

ÉVALUATION DE LA RÉSILIENCE DU TERRITOIRE FORESTIER FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX ET RECOMMANDATIONS D'ADAPTATION

Rapport préparé par :

habitat

LA NATURE À L'ŒUVRE

Pour :





HABITAT

Habitat est une entreprise de solutions environnementales basée à Montréal, dont la mission est d'accélérer la transition écologique.

Elle aide les organisations de tous les secteurs à intégrer la nature au cœur de leurs décisions stratégiques, favorisant ainsi l'adoption de pratiques qui renforcent leur résilience face aux changements climatiques et favorisent la préservation de la biodiversité.

Au cours des dernières années, Habitat a accompagné une clientèle diversifiée avec ses services de pointe en mesure et modélisation de la biodiversité, évaluation des services écosystémiques, gestion des écosystèmes et planification durable du territoire. L'équipe de Recherche et Développement d'Habitat collabore avec plusieurs universités, centres de recherche et organisations non-gouvernementales afin de faciliter la mise en application de la meilleure science disponible.

Composée d'une équipe de professionnels hautement qualifiés en biologie, géographie, foresterie et écologie, Habitat proposent des solutions innovantes à la fine pointe de la science.



Équipe de réalisation

Analyse et rédaction

Camille Proulx, ing. f.

Eva Delmas, Ph. D.

Maude Gagné, M. Sc.

Direction scientifique

Christian Messier, Ph. D., ing. f.

Citation suggérée :

Habitat. (2025). Évaluation de la résilience du territoire forestier face aux changements globaux et recommandations d'adaptation. Rapport final. 40 p.



TABLE DES MATIÈRES

1. MISE EN CONTEXTE.....	6
1.1 TERRITOIRE À L'ÉTUDE	7
2. DIVERSITÉ ET CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE DES FORÊTS.....	8
2.2 DIVERSITÉ FONCTIONNELLE	11
2.3 CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE	18
3. VULNÉRABILITÉS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES FORÊTS.....	22
4. RECOMMANDATIONS POUR UNE FORêt RÉSILIENTE	31
4.1 PRIORISATION DES COS SUR LA ZONE D'ÉTUDE	32
4.2 RECOMMANDATIONS POUR LA ZONE D'ÉTUDE.....	34
RÉFÉRENCES	37
ANNEXE 1 – GROUPES FONCTIONNELS	39



LISTE DES FIGURES

Figure 1. Territoire d'étude (unités d'aménagement) et spatialisation des analyses (COS)	7
Figure 2. Nombre effectif de groupes fonctionnels par peuplement.....	13
Figure 3. Concept utilisé pour catégoriser les peuplements	14
Figure 4. Distribution des peuplements selon leur type de diversité fonctionnelle	15
Figure 5. Distribution des COS selon leur type de diversité fonctionnelle	17
Figure 6. Résumé de l'analyse de connectivité fonctionnelle	19
Figure 7. Distribution des COS selon leur niveau de connectivité	21
Figure 8. Vulnérabilité des COS à l'arpenteuse de la pruche.....	24
Figure 9. Vulnérabilité des COS à la tordeuse des bourgeons de l'épinette	25
Figure 10. Vulnérabilité des COS à la livrée des forêts	27
Figure 11. Vulnérabilité des COS aux autres caries.....	28
Figure 12. Vulnérabilité des COS à la sécheresse	30
Figure 13. Résultats spatialisés de la priorisation multicritère à l'intérieur de chaque COS.....	33
Figure 14. Potentiels d'habitat (2071-2100) pour l'érable à sucre selon un scénario RCP 8.5	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Espèces feuillues et résineuses des forêts de Gaspésie.....	9
Tableau 2. Abondance de tiges par groupe fonctionnel étudié	10
Tableau 3. Description des cotes utilisées pour spatialiser les vulnérabilités.....	22
Tableau 4. Menaces biotiques de risque faible (pointage inférieur à 5)	23



GLOSSAIRE

Canopée : strate supérieure des arbres où se trouve l'essentiel du feuillage et où la majorité de l'énergie solaire est captée.

Changements globaux : combinaison des changements climatiques et des menaces anthropiques (ex. espèces exotiques introduites par l'activité humaine, conversion des terres).

Compartiments d'organisation spatiale (COS) : subdivisions d'une unité d'aménagement permettant de délimiter les massifs forestiers et dont la superficie vise généralement 30 km² en sapinière.

Diversité fonctionnelle : diversité au niveau des traits fonctionnels (ou caractéristiques biologiques) des espèces recensées sur un territoire donné.

Région écologique : niveau d'unité écologique faisant partie du système de classification écologique du territoire québécois.

Résilience : capacité d'un écosystème à résister ou à se rétablir à la suite d'une perturbation, avec ou sans la même composition en espèces, de façon à maintenir les fonctions écologiques qu'il fournissait à son état initial et en s'adaptant aux conditions futures.

Richesse spécifique : nombre d'espèces recensées sur un territoire donné.

Services écosystémiques : bénéfices issus du fonctionnement des écosystèmes comme la pollinisation ou la séquestration du carbone.

Unité d'aménagement : unité territoriale de référence qui s'applique sur les territoires forestiers du domaine de l'État et qui, en vertu de la *Loi sur l'aménagement du territoire et des forêts*, est délimitée de manière à circonscrire des aires pour la production ou l'augmentation de ressource.

Possibilité forestière : volume maximal des récoltes annuelles de bois, par essence ou groupe d'essences, qui peut être prélevé tout en assurant le renouvellement et l'évolution de la forêt. Au Québec, ce calcul est réalisé par le Bureau du forestier en chef.

Vulnérabilité de la forêt : mesure de sa sensibilité face aux perturbations et aux facteurs de stress pouvant affecter son fonctionnement. Plus une forêt est vulnérable, plus elle a de probabilité de connaître un déclin au niveau de sa santé et donc de sa productivité.



1. MISE EN CONTEXTE

La Table de Gestion Intégrée des Ressources et du Territoire (TGIRT) de la Gaspésie regroupe différents acteurs locaux du territoire de la région. Il s'agit d'un espace de consultation qui sert les intérêts et les préoccupations des personnes et des organismes concernés par les activités d'aménagement forestier publiques.

La TGIRT Gaspésie sert aussi à élaborer des recommandations d'aménagement que le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) prend en compte lors de la planification forestière et que le Bureau du forestier en chef prend en compte lors du calcul de la possibilité forestière. Ces recommandations sont élaborées en incluant des valeurs, objectifs, indicateurs et cibles (VOIC). Elles sont déterminées à l'échelle de chaque unité d'aménagement (UA) et sont consignées dans les plans tactiques d'aménagement forestier intégré. Ce type de plan est quinquennal et dicte les orientations générales qui encadrent les stratégies d'aménagement forestier régional.

Le processus de réflexion et de planification pour l'aménagement des forêts de la région est donc l'essence de la TGIRT Gaspésie. Ce processus touche autant la sélection des secteurs sur lesquels intervenir, des infrastructures à construire (route, ponts et ponceaux, etc.) et des modalités de sylviculture. C'est dans la perspective d'alimenter ce processus et d'améliorer la résilience du territoire forestier face aux changements climatiques et face aux menaces biotiques et abiotiques que la TGIRT Gaspésie a mandaté Habitat pour évaluer la diversité fonctionnelle, la connectivité fonctionnelle et la résilience du territoire forestier gaspésien et émettre des recommandations, applicables aux VOIC, visant à améliorer la résilience de l'aménagement forestier.

Objectifs du mandat :

Évaluer la résilience du territoire face aux changements globaux	<ul style="list-style-type: none">+ Analyse de la diversité fonctionnelle des peuplements forestiers du territoire<ul style="list-style-type: none">▪ Identifier les espèces présentes sur le territoire à l'étude▪ Diversité calculée à l'échelle des COS+ Cartographie de la vulnérabilité des peuplements forestiers du territoire<ul style="list-style-type: none">▪ Spatialiser l'information déjà collectée pour identifier les zones de vulnérabilités et orienter les recommandations▪ Vulnérabilités spatialisées à l'échelle des COS
Évaluer la connectivité fonctionnelle au sein de la forêt	<ul style="list-style-type: none">+ Analyse de la connectivité fonctionnelle des peuplements forestiers du territoire<ul style="list-style-type: none">▪ Utilise les résultats de l'analyse de diversité fonctionnelle▪ L'interprétation des résultats considère la redondance fonctionnelle▪ Connectivité calculée à l'échelle des COS
Livrables	<ul style="list-style-type: none">+ Rapport présentant les résultats des analyses et les recommandations+ Jeux de données et rapport de métadonnées

1.1 TERRITOIRE À L'ÉTUDE

La forêt aménagée de la Gaspésie se divise en trois unités d'aménagement (UA) soit la Pointe (11262), le Sud (11161) et le Nord (11263). À l'échelle de la Gaspésie, ces UA représentent 83,35 % du territoire sous gestion forestière, les aires protégées représentent 12,16 %, les territoires forestiers résiduels près de 3,5 % et les terres privées représentent quant à elles 0,58 % (MRNF a.). En ce qui concerne les recommandations émises dans le cadre de ce mandat, le territoire d'étude est défini par les trois unités d'aménagement (contours noirs sur la **Figure 1**). Cependant, la spatialisation des analyses et des résultats dépasse cette limite afin de fournir un portrait global (fond turquoise sur la **Figure 1**).

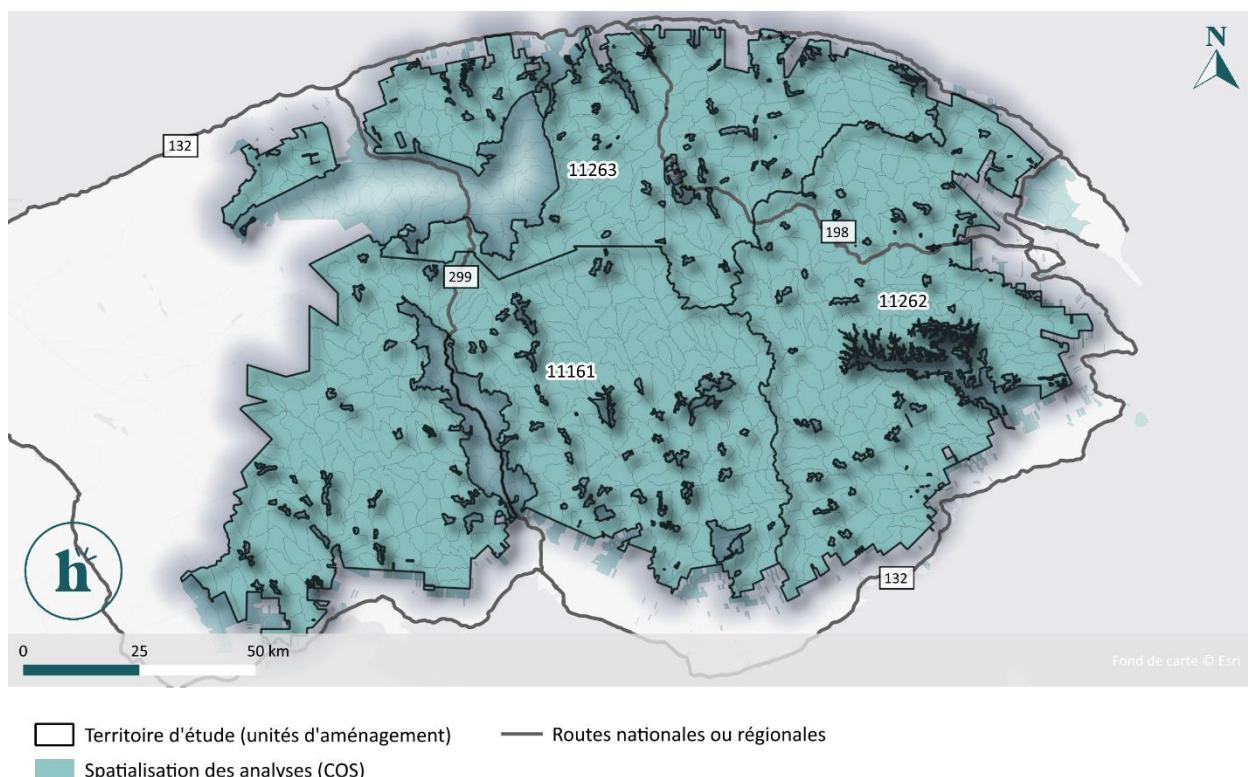


Figure 1. Territoire d'étude (unités d'aménagement) et spatialisation des analyses (COS)

Trois communautés de la nation Mi'gmaq habitent le territoire. Les communautés de Gesgapegiag, Gespeg et Listuguj contribuent à l'aménagement forestier, notamment par des allocations forestières et divers projets (MRNF a.). Et, le territoire dans son ensemble est primé pour la chasse, la pêche, les activités de plein air et le récrétourisme. La forêt permet donc une multitude d'usages et plusieurs bénéficiaires profitent de ses ressources. Pour intégrer tous ces usages, l'aménagement forestier de la région se base sur de grandes valeurs ou enjeux. Ces grandes valeurs ou enjeux sont déterminés par les différents acteurs·ices du milieu par l'entremise des fiches VOIC (valeur, objectif, indicateur et cibles). Cette approche d'enjeux-solutions reprend notamment les thèmes de la préservation de l'eau, des sols, des milieux sensibles, des espèces d'intérêt et des vieilles forêts tout en permettant un approvisionnement en matière ligneuse (MRNF b.).

2. DIVERSITÉ ET CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE DES FORÊTS

Avant le début de l'exploitation industrielle, le paysage de la Gaspésie était principalement composé de forêts matures et vieilles, et les forêts intérieures recouvrant trois quarts du territoire forestier (Perrette Caron *et al.*, 2012). Selon la mise à jour cartographique réalisée par la région en 2018, on retrouve maintenant en moyenne moins du tiers des unités d'aménagement (la moyenne des trois UA est de 28,4 %) qui sont au stade de développement vieux¹ (MRNF b.). On remarque aussi un changement au niveau des essences depuis l'ère industrielle, notamment par effeuillage des peuplements (MRNF b.). Ce type de transformations dans la structure de la forêt gaspésienne, combiné à la menace des changements globaux actuels et futurs, font en sorte que l'aménagement forestier du territoire doit inévitablement considérer la résilience des forêts, d'où l'importance d'intégrer la diversité et la connectivité fonctionnelle des forêts aux processus de décisions des aménagistes.

Le territoire de la Gaspésie recoupe deux domaines bioclimatiques, soit la sapinière à bouleau jaune et, en son centre, là où l'altitude est plus élevée, la sapinière à bouleau à papier. Dans ce dernier, les espèces typiques de la forêt décidue se font plus rares alors que les espèces boréales sont plus fréquentes. Il s'agit de la limite de l'aire de répartition de l'érable à sucre et du pin blanc. Les forêts les plus représentatives sont les bétulaies jaunes à sapin et les sapinières à bouleau jaune. Dans le domaine de la sapinière à bouleau à papier, ce sont plutôt les peuplements de sapins baumiers, de bouleaux à papier et d'épinettes blanches qui dominent (Gouvernement du Québec, 2022).

Ainsi, dans l'inventaire forestier de la Gaspésie (MRNF, 2017), on trouve principalement les espèces attendues dans ces deux domaines bioclimatiques. Or, dans le cadre de ce mandat, c'est un ensemble de 15 espèces, feuillues et résineuses, qui a été utilisé pour réaliser les analyses de diversité, de connectivité et de vulnérabilité. Ces 15 espèces composent environ 98 % de l'inventaire en termes d'abondance de tiges (**Tableau 1**). Cette sélection comprend quelques espèces rares, voire inexistantes, telles que le hêtre à grandes feuilles et l'épinette rouge — l'épinette rouge peut souvent être confondue avec l'épinette noire, et s'hybride avec d'autres épinettes. Ces espèces peu abondantes figurent dans la liste parce qu'elles sont affectées par certaines des menaces étudiées dans le cadre de ce mandat et aussi parce que les changements globaux vont affecter les niches écologiques des arbres, ce qui pourrait créer de nouveaux habitats sur le territoire de la Gaspésie.

¹ Selon la fiche VOIC Vieilles forêts de la Gaspésie, le stade de développement « vieux » correspond à un peuplement dont l'âge est supérieur à 80 ans ou, pour les peuplements feuillus, à un peuplement dont la surface terrière est égale ou supérieure à 20 m². Ce stade correspond aussi au moment où le peuplement acquiert certaines caractéristiques comme une structure verticale diversifiée, la présence d'arbres vivants de forte dimension et de bois mort de forte dimension à divers degrés de décomposition (MRNF b.).

Le **Tableau 1** liste les 15 espèces utilisées et indique le groupe fonctionnel auquel elles appartiennent ainsi que la distance de dispersion de leurs semences ; deux variables qui seront utilisées dans les analyses présentées prochainement. Les distances de dispersion sont issues de Aquilué *et al.* (2021), auteur·ices dont le travail est utilisé dans ce mandat pour réaliser l'analyse de connectivité fonctionnelle. Les données d'abondance sont issues des données de l'inventaire forestier de la Gaspésie (MRNF, 2017). Elles ne correspondent pas aux possibilités forestières, mais plutôt à l'abondance relative de chaque espèce sur l'ensemble des COS utilisés dans la spatialisation des analyses. Enfin, l'**ANNEXE 1** présente la description des différents groupes fonctionnels qui s'appliquent dans le contexte de ce mandat.

Tableau 1. Espèces feuillues et résineuses des forêts de Gaspésie

NOM SCIENTIFIQUE	NOM VERNACULAIRE	GROUPE FONCTIONNEL	DISTANCE DE DISPERSION (M)	ABONDANCE DE TIGES (%)
Essences feuillues				
<i>Acer rubrum</i>	Érable rouge	2B	100	2,14
<i>Acer saccharum</i>	Érable à sucre	2B	50	0,67
<i>Betula alleghaniensis</i>	Bouleau jaune	3B	45	1,43
<i>Betula papyrifera</i>	Bouleau à papier	5	60	12,58
<i>Fagus grandifolia</i>	Hêtre à grandes feuilles	2A	30	0,02
<i>Populus balsamifera</i>	Peuplier baumier	5	200	0,33
<i>Populus tremuloides</i>	Peuplier faux-tremble	5	500	2,30
Essences résineuses				
<i>Abies balsamea</i>	Sapin baumier	1	60	50,83
<i>Larix laricina</i>	Mélèze larcin	1	46	0,25
<i>Picea glauca</i>	Épinette blanche	1	27	8,16
<i>Picea mariana</i>	Épinette noire	1	79	16,14
<i>Picea rubens</i>	Épinette rouge	1	80	0,02
<i>Pinus resinosa</i>	Pin rouge	1	100	0,05
<i>Pinus strobus</i>	Pin blanc	1	60	0,03
<i>Thuja occidentalis</i>	Thuya occidentale	1	45	3,11



Le **Tableau 2** indique l'abondance de tiges par groupe fonctionnel pour les essences listées au tableau de la page précédente. Le total de la colonne d'abondance n'atteint pas 100 % parce que les analyses n'ont été réalisées que sur la sélection d'espèces du mandat et que l'abondance de tiges est relative au total de l'inventaire. En plus des 15 espèces du mandat, la forêt gaspésienne abrite des essences non commerciales, telles que les sorbiers (groupe 3A) qui contribuent aussi à augmenter la diversité fonctionnelle des peuplements. L'absence de ces essences dans les analyses réalisées ne change pas les constats et recommandations, car elles sont trop peu abondantes pour avoir une incidence à l'échelle d'analyse du mandat.

Tableau 2. Abondance de tiges par groupe fonctionnel étudié

GROUPE FONCTIONNEL	ESPÈCES DU GROUPE (NON EXHAUSIF)	ABONDANCE DE TIGES (%)
1	Sapin baumier (<i>Abies balsamea</i>) et autres résineux	78,59 %
2A	Hêtre à grandes feuilles (<i>Fagus grandifolia</i>)	0,02 %
2B	Érable rouge (<i>Acer rubrum</i>), érable à sucre (<i>Acer saccharum</i>)	2,80 %
3B	Bouleau jaune (<i>Betula alleghaniensis</i>)	1,43 %
5	Bouleau à papier (<i>Betula papyrifera</i>) et peuplier faux-tremble (<i>Populus tremuloides</i>)	15,21 %

2.2 DIVERSITÉ FONCTIONNELLE

La diversité fonctionnelle est une caractéristique écologique très importante pour évaluer la résilience d'une forêt face aux perturbations associées aux changements globaux. Cette approche repose sur le fait que les caractéristiques biologiques des arbres, aussi appelées traits fonctionnels, renseignent davantage sur les fonctions, les vulnérabilités et les services qu'ils produisent que leur classification spécifique.

En effet, ces caractéristiques biologiques influencent le mode de fonctionnement des arbres et déterminent donc la façon dont ils vont répondre et s'adapter aux conditions environnementales présentes et futures. Face à l'incertitude liée aux changements globaux, une forêt résiliente sera une forêt composée d'espèces d'arbres variées ayant des tolérances et des vulnérabilités diversifiées, lui permettant ainsi de mieux s'adapter au plus grand nombre de stress possible. Les caractéristiques biologiques que cette analyse considère sont, par exemple, la densité du bois, car il s'agit d'un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse ou encore la taille des semences qui renseigne sur la capacité de dispersion des arbres.

Méthodologie pour le calcul de diversité fonctionnelle

Le calcul de l'indice de diversité fonctionnelle se fait sur la base du nombre de groupes fonctionnels présents sur le territoire et de leur abondance relative (Hill, 1973). Pour la Gaspésie, le calcul se fait donc sur la base de 5 groupes. Cependant, étant donné la rareté du hêtre à grandes feuilles et le fait que cette espèce soit la seule représentante du groupe 2A, il est normal qu'en pratique le maximum ne dépasse pas ou très peu la valeur de 4. Le calcul utilise l'indice d'entropie de Shannon qui, lorsque porté à l'exponentielle (\exp), permet d'obtenir ce que l'on appelle le nombre effectif de groupes fonctionnels (NEGF). Le NEGF est l'indice de diversité fonctionnelle.

Le NEGF est calculé selon l'équation suivante, tirée de Jost (2006) :

$$NEGF = \exp \left(- \sum_{i=1}^n p_i \log (p_i) \right)$$

Où :

n = le nombre total de groupes fonctionnels sur le territoire étudié, et il représente également la valeur maximale de diversité fonctionnelle.

p_i = l'abondance relative du groupe fonctionnel i dans le territoire étudié.

Pour le présent mandat, l'abondance relative de chaque arbre est calculée pour chaque peuplement, puis la superficie relative des peuplements et leurs indices de diversité fonctionnelle respectifs sont utilisés pour obtenir un indice pour chaque COS. Pour certains peuplements, les informations dendrométriques ne sont pas disponibles dans le 5^e inventaire écoforestier ; il s'agit généralement de peuplements de 7 mètres et moins. L'absence de données pour ces peuplements ne pose toutefois pas de problème majeur pour le calcul régional, étant donné que les COS contiennent d'autres peuplements qui contribuent à l'indice de diversité fonctionnelle et permettent d'obtenir un portrait régional.

Interprétation de l'indice de diversité fonctionnelle

La valeur minimale de l'indice de diversité fonctionnelle est de 1 et correspond à un scénario où un seul groupe est présent dans le COS. La valeur maximale théorique de l'indice est égale au nombre maximal de groupes fonctionnels et prend donc la valeur de 5 dans le cas de la Gaspésie. Elle correspond à une communauté équitablement répartie au sein de chacun des groupes fonctionnels. Comme il s'agit d'une valeur théorique, il est normal qu'en pratique les COS ne l'atteignent pas. À titre indicatif, le maximum sur le territoire, à l'échelle des peuplements, est de 4,02.

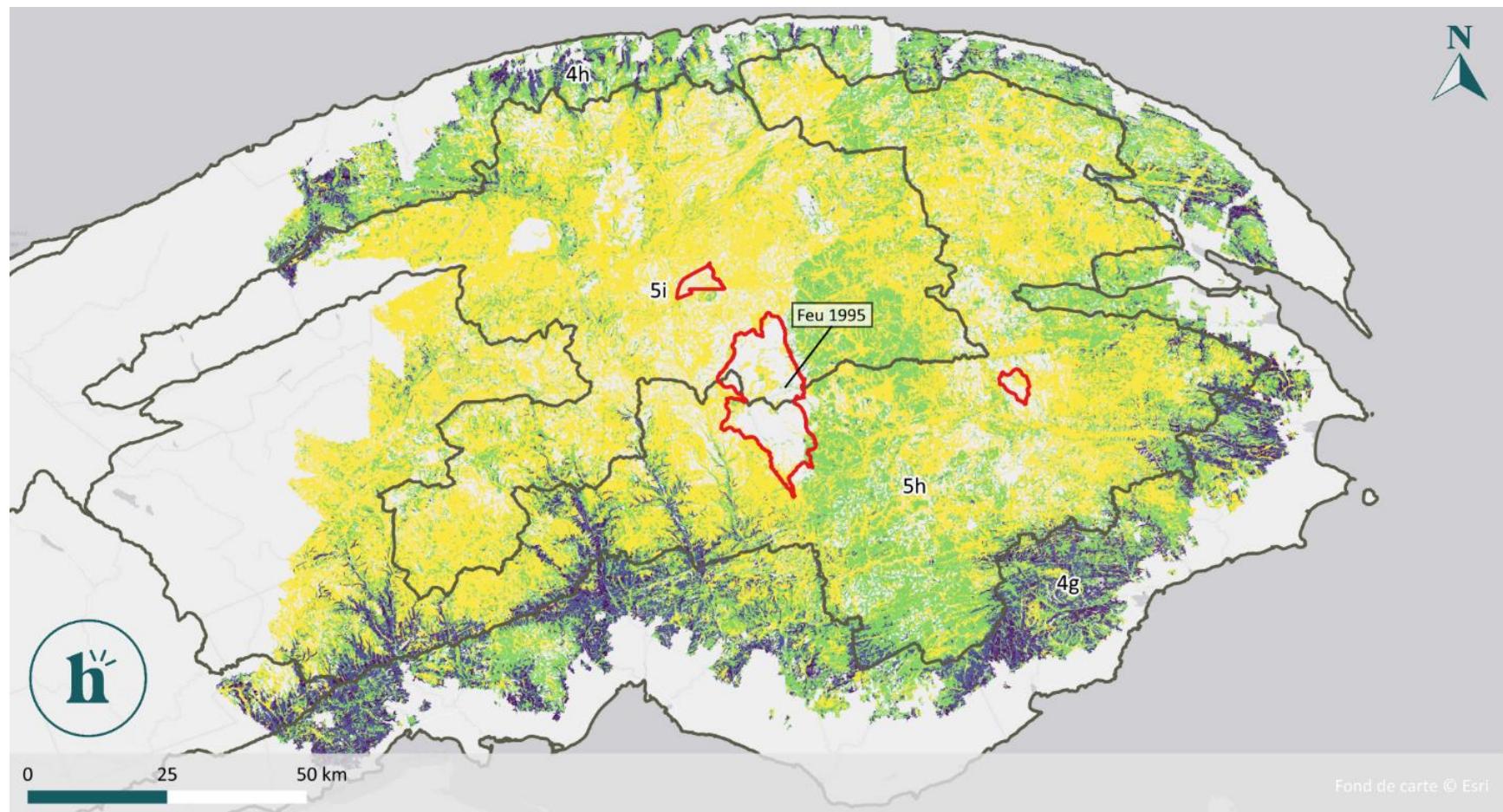
Afin de refléter la nature relative de l'indice de diversité fonctionnelle et aussi pour conceptualiser la diversité fonctionnelle à l'échelle du territoire gaspésien, les résultats sont présentés de trois manières différentes.

Nombre effectif de groupes fonctionnels

À la page suivante, la **Figure 2** illustre l'indice de diversité fonctionnelle, ou le nombre effectif de groupes fonctionnels (NEFG), par peuplement forestier. Cette donnée montre le nombre de groupes fonctionnels au sein d'un peuplement tout en prenant compte de l'abondance relative de chaque groupe dans ce peuplement.

La **Figure 2** montre (en bleu marin) une diversité fonctionnelle plus élevée dans le sud de la région et dans la région écologique 4 g de la sapinière à bouleau jaune. Dans les mêmes couleurs et toujours au sud du territoire, on remarque aussi l'effet des vallées de rivières sur la diversité (elle est plus élevée dans ces secteurs). Au centre de la figure (en jaune), dans la sapinière à bouleau blanc, la diversité est plus faible, étant donné la dominance de résineux et le fait que toutes les espèces résineuses fassent partie du même groupe fonctionnel. Toutefois, au sein de ce domaine bioclimatique, il est possible de remarquer une différence entre les deux régions écologiques où 5 h est plus diversifiée que 5i.

Sur la **Figure 2**, on remarque aussi des portions de territoire sans information (blanc). Les analyses n'ont pas pu être réalisées sur ces peuplements, car les informations dendrométriques ne sont pas disponibles dans le 5e inventaire écoforestier. Différentes stratégies ont été envisagées pour combler ce manque de données — compléter les informations avec le 4^e inventaire forestier et attribuer des abondances de tiges selon les codes d'essences — mais sans succès. Les essences pour ces peuplements sont généralement indéterminées et il s'agit dans l'ensemble de peuplements de 7 mètres et moins. Les secteurs avec le plus grand manque de données sont situés au centre du territoire (contour rouge) incluant un brûlis de 1995. Ces secteurs sont davantage problématiques, en termes de manque de données, parce que, lorsqu'on rapporte l'information des peuplements à l'échelle du COS, il manque plus de 60 % de couverture d'information, causant ainsi une plus grande incertitude.



Nombre effectif de groupes fonctionnels

1,0 - 1,5	2,5 - 3,5
1,5 - 2,5	3,5 - 4,0

- Régions écologiques
- Secteurs avec peu d'informations dendrométriques

Figure 2. Nombre effectif de groupes fonctionnels par peuplement

Distribution de l'indice de diversité fonctionnelle

La représentation de l'indice de diversité fonctionnelle par valeur brute de NEGf est utile pour la compréhension générale des résultats, mais doit toujours être nuancée selon le contexte local, car l'indice est relatif. Cela veut dire, par exemple, que l'indice ne peut pas être interprété de la même façon dans une forêt de résineux, naturellement moins diversifiée, que dans une forêt mixte.

C'est pourquoi les résultats du calcul de diversité fonctionnelle ont aussi été classés par percentiles et selon le type de couvert des peuplements (feuillus, mixtes ou résineux). Les percentiles permettent d'identifier les peuplements qui sont plus ou moins diversifiés par type de couvert. En divisant ainsi par type de couvert, on s'assure d'orienter des interventions dans tous les types de peuplement. Autrement, ce seraient seulement les peuplements résineux qui se présenteraient avec une plus faible diversité. La distribution de ces peuplements selon leur indice de diversité fonctionnelle est conceptualisée à la **Figure 3** où :

- Une **diversité faible** correspond aux peuplements qui se classent inférieurs au 25^e percentile, il s'agit des peuplements les moins performants des couverts feuillus, mixtes et résineux, soit ceux avec le plus grand potentiel d'amélioration de la diversité ;
- Une **diversité moyenne** correspond aux peuplements qui se classent supérieurs au 25^e et inférieurs au 75^e percentile ; et
- Une **diversité élevée** correspond aux peuplements qui se classent supérieurs au 75^e percentile, il s'agit des peuplements les plus performants des couverts feuillus, mixtes et résineux, soit ceux pour lesquels le potentiel de diversification est moindre.

Le schéma (**Figure 3**) est une conceptualisation simplifiée où, en réalité, l'exercice est fait pour chaque type de couvert (feuillus, mixtes ou résineux) et non pour l'ensemble des peuplements.

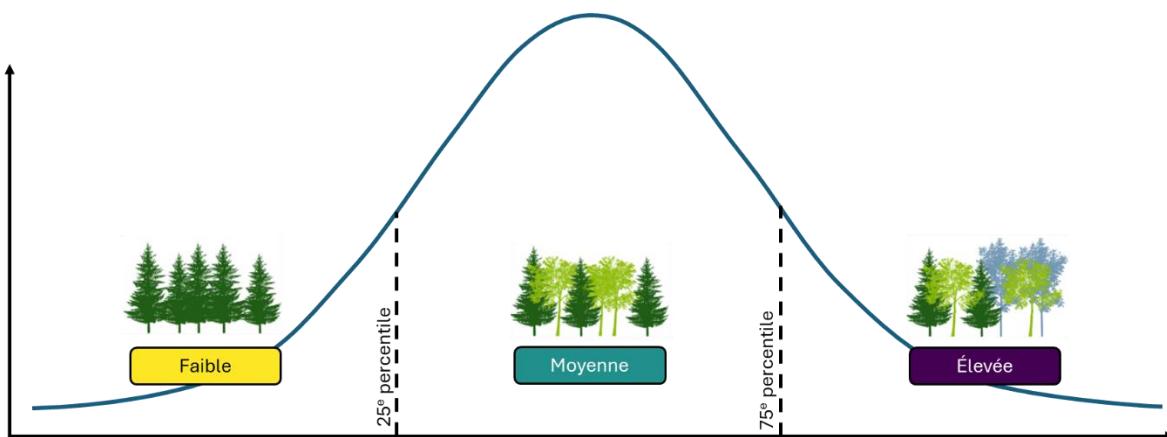


Figure 3. Concept utilisé pour catégoriser les peuplements

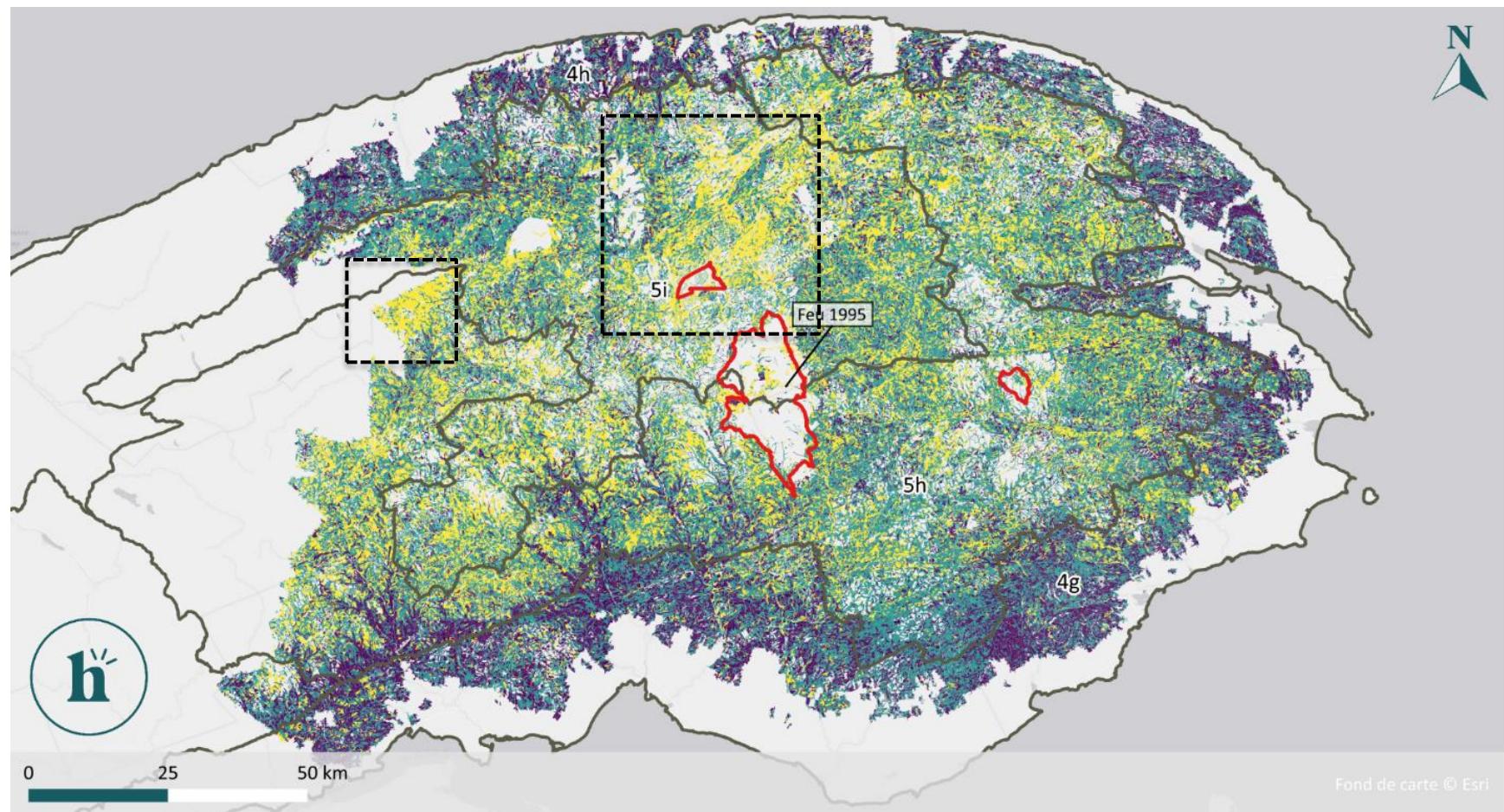


Figure 4. Distribution des peuplements selon leur type de diversité fonctionnelle

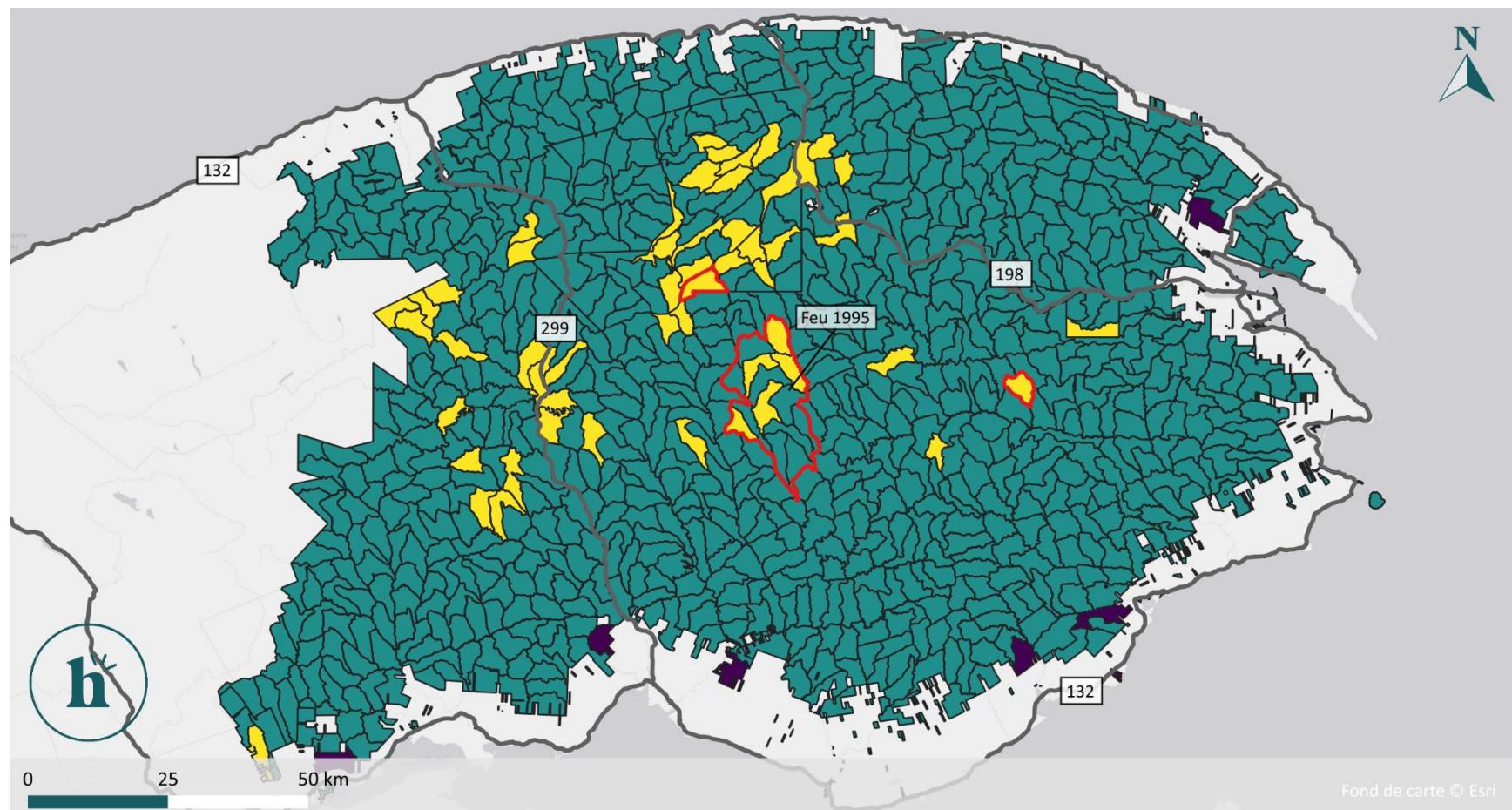
Ainsi spatialisés (**Figure 4**), les résultats font ressortir les mêmes grandes tendances que celles présentées pour le NEGF par peuplement (**Figure 2**), mais apportent plus de nuances dans la sapinière à bouleau blanc (5h et 5i), là où les peuplements sont majoritairement résineux.

En effet, la périphérie de la péninsule gaspésienne regroupe les peuplements les plus diversifiés (bleu marin), mais avec une différence moins marquée entre le sud (4g) et le nord (4h) du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune. Toutefois, les peuplements au centre du territoire sont distribués de manière plus hétérogène que lorsqu'on présente les valeurs avec l'indice brut. Cette différence entre les deux cartes est plus marquée dans la région écologique 5i où, sur la **Figure 2**, ce sont les NEFG les plus bas (jaune) qui dominent. Malgré cette hétérogénéité, deux portions du territoire ressortent davantage lorsque l'on regarde les indices les plus faibles (en jaune). Des encadrés (pointillés) ont été ajoutés sur la **Figure 4** pour les identifier. Tel que nous l'indiquerons dans les prochains paragraphes, lorsque la performance des peuplements est rapportée à l'échelle de COS, ces portions de territoire se présentent comme les COS les plus faiblement diversifiés.

L'indice de diversité fonctionnelle à l'échelle du COS

Pour compléter l'interprétation de la diversité fonctionnelle, la **Figure 5** présente l'indice de diversité fonctionnelle à l'échelle des COS. Pour composer cette figure, c'est la médiane des percentiles des peuplements au sein d'un COS qui est utilisée et qui détermine si la diversité du COS est faible, moyenne ou élevée. Cette forme de spatialisation permet d'identifier les secteurs prioritaires pour les interventions visant la diversité fonctionnelle en plus de ramener les analyses du mandat sur une base commune, utile à la priorisation.

La **Figure 5** brosse un portrait plutôt homogène, mais permet de repérer les COS dont la médiane est faible (jaune) et donc les COS présentant le plus grand potentiel de diversification fonctionnelle. Sur la même figure, les COS bleu marin représentent ceux où les peuplements les plus diversifiés sont rassemblés et où la diversité fonctionnelle est déjà à son maximum régional.



Diversité fonctionnelle par COS

- | | | | |
|----------------------|---------|---------------|--|
| [Yellow square] | Faible | [Black line] | Routes nationales ou régionales |
| [Teal square] | Moyenne | [Red outline] | Secteurs avec peu d'informations dendrométriques |
| [Dark Purple square] | Élevée | | |

Figure 5. Distribution des COS selon leur type de diversité fonctionnelle

2.3 CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE

L'analyse de connectivité fonctionnelle est une nouvelle approche spatiale faisant appel aux traits fonctionnels et au potentiel de dispersion des semences des arbres. Elle est fondée sur l'idée que la dispersion des semences entre différentes parcelles de territoire contribue à l'échange de matériel organique et génétique et donc à la distribution des traits fonctionnels à travers le paysage (Craven *et al.*, 2016 dans Aquilué *et al.*, 2021). Cette approche a été développée afin d'optimiser les interventions forestières au niveau d'un large paysage forestier. Elle s'inscrit dans une perspective d'aménagement visant à augmenter la résilience des forêts face aux changements globaux de façon la plus efficace possible.

Selon Gladstone-Gallagher *et al.* 2019, la résilience peut être atteinte avec une biodiversité suffisante pour maintenir les fonctions écosystémiques, malgré les stress environnementaux. La résilience implique donc un aspect de résistance parce que les fonctions écosystémiques résistent aux changements sous des stress environnementaux. Et, elle implique un aspect de rétablissement parce qu'à la suite d'une perturbation l'écosystème retourne à un état où il peut encore faire preuve de résistance. **Dans le contexte de ce mandat, la résilience est donc définie comme la capacité d'un écosystème à résister ou à se rétablir à la suite d'une perturbation, avec ou sans la même composition en espèces, de façon à maintenir les principales fonctions écologiques qu'il fournissait à son état initial et en s'adaptant aux conditions futures.**

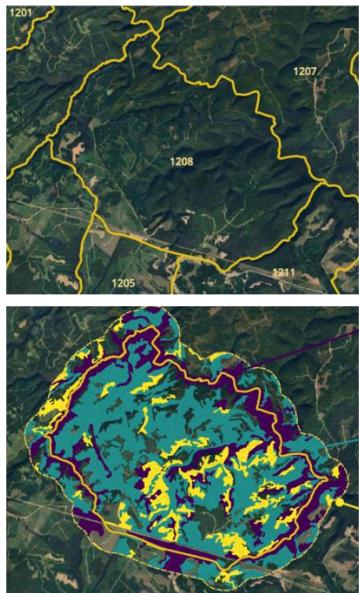
La résilience est un concept complexe et il en existe des centaines de définitions. Dans le contexte de ce mandat, un des éléments clés de la définition ci-haut est le maintien des principales fonctions écologiques. Ces fonctions peuvent être autant les cycles de nutriments, tels que les cycles du carbone ou de l'azote que des produits ou services que fournit l'écosystème, tel que le couvert forestier, le volume de bois, la filtration d'eau ou la limitation de l'érosion.

Méthodologie employée pour l'analyse de connectivité fonctionnelle

La méthodologie de l'analyse de connectivité fonctionnelle consiste à convertir le paysage forestier en réseaux de parcelles forestières que l'on appelle des nœuds et à appliquer la théorie des réseaux à ce paysage. Une telle analyse n'ayant encore jamais été réalisée pour un territoire de la superficie de la Gaspésie, la méthodologie développée a dû être adaptée au contexte du mandat et elle ne permet pas d'inclure certaines variables, telles que la direction des vents, la topographie, etc.

Pour l'analyse réalisée, les espèces d'arbres ont été regroupées par groupes fonctionnels sur la même base que l'analyse de diversité fonctionnelle. Puis, un réseau différent a été créé pour chaque COS. Au sein de chaque réseau (COS), les peuplements sont utilisés comme nœuds ainsi que les peuplements dans les 500 mètres adjacents. La distance de 500 mètres a été choisie parce qu'il s'agit de la distance de dispersion maximale des espèces utilisées dans ce mandat. Dans le haut de la page suivante, la **Figure 6** résume et schématisé ces grandes étapes de l'analyse de connectivité.

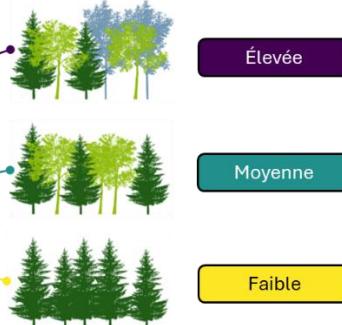
1. Pour chaque COS de la zone d'étude, sont sélectionnés tous les **peuplements** du COS et ceux inclus dans une zone tampon de 500 m autour du COS.



2. Ces **peuplements** deviennent des nœuds et le COS devient un **réseau**. Toutes les tiges des peuplements ont une distance de dispersion et un groupe fonctionnel déterminé en fonction de leur espèce.

Deux espèces appartenant au même groupe fonctionnel peuvent avoir des distances de dispersion différentes (exemple : le pin rouge a une plus grande distance que le thuya même si les deux espèces sont dans le groupe 1).

Diversité fonctionnelle



3. L'analyse identifie les proportions de diversité fonctionnelle qui se dispersent d'un peuplement à l'autre en établissant des liens entre chaque peuplement. En considérant tout ces liens, l'analyse calcule une valeur de connectivité globale pour le COS soit l'**indice de connectivité équivalent**.

Réseau

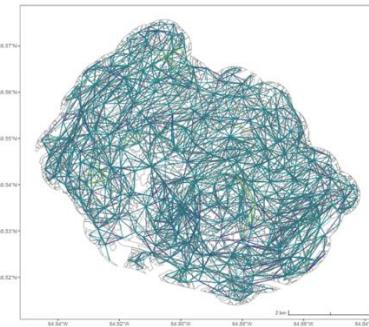


Figure 6. Résumé de l'analyse de connectivité fonctionnelle

Au sein d'un réseau, les traits fonctionnels peuvent être échangés entre les nœuds en fonction de la capacité de dispersion des espèces (**Tableau 1**). Ce type d'échange entre deux peuplements peut être à sens unique ou non, étant donné que les espèces de deux peuplements adjacents peuvent présenter des distances de dispersion différentes (Aquilué *et al.*, 2020). Ainsi, les peuplements identifiés comme présentant un couvert forestier, mais n'ayant pas de données dendrométriques correspondantes sont considérés comme des nœuds pouvant recevoir des semences, mais dont aucune semence ne peut être émise. Cette décision a été prise sur la base de l'identification de ces peuplements comme étant pour la plupart relativement jeunes et donc avec des arbres encore trop immatures pour produire des semences en quantité suffisante.

En somme, le niveau de connectivité entre les peuplements au sein d'un COS est fonction de la proportion de traits fonctionnels pouvant être dispersés via les graines des arbres présents au sein des différents peuplements. À cette étape du développement de l'analyse de connectivité fonctionnelle, il n'est pas possible d'établir de seuil critique de connectivité et il n'est pas possible d'étendre l'analyse entre les COS. C'est pourquoi le résultat de l'analyse est un indice de connectivité équivalent. Cet indice, propre à chaque COS, permet d'identifier les COS qui se diversifient le moins bien naturellement, soit les COS au sein desquels les traits fonctionnels s'échangent le moins entre les peuplements.

Interprétation de la connectivité fonctionnelle

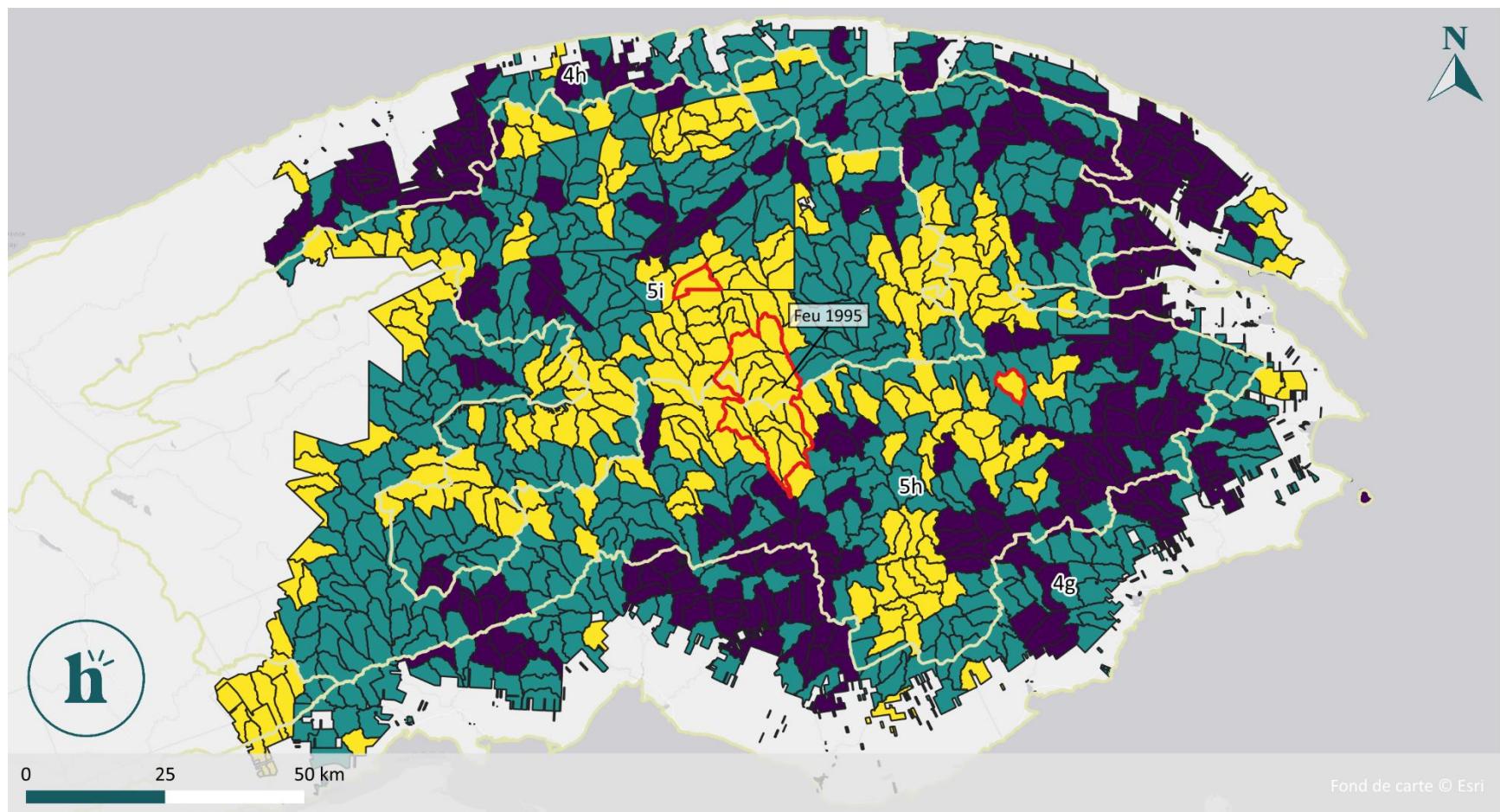
Les résultats de l'analyse de connectivité fonctionnelle permettent d'évaluer et d'identifier les COS du réseau au sein desquels les échanges de semences et de traits fonctionnels sont maximisés. Il s'agit de COS dans lesquels les peuplements sont suffisamment proches pour qu'un lien existe dans le réseau et que les espèces puissent se disperser naturellement d'un peuplement vers l'autre. Il s'agit d'un potentiel de diversification, car l'analyse n'indique pas la capacité du sol ou la densité du peuplement à recevoir. La recherche d'une connectivité élevée s'appuie sur la supposition que les écosystèmes forestiers mieux connectés vont pouvoir se rétablir plus rapidement avec des espèces mieux adaptées aux nouvelles conditions environnementales (Aquilué *et al.*, 2020).

Comme il n'existe pas, à l'heure actuelle, de seuil ou de valeur critique et dans l'idée de faciliter la priorisation et la spatialisation, les résultats du calcul de connectivité fonctionnelle ont été classés par percentiles. La distribution des COS selon leur performance de connectivité fonctionnelle est présentée à la **Figure 7** où :

- Une **connectivité faible** correspond aux COS qui se classent inférieurs au 25^e percentile, il s'agit des COS du territoire se diversifiant le moins bien ;
- Une **connectivité moyenne** correspond aux COS qui se classent supérieurs au 25^e et inférieurs au 75^e percentile ; et
- Une **connectivité élevée** correspond aux COS qui se classent supérieurs au 75^e percentile, il s'agit des COS du territoire se diversifiant le mieux.

Ainsi spatialisés, les résultats démontrent une connectivité fonctionnelle plus élevée dans la sapinière à bouleau jaune (régions écologiques 4 h et 4g) que dans la sapinière à bouleau à papier (régions écologiques 5 h et 5i). La majorité des COS des quantiles supérieurs (connectivité fonctionnelle élevée) sont situés dans la sapinière à bouleau jaune.

La **Figure 7** permet de repérer les COS dont la connectivité est la plus faible du territoire (jaune) et donc les COS présentant le plus grand besoin d'intervention humaine pour la diversification. Sur la même figure, les COS dont la connectivité est la plus élevée (bleu marin) représentent ceux où la connectivité est à son meilleur sur l'ensemble de la région.



Connectivité fonctionnelle

- █ Faible
- █ Moyenne
- █ Élevée

- █ Régions écologiques
- █ Secteurs avec peu d'informations dendrométriques

Figure 7. Distribution des COS selon leur niveau de connectivité

3. VULNÉRABILITÉS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES FORÊTS

En début de mandat, la TGIRT a remis, à Habitat, des fiches de vulnérabilité pour les 15 espèces présentées au **Tableau 1**. Au total, 18 menaces biotiques (insectes et maladies) sont présentées dans ces fiches en plus de la vulnérabilité des espèces à la sécheresse.

Vulnérabilités des COS aux menaces biotiques

Dans ces fiches, pour chacune des menaces, lorsqu'elle s'applique à l'espèce, une cote de sévérité (S), d'immédiateté (I) et un pointage (P) sont attribués. La sévérité évalue l'impact actuel des menaces. L'immédiateté pondère la menace en fonction de sa présence sur le territoire (potentielle, actuelle ou augmentant avec les changements globaux). Enfin, le pointage multiplie les deux premières cotes, permettant ainsi de classer les menaces en trois classes. Les cotes et les plages de valeurs sont décrites au **Tableau 3** ci-dessous.

Tableau 3. Description des cotes utilisées pour spatialiser les vulnérabilités

COTE	DESCRIPTION	PLAGE DE VALEURS
Sévérité (S)	Évaluation de l'impact actuel des menaces d'insectes ou de maladies	1 : mortalité mineure, généralement des arbres déjà stressés 3 : mortalité modérée en association avec d'autres menaces 5 : mortalité modérée des arbres matures 6 : mortalité significative, complète chez les espèces apparentées 8 : mortalité significative des arbres matures 10 : mortalité totale de tous les arbres matures
Immédiateté (I)	Menaces pondérées en fonction de l'immédiateté et de l'exacerbation présente	1 : pourrait potentiellement atteindre la Gaspésie 2 : présent en Gaspésie 3 : présent en Gaspésie, les changements globaux pourraient contribuer à l'augmentation de la distribution et de l'impact
Pointage (P) $P = S \times I$	Produit de la cote de sévérité et de la cote d'immédiateté	Moins de 5 : faible Entre 5 et 15 : moyen Plus de 15 : élevé

Les menaces pour lesquels tous les COS sont à risque faible ne sont pas présentées sur des cartes, mais répertoriées au **Tableau 4**. Si elles ne sont pas représentées visuellement, c'est parce qu'elles ne montrent pas de variabilité sur le territoire (le pointage pour chaque COS est en dessous de 5). Elles sont néanmoins incluses dans le fichier de données remis à la TGIRT.

Les menaces qui figurent au **Tableau 4** ne sont pas problématiques à l'échelle de la région de la Gaspésie, mais peuvent quand même représenter de grandes menaces à l'échelle d'une espèce. Par exemple, la rouille vésiculeuse du pin blanc et la maladie corticale du hêtre affectent beaucoup leurs hôtes respectifs, à un point tel qu'on ne plante pas de pin blanc sur le territoire (Ministère des Ressources naturelles et des

forêts, communication personnelle 2025). Comme le mandat et les analyses se concentrent une échelle régionale et que le pin blanc et le hêtre sont peu présents, voire presque absents de l'inventaire, les menaces spécifiques à ces espèces ne ressortent pas dans les résultats.

Tableau 4. Menaces biotiques de risque faible (pointage inférieur à 5)

MENACES BIOTIQUES DE RISQUE FAIBLE		
Agrile du bouleau	Diprion de LeConte	Pourridé-agaric
Brûlure des pousses des rameaux	Diprion du Pin	Rouille vésiculeuse du pin blanc
Carie de coloration de tronc	Maladie corticale du hêtre	Tenthredine du mélèze
Chancres Scleroderrien	Maladie du rond	Tenthredine à tête jaune de l'épinette
Dendroctone de l'épinette	Perceur de l'érable	

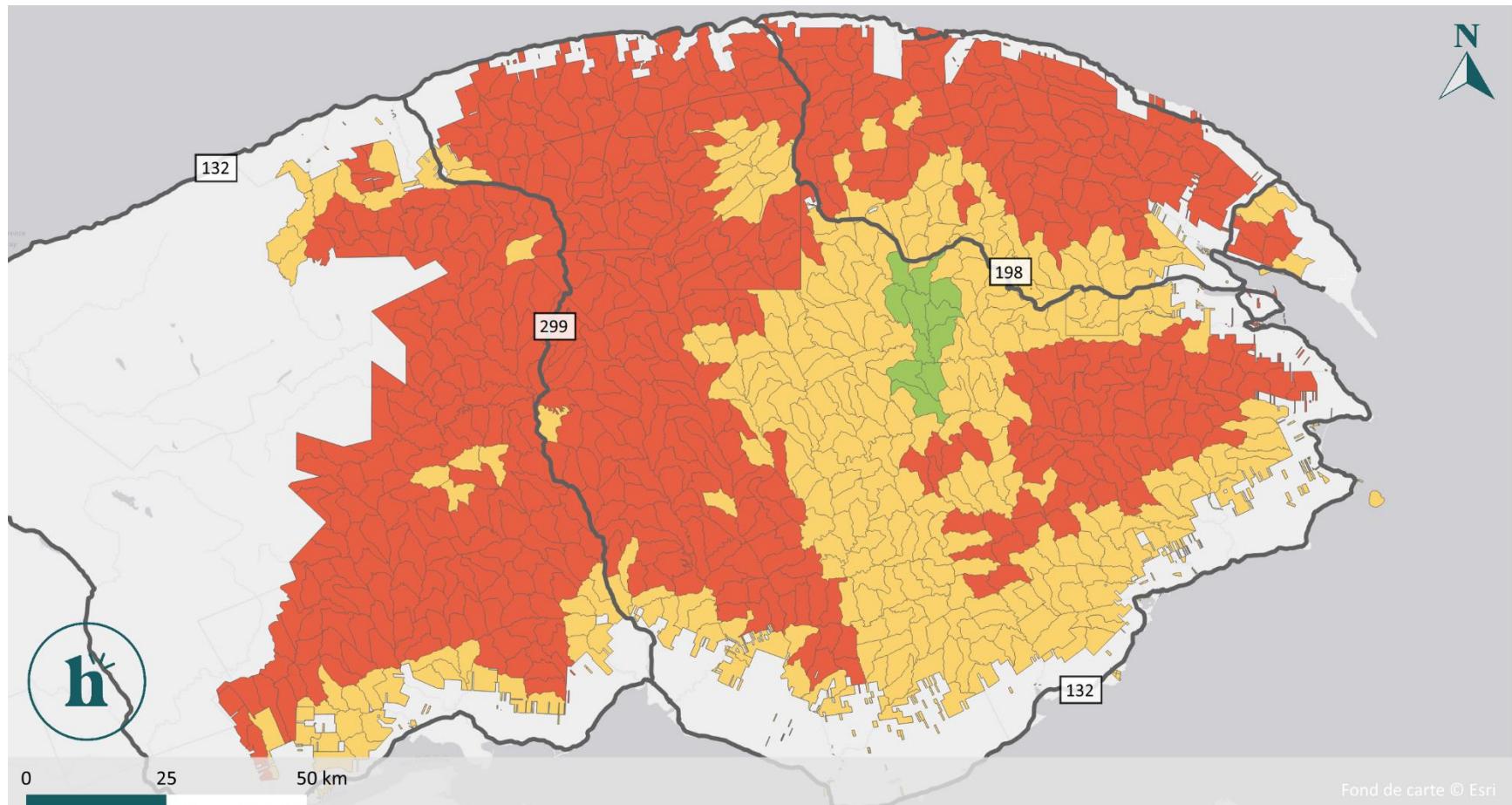
Dans les pages suivantes, quatre cartes spatialisent le pointage pour les menaces les plus préoccupantes du territoire : l'arpenteuse de la pruche, la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la livrée des forêts et les caries autres que la coloration du tronc. Sur ces cartes, les COS où la vulnérabilité est élevée (rouge) représentent des secteurs du territoire où un grand nombre de tiges sont susceptibles à la menace et où la menace est présente en Gaspésie ou pourrait l'être davantage avec les changements globaux.

L'arpenteuse de la pruche

L'arpenteuse de la pruche (*Lambdina fiscellaria fiscellaria*) et la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) sont les deux menaces biotiques les plus préoccupantes de l'analyse. Ces deux espèces indigènes font partie du cycle de perturbation naturelle des sapinières. Pour les forêts gaspésiennes, toutes deux ont comme hôte préférentiel le sapin baumier (*Abies balsamea*) quoique ces insectes défolient aussi d'autres résineux et même des feuillus, dans le cas de l'arpenteuse.

L'arpenteuse de la pruche a déjà ravagé des forêts résineuses situées près de grandes étendues d'eau en Gaspésie, et ce, sur des milliers d'hectares. Les secteurs des rivières Marsoui, à Claude, au Renard, Darmouth, York, Saint-Jean et de Mont-Louis ont été touchés ainsi que les parcs nationaux de l'île Bonaventure et le Parc national de Forillon. Même si l'épidémie est cyclique et perdure rarement au-delà de trois ans, la vitesse de défoliation impacte rapidement de grande étendue (MRNF c.). C'est ce qui se reflète sur la **Figure 8** où seulement une petite partie des COS au centre de la péninsule obtiennent un pointage faible (vert) ; les autres COS, étant majoritairement composés de sapin baumier (*Abies balsamea*), présentent une vulnérabilité modérée (jaune) ou élevée (rouge).

En plus des méthodes de détection précoce et des méthodes de lutte directes, comme la pulvérisation, des pratiques d'aménagement sont déjà en application et permettent d'augmenter la résistance des peuplements à l'arpenteuse de la pruche en augmentant la vigueur des arbres par des éclaircies ou en réduisant la proportion de sapins dans les peuplements.

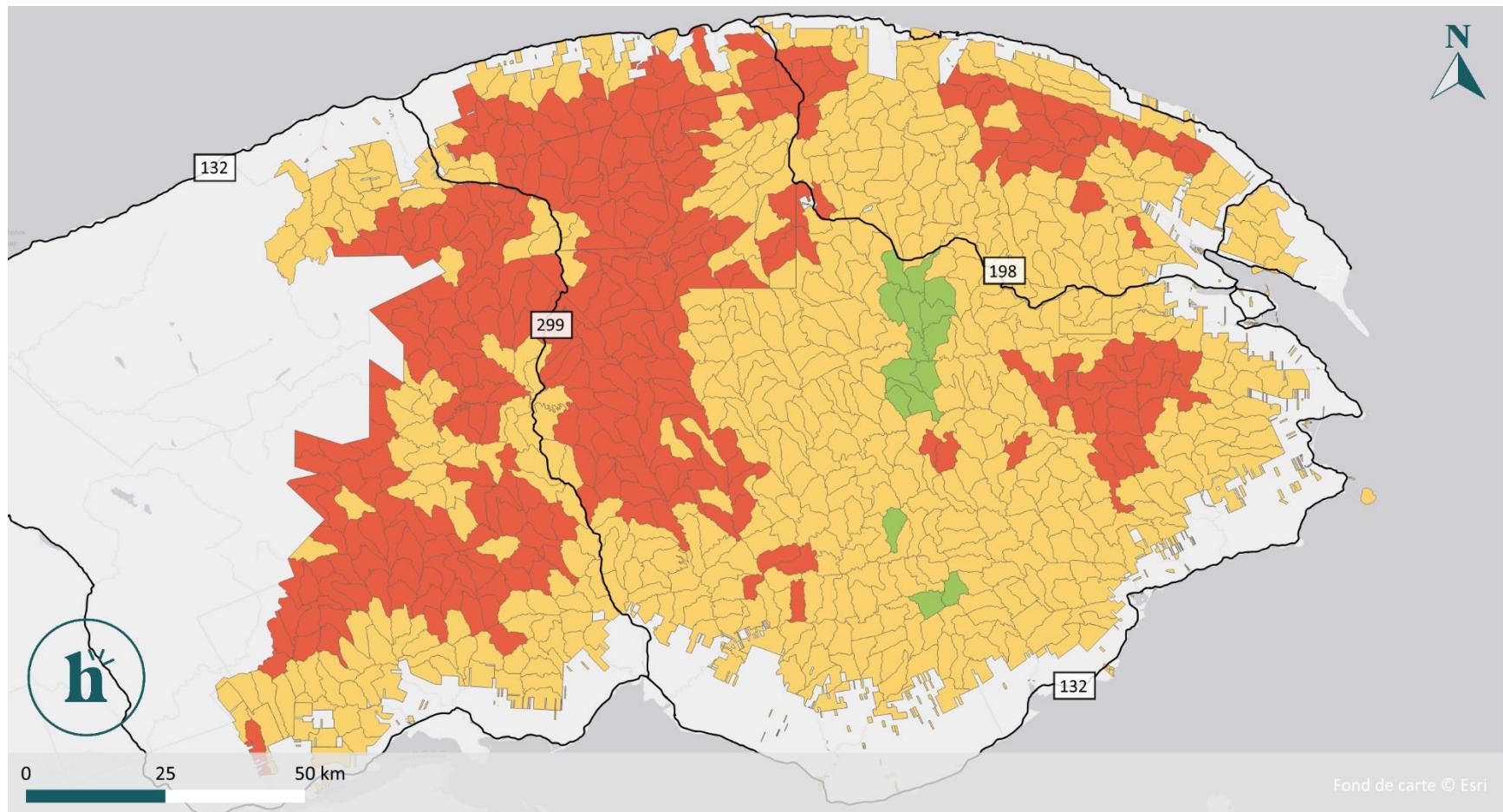


Vulnérabilité à l'arpenteuse de la pruche

- █ Faible (moins de 5)
- █ Modérée (de 5 à 15)
- █ Élevée (plus de 15)

— Routes nationales ou régionales

Figure 8. Vulnérabilité des COS à l'arpenteuse de la pruche



Vulnérabilité à la tordeuse des bourgeons de l'épinette

- █ Faible (moins de 5)
- █ Modérée (de 5 à 15)
- █ Élevée (plus de 15)

— Routes nationales ou régionales

Figure 9. Vulnérabilité des COS à la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La tordeuse des bourgeons de l'épinette

Une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est présentement en cours en Gaspésie, et ce, depuis quelques années déjà. Cette perturbation cyclique influence l'aménagement forestier de la région. En 2024, la région a connu une augmentation des proportions des niveaux de défoliation modéré et grave en comparaison avec l'année précédente et les superficies totales affectées ont aussi augmenté pour atteindre 1,6 Mha (MRNF, 2024). C'est ce qui se reflète sur la **Figure 9** où seulement une petite partie des COS au centre de la péninsule obtiennent un pointage faible (vert) ; les autres COS ont une vulnérabilité modérée (jaune) ou élevée (rouge). De façon générale, la tordeuse affectionne les sapinières matures de forte densité. La vulnérabilité est plus élevée dans la sapinière à bouleau à papier ou lorsque les conditions de sols sont plus difficiles pour le sapin (MRNF d.).

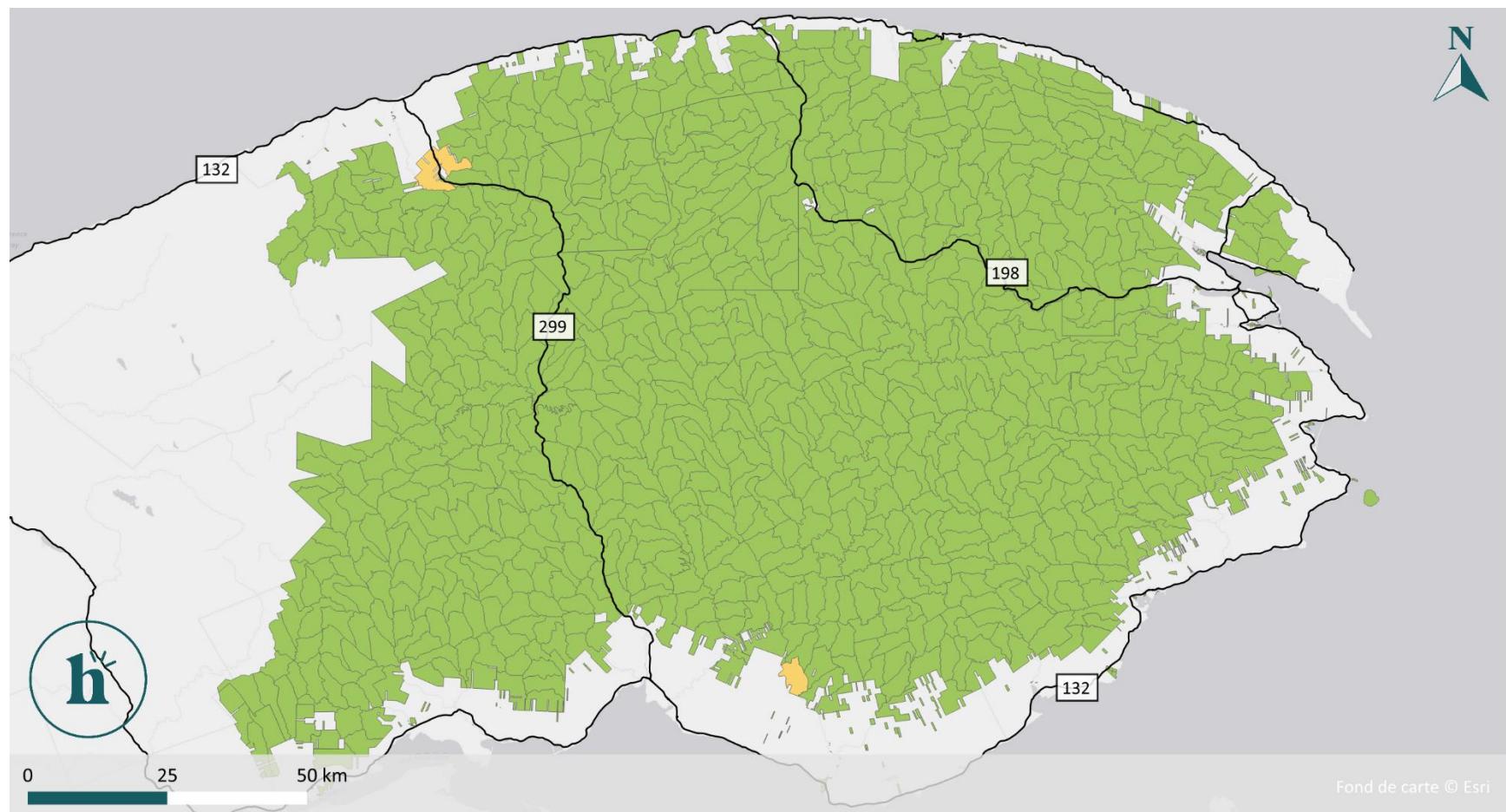
Tout comme pour l'arpenteuse de la pruche, des méthodes d'aménagement particulières sont déjà prescrites pour lutter contre les effets de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Par exemple, des éclaircies permettant de réduire la présence du sapin et d'augmenter la présence des essences plus résistantes peuvent être réalisées afin d'augmenter la résilience des peuplements. Ces éclaircies ne doivent pas être faites pendant les épidémies pour ne pas additionner les stress que subissent les peuplements. Les éclaircies précommerciales et commerciales augmentent la vigueur des arbres, le taux de croissance, la formation du feuillage renforçant ainsi plusieurs mécanismes de défense contre les insectes et maladies. Le maintien d'une diversité d'essences permet la régulation des populations de tordeuses. À la base, les essences reboisées doivent aussi être propices au site de plantation afin d'évoluer dans les conditions optimales, diminuant ainsi la vulnérabilité (MRNF d.).

La livrée des forêts

La livrée des forêts (*Malacosoma disstria*) représente une menace faible (vert) pour la majeure partie du territoire Gaspésien (**Figure 10**). Il s'agit d'un insecte défoliateur indigène qui a comme hôte préférentiel le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*). La livrée des forêts peut s'attaquer à plusieurs autres essences feuillues, mais, sur le territoire gaspésien, ce sont principalement le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et l'érable à sucre (*Acer saccharum*) qui l'intéressent (MRNF e.).

Les autres caries

Les autres caries excluent la coloration du tronc et concernent le sapin baumier (*Abies balsamea*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), l'érable rouge (*Acer rubrum*), le thuja occidental (*Thuya occidentalis*), le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), et, dans une moindre mesure, le pin blanc (*Pinus strobus*). Il s'agit d'une menace pour laquelle les pointages sont moins élevés que les autres, mais qui touche plusieurs essences. Lorsqu'on la rapporte sur l'ensemble du territoire et que l'on tient compte de l'abondance de tiges par COS, elle s'avère être d'intensité modérée (jaune) pour la majeure partie de la péninsule avec un grand secteur au centre qui fait exception et où la menace est faible (vert) (**Figure 11**).

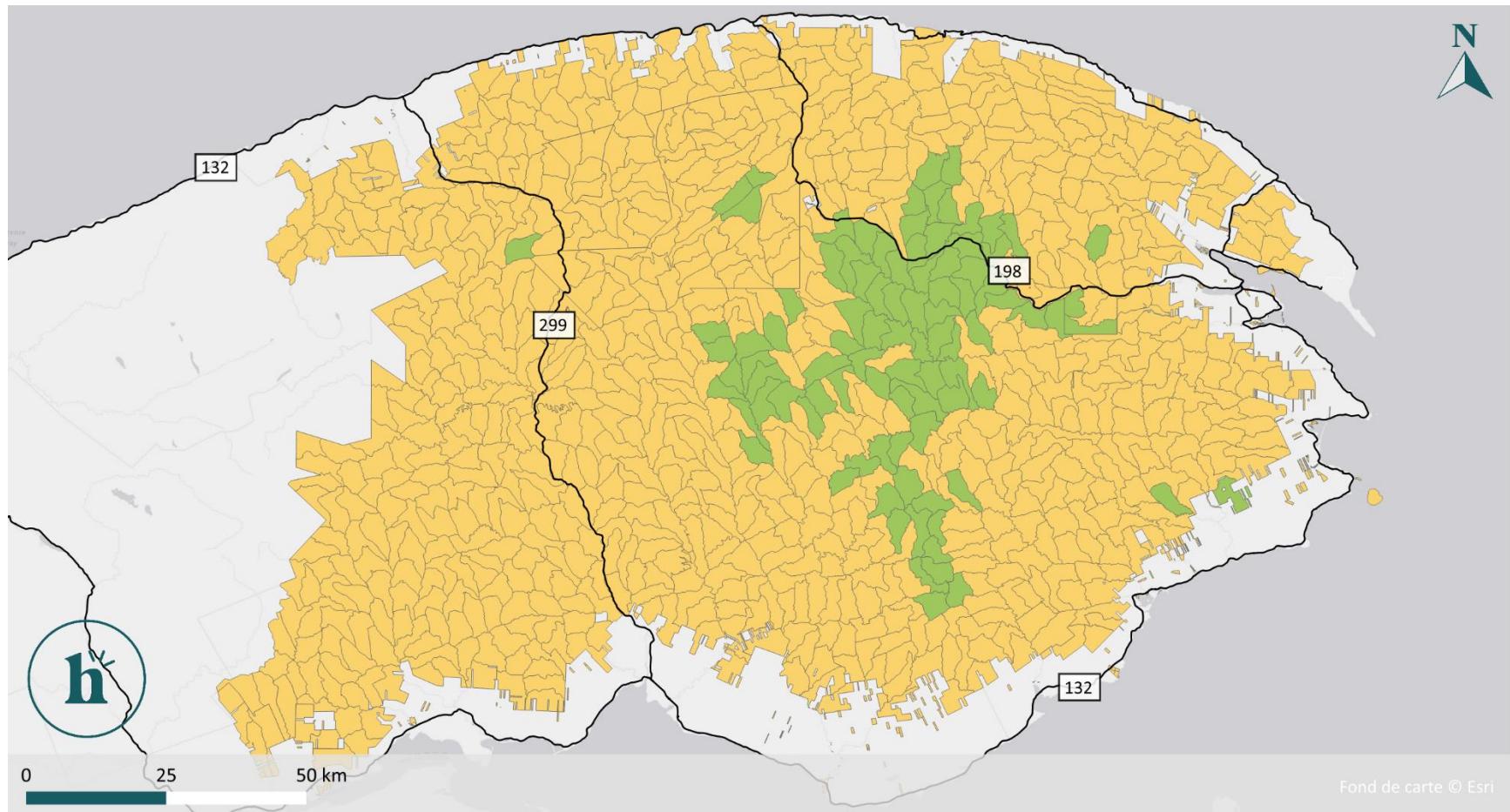


Vulnérabilité à la livrée des forêts

- █ Faible (moins de 5)
- █ Modérée (de 5 à 15)
- █ Élevée (plus de 15)

— Routes nationales ou régionales

Figure 10. Vulnérabilité des COS à la livrée des forêts



Vulnérabilité aux autres caries

- █ Faible (moins de 5)
- █ Modérée (de 5 à 15)
- █ Élevée (plus de 15)

— Routes nationales ou régionales

Figure 11. Vulnérabilité des COS aux autres caries

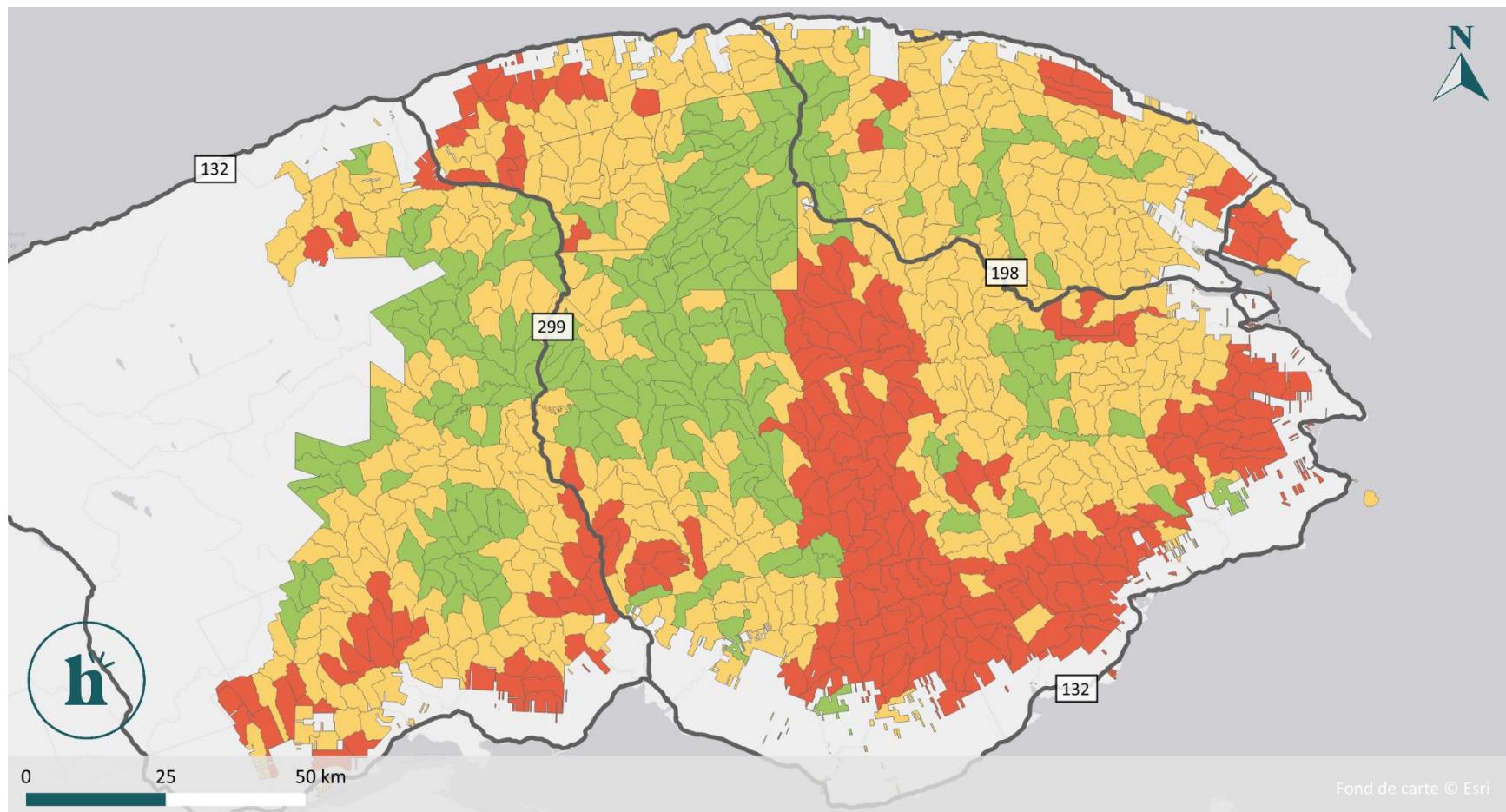
Vulnérabilité des COS à la sécheresse

Finalement, en plus des menaces biotiques (insectes et maladies) présentées précédemment, Habitat a aussi spatialisé la vulnérabilité des COS à la sécheresse. Cette analyse est basée sur le pointage de tolérance à la sécheresse de chaque espèce, pointage issu des fiches de vulnérabilité remise par la TGIRT. Le peuplier baumier (*Populus balsamifera*) est exclu du calcul parce qu'aucune valeur de tolérance ne lui est attribuée.

L'analyse met en lumière les COS dans lesquels la proportion d'essences sensibles à la sécheresse est élevée, mais ne considère pas où les sécheresses sont les plus fréquentes sur le territoire ni le risque que cette menace soit plus ou moins fréquente avec les changements globaux. En effet, contrairement aux autres menaces (insectes et maladies), la valeur de pointage de la sécheresse n'inclut pas le critère d'immédiateté. Il s'agit seulement d'une valeur de susceptibilité. Ainsi, l'interprétation des résultats, avant de mener à un changement dans les interventions sur le terrain, devrait considérer le risque que représente la sécheresse pour la région. Et, si des interventions sont planifiées, les facteurs locaux (drainage, cuvettes, etc.) doivent toujours être pris en compte dans le choix des espèces à planter ou à favoriser naturellement sur le terrain.

La **Figure 12** présente la répartition de la sécheresse sur le territoire de la même manière que la diversité et la connectivité fonctionnelle ont été présentées. Cette menace est présentée différemment des autres parce que les pointages de tolérance à la sécheresse sont ordonnés en rang et non avec des seuils de vulnérabilité (faible, modérée, élevée). Les valeurs sont donc illustrées en trois classes :

- Une **vulnérabilité faible** correspond aux COS qui se classent inférieurs au 25^e percentile en termes de vulnérabilité à la sécheresse, il s'agit des COS avec la plus grande concentration d'espèces vulnérables à la sécheresse ;
- Une **vulnérabilité modérée** correspond aux COS qui se classent supérieurs au 25^e et inférieurs au 75^e percentile ; et
- Une **vulnérabilité élevée** correspond aux COS qui se classent supérieurs au 75^e percentile, il s'agit des COS avec la plus faible concentration d'espèces vulnérables à la sécheresse.



Vulnérabilité à la sécheresse

- █ Faible
- █ Modérée
- █ Élevée

— Routes nationales ou régionales

Figure 12. Vulnérabilité des COS à la sécheresse

4. RECOMMANDATIONS POUR UNE FORÊT RÉSILIENTE

L'aménagement forestier intégrant l'approche de la connectivité fonctionnelle est une pratique récente et encore peu modélisée. Dans l'article de 2020, Aquilué *et al.* étudient deux stratégies d'aménagement (un scénario d'enrichissement et un scénario de boisement) pour une forêt tempérée du sud du Québec. Dans une autre étude, Aquilué *et al.* (2021) appliquent l'analyse de connectivité fonctionnelle dans une forêt tempérée du sud de l'Ontario et modélisent quatre scénarios d'aménagement avec des intensités et modalités variables. Bien que les paysages étudiés dans ces deux publications soient différents du paysage gaspésien, les principales conclusions de ces chercheurs·ses sont une première piste pour orienter la sélection de recommandations dans le présent mandat.

La recherche de Aquilué *et al.* (2020) démontre que de diversifier les espèces des peuplements dont l'indice de diversité est faible, que ce soit avec des enrichissements ou avec de nouvelles plantations, génèrent la meilleure réponse en termes d'augmentation des indices de diversité et connectivité fonctionnelles du territoire. Cet effet serait d'autant plus fort si l'on plante des espèces de groupes fonctionnels rares ; c'est un constat qui est aussi soulevé dans l'étude de 2021. De plus, enrichir les peuplements les plus faibles en matière de diversité, sans égard à la connectivité, serait un moyen plus efficace pour améliorer la connectivité du réseau, plus efficace que d'enrichir les peuplements les moins connectés sans égard à la diversité fonctionnelle (Aquilué *et al.*, 2020). Les scénarios modélisés dans l'étude de 2021 démontrent que l'aménagement forestier peut contribuer à augmenter la diversité et la connectivité fonctionnelles de façon très efficace si cet aménagement vise à augmenter la diversité fonctionnelle des peuplements les plus pauvres au niveau fonctionnel.

Cependant, des décisions d'aménagement se concentrant uniquement sur les impacts des changements climatiques sur les communautés forestières sont à risque de créer une sous-estimation des impacts des menaces biotiques, ce qui pourrait générer des solutions sous-optimales en termes de résilience (Aquilué *et al.*, 2020). L'inclusion des risques entourant les menaces biotiques contribuerait à augmenter la résilience des paysages forestiers. Ce type de gestion inclut des pratiques telles que : éviter d'introduire des menaces exotiques ; prévoir une récolte durable qui considère la pression des menaces biotiques ; et planter des espèces tolérantes à ces menaces (Jeger *et al.*, 2007 et Dymond *et al.*, 2014 dans Aquilué *et al.*, 2020). Cependant, ce type de pratiques doit aussi être intégré et donc considérer l'influence des changements climatiques sur le portrait forestier, tel que le déplacement des niches écologiques et l'effet de la sécheresse sur l'augmentation du taux de défoliation par les insectes (Netherer *et al.*, 2015 et Sangüesa-Barreda *et al.*, 2015 dans Aquilué *et al.*, 2020). Bref, les stratégies d'aménagement visant une forêt résiliente doivent incorporer le choix d'espèces résistantes aux insectes et maladies au principe de diversité fonctionnelle.

4.1 PRIORISATION DES COS SUR LA ZONE D'ÉTUDE

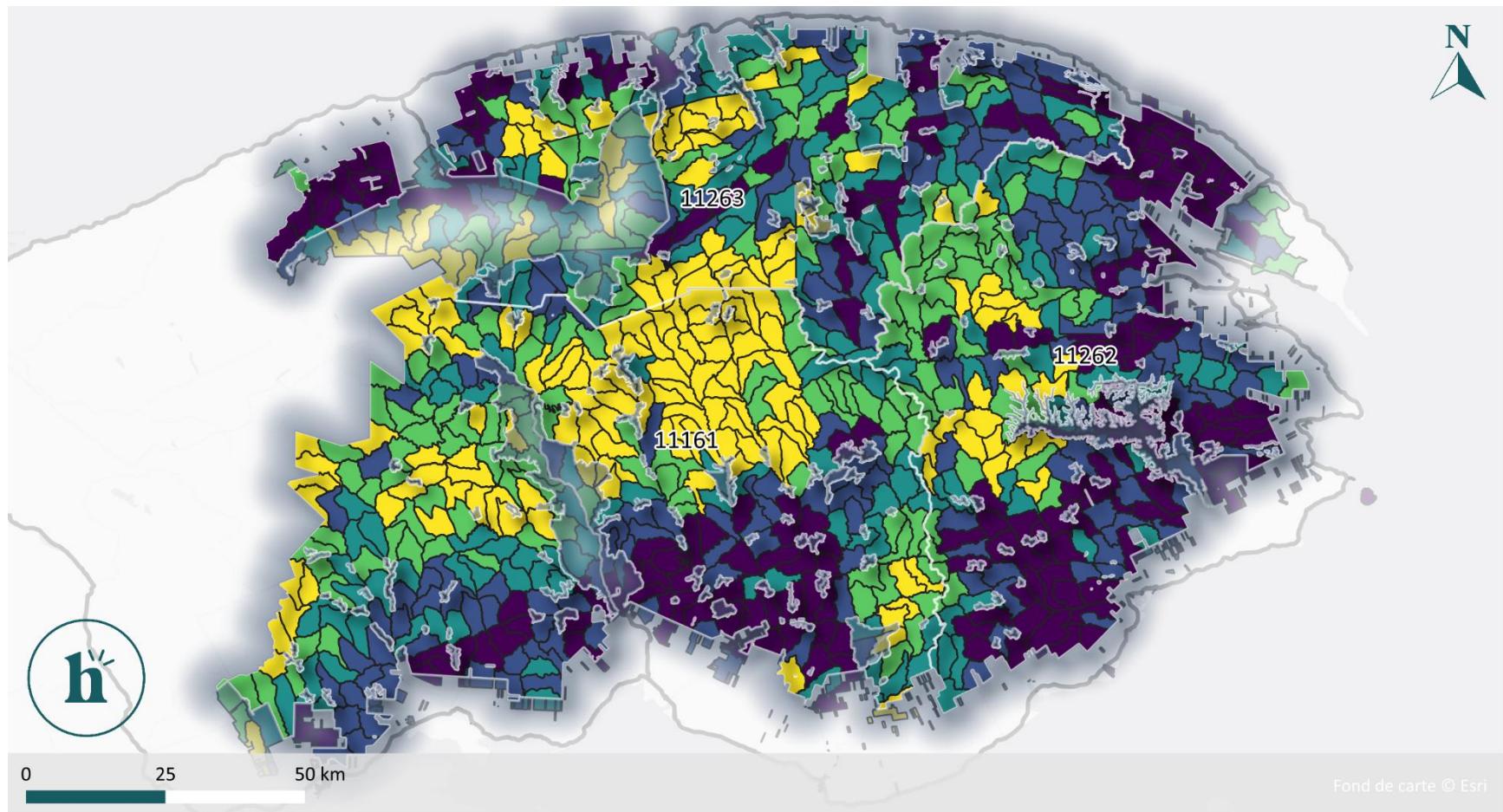
À la lumière de ces constats scientifiques et dans le but d'offrir des recommandations intégrant tous les résultats présentés dans ce rapport, Habitat a réalisé une analyse de priorisation sur la zone d'étude. Cette idée est aussi cohérente avec l'approche de diversité fonctionnelle, approche dont l'objectif n'est pas de transformer tous les peuplements forestiers d'un territoire ou encore d'uniformiser tous les COS en termes de diversité. La priorisation permet d'identifier les COS où des interventions devraient être envisagées en premier. Cette priorisation est fonction des caractéristiques suivantes des COS :

- Une faible diversité fonctionnelle ;
- Une faible connectivité fonctionnelle ; et
- Une susceptibilité plus grande aux principales menaces biotiques.

Pour éviter de faire peser certaines variables plus que d'autres dans l'analyse, le poids total de ces trois variables est fixé à 1. La capacité de la forêt, à l'intérieur d'un COS, de se rétablir à la suite d'une perturbation et de maintenir les mêmes fonctions écosystémiques est caractérisée par deux indices : la diversité fonctionnelle moyenne du COS et la connectivité fonctionnelle des peuplements à l'intérieur du COS. Une troisième variable indique la vulnérabilité globale des peuplements du COS aux principales menaces biotiques. Ainsi, un poids de 0,25 est attribué au pointage de chacune des 4 menaces sélectionnées (arpenteuse de pruche, tordeuse des bourgeons de l'épinette, livrée des forêts et caries autres que la décoloration du tronc), pour un total de 1. Un algorithme de priorisation multicritère est ensuite utilisé (Hanson *et al.*, 2024) pour déterminer quels COS présentent à la fois une faible diversité fonctionnelle, une faible connectivité fonctionnelle et de fortes vulnérabilités aux quatre menaces décrites ci-dessus. Le résultat de cette analyse est ensuite transformé dans un indice allant de 1 et 100 décrivant le degré de priorité.

Il est important de spécifier que ce type de priorisation sert à repérer les COS qui, globalement, ressortent le plus de la mise en commun des analyses. Dans l'interprétation des résultats, il faut considérer l'incertitude occasionnée par le manque de données de certains COS, le fait que l'inventaire est réalisé par photo-interprétation grâce à des données LiDAR ainsi que les incertitudes concernant les pointages attribués à chaque menace.

En somme, l'analyse de priorisation doit être utilisée pour repérer les COS qui ont à la fois (1) une faible diversité fonctionnelle, (2) une faible connectivité fonctionnelle et (3) une grande susceptibilité aux principales menaces biotiques. Le résultat de cette priorisation de COS est présenté à la **Figure 13** où les COS les plus prioritaires aux interventions tirent vers le jaune et les moins prioritaires vers le bleu marin. Chaque unité d'aménagement comprend des COS prioritaires, mais le centre de la péninsule gaspésienne, dans la portion la plus au nord de l'unité 11161, en contient davantage.



Percentile de priorisation

0 - 20	60 - 80	Territoire d'étude (unités d'aménagement)
20 - 40	80 - 100	
40 - 60		

Figure 13. Résultats spatialisés de la priorisation multicritère à l'intérieur de chaque COS

4.2 RECOMMANDATIONS POUR LA ZONE D'ÉTUDE

Les VOIC sont applicables à l'échelle régionale et peuvent avoir des cibles qui varient selon différentes échelles, telles que les unités d'aménagement (UA) ou encore les compartiments d'organisation spatiale (COS). Elles représentent les objectifs locaux d'aménagement ; c'est pourquoi ce rapport référera parfois à celles-ci dans les recommandations qui suivent. Les recommandations sont numérotées pour en faciliter la lecture, mais la numérotation ne représente pas un ordre de priorité.

Recommandation 1

Établir des zones d'enrichissement

Les COS qui ressortent de l'analyse de priorisation sont des portions de territoire faiblement diversifiées ayant une faible connectivité fonctionnelle et dont les niveaux de vulnérabilité sont élevés (**Figure 13**). Ils représentent donc des zones à privilégier pour des interventions sylvicoles d'enrichissement avec des essences de groupes fonctionnels peu représentées et moins bien réparties sur le territoire, telles que celles appartenant aux groupes fonctionnels 2 et 3 (voir l'**ANNEXE 1** pour la liste des groupes). Par exemple, l'érythrine rouge (*Acer rubrum*) et l'érythrine à sucre (*Acer saccharum*) pourraient être envisagés pour des enrichissements. À titre indicatif, pour l'érythrine à sucre, pour la période 2071-2100, les modèles d'habitat selon un scénario élevé de concentration de gaz à effet de serre (RCP 8.5) indiquent la présence de nouveaux habitats propices pour cette espèce dans plusieurs des COS les plus prioritaires, et ce, principalement pour les UA 11263 (le Nord) et 11161 (le Sud). À la Erreur ! Source du renvoi introuvable., la présence de nouveaux habitats est illustrée par les tuiles en mauve où plus la tuile est foncée, plus le consensus sur cette projection est solide. La carte est une capture d'écran de la carte interactive du MRNF : <https://mrnf-drf.shinyapps.io/devenir/> (Périé et Lambert, 2023).

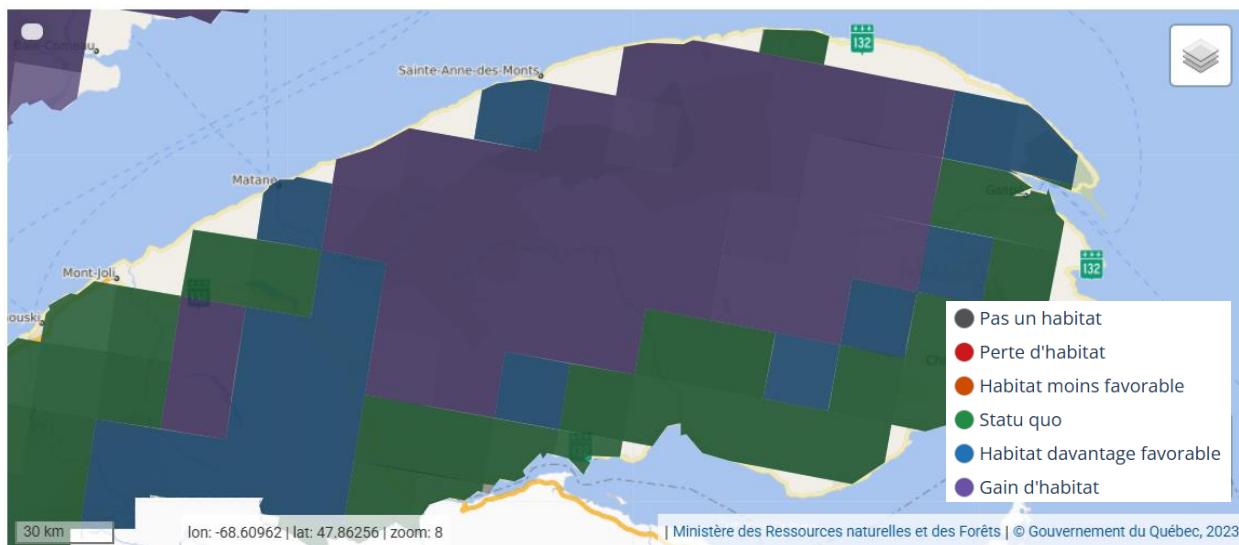


Figure 14. Potentiels d'habitat (2071-2100) pour l'érythrine à sucre selon un scénario RCP 8.5



Cependant, l'enrichissement avec des feuillus dans les nouveaux habitats de ces UA pourrait interférer avec les stratégies mises en place pour le caribou montagnard. Cette situation touche les peuplements de l'UA 11263 (le Nord). L'augmentation d'essences feuillues dans les zones d'habitat du caribou est contraire aux recommandations de l'équipe de rétablissement du caribou de la Gaspésie. L'animal a besoin d'un large territoire, peu perturbé, où il peut accéder à des zones de sapinières matures ou surannées. Ainsi, des mesures intégrées peuvent consister à conserver la strate forestière âgée et à restaurer les forêts perturbées avec des espèces d'arbres favorables pour le caribou, et ce, dans les zones d'habitat identifiées tout en augmentant l'effort de diversification dans les sapinières situées en dehors de ces zones.

Recommandation 2

Conserver les peuplements mixtes

En plus d'établir des zones d'enrichissement avec des essences de groupes 2 et 3 (feuillus), il est important de conserver des peuplements mixtes pour préserver les portions de territoire déjà naturellement diversifiées. D'autant plus que les feuillus forment une barrière naturelle aux feux de forêt, une menace à considérer dans une vision d'aménagement en contexte de changements globaux.

Recommandation 3

Maintenir et favoriser la régénération des groupes fonctionnels non résineux

Comme les solutions d'enrichissement sont coûteuses, une autre avenue consiste à maintenir sur le parterre de coupe les essences feuillues qui sont généralement retirées des peuplements lors des éclaircies pré-commerciales, des dégagements et du nettoiement. Cependant, le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) appartiennent tous deux au même groupe fonctionnel (groupe 5) qui est déjà assez abondant. Cette stratégie représente donc moins de gains en termes de diversité fonctionnelle, car ce groupe est le deuxième plus abondant sur le territoire. Environ 15 % des tiges sont classées dans le groupe 5 alors que les groupes 2A, 2B et 3B rassemblent ensemble moins de 5 % des tiges de l'ensemble des COS étudiés (**Tableau 2**). Cependant, des gains de diversité fonctionnelle intéressants peuvent quand même être obtenus dans certaines régions ou COS là où ces deux espèces sont moins présentes.

Recommandation 4

Maintenir et favoriser la régénération des espèces peu représentées

Dans le même ordre d'idées, il convient de maintenir et de favoriser la régénération des espèces peu représentées, mais déjà présentes sur le territoire. Cela va d'ailleurs dans le sens du VOIC composition. Par exemple, le thuya occidental (*Thuya occidentalis*) et le mélèze laricin (*Larix laricina*), bien qu'ils fassent partie du même groupe fonctionnel que le sapin baumier (*Abies balsamea*), ne dominent pas le paysage et possèdent des caractéristiques biologiques légèrement différentes, contribuant ainsi à la diversité des réponses aux stress. Cependant, pour la période 2071-2100, les modèles d'habitat selon un scénario élevé de concentration de gaz à effet de serre (RCP 8.5) indiquent une perte d'habitat pour le mélèze sur la majorité du territoire (Périé et Lambert, 2023) ; les habitats favorables deviendront de plus en plus rares



et devraient être considérés si cette recommandation est appliquée. Enfin, le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) est aussi une espèce qui peut être favorisée. Cette espèce est typique du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune, elle fait partie d'un groupe fonctionnel très peu représenté sur le territoire (groupe 3B) et son habitat ne devrait pas trop changer sur l'horizon 2071-2100 (voir le scénario RCO 8.5 selon Périé et Lambert, 2023).

Recommandation 5

Privilégier les espèces tolérantes aux menaces les plus prioritaires

La spatialisation des vulnérabilités des COS à différentes menaces peut aussi servir à orienter des sélections d'essences à favoriser, en autant que les décisions soient aussi informées par le principe de diversité fonctionnelle. Les vulnérabilités à prendre en considération en priorité sont l'arpenteuse de pruche et la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ces deux menaces concernent plusieurs essences, mais principalement le sapin baumier (*Abies balsamea*). Cette espèce étant la plus abondante sur le territoire gaspésien, toutes les mesures de recommandations présentées précédemment contribueront à rendre le territoire plus résilient à ces deux menaces.



RÉFÉRENCES

- Aquilié, N., Filotas, É., Craven, D., Fortin, M., Brotons, L. et Messier, C. (2020). Evaluating forest resilience to global threats using functional response traits and network properties. *Ecological Applications*, 30(5), e02095. <https://doi.org/10.1002/eap.2095>
- Aquilié, N., Messier, C., Martins, K. T., Dumais-Lalonde, V. et Mina, M. (2021). A simple-to-use management approach to boost adaptive capacity of forests to global uncertainty. *Forest Ecology and Management*, 481, 118692. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118692>
- Brandt, L. A., Derby Lewis, A., Scott, L., Darling, L., Fahey, R. T., Iverson, L., Nowak, D. J., Bodine, A. R., Bell, A., Still, S., Butler, P. R., Dierich, A., Handler, S. D., Janowiak, M. K., Matthews, S. N., Miesbauer, J. W., Peters, M., Prasad, A., Shannon, P. D., ... Swanston, C. W. (2017). Chicago Wilderness region urban forest vulnerability assessment and synthesis. Urban Forestry Climate Change Response Framework Chicago Wilderness Pilot Project. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-168>
- Matthews, S. N., Iverson, L. R., Prasad, A. M., Peters, M. P. et Rodewald, P. G. (2011). Modifying climate change habitat models using tree species-specific assessments of model uncertainty and life history-factors. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1460-1472. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.047>
- Gladstone-Gallagher, R. V., Pilditch, C. A., Stephenson, F. et Thrush, S. F. (2019). Linking Traits across Ecological Scales Determines Functional Resilience. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(12), 1080-1091. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.07.010>
- Gouvernement du Québec. (2022). Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec. No de publication F24-06-2211. 8 pages.
- Hanson, J. O., Schuster, R., Strimas-Mackey, M., Morrell, N., Edwards, B. P. M., Arcese, P., Bennett, J. R. et Possingham, H. P. (2024). Systematic conservation prioritization with the prioritizr R package. *Conservation Biology*, e14376. <https://doi.org/10.1111/cobi.14376>
- Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427-473
- Ministère des transports et de la mobilité durable. (2013). Réseau routier - RTSS, [Jeu de données], dans Données Québec, 2013, mis à jour le 19 décembre 2024. [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/reseau-routier-rtss>], (consulté le 19 décembre 2024).
- MRNF. Ministère des ressources naturelles et des forêts. (2017) Carte écoforestière originale et résultats d'inventaire courants, [Jeu de données], dans Données Québec, 2017, mis à jour le 08 octobre 2024. [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/resultats-d-inventaire-et-carte-ecoforestiere>], (consulté le 17 janvier 2025).
- MRNF. Ministère des Ressources naturelles et de Forêts. (2019). Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), [Jeu de données], dans Données Québec, 2019, mis à jour le 25 novembre 2024. [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/grhq>], (consulté le 19 décembre 2024).
- MRNF. Ministère des ressources naturelles et des forêts. (2024). Aires infestées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec en 2024, Québec, gouvernement du Québec, Direction de la protection des forêts, 34 p.
- MRNF. Ministère des Ressources naturelles et de Forêts. a. [Sans date]. Plan d'aménagement forestier intégré tactique 2018-2023, Le territoire et ses occupants. [https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/forets/documents/planification/Gaspesie-Iles-de-la-Madeleine/plans/DS_PAFIT_Territoire_Gaspesie.pdf], (consulté le 13 janvier 2025).
- MRNF. Ministère des Ressources naturelles et de Forêts. b. [Sans date]. Plan d'aménagement forestier intégré tactique 2018-2023, Recueil des fiches enjeux-solutions. [https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/forets/documents/planification/Gaspesie-Iles-de-la-Madeleine/plans/DS_PAFIT_Territoire_Gaspesie.pdf], (consulté le 13 janvier 2025).



contenu/forets/documents/planification/Gaspesie-Iles-de-la-Madeleine/plans/DS_Fiches_EnjeuxSolutions_Gaspesie.pdf], (consulté le 13 janvier 2025).

MRNF. Ministère des Ressources naturelles et de Forêts. c. [Sans date]. Insectes – Fiches descriptives. L'arpenteuse de la pruche. [<https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/protection-milieu-forestier/protection-forests-insectes-maladies/fiches-insectes/arpenteuse-pruche/>], (consulté le 13 janvier 2025).

MRNF. Ministère des Ressources naturelles et de Forêts. d. [Sans date]. Insectes – Fiches descriptives. La tordeuse des bourgeons de l'épinette. [<https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/protection-milieu-forestier/protection-forests-insectes-maladies/fiches-insectes/tordeuse-bourgeons-epinette/>], (consulté le 13 janvier 2025).

MRNF. Ministère des Ressources naturelles et de Forêts. e. [Sans date]. Insectes – Fiches descriptives. La livrée des forêts. [<https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/protection-milieu-forestier/protection-forests-insectes-maladies/fiches-insectes/livree-forets/>], (consulté le 13 janvier 2025).

Northern Institute of Applied Climate Science (NIACS). 2021. Climate change vulnerability of urban trees. Seattle, Washington.

Périé, C. et M.-C. Lambert. (2023). Devenir des habitats. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Application Web. [<https://mrnf-drf.shinyapps.io/devenir/>], (consulté le 17 février 2025).

Perrotte Caron, O., Varady-Szabo, H. et Malenfant, A. (2012). Portrait de l'organisation spatiale du territoire forestier gaspésien définie d'après la mesure de l'intensité de la fragmentation et de la connectivité des forêts. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 59 pages

Rutledge, A. (2021). Seattle Region: Climate Projections & Tree Species Vulnerability. Summary Report from the Northern Institute of Applied Climate Science (NIACS). 56 p.

Vittoz, P. et Engler, R. (2007). Seed dispersal distances: a typology based on dispersal modes and plant traits. *Botanica Helvetica*, 117(2), 109-124. <https://doi.org/10.1007/s00035-007-0797-8>

ANNEXE 1 – GROUPES FONCTIONNELS

Groupe 1

- Toutes les espèces de conifères
- Petites feuilles (aiguilles) et petites semences

Espèces typiques : sapins, pins, épinettes, genévriers, thuyas, pruches, mélèzes



Groupe 2 - 2A

- Espèces tolérantes à l'ombre
- Feuilles larges et minces
- Croissance moyenne

Espèces typiques : érable argenté, micocoulier occidental, hêtre à grandes feuilles, févier d'Amérique, ostryer de Virginie, tilleul d'Amérique



Groupe 2 - 2B

- Espèces tolérantes à l'ombre mais peu tolérantes à la sécheresse
- Feuilles larges et minces
- Croissance moyenne
- Bois dur

Espèces typiques : érable à sucre, érable rouge, érable noir, frêne d'Amérique, frêne rouge, charme de Caroline



Groupe 3 - 3A

- Espèces peu tolérantes à l'ombre, à l'inondation et à la sécheresse
- Croissance lente

Espèces typiques : cerisiers, sureaux, sorbiers, orme d'Amérique, orme rouge



Groupe 3 - 3B

- Espèces intolérantes à l'inondation
- Croissance lente
- Bois dur

Espèces typiques : amélanchier du Canada, bouleau jaune, aubépines, orme liège



Groupe 4

- Espèces tolérantes à la sécheresse
- Larges semences
- Dispersion par gravité ou par les animaux

Espèces typiques : caryers, chênes, noyers, noisetiers



Groupe 5

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Espèces pionnières • Croissance rapide | <ul style="list-style-type: none"> • Petites semences • Dispersion par le vent |
|---|--|

Espèces typiques : aulnes, bouleaux (sauf bouleau jaune), peupliers, saules





www.habitat-nature.com

5818 Blvd Saint-Laurent, Montréal, H2T 1T3, QC

info@habitat-nature.com | (438) 825-4445