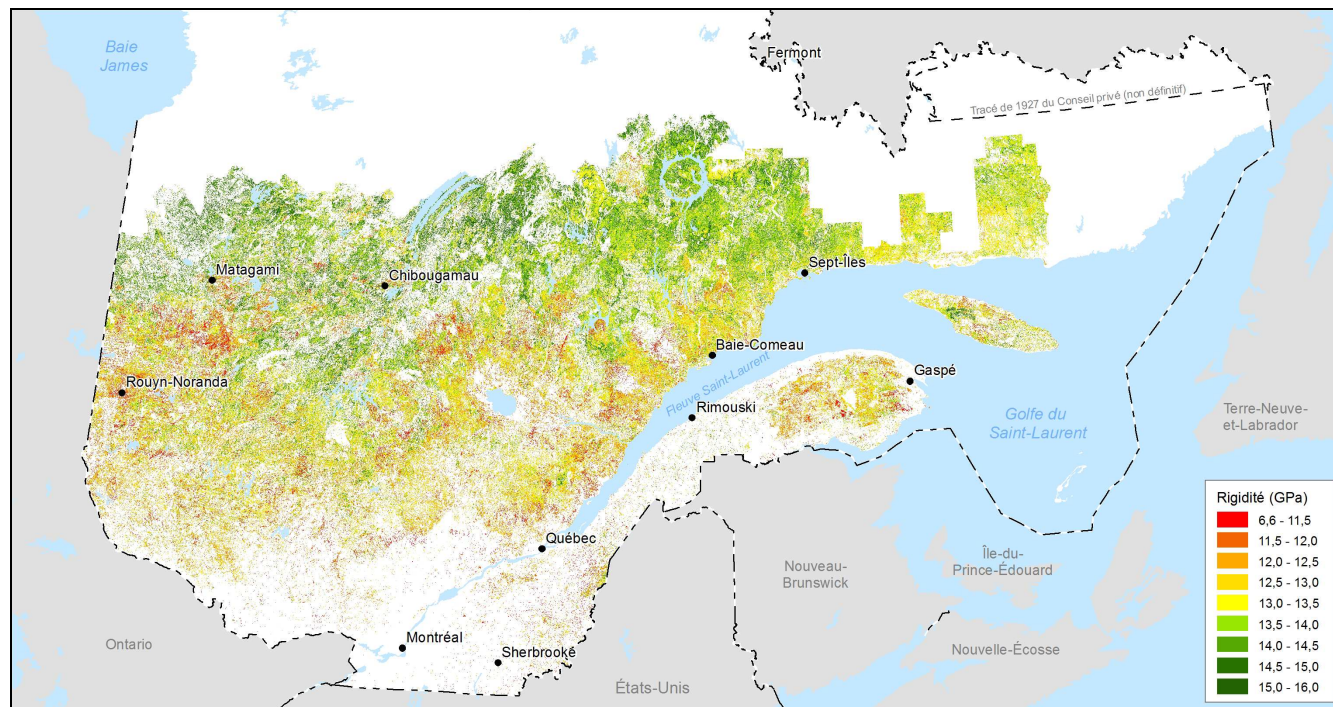


Peuplier faux-tremble (valeur moyenne : $408 \pm 6 \text{ kg/m}^3$)

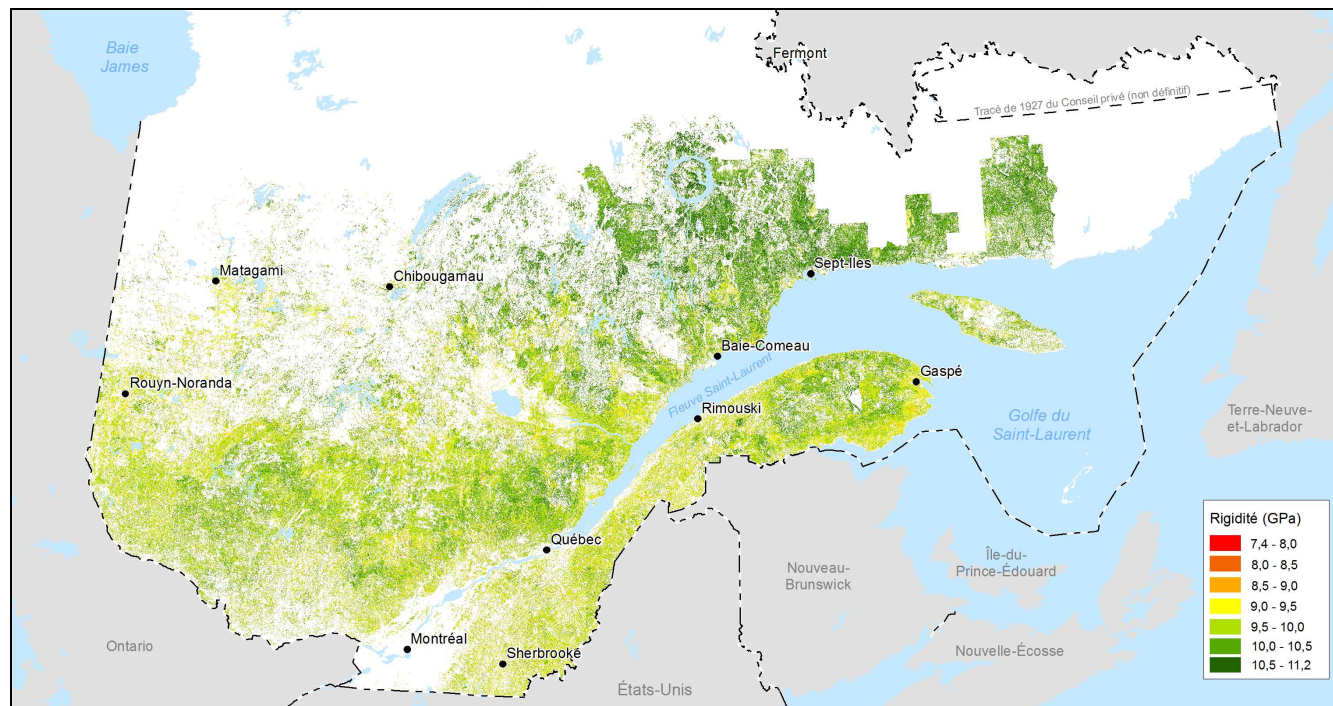


Cartes de rigidité

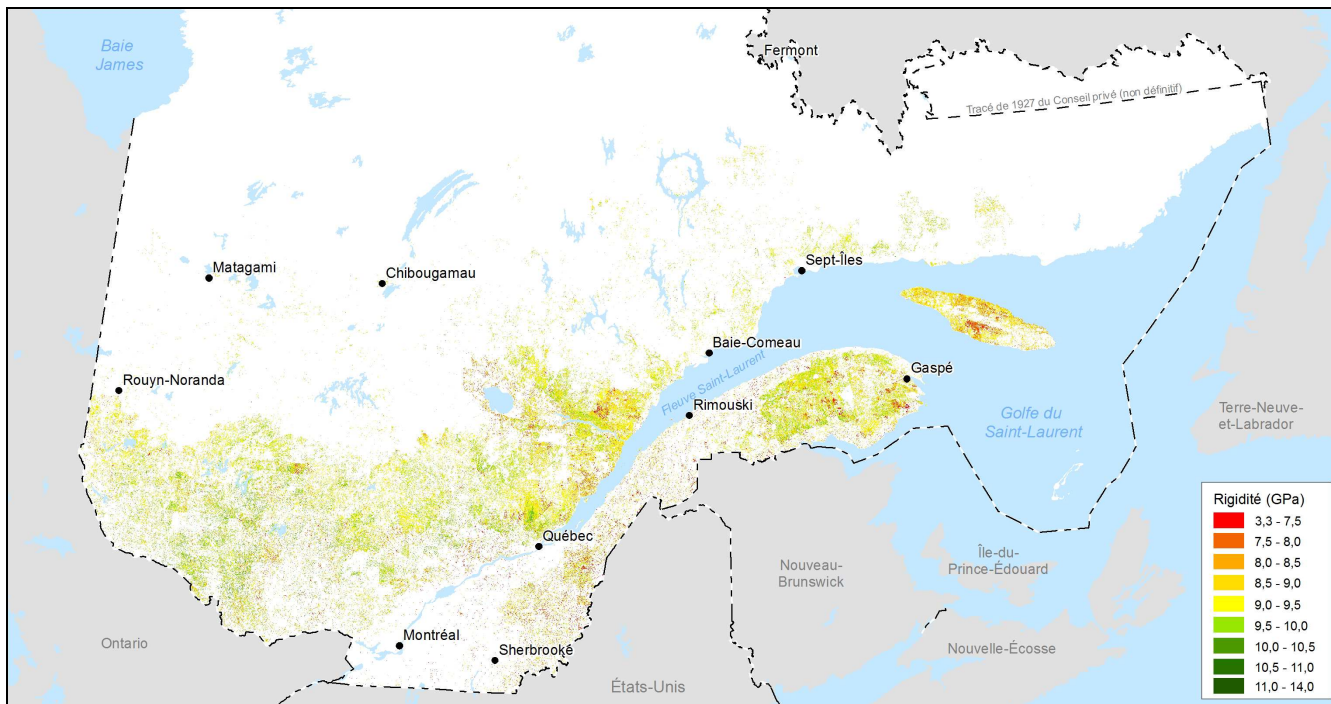
Épinette noire (valeur moyenne : $13,3 \pm 1,1$ GPa)



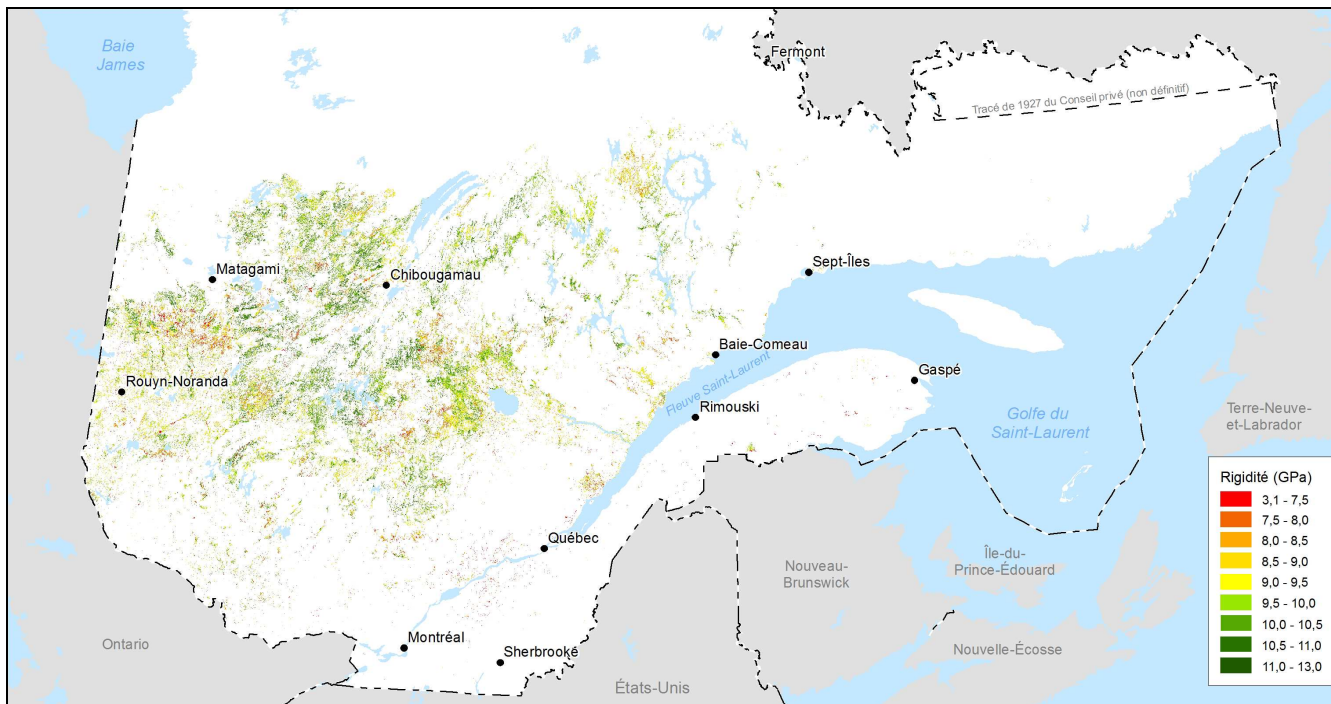
Sapin baumier (valeur moyenne : $9,9 \pm 0,5$ GPa)



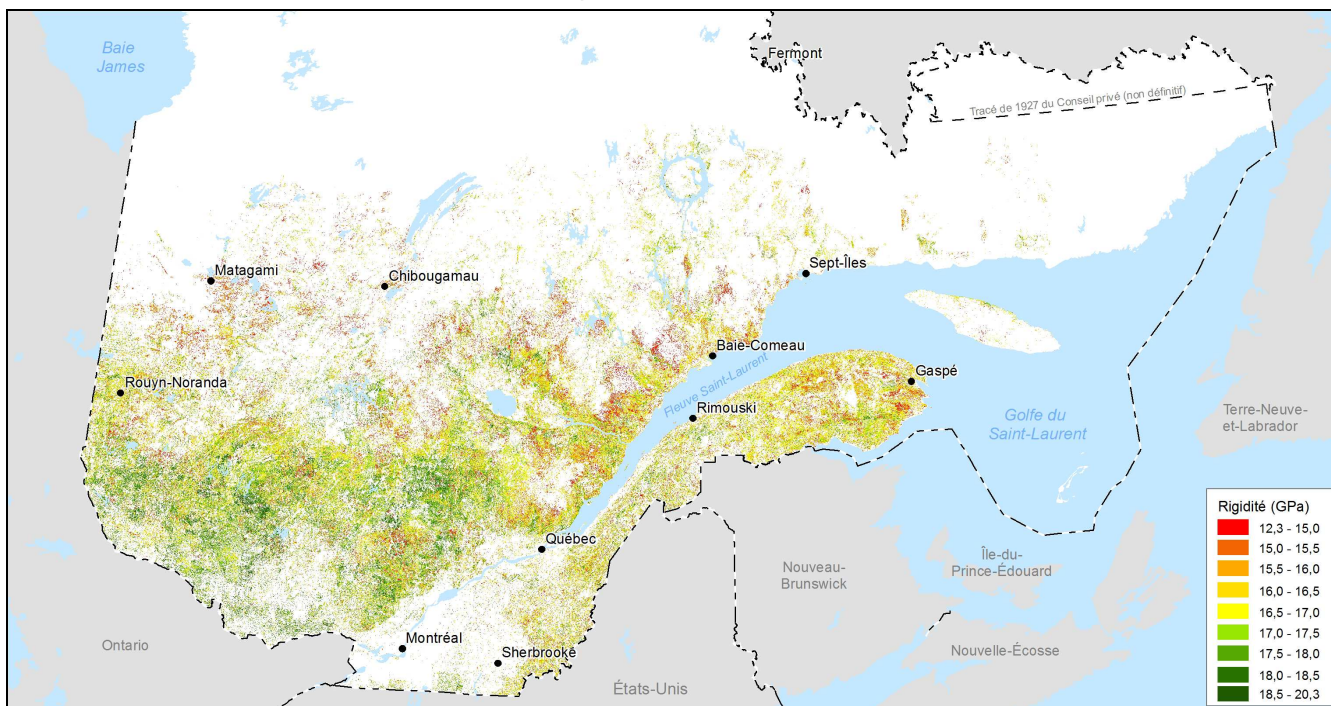
Épinette blanche (valeur moyenne : $9,1 \pm 0,9$ GPa)



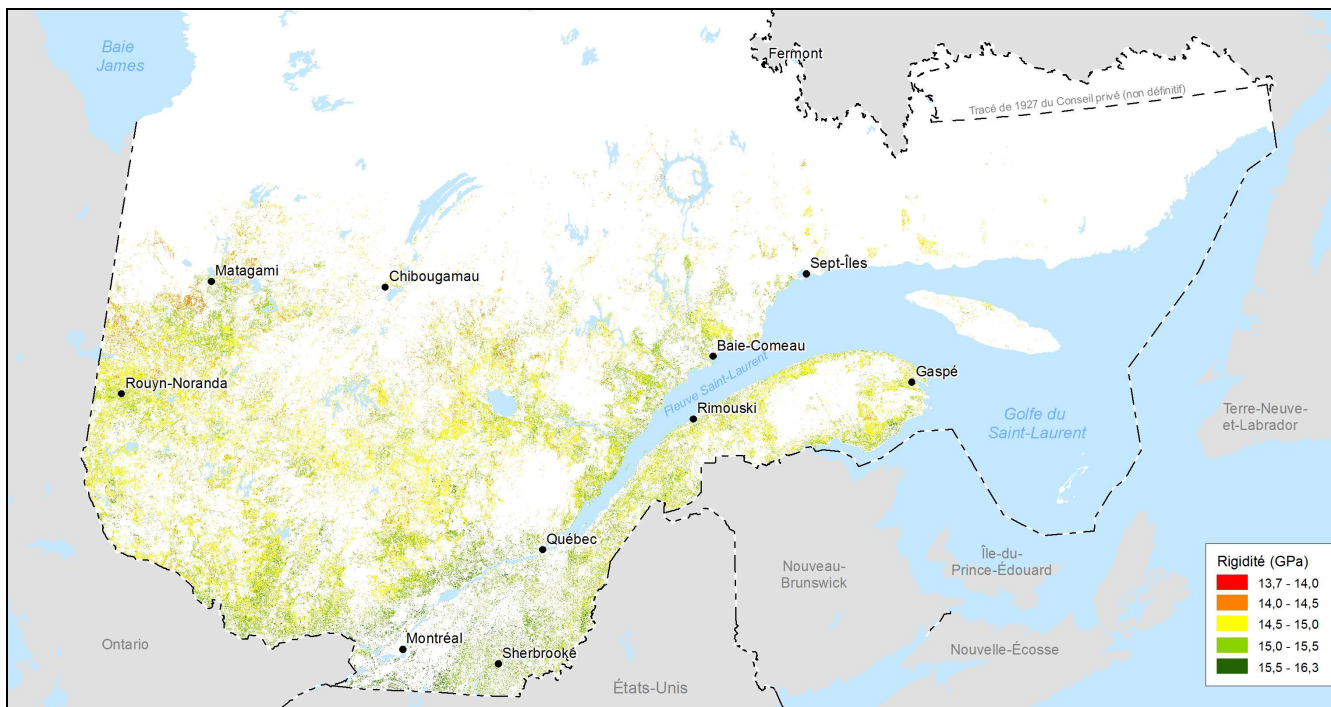
Pin gris (valeur moyenne : $9,5 \pm 1,1$ GPa)



Bouleau à papier (valeur moyenne : $16,6 \pm 1,1$ GPa)



Peuplier faux-tremble (valeur moyenne : $15,0 \pm 0,3$ GPa)



*Forêts, Faune
et Parcs*

Québec 

