

# **Une analyse de la connectivité de l'habitat de la martre d'Amérique selon des scénarios d'aménagement forestier dans l'ouest du Québec.**

Préparé pour :

**Conseil régional de l'environnement de l'Abitibi-Témiscamingue**

Préparé par :

Bronwyn Rayfield & Carina Rauen Firkowski

**Apex Resource Management Solutions Ltd.**

Ottawa, Ontario

[apexrms.com](http://apexrms.com)

22 août 2023

## Contenu

Liste des tableaux.....	2
Liste des figures .....	2
Remerciements .....	3
Résumé .....	3
Introduction .....	4
Méthodes .....	5
Aire d'étude .....	5
Corridors .....	5
Conditions actuelles.....	7
Qualité de l'habitat .....	7
Connectivité des habitats .....	7
Évaluation du corridor .....	8
Conditions futures.....	8
Modèle de simulation forestière .....	8
Scénarios de simulation de la récolte .....	10
Simulation de l'habitat et de la connectivité futurs.....	10
Validation du modèle par rapport aux indicateurs et aux objectifs du PAFIT .....	11
Résultats.....	11
Conditions actuelles.....	11
Conditions futures.....	16
Simulation de forêt .....	16
Futur habitat de la martre et connectivité .....	18
Conclusions .....	23
Considérations et prochaines étapes.....	23
Références .....	24
Annexes.....	A1

## Liste des tableaux

Tableau 1 . Les corridors formés par les peuplements forestiers résiduels. ....	6
---	---

## Liste des figures

Figure 1. Carte de l'aire d'étude .....	5
Figure 2. Carte des corridors.....	6
Figure 3. Qualité de l'habitat .....	12
Figure 4. Cartes de résistance pour les analyses de connectivité.....	12
Figure 5. Cartes de la probabilité de mouvement .....	14
Figure 6. Cartes des types de mouvement .....	14
Figure 7. Proportion des types de mouvement dans tous les corridors en 2022.....	15
Figure 8. Proportion des types de mouvements dans chaque corridor en 2022 .....	16
Figure 9. Superficie brûlée au cours de la période de simulation 2018-2027 .....	17
<b>Figure 10.</b> Superficie et volume marchand récoltés au cours de la période de simulation 2018-2027 .....	17
Figure 11. La proportion de l'habitat de la martre dans l'UA pour la période de simulation 2018-2027 ..	18
Figure 12. La proportion de l'habitat de la martre dans chaque UTA .....	19
Figure 13. Connectivité de l'habitat de la martre entre les massifs forestiers.....	20
Figure 14. La probabilité moyenne de déplacement de chaque UTA.....	21
Figure 15. Proportion des types de mouvement dans tous les corridors en 2027.....	22

## Remerciements

Nous tenons à remercier les collaborateurs suivants pour leurs conseils : Frédéric Charron et Bianca Bédard (Conseil régional de l'environnement de l'Abitibi-Témiscamingue), Marcel Lavoie (Association des trappeurs de Rouyn-Noranda), Marianne Cheveau (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs), Pauline Suffice (AFFUT), et Marie-Eve Sigouin (Greenfirst). Cette étude a été financée dans le cadre du "Programme de gestion intégrée des ressources pour l'aménagement durable de la faune en milieu forestier" administré par la Fondation de la Faune.

## Résumé

Nous avons analysé la connectivité actuelle et future de l'habitat de la martre d'Amérique, une espèce sensible à la fragmentation de la forêt, dans un paysage englobant l'unité d'aménagement (UA) forestier 082-51 près de Rouyn-Noranda, dans l'ouest du Québec. Nous avons cartographié l'habitat actuel de la martre en nous basant sur les données les plus récentes disponibles sur le paysage (2022) et nous avons projeté l'habitat spatial dans le futur à l'aide d'un modèle de simulation forestière (2017 à 2027) selon deux scénarios alternatifs de récolte : un scénario référence de récolte du bois et un scénario avec 20 % de moins de volume marchand récolté. Nous avons produit des cartes de la connectivité de l'habitat de la martre à l'échelle des domaines vitaux individuels et à l'échelle de la dispersion natale. Nous avons mesuré la connectivité entre les massifs forestiers, qui sont de vastes zones d'habitat de haute qualité pour la martre, réparties dans le paysage. Nous avons validé les corridors forestiers formés par les peuplements forestiers résiduels en termes de contribution à la connectivité actuelle et future.

Nous avons constaté que les corridors contenaient significativement plus de zones avec une forte probabilité de mouvement que le paysage environnant dans l'unité d'aménagement en fonction des conditions actuelles et dans les deux scénarios de récolte futurs. En 2022, nous prévoyons plus de mouvements de dispersion natale dirigée à l'intérieur qu'à l'extérieur des corridors. Il en va de même pour 2027, avec plus de mouvements à l'échelle du domaine vital à l'intérieur dans les deux scénarios. Ces deux années d'analyse sont cohérentes avec la tendance selon laquelle les corridors deviennent plus importants pour la connectivité de la martre au fil du temps. La connectivité entre les massifs forestiers, mesurée sur toute l'étendue de l'unité d'aménagement, n'a pas changé entre 2017 et 2027, quel que soit le scénario de gestion. Toutefois, la connectivité au sein des unités d'analyses territoriales où la majeure partie de la récolte est prévue a diminué dans les deux scénarios. La diminution a été légèrement moins importante dans le scénario qui réduit l'objectif de volume marchand de 20 %.

Nous avons développé une approche pour projeter les effets des scénarios de récolte sur la connectivité de l'habitat de la martre en utilisant les meilleures données et sciences disponibles. Nous avons validé les résultats de notre modèle en les alignant sur deux périodes issues des Plan d'aménagement forestier intégré tactique (PAFIT). Recueillir directement des données sur les déplacements des martres dans le cadre d'un programme de surveillance à long terme serait bénéfique. Les projections pourraient être étendues au-delà de 2027 en réexaminant l'hypothèse de modélisation selon laquelle la composition de la forêt ne change pas et en utilisant des données supplémentaires sur les zones de récolte planifiées similaires. Dans le but d'identifier des stratégies de récolte susceptibles de

maintenir ou d'améliorer l'habitat de la martre et sa connectivité, il est envisageable de considérer d'autres scénarios.

## Introduction

Pour enrayer la perte continue de biodiversité, il est nécessaire d'évaluer les impacts cumulatifs des perturbations anthropiques et naturelles sur l'habitat de la faune. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur l'habitat de la martre d'Amérique (*Martes americana*), une espèce sensible au développement et à la fragmentation de la forêt, dans un paysage englobant l'unité d'aménagement forestier 082-51 autour de la ville de Rouyn-Noranda au Québec, Canada. La martre d'Amérique est souvent utilisée comme espèce indicatrice de la biodiversité de la forêt boréale mature (Thompson, 1991; Buskirk et Powell, 1994) en raison de la grande taille de son domaine vital (taille maximale du domaine vital de 9,2 km<sup>2</sup> ; Potvin, 1998) et de son degré de spécialisation de l'habitat (préfère les forêts de conifères/mélangées de plus de 7 m de hauteur ; MFFP 2022). Le feu de forêt est l'agent de perturbation naturelle dominant et est très variable en termes d'étendue et de fréquence (Johnson, 1992). L'exploitation forestière, l'agent de perturbation anthropique dominant, élimine ou réduit considérablement la partie mature de ces paysages forestiers (Bergeron et al., 1999). Les objectifs de ce projet étaient : 1) d'évaluer la connectivité actuelle et future de l'habitat de la martre d'Amérique dans l'unité d'aménagement 082-51 selon différents scénarios de récolte forestière; et 2) d'évaluer si les corridors forestiers formés par les peuplements forestiers résiduels contribuaient à la connectivité actuelle et future.

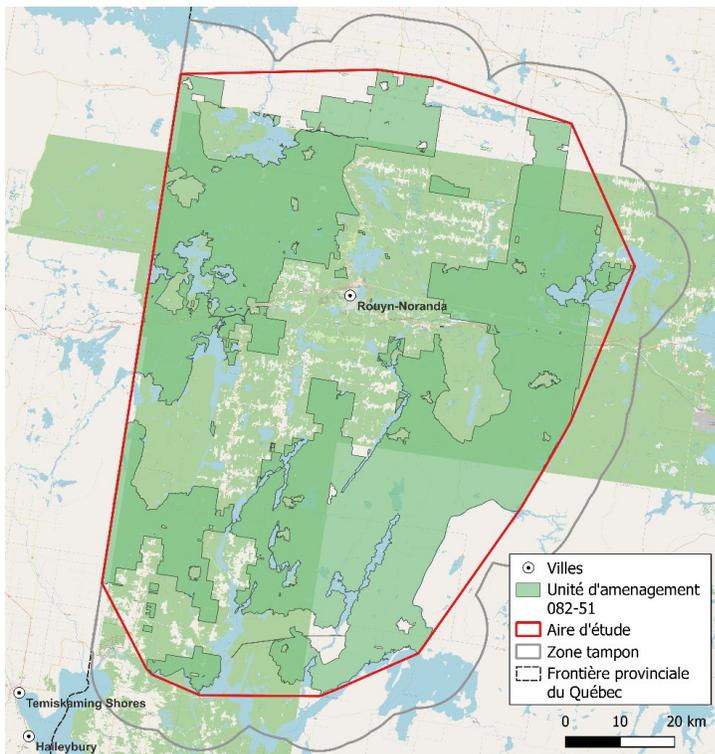
Nous avons évalué les effets cumulatifs de multiples facteurs de stress sur la qualité de l'habitat et la connectivité pour la martre à travers plusieurs échelles spatiales jusqu'à l'année 2027. Nous avons utilisé un modèle de dynamique forestière spatialement explicite pour simuler l'âge et la hauteur futurs des forêts dans le cadre de différents scénarios de récolte forestière. Nous avons comparé un scénario de récolte référence (volume marchand récolté égal à la possibilité forestière) à un scénario où le volume marchand récolté était réduit de 20 % dans un optique où il y a plus de territoire protégé. Nous avons ensuite créé des projections spatiales de l'habitat et de la connectivité de la martre à l'aide de modèles. Nous avons utilisé le modèle de qualité de l'habitat de la martre du MFFP qui comprend des informations non seulement sur les attributs des peuplements forestiers adéquats, mais aussi par rapport aux besoins spatiaux de la martre. Nous avons effectué des analyses de connectivité Omniscape de l'habitat de la martre à l'échelle des déplacements des domaines vitaux et de la dispersion natale. Nous avons résumé les changements dans l'habitat et la connectivité dans le cadre des scénarios de récolte forestière à l'échelle de l'unité d'aménagement entière et subdivisée en unités d'analyse territoriale (UTA).

Notre analyse a permis de valider si la martre utilise les corridors de déplacement formés par l'alignement des peuplements forestiers résiduels. Ces corridors résultent de plusieurs processus d'harmonisation de la table de gestion intégrée des ressources et du territoire (TGIRT) de Rouyn-Noranda. Nous avons évalué si les mouvements prédits à l'intérieur des corridors étaient moins entravés (*impeded*) ou plus dirigés (*channelized*) que ceux à l'extérieur des corridors. Si c'est le cas, cela suggère qu'ils fournissent effectivement une connectivité pour les martres à travers le paysage. Nous avons validé les corridors de cette manière en utilisant les schémas de déplacement actuels des martres et sur les schémas futurs dans le cadre des différents scénarios de récolte forestière.

## Méthodes

### *Aire d'étude*

Le projet est centré sur l'UA082-51 (Figure 1), d'une superficie de 356 056 ha. Nous avons délimité l'aire d'étude avec une zone tampon autour de l'UA, d'une superficie de 836 231 ha. Cette zone autour de l'UA forme une enveloppe convexe d'un rayon de 10 km autour de l'UA. Le paysage complet, y compris la zone tampon, a été divisé en approximativement 1 060 000 cellules, chacune d'elle mesure 100 m x 100 m. Les données utilisées dans cette étude sont énumérées dans le tableau A1.



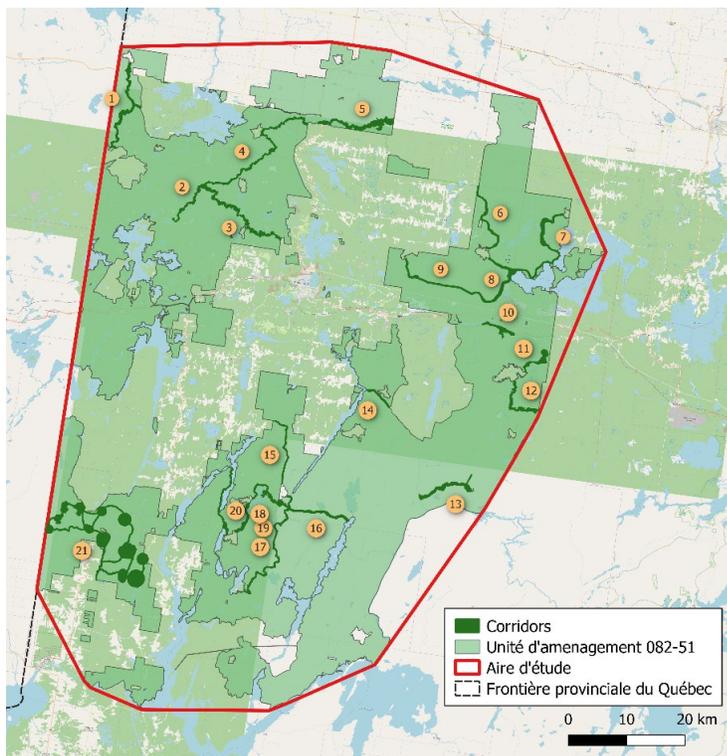
**Figure 1.** Carte de l'aire d'étude montrant l'unité d'aménagement forestière, l'aire d'étude, et la zone tampon utilisées dans les analyses de connectivité.

### *Corridors*

Les données spatiales sur les corridors ont été fournies sous la forme d'un polygone unique. Pour évaluer la contribution individuelle de chaque corridor à la qualité de l'habitat et à la connectivité, nous les avons divisés en polygones correspondant aux corridors individuels. Pour ce faire, nous avons d'abord procédé à une division automatisée à l'aide de la fonction `st_cast` du paquetage R `sf`, qui sépare les zones non contiguës en polygones individuels. Ensuite, nous avons divisé les corridors manuellement dans QGIS de sorte que chaque corridor n'ait qu'une source et une destination. Au total, 21 corridors ont été identifiés (Tableau 1).

**Tableau 1** . Les corridors formés par les peuplements forestiers résiduels. Chaque corridor a reçu un numéro d'identification (ID). Voir la Figure 2 pour une carte de la répartition des corridors.

ID	Séparation manuelle	Corridors connexes
1	Non	
2	Oui	3 et 4
3	Oui	2 et 4
4	Oui	2 et 3
5	Non	
6	Non	
7	Oui	8 et 9
8	Oui	7 et 9
9	Oui	7 et 8
10	Non	
11	Non	
12	Non	
13	Non	
14	Non	
15	Non	
16	Oui	17 et 18
17	Oui	16 et 18
18	Oui	16 et 17
19	Non	
20	Non	
21	Non	



**Figure 2.** Carte des corridors. Les numéros d'identification (ID) présentés à côté de chaque corridor correspondent à ceux présentés dans le

## Conditions actuelles

### *Qualité de l'habitat*

Nous avons appliqué le modèle de qualité d'habitat du MFFP pour la martre afin de cartographier l'habitat convenable dans la zone d'étude en fonction des conditions actuelles du paysage (MFFP 2022). Le modèle de qualité de l'habitat fournit une évaluation globale de la valeur relative des peuplements forestiers pour répondre aux besoins de la martre. L'évaluation de la qualité d'un peuplement forestier se fonde sur ses caractéristiques intrinsèques telles que l'âge, la composition, la densité, la hauteur, etc., consignées dans les cartes écoforestières du MFFP. La martre préfère les forêts mixtes ou de conifères d'au moins 7 m de hauteur et dont le couvert est d'au moins 40 % (voir FAPAQ 2000 pour plus de détails sur les exigences de la martre en matière d'utilisation de l'habitat). L'analyse de la qualité de l'habitat se fait en deux étapes. Tout d'abord, les peuplements forestiers sont classés en 5 classes de qualité d'habitat en fonction de leurs attributs. Ensuite, une fenêtre mobile circulaire fait le tour de la carte de qualité de l'habitat pour identifier les zones où les habitats excellents et/ou bons sont assez nombreux afin de répondre aux besoins spatiaux de la martre. Nous avons utilisé une fenêtre mobile d'un rayon de 1,3 km (5 km<sup>2</sup>) correspondant à la moyenne des tailles des domaines vitaux des mâles et femelles dans cette région (MFFP 2022). Si la fenêtre circulaire contient 70 % + de peuplements excellents et/ou bons, alors la cellule est qualifiée comme étant « bonne »; entre 50 % et 70 %, elle est qualifiée de « moyenne », et moins de 50 %, de « faible ». Les analyses de qualité de l'habitat aux conditions actuelles du paysage ont été réalisées à l'aide de l'Outil Faune-MQH-martre 2.0.6 (MFFP 2022).

### *Connectivité des habitats*

Nous avons effectué une analyse indépendante de la connectivité pour identifier les corridors potentiels de la martre sur la base des cartes de qualité de l'habitat. Nous avons mis en œuvre une analyse Omniscape (McRae *et al.* 2016, Landau *et al.* 2021) en utilisant la version 1.0.1 de la librairie Omniscape de SyncroSim (<https://apexrms.github.io/omniscape/>). Omniscape quantifie les flux entre les sources et les destinations et identifie les voies de faible résistance au mouvement. Nous avons effectué l'analyse à deux échelles : à l'intérieur du domaine vital et au niveau de l'aire de dispersion natale de la martre.

L'analyse Omniscape nécessite une couche de résistance et une couche de sources, ainsi qu'un rayon pour la fenêtre mobile. Nous avons créé la couche de résistance en se basant sur une reclassification de l'âge des forêts (Planckaert et Desrochers, 2012) : les peuplements forestiers de plus de 30 ans ont une valeur de résistance de 1 ; ceux âgés de 11 à 30 ans ont une valeur de 15, et ceux de 0 à 10 ans, une valeur de 20. Les pixels non forestiers ont reçu une valeur de résistance de 100 et ont été déterminés en fonction de l'attribut " Code de terrain " dans les cartes écoforestières.

Pour l'analyse du domaine vital, nous avons créé une couche de sources basées sur les habitats bons et excellents qui se trouvaient à l'intérieur d'un habitat « bonne » (Figure 4). Pour l'analyse de la dispersion natale, nous avons créé une couche de sources basée sur les habitats classés comme « bonne » (Figure 4).

Pour l'analyse du domaine vital interne, nous avons attribué à la fenêtre mobile un rayon de 1,3 km (arrondi à partir de 1,26 km), correspondant à la moyenne des tailles des domaines vitaux des martres mâles et femelles, respectivement, dans cette région (5 km<sup>2</sup>, MFFP 2022). Pour l'analyse de l'aire de dispersion natale, nous avons attribué à la fenêtre mobile un rayon de 5 km, correspondant à la

distance de dispersion moyenne entre les femelles et les mâles juvéniles dans les paysages en régénération et non coupés (78,5 km<sup>2</sup>; Johnson *et al.* 2009). Nous avons utilisé une « taille de bloc » (*block size*) de 1; les autres paramètres ont été réglés sur les valeurs par défaut.

L'analyse Omniscape a été parallélisée en 10 nœuds avec un total de 32 Go de RAM disponible en total pour tous les nœuds ; la composant pour le domaine vital a pris moins de 30 minutes, celle pour l'aire de dispersion natale, moins de 3 heures.

L'analyse Omniscape a généré une carte du flux de courant cumulé normalisé dans laquelle le courant élevé correspond à des zones avec forte probabilité de mouvement. Nous avons reclassé le flux de courant cumulé normalisé en trois classes : mouvement entravé (valeurs jusqu'à 0,85), mouvement diffus (valeurs entre 0,85 et 1,15), et mouvement dirigé (valeurs supérieures à 1,15).

### *Évaluation du corridor*

Nous avons évalué si la composition à l'intérieur des corridors différait de celle du paysage environnant sur la base de trois critères : (1) les types de mouvement avec 3 classes ; (2) la carte de la qualité des peuplements forestiers pour la martre avec 5 classes (Figures A1, A2 en Annexe 2), et (3) la carte de l'habitat de la martre avec 3 classes (Figures A3, A4 en Annexe 2).

Pour chaque critère et classes correspondantes, nous avons vérifié si le nombre de cellules à l'intérieur et à l'extérieur de chaque corridor différait. Pour ce faire, nous avons d'abord masqué chaque corridor dans les cartes des critères. Ensuite, dans chaque corridor, nous avons compté le nombre total de cellules ainsi que le nombre de cellules correspondant à chacune des classes des cartes de critères. Pour compter les cellules en dehors de chaque corridor, nous avons inversé le masque et échantillonné au hasard le paysage environnant dans l'unité d'aménagement à l'aide de 100 itérations. Pour chaque corridor, la taille de l'échantillon était égale au nombre total de cellules dans le corridor focal. L'échantillonnage aléatoire a généré une distribution en dehors du corridor, que nous avons comparée à la composition à l'intérieur de ce dernier.

Nous avons résumé le nombre de cellules par classe à deux niveaux : pour l'ensemble des corridors et pour chaque corridor indépendamment. Lors de la synthèse des résultats pour l'ensemble des corridors, nous avons utilisé un test *t* non paramétrique (Mann-Whitney) pour évaluer si le nombre de cellules d'une classe donnée différait statistiquement à l'intérieur et à l'extérieur des corridors. Lors de la synthèse des résultats par corridor, nous avons calculé si le nombre de cellules d'une classe donnée se situait à l'intérieur ou à l'extérieur d'un intervalle de confiance de 95 % de la distribution hors corridor. Dans tous les cas, s'il y avait une plus grande proportion de cellules d'une classe donnée que celle attendue par hasard sur la base de la composition du paysage environnant au sein d'un corridor, alors un symbole « + » a été ajouté au tracé. Si, au contraire, la proportion était plus faible, un symbole « - » a été ajouté. Si la relation n'était pas significative, indiquant qu'il n'y avait pas de différence à l'intérieur et à l'extérieur des corridors, aucun symbole n'a été ajouté aux tracés (Figures 7, 8).

### **Conditions futures**

#### *Modèle de simulation forestière*

Pour prévoir les futurs effets cumulatifs des perturbations forestières sur l'habitat de la martre, nous avons d'abord développé un modèle spatial explicite de changement forestier pour la zone d'étude. Nous avons ensuite traité les projections du modèle spatial à travers le modèle d'habitat de la martre pour produire des projections spatiales de l'habitat et de la connectivité. Nous avons utilisé cette approche pour évaluer l'impact des feux et de la récolte sur l'habitat et les corridors de la martre dans le cadre de scénarios de gestion alternatifs. Pour valider le modèle, nous avons d'abord simulé la dynamique forestière pour la période 2017-2022. Ensuite, nous prédisons l'impact de la dynamique des perturbations forestières sur l'habitat et les corridors de la martre pour la période 2023-2027.

Nous avons utilisé la librairie ST-Connect (version 1.1.21 ; <https://apexrms.github.io/stconnect/>) pour SyncroSim (version 2.4.26 ; <https://syncrosim.com/>) afin de simuler la dynamique forestière et de créer des projections spatiales de l'habitat de la martre. ST-Connect relie les modèles en utilisant une approche de pipeline. Le premier modèle du pipeline était ST-Sim (version 3.3.12 ; <https://docs.stsim.net/>) que nous avons utilisé pour construire un modèle de simulation d'état et de transition (Daniel et al., 2016). Nous avons stratifié le paysage en fonction des caractéristiques écologiques et de gestion. Le sous-domaine bioclimatique a été utilisé pour stratifier les domaines bioclimatiques « 4 Ouest » et « 5 Ouest », qui ont chacun un régime d'incendie différent. Le type de gestion a été utilisé pour stratifier le paysage en unité d'aménagement, en zone restante de l'aire d'étude, et en zone tampon. La zone de l'unité d'aménagement était éligible à la récolte de bois et a été dérivée de l'ensemble de données de Woodstock (zones classées comme "INC" dans le thème 8). Enfin, nous avons également stratifié le paysage en peuplements forestiers, chacun d'entre eux ayant des courbes de volume et de hauteur uniques dans le modèle Woodstock (thème 5, famille de courbes). Les strates écologiques et de gestion étaient statiques dans leur emplacement au sein de chaque simulation du modèle.

En plus de la stratification, le paysage se retrouve avec quatre classes d'état : une classe non forestière et trois classes de couvert forestier. Les trois classes de forêt sont les suivantes : forêt mixte, forêt de feuillus, et forêt de conifères. Les données ont été obtenues à partir de l'ensemble de données écoforestières en utilisant l'attribut « TYPE\_COUV ». Tout au long de la simulation, nous avons supposé que les classes de couverture restaient constantes (*c'est-à-dire* qu'il n'y avait pas de transition entre les classes).

L'âge de chaque cellule forestière a été initialisé en 2017 sur la base de données provenant de plusieurs sources. Tout d'abord, les classes d'âge ont été extraites du jeu de données Woodstock et reclassées en tranches d'âge de 5 ans. Pour les zones non couvertes par Woodstock, l'âge a été tiré des données d'inventaire forestier du MFFP. Les classes d'âge ont été affectées à la valeur médiane couverte par chaque classe d'âge. Ainsi, la classe d'âge 1 à 10 est classée comme 5 ans, celle de 11 à 30 comme 15 ans, et celle de 30 à 120 comme 75 ans. Les données sur l'âge n'étant disponibles que pour 2010, l'âge a été augmenté de 2010 à 2017 et les données sur les feux ont été utilisées pour mettre à jour l'âge des pixels ayant subi un incendie au cours de cette période. Le prétraitement de l'âge de cette manière a permis de s'assurer que les estimations du modèle 2018 concernant les forêts anciennes étaient conformes à la référence PAFIT 2018.

Dans la simulation, nous avons considéré deux sources de perturbations graves : les feux sévères et les coupes à blanc. Ces deux perturbations remettent l'âge de la forêt à zéro, mais ne modifient pas la composition de la forêt. Pour la période 2017-2022, nous avons utilisé des transitions spatiales

déterministes pour définir exactement où et quand les feux et la récolte se sont produits dans le paysage, sur la base de cartes historiques (MFFP, 2022 ; GreenFirst, 2022). Nous avons suivi le volume marchand récolté sur la base de la strate du peuplement forestier et de la courbe correspondante du volume marchand par intervalles d'âge de 5 ans.

Pour la période 2023-2027, les probabilités annuelles d'incendie (stratifiées par sous-domaine bioclimatique) ont été estimées à l'aide des cartes historiques des feux de forêt 1976-2021 (MPPF, 2022) en utilisant le rapport entre la superficie brûlée et la superficie qui pourrait brûler chaque année et en faisant la moyenne de toutes les années de l'historique des feux. En outre, nous avons calculé la superficie normalisée historique brûlée à chaque année dans l'ensemble du paysage et échantillonné à même cette distribution un multiplicateur affectant la probabilité d'incendie de base pour chaque étape temporelle et réalisation du modèle. Ceci nous permet d'inclure un niveau de variabilité dans nos projections qui est comparable à ce qui a été observé historiquement. La possibilité forestière entre 2023 et 2027 a été fixée comme objectif pour le volume marchand annuel récolté. La superficie récoltée a été stratifiée par zone de gestion (selon que la superficie se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de l'UA). Les zones éligibles à la récolte au sein de l'UA ont été définies lors du PAFIO en 2022 pour une période de 5 ans (PAFIO 2022). Les feux et les récoltes ont tous deux été simulés comme des événements spatiaux en utilisant la distribution des tailles estimée à l'aide des périmètres historiques correspondants. Pour la taille des feux, nous avons échantillonné l'ensemble de la distribution historique de la taille des feux (1976-2021). Pour les tailles des coupes à blanc, nous avons échantillonné à partir des tailles historiques des blocs de coupe à partir de l'année 2013.

### *Scénarios de simulation de la récolte*

Nous avons effectué deux scénarios de simulation représentant différents volumes de récolte forestière. Le scénario « Récolte de base » a utilisé un objectif de volume marchand récolté de 658 200 m<sup>3</sup>/an pour la période 2023-2027 sur la base de la possibilité annuelle de coupe (Bureau du forestier en chef, 2022). Le scénario « Récolte réduite », a utilisé un objectif de volume marchand récolté de 526 560 m<sup>3</sup>/an pour la période 2023-2027, ce qui correspond à une réduction de 20 % par rapport à la référence dans un contexte où il y a plus de territoires à protéger. Chaque scénario du modèle a été répliqué avec 100 réalisations de Monte Carlo.

### *Simulation de l'habitat et de la connectivité futurs*

Le deuxième modèle du pipeline ST-Connect a été implanté dans R (version 4.3.0) pour modéliser la qualité de l'habitat de la martre. Nous avons créé deux cartes de la qualité de l'habitat de la martre correspondant aux années simulées 2018 et 2022. Ces cartes étaient identiques pour les deux scénarios de récolte. Pour 2027, nous avons créé 200 cartes de la qualité projetée de l'habitat de la martre (deux scénarios x 100 réalisations de Monte Carlo). Nous avons simplifié le modèle d'habitat de la martre utilisé avec les données forestières simulées. Les principaux facteurs de l'habitat étaient le type de forêt (préférence pour les forêts mixtes et les forêts de conifères) et la hauteur (préférence pour les forêts de 7 m ou plus). Nous n'avons pas été en mesure d'inclure des informations sur la densité de la canopée en tant que prédicteur dans notre futur modèle d'habitat. Sans l'inclusion de la densité de l'habitat, notre

modèle donnait une correspondance de 88 % entre les peuplements forestiers classés comme bons et/ou excellents pour la martre par rapport au modèle de qualité de l'habitat du MFFP basé sur une évaluation des conditions actuelles. La hauteur de chaque cellule de simulation a été dérivée des courbes de hauteur spécifiées pour chaque peuplement forestier par incréments de 5 ans tirés du modèle Woodstock.

Nous avons effectué des analyses de connectivité Omniscape correspondant aux années simulées 2018, 2022 et 2027, comme décrit précédemment dans ce rapport dans la section " Connectivité actuelle de l'habitat ". Omniscape a été exécuté à la fois pour les échelles du domaine vital et de la dispersion natale sur une sélection aléatoire de 10 des 100 réalisations de Monte Carlo pour chaque scénario de 2027 (40 exécutions d'Omniscape pour l'année 2027 basées sur deux échelles de connectivité x 2 scénarios x 10 réalisations de Monte Carlo). Nous avons créé des cartes de synthèse de la connectivité, montrant la quantité moyenne de courant normalisé par unité d'analyse territoriale (UTA) dans les années 2017 et 2027. Nous avons créé des cartes de différence de connectivité, montrant le changement de connectivité (diminution, pas de changement, augmentation) entre 2017 et 2027 par UTA.

Nous avons calculé un résumé tabulaire de la connectivité pour l'ensemble de l'unité d'aménagement, mesurée comme la distance de résistance effective (*effective resistance distance*) entre tous les massifs forestiers sélectionnés dans le PAFIT 2018-2023. Cette distance mesure l'isolement entre les massifs, une valeur plus élevée correspondant à un isolement plus important (c'est-à-dire à une connectivité plus faible ; McRae et al. 2006).

Nous avons évalué la composition des corridors en 2027, comme décrit précédemment dans ce rapport dans la section « Connectivité actuelle des habitats », afin de déterminer si elle a changé au fil du temps.

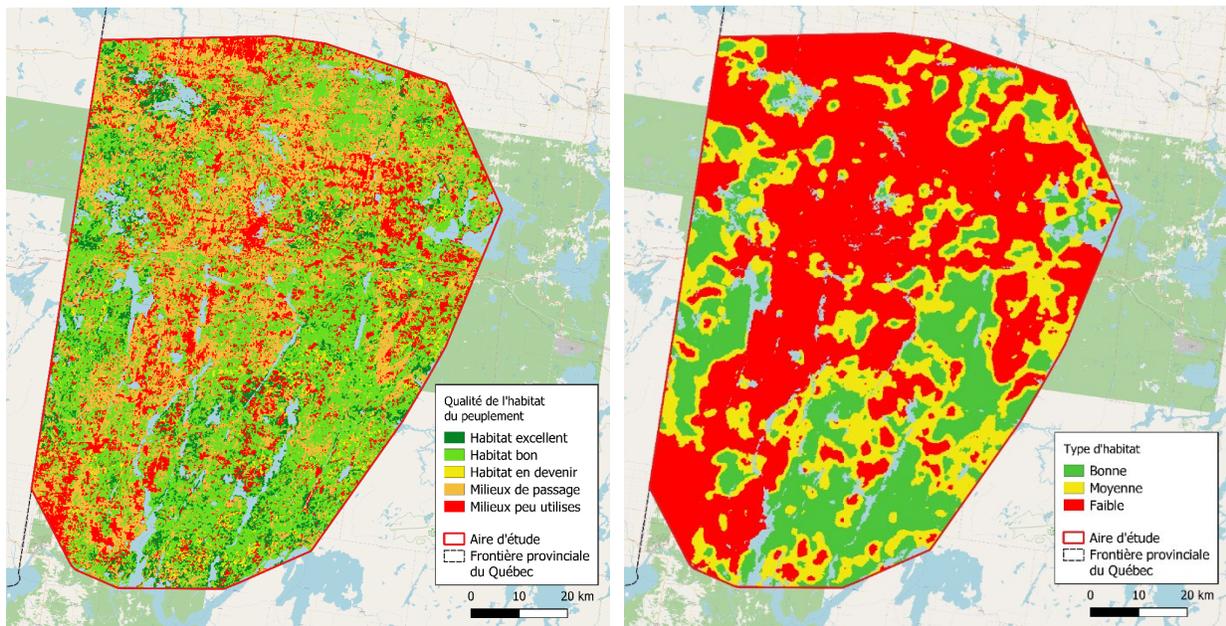
### *Validation du modèle par rapport aux indicateurs et aux objectifs du PAFIT*

Pour valider notre modèle, nous avons évalué les indicateurs liés à la structure d'âge de la forêt et à l'habitat de la martre retrouvés dans le PAFIT pour les périodes 2018-2023 et 2023-2028. Nous rendons compte de la structure d'âge des forêts et de la hauteur des forêts à l'échelle des UA, des unités d'analyse territoriale (UTA) et des massifs forestiers retenus en 2018-2023 le cas échéant. Nous avons obtenu une concordance généralement bonne avec nos résultats simulés et le PAFIT pour toutes les mesures dans les deux périodes (Annexe 3).

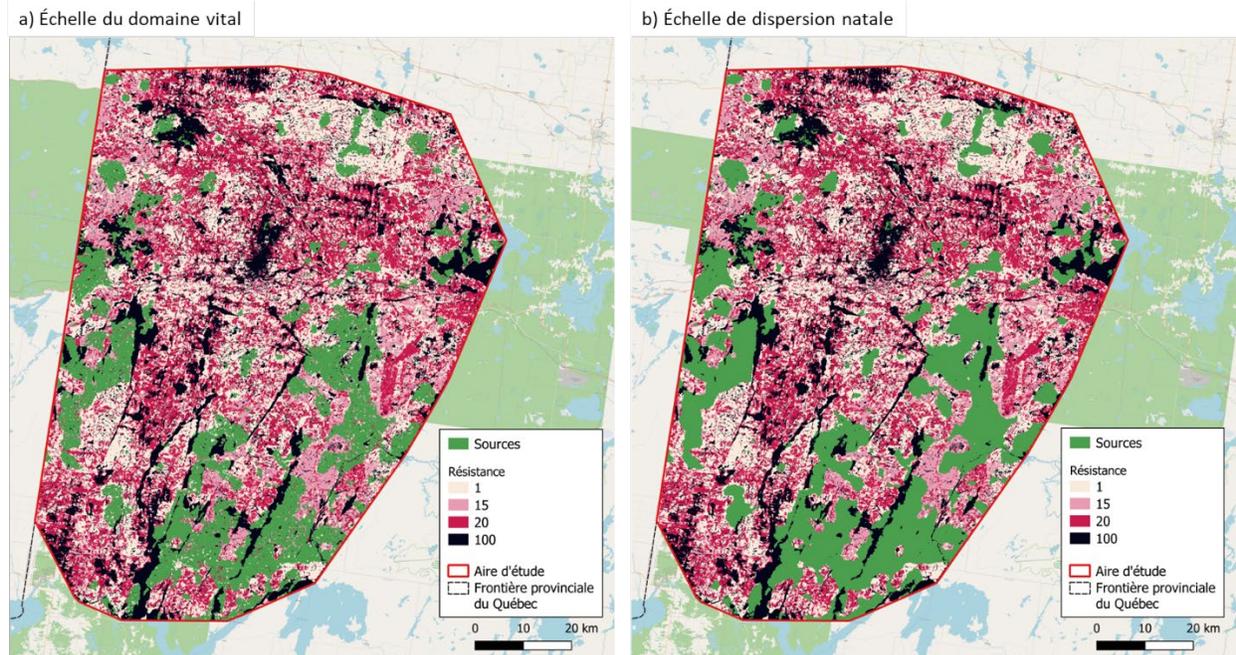
## **Résultats**

### ***Conditions actuelles***

La qualité des peuplements forestiers pour la martre en 2022 est présentée dans la Figure 3, ainsi qu'une carte de son habitat martre tenant compte des besoins spatiaux. L'habitat de haute qualité est réparti sur l'ensemble de l'aire d'étude, la plus grande zone étant concentrée dans le sud-est. Les cartes de résistance aux déplacements des martres basées sur l'âge actuel des forêts en 2022 sont présentées dans la Figure 4, ainsi que les sources utilisées dans les analyses de connectivité Omniscape à l'échelle des domaines vitaux individuels et de la dispersion natale.



**Figure 3.** Qualité de l'habitat des peuplements forestiers (à gauche) et types d'habitat de la martre lors de la prise en compte des besoins spatiaux (à droite) en fonction des conditions actuelles du paysage en 2022 produit par le modèle de qualité de l'habitat de la martre en fonction des conditions actuelles du paysage.

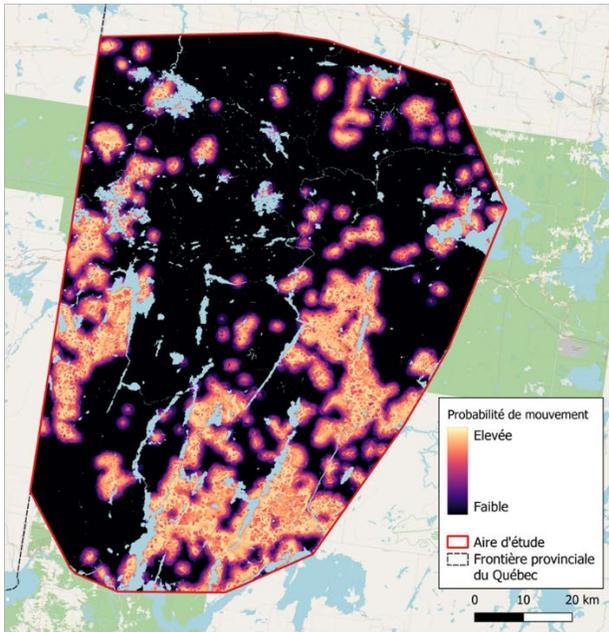


**Figure 4.** Cartes de résistance pour les analyses de connectivité Omniscape basées sur les conditions actuelles du paysage en 2022. Les valeurs de résistance 1, 15 et 20 sont basées sur l'âge de la forêt. Une résistance de 100 a été attribuée aux zones non forestières. Les sources correspondant à l'échelle des domaines vitaux individuels (gauche) et de la dispersion natale (droite) sont indiquées en vert.

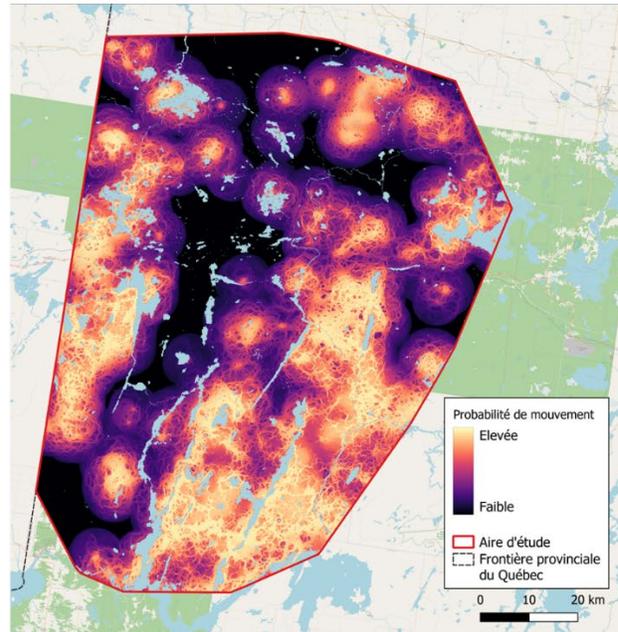
Un portrait de la connectivité de l'habitat de la martre en 2022 est présenté aux Figure 5 et Figure 6. La probabilité des déplacements dans le domaine vital et de la dispersion natale par cellule est illustrée à la Figure 5. Les mouvements dans le domaine vital sont beaucoup plus limités que les mouvements de dispersion natale, comme le montre la probabilité de mouvement globale plus faible dans le paysage. Cette tendance est encore plus prononcée lorsque les probabilités de mouvement sont classées par type de mouvement : entravé, diffus et dirigé (Figure 6). Il y a beaucoup plus de zones de mouvements entravés à l'échelle de la connectivité du domaine vital et beaucoup plus de mouvements dirigés à l'échelle de la connectivité de la dispersion natale.

Dans l'ensemble, les corridors contenaient plus de cellules classées comme des mouvements dirigés que le paysage environnant de l'UA à l'échelle de la dispersion natale en 2022 (Figure 7). La composition des corridors ne différait pas de celle du paysage environnant dans l'UA en termes de cellules classées comme mouvements entravés ou diffus. La composition des corridors individuels variait considérablement, mais nombre d'entre eux englobaient beaucoup plus de zones de mouvements dirigés que l'UA environnante (Figure 8). Les corridors englobaient également beaucoup plus de peuplements forestiers présentant des caractéristiques adéquates pour la martre et plus d'habitats pour la martre en 2022 (Annexe 2).

a) Échelle du domaine vital

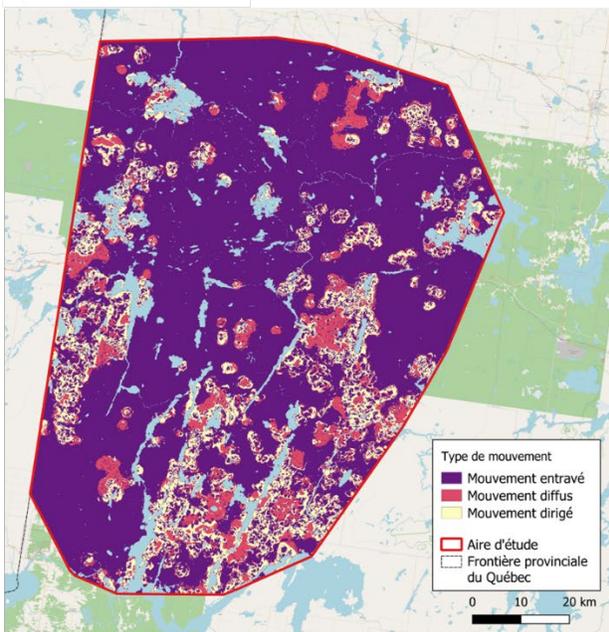


b) Échelle de dispersion natale

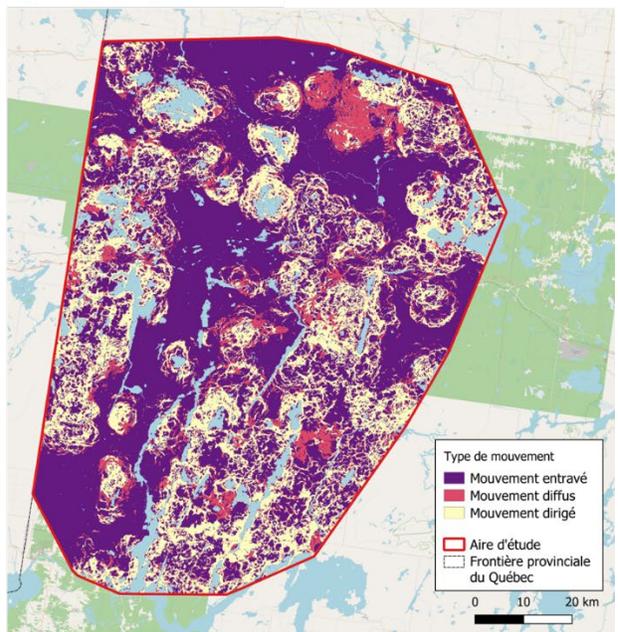


**Figure 5.** Cartes de la probabilité de mouvement par cellule à l'échelle d'un domaine vital et de dispersion natale créées par l'analyse de connectivité Omniscape des conditions actuelles du paysage (2022).

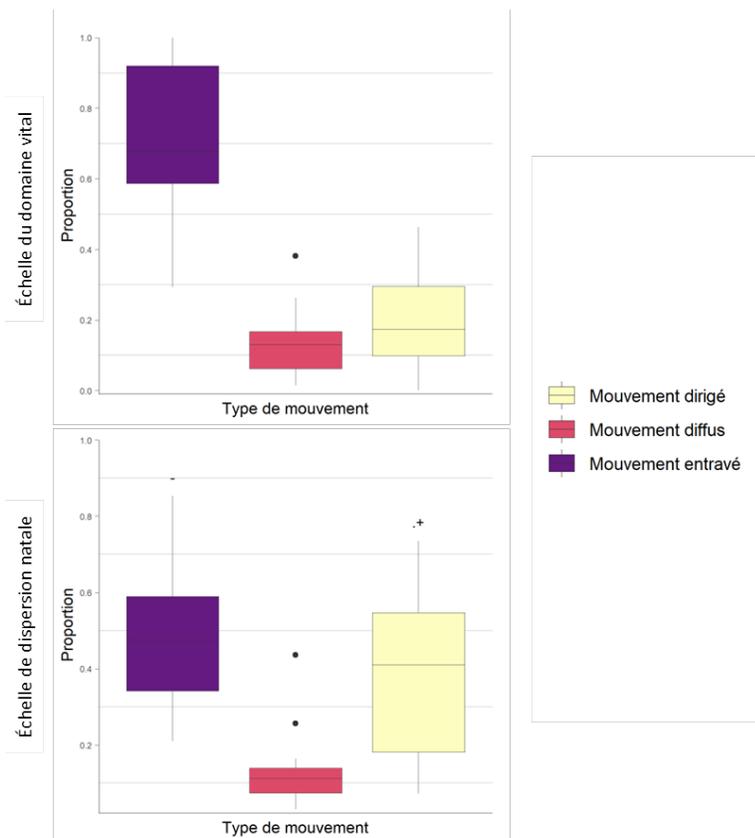
a) Échelle du domaine vital



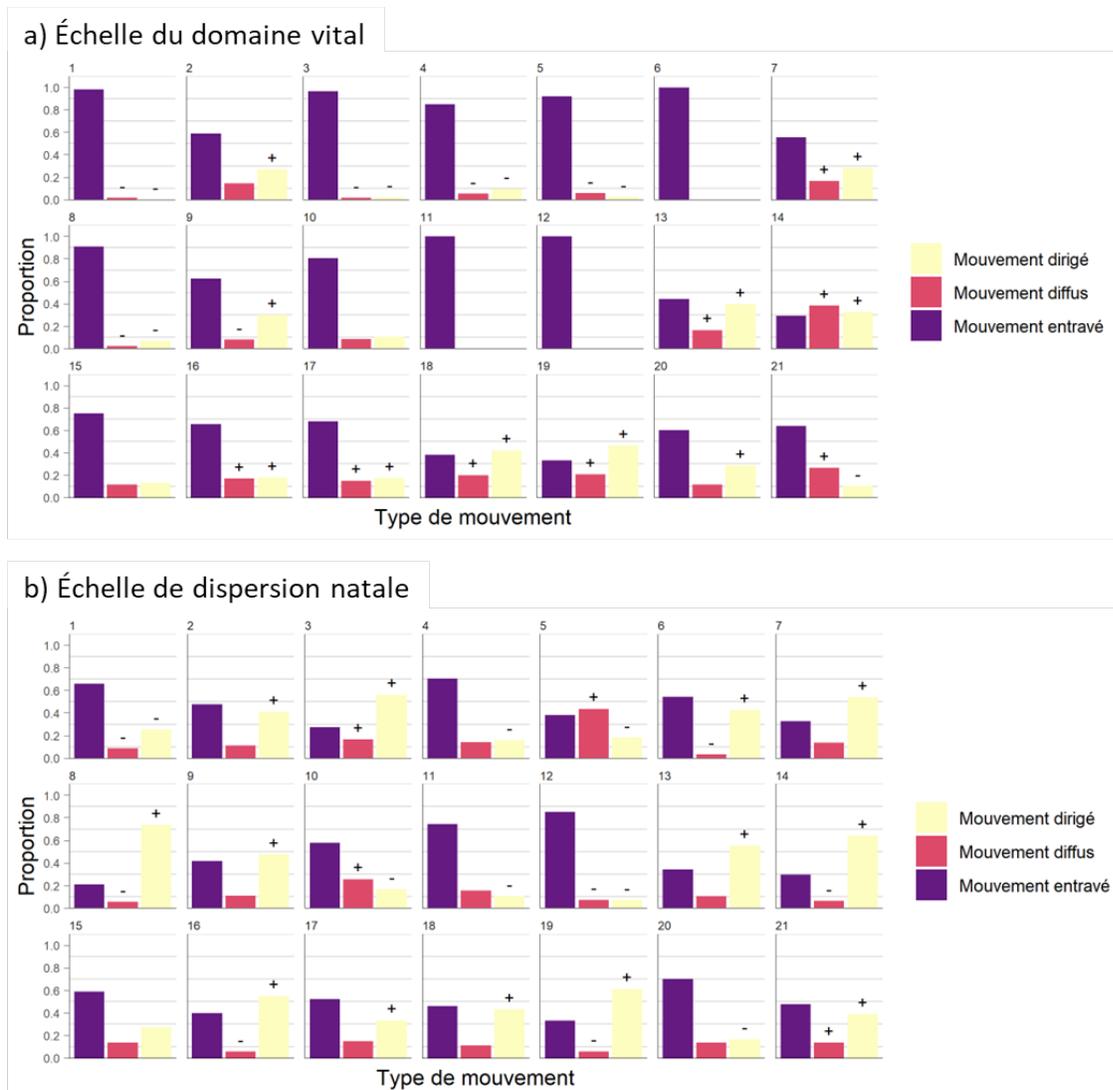
b) Échelle de dispersion natale



**Figure 6.** Cartes des types de mouvement de la martre à l'échelle d'un domaine vital et de dispersion natale en fonction des conditions actuelles du paysage (2022).



**Figure 7.** Proportion des types de mouvement dans tous les corridors en 2022 d'après l'analyse de connectivité Omniscape de l'habitat de la martre à l'échelle du domaine vital (figure du haut) et de la dispersion natale (figure du bas). Pour chaque type de mouvement, nous avons déterminé s'il y avait une représentation plus élevée au sein du corridor par rapport au paysage environnant dans l'unité d'aménagement. La significativité basée sur des intervalles de confiance de 95 % est indiquée par les symboles « + » et « - ». La signification marginale est indiquée par un "." à côté du symbole de signification.



**Figure 8.** Proportion des types de mouvements dans chaque corridor en 2022 d'après l'analyse de connectivité Omniscape de l'habitat de la martre à l'échelle du domaine vital et de la dispersion natale. La signification basée sur des intervalles de confiance de 95 % est indiquée par les symboles « + » et « - ».

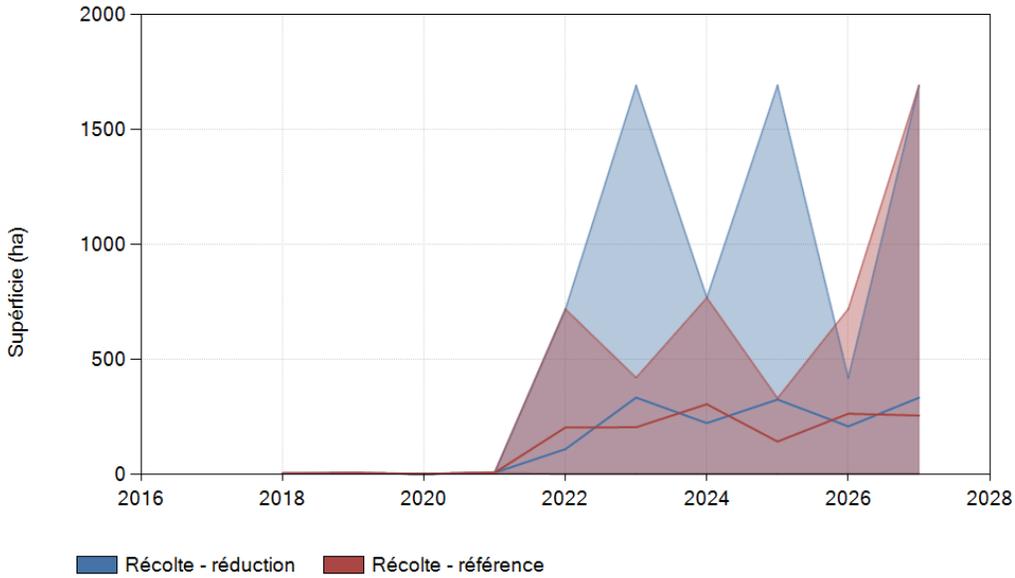
### Conditions futures

#### Simulation de forêt

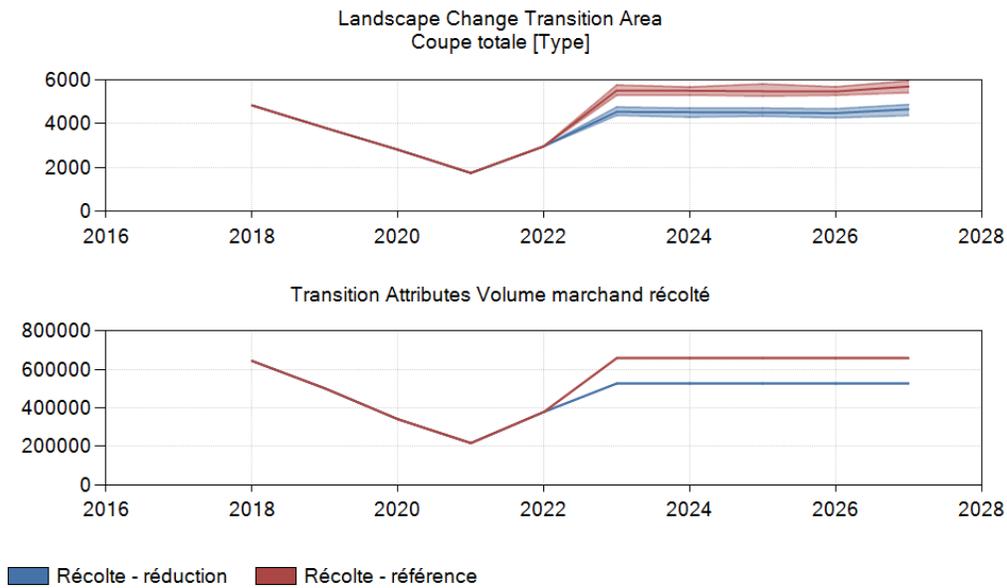
La quantité moyenne de feu dans le paysage selon les deux scénarios était la même, mais la variabilité autour de la moyenne était importante, reflétant la variabilité historique (Figure 9). La quantité de feu entre 2018 et 2021 était faible par rapport à la moyenne historique.

La superficie récoltée et le volume marchand ont varié entre 2018 et 2022 en fonction du modèle historique de récolte, avec des valeurs inférieures notables au cours de l'année 2021 (Figure 10). Entre 2023 et 2027, la superficie récoltée était variable, car le volume marchand récolté était un objectif fixe pour chaque scénario de récolte. La superficie récoltée et le volume marchand récolté étaient tous deux,

en moyenne, 20 % plus élevés dans le scénario de récolte de référence par rapport au scénario de récolte réduite.



**Figure 9.** Superficie brûlée au cours de la période de simulation 2018-2027 dans le cadre des scénarios de récolte de base et de récolte réduite.

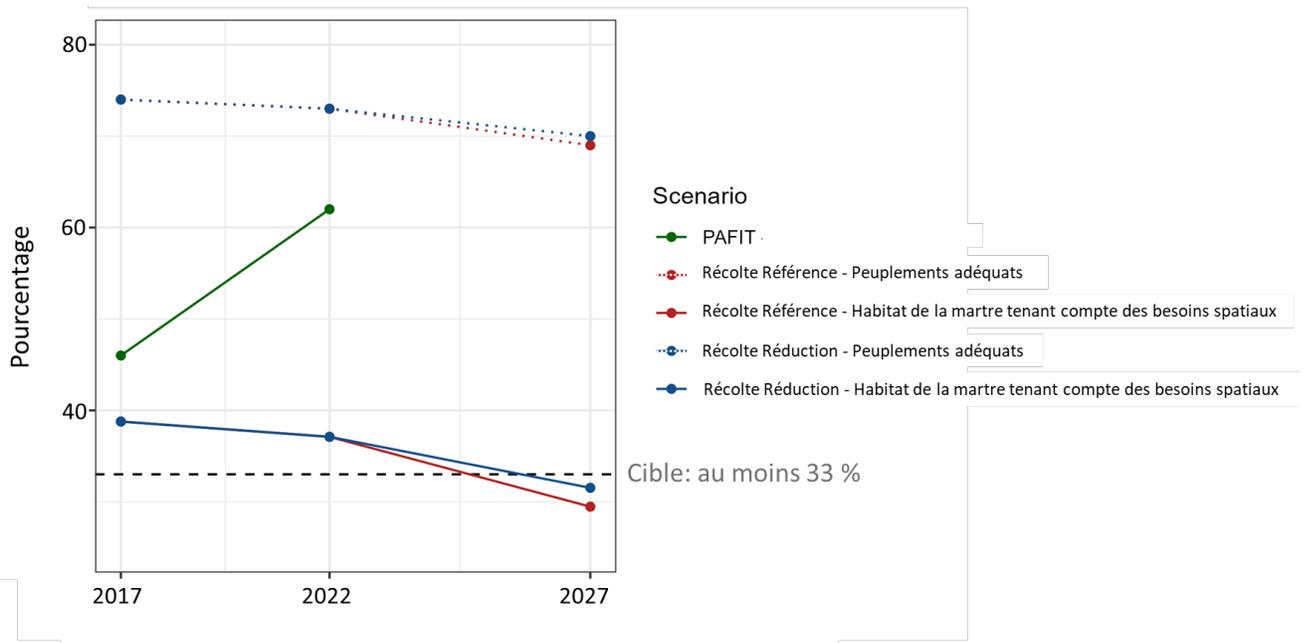


**Figure 10.** Superficie et volume marchand récoltés au cours de la période de simulation 2018-2027 dans les deux scénarios de récolte.

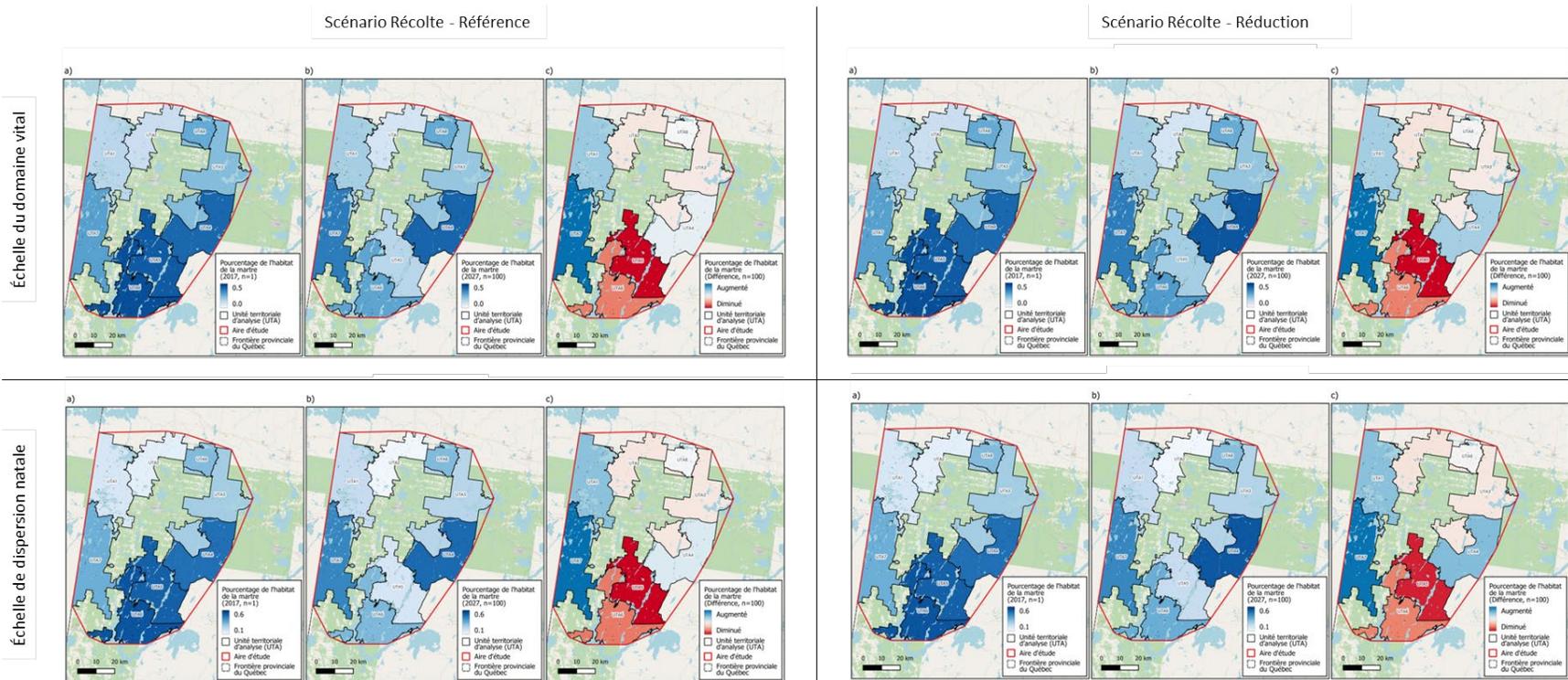
### Futur habitat de la martre et connectivité

La superficie future de l'habitat de la martre selon les deux scénarios de récolte est illustrée à la Figure 11. La quantité de peuplements forestiers adaptés à la martre (lignes pointillées) diminue au fil du temps, mais reste bien supérieure à l'objectif de maintien de 33 % de l'habitat de la martre dans l'ensemble de l'unité d'aménagement. La quantité d'habitats de la martre en tenant compte des besoins spatiaux est beaucoup plus faible et passe en dessous de l'objectif en 2027 dans les deux scénarios de récolte. Les indicateurs de l'habitat de la martre sont plus faibles dans le scénario de récolte réduite. Les valeurs PAFIT en 2018 et 2022 sont indiquées à des fins de comparaison et se situent entre nos estimations par zone des peuplements forestiers appropriés et l'habitat spatial de la martre.

La configuration spatiale de l'habitat futur de la martre est résumée dans la Figure 12. La proportion de chaque UTA qui est constituée de peuplements forestiers et d'habitats appropriés pour la martre en tenant compte des besoins spatiaux est indiquée pour les années 2017 et 2027. L'évolution de l'habitat de la martre est représentée dans les cartes de différence, indiquant si l'habitat a augmenté ou diminué au cours de la simulation. Les UTA 5 et 6 où la majorité de la récolte 2023-2027 a eu lieu ont montré la plus grande diminution des indicateurs de l'habitat de la martre dans les deux scénarios. Les peuplements forestiers appropriés et l'habitat de la martre ont été réduits dans les UTA 5 et 6.

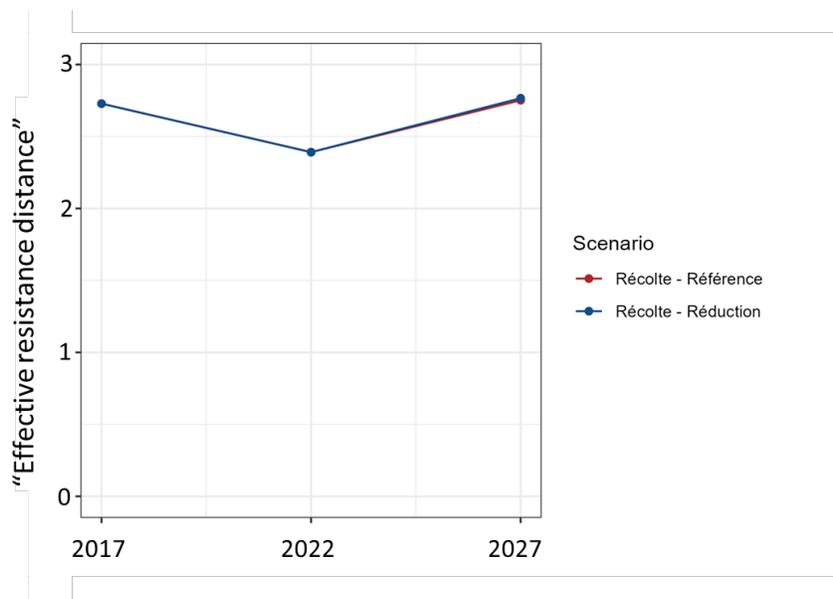


**Figure 11.** La proportion de l'habitat de la martre dans l'UA pour la période de simulation 2018-2027 mesuré en termes 1) de peuplements adéquats selon les attribus du peuplement (lignes bleues et rouges pointillées) et 2) de l'habitat de la martre classée « bonne » en tenant compte de la répartition spatiale des peuplements adéquats (lignes bleues et rouges pleines) dans le cadre de deux scénarios de récolte. Les estimations PAFIT des peuplements forestiers adéquats sont fournies à titre de comparaison (ligne verte). La ligne noire pointillée représente la cible de 33 %.

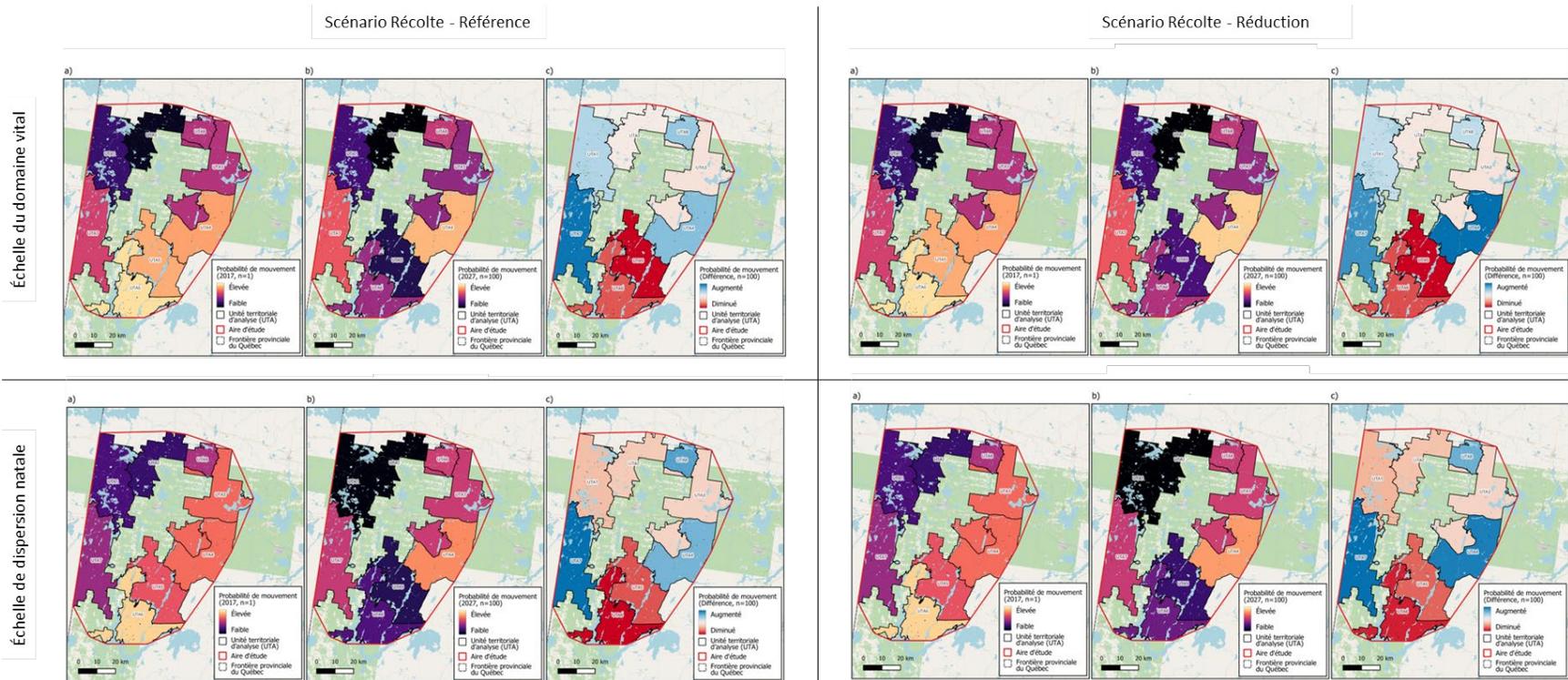


**Figure 12.** La proportion de l'habitat de la martre dans chaque UTA pour les deux scénarios de récolte (colonnes) et les deux indicateurs d'habitat (lignes). Les UTA ont été résumées pour a) 2017, b) 2027 et c) la différence entre 2017 et 2027. Les cartes de 2027 et les cartes de différence ont été calculées en utilisant les 100 cartes de qualité de l'habitat basées sur des réalisations de Monte Carlo du modèle de simulation forestière.

La connectivité future de l'habitat de la martre entre les massifs forestiers de l'unité d'aménagement selon les deux scénarios de récolte est présentée à la Figure 13. Cette mesure globale de la connectivité n'a pas différé entre les scénarios et n'a pas changé au cours de la simulation. Cependant, la connectivité a évolué dans le temps à l'échelle des différentes UTA (Figure 14). Comme pour les résultats concernant le changement de l'habitat de la martre au fil du temps, les UTA 5 et 6, où la majorité de la récolte de 2023-2027 a eu lieu, ont montré la plus forte diminution de la connectivité de l'habitat de la martre dans les deux scénarios. La connectivité a augmenté dans la UTA 4 voisine, peut-être pour compenser. Dans l'ensemble, la connectivité à l'échelle de la dispersion natale a diminué dans un plus grand nombre d'UTA que la connectivité à l'échelle des domaines vitaux.

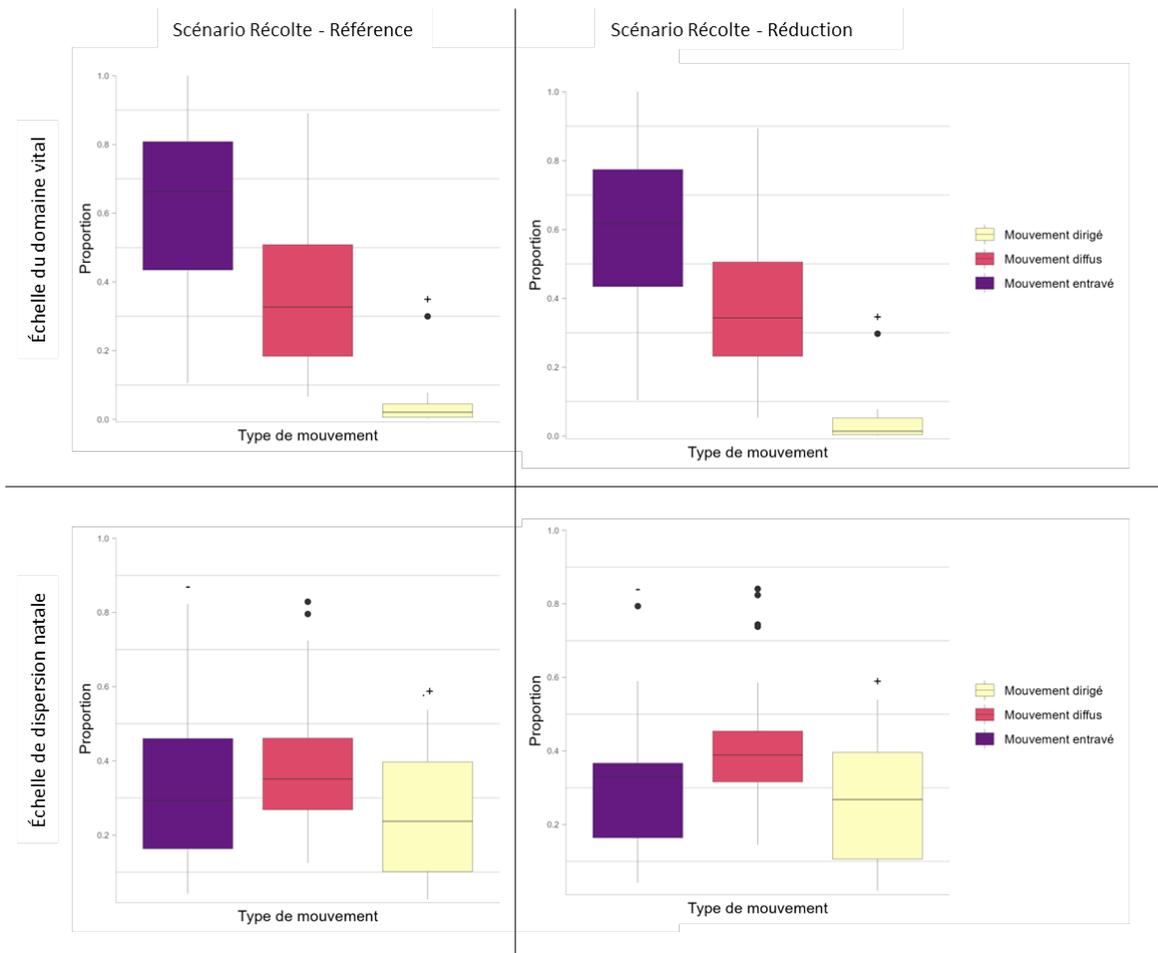


**Figure 13.** Connectivité de l'habitat de la martre entre les massifs forestiers de l'UA pour la période de simulation 2017-2027, mesurée en termes de « *effective resistance distance* » selon deux scénarios de récolte.



**Figure 14.** La probabilité moyenne de déplacement de chaque UTA pour les deux scénarios de récolte (colonnes) et les deux échelles de dispersion (lignes). Les UTA ont été résumées pour a) 2017, b) 2027, et c) la différence entre 2017 et 2027. Les cartes de 2027 et les cartes de différence ont été calculées en utilisant les 100 cartes de qualité d'habitat basées sur des réalisations de Monte Carlo du modèle de simulation forestière.

Les corridors contenaient significativement plus de cellules classées comme mouvement dirigé que le paysage environnant dans l'UA aux deux échelles de dispersion (Figure 15). Les corridors contenaient significativement moins de zones de mouvements entravés que le paysage environnant à l'échelle de la dispersion natale. La composition des corridors ne différait pas de celle du paysage environnant dans l'UA en termes de cellules classées comme mouvements entravés ou diffus à l'échelle de la dispersion natale. Par rapport à l'évaluation des corridors en 2022, la représentation des mouvements dirigés au sein des corridors en 2027 a augmenté dans les deux scénarios de récolte et pour les deux échelles de dispersion.



**Figure 15.** Proportion des types de mouvement dans tous les corridors en 2027 d'après l'analyse de connectivité Omniscape de l'habitat de la martre à l'échelle du domaine vital et de la dispersion natale pour deux scénarios de récolte. Pour chaque type de mouvement, nous avons déterminé s'il y avait une représentation plus élevée dans le corridor par rapport au paysage environnant dans l'unité d'aménagement. La signification basée sur des intervalles de confiance de 95 % est indiquée par les symboles « + » et « - ». La signification marginale est indiquée par un « . » à côté du symbole de signification.

## Conclusions

Dans cette étude, nous avons modélisé la connectivité actuelle et future de l'habitat de la martre au sein d'une unité d'aménagement forestière dans l'ouest du Québec. Sur la période allant de 2017 à 2027, nos projections indiquent que la portion d'habitat de la martre diminuera, passant de 39 % à 29 % de la superficie de l'unité d'aménagement dans le scénario de récolte de référence, et de 39 % à 32 % dans le scénario de récolte réduite. Les deux scénarios entraînent une proportion d'habitat qui reste en deçà du seuil établi par le MFFP, lequel prévoit que « Au moins 33 % de la superficie forestière de l'UA sont constitués de peuplements adéquats pour la martre » (MFFP 2022). La quantité d'habitats de la martre diminuera plus particulièrement dans les UTA faisant l'objet d'une coupe active entre 2023 et 2027, davantage dans le scénario de récolte de référence que dans le scénario de récolte réduite. La connectivité globale de la martre entre les massifs forestiers de l'unité d'aménagement 082-51 ne diminuera pas entre 2017 et 2023. Cependant, la connectivité du domaine vital et de la dispersion natale diminuera dans les UTA faisant l'objet d'une coupe active.

Les corridors, formés par l'alignement des peuplements forestiers résiduels, englobent plus de mouvements dirigés que leurs environs, ce qui suggère qu'ils assurent effectivement la connectivité du paysage pour la martre actuellement. En 2022, davantage de mouvements de dispersion natale dirigés ont été prédits à l'intérieur qu'à l'extérieur des corridors. En 2027, nous prévoyons que plus de mouvements dirigés de dispersion natale et du domaine vital seront prédits à l'intérieur qu'à l'extérieur des corridors dans les deux scénarios de récolte. Ces deux années d'analyse sont conformes à une tendance selon laquelle les corridors deviennent plus importants pour la connectivité des martres au fil du temps.

## Considérations et prochaines étapes

Nous avons développé une approche pour projeter les effets des scénarios de récolte sur la connectivité de l'habitat de la martre. Lors de l'évaluation des résultats et des conclusions, il est important de prendre en compte certaines mises en garde et alternatives pour aller de l'avant.

Tout d'abord, il convient de noter que les analyses de connectivité dans cette étude ont été modélisées sur la base d'un comportement de déplacement de la martre plutôt que sur la base de données de déplacement (par exemple, dérivées du suivi de la neige ou de colliers GPS). Il serait utile de recueillir directement des données sur les déplacements des martres dans le cadre d'un programme de surveillance à long terme. Il s'agirait de suivre régulièrement les populations et leurs déplacements à l'intérieur et à l'extérieur des corridors afin d'évaluer leur utilisation continue et leur fonctionnalité. Cela permettrait également de mesurer la connectivité des massifs forestiers, qui offrent de vastes zones d'habitat de haute qualité pour la martre.

Il est également important de reconnaître que les modèles de simulation forestière impliquent des simplifications et des hypothèses pour rendre les interactions écologiques complexes plus gérables. Dans ce modèle, nous n'avons pas modélisé les changements de composition de la forêt, mais seulement son âge. Cette hypothèse a été émise en raison de la courte durée de la simulation (2017-2027), mais elle pourrait être réexaminée si la durée était prolongée. Pour étendre la période de simulation, nous aurions aussi besoin de données spatiales supplémentaires pour contraindre l'emplacement de la récolte, telles

que fournies par le PAFIO pour la période 2023-2027. Dans ce modèle, nous avons également simplifié l'évaluation de l'habitat de la martre en excluant la prise en compte de la densité de la canopée en raison de l'absence de données. Nous avons observé une forte concordance entre l'habitat de la martre, qu'elle soit considérée avec ou sans l'intégration de la densité, déterminée par le paysage actuel. L'ajout de données supplémentaires concernant la densité de la canopée (par exemple, obtenues par la technologie de télédétection LIDAR) pourrait contribuer à préciser les projections de l'habitat de la martre.

Nous avons comparé les conséquences de deux stratégies de récolte sur la connectivité de l'habitat de la martre, mais d'autres scénarios pourraient être comparés dans le but d'identifier des stratégies de récolte susceptibles de maintenir ou d'améliorer l'habitat de la martre et sa connectivité. Diverses pratiques de gestion, telles que la coupe sélective ou la création de zones tampons autour des corridors importants, pourraient également réduire les impacts négatifs sur les déplacements des martres. Il serait intéressant de comparer comment les feux de forêt pourraient changer à l'avenir en raison du climat. Dans notre étude, nous avons simulé ces feux en utilisant l'historique du paysage. Cela pourrait nous aider à voir comment la récolte forestière et les feux pourraient ensemble influencer la connectivité de l'habitat de la martre.

## Références

- Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A., Gauthier, S., 1999. Directives d'aménagement forestier basées sur la dynamique des perturbations naturelles : considérations au niveau du peuplement et de la forêt. *Forestry Chronicle* 75, 49-54.
- Bureau du forestier en chef. 2022. Synthèse des possibilités forestières 2023-2028. Fourni par Frédéric Charron, Conseil régional de l'environnement de l'Abitibi-Témiscamingue le 28 mars 2023.
- Buskirk, S.W., Powell, R.A., 1994. Habitat ecology of fishers and American martens. In : Buskirk, S.W., Harestad, A.S., Raphael, M.G., Powell, R.A. (Eds.), *Martens, sables, and fishers biology and conservation*. Cornell University Press, Ithaca, pp. 283-296.
- FAPAQ. 2000. Clé d'évaluation du potentiel d'habitat de la martre d'Amérique (*Martes americana*). Gouvernement du Québec, Société de la Faune et des Parcs du Québec. Disponible : <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/faune/gestion-faune-habitats-fauniques/habitats-fauniques/evaluation-qualite-habitats>
- Johnson, C.A., Fryxell, J.M., Thompson, I.D. et Baker, J.A., 2009. Mortality risk increases with natal dispersal distance in American martens (Le risque de mortalité augmente avec la distance de dispersion natale chez les martres américaines). *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 276(1671), pp.3361-3367.
- Johnson, E.A., 1992. *Fire and vegetation dynamics : studies from the North American boreal forest*. Cambridge University Press.
- Landau, V.A., V.B. Shah, R. Anantharaman et K.R. Hall. 2021. Omniscape.jl : Logiciel de calcul de la connectivité omnidirectionnelle des paysages. *Journal of Open Source Software*, 6(57), 2829.
- McRae, B.H., 2006. Isolation by resistance. *Evolution*, 60(8), pp.1551-1561.

- McRae, B. H., K. Popper, A. Jones, M. Schindel, S. Buttrick, K. R. Hall, R. S. Unnasch, et J. Platt. 2016. Conserver l'étape de la nature : Mapping Omnidirectional Connectivity for Resilient Terrestrial Landscapes in the Pacific Northwest (Cartographie de la connectivité omnidirectionnelle pour des paysages terrestres résilients dans le nord-ouest du Pacifique). The Nature Conservancy, Portland, Oregon.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs). 2022a. Plan d'aménagement forestier intégré tactique 2023-2028. Région de l'Abitibi-Témiscamingue. Unité d'aménagement 082-51. Version en consultation. Direction de la gestion des forêts de l'Abitibi-Témiscamingue.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs). 2022b. Analyse des enjeux. Document en soutien à l'élaboration des Plans d'aménagement forestier intégré tactiques. Région de l'Abitibi-Témiscamingue. Version en consultation. Direction de la gestion des forêts de l'Abitibi-Témiscamingue.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs). 2022c. Guide de l'utilisateur - Outil Faune-MQH-martre 2.0 Version : Mai 2022 (2.0.6). Québec.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs). 2018a. Plan d'aménagement forestier intégré tactique 2018-2023. Région de l'Abitibi-Témiscamingue. Unité d'aménagement 082-51. Direction de la gestion des forêts de l'Abitibi-Témiscamingue. Disponible en ligne : [https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/forets/documents/planification/Abitibi-Temiscamingue/PL\\_PAFIT\\_Abitibi\\_UA082-51\\_MFFP.pdf](https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/forets/documents/planification/Abitibi-Temiscamingue/PL_PAFIT_Abitibi_UA082-51_MFFP.pdf)
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs). 2018b. Recueil : Fiches enjeux-solutions. Plan d'aménagement forestier intégré tactique 2018-2023. Région de l'Abitibi-Témiscamingue. Direction de la gestion des forêts de l'Abitibi-Témiscamingue. Disponible en ligne : [https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/forets/documents/planification/Abitibi-Temiscamingue/FI\\_PAFIT\\_Abitibi\\_enjeux\\_solutions\\_2018-2023\\_MFFP.pdf?1647893022](https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/forets/documents/planification/Abitibi-Temiscamingue/FI_PAFIT_Abitibi_enjeux_solutions_2018-2023_MFFP.pdf?1647893022)
- Planckaert, O. et Desrochers, A., 2012. Modélisation des coûts de déplacement de la martre (*Martes americana*) dans une forêt boréale : effets de la taille des grains et de la résolution thématique. *International Journal of Ecology*, 2012.
- Potvin, F., 1998. La martre d'Amérique (*Martes americana*) et la coupe à blanc en forêt boréale : une approche télémétrique et géomatique, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune terrestre, Québec, Canada, 245 p.
- Thompson, I.D., 1991. La martre pourrait-elle devenir la chouette tachetée de l'est du Canada ? *Forestry Chronicle* 67, 136

# **Annexes : Une analyse de la connectivité de l'habitat de la martre d'Amérique selon des scénarios d'aménagement forestier dans l'ouest du Québec.**

## **Contenu**

Liste des tableaux.....	A1
Liste des figures .....	A1
Annexe 1. Tableau des données .....	A2
Annexe 2. Évaluation des corridors en fonction de l'habitat de la martre en 2022.....	A4
Annexe 3. Validation du modèle de simulation forestière .....	A6

## **Liste des tableaux**

Tableau A1 Liste des données SIG utilisées dans nos analyses. ....	A2
Tableau A2. La structure d'âge et le degré d'altération par UTA .....	A7
Tableau A3. Le niveau d'altération pour l'UA.....	A8
Tableau A4. Proportion de forêt supérieure ou égale à 7m par UTA.....	A9
Tableau A5. Proportion de forêt supérieure ou égale à 7m par massif forestier.....	A10
Tableau A6. Proportion de l'habitat de la martre par massif forestier.....	A11

## **Liste des figures**

Figure A1. Proportion de la qualité de l'habitat du peuplement dans l'ensemble des corridors en 2022.	A4
Figure A2. Proportion de la qualité de l'habitat du peuplement pour chaque corridor en 2022.....	A4
Figure A3. Proportion de type d'habitat sur l'ensemble des corridors en 2022.....	A5
Figure A4 . Proportion de type d'habitat pour chaque corridor en 2022.....	A5
Figure A5. Cartes de degré d'altération de la structure d'âge par UTA.....	A7

## Annexe 1. Tableau des données

**Tableau A1** Liste des données SIG utilisées dans nos analyses. La base de données est indiquée entre parenthèses si elle est différente du titre. Les abréviations sont les suivantes : MELCC - Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques ; MFFP - Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Type	Titre (Base de données)	Format	Date de contenu	Date de publication	Publié par	Source	Date d'accès
Aire d'étude	Unite d'Aménagement	Shapefile	2018	2018	Bureau du forestier en chef	Carte Woodstock	2022-06-28
	Compartiments d'organisation spatiale	Shapefile	2016	2016	MFFP	Demande de données	2022-09-20
	Province naturelle, Ensemble physiographique, District écologique (Cadre écologique de référence du Québec)	Shapefile	2018	2018	MELCC	<sup>a</sup> /cadre-ecologique-de-reference	2022-06-28
Qualité des habitats	Âge des forêts (5e inventaire)	Fichier Shapefile 1:250 000	2001-2018	2018	MFFP	<sup>a</sup> /carte-ecoforestiere-avec-perturbations	2022-06-28
	Type de couvert (5e inventaire)	Shapefile 1:250,000	2018	2018	MFFP	<sup>a</sup> /carte-ecoforestiere-avec-perturbations	2022-06-28
	Densité des forêts (5e inventaire)	Shapefile 1:250,000	2001-2018	2018	MFFP	<sup>a</sup> /carte-ecoforestiere-avec-perturbations	2022-06-28
	Hauteur des forêts (5e inventaire)	Shapefile 1:250,000	2001-2018	2018	MFFP	<sup>a</sup> /carte-ecoforestiere-avec-perturbations	2022-06-28
Dynamique des forêts	Les coupes de 2016 et +	Shapefile	2016-2022	2022	GreenFirst	Demande de données	2022-06-30
	Planification 2022-2023	Shapefile	2022	2022	GreenFirst	Demande de données	2022-06-30

Type	Titre (Base de données)	Format	Date de contenu	Date de publication	Publié par	Source	Date d'accès
	Récolte et reboisement	Shapefile	1976-2021	2021	MFFP	<sup>a</sup> /recolte-et-reboisement	2022-06-28
	Modèle Woodstock		2018	2018	Bureau du forestier en chef	Demande de données	2021-04-27
	Feux de forêt	Shapefile	1976-2021	2021	MFFP	<sup>a</sup> /feux-de-foret	2022-06-30
	Plans d'aménagement forestier intégré opérationnels	Shapefile	2022-2023	2022	MFFP	<a href="https://dgr08.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=7e0f6d279e34488eb0700dcf9f1505bb">https://dgr08.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=7e0f6d279e34488eb0700dcf9f1505bb</a>	2023-03-28
Corridors	Les corridors de martre en harmonisation	Shapefile	2018	2018	MFFP	Demande de données	2022-09-20

<sup>a</sup> Disponibilité des données : Partenariat Données Québec - <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset>

## Annexe 2. Évaluation des corridors en fonction de l'habitat de la martre en 2022

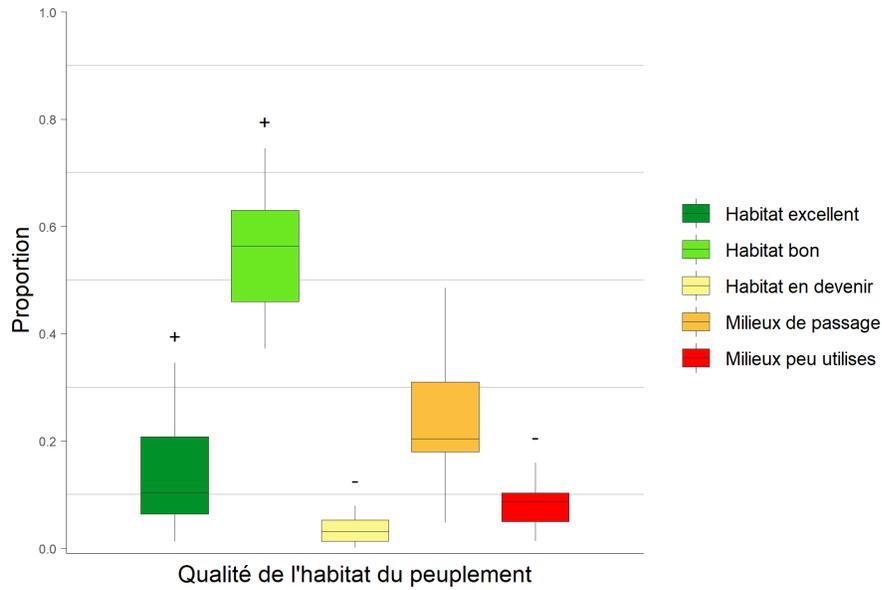


Figure A1. Proportion de la qualité de l'habitat du peuplement dans l'ensemble des corridors en 2022.

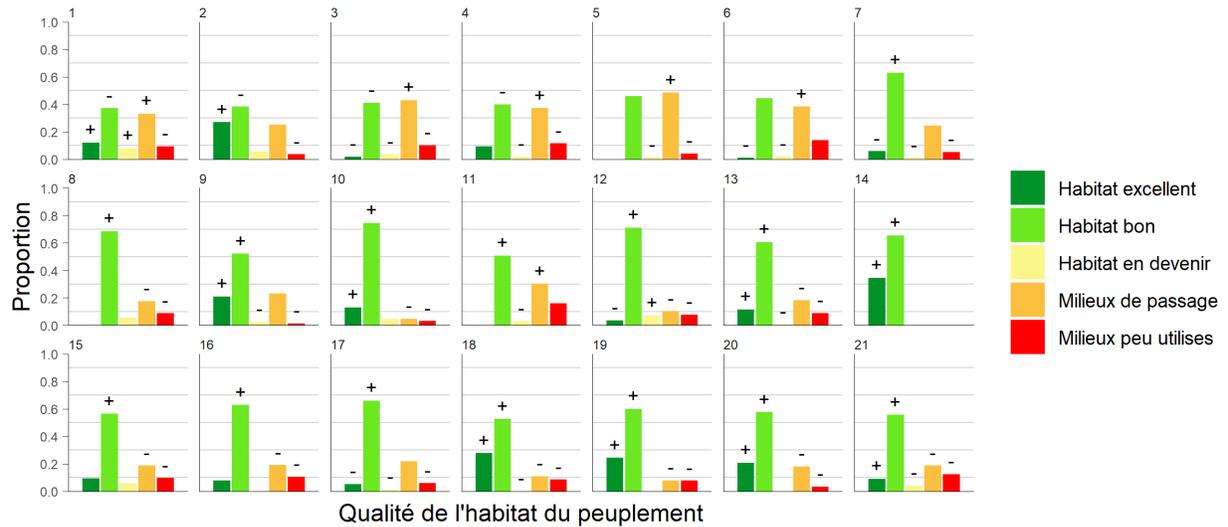


Figure A2. Proportion de la qualité de l'habitat du peuplement pour chaque corridor en 2022.

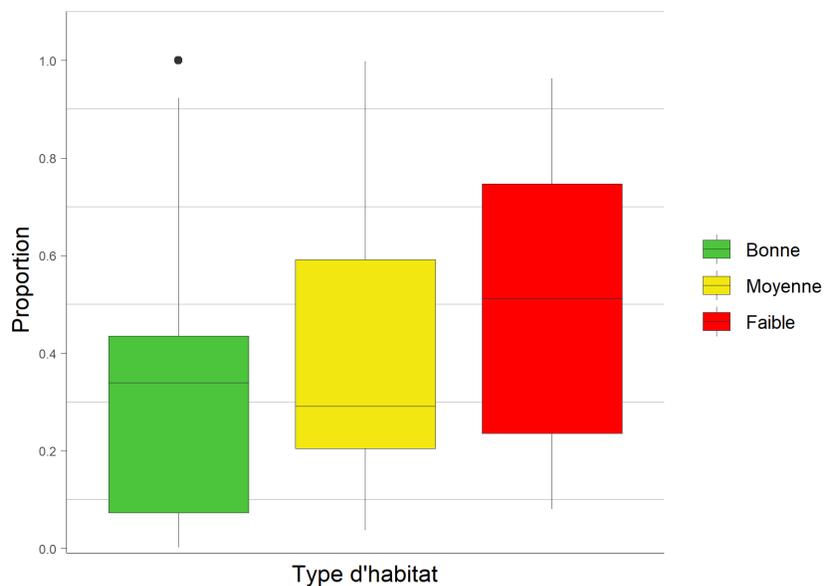


Figure A3. Proportion de type d'habitat sur l'ensemble des corridors en 2022.

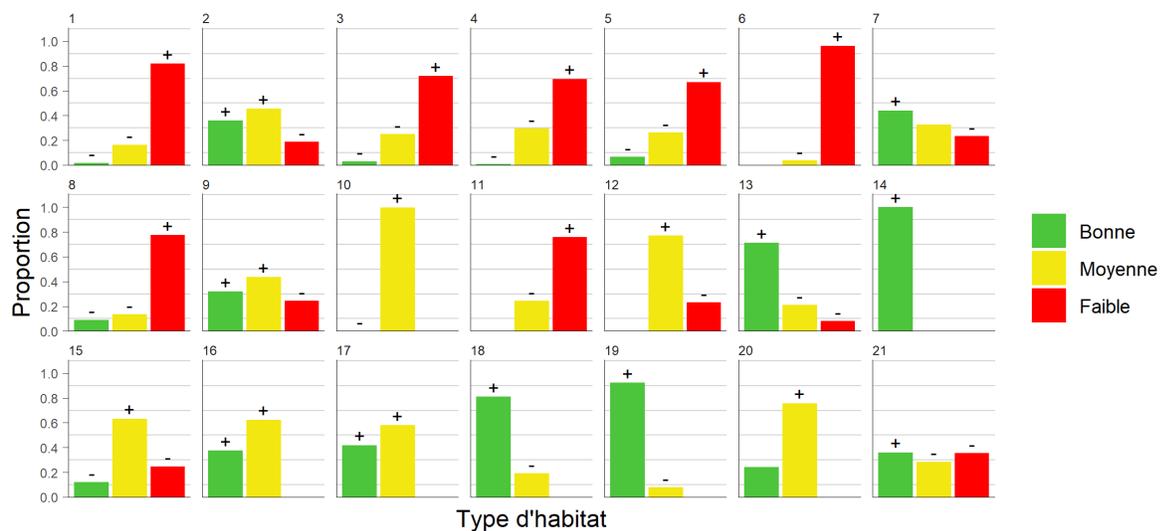


Figure A4 . Proportion de type d'habitat pour chaque corridor en 2022.

## **Annexe 3. Validation du modèle de simulation forestière**

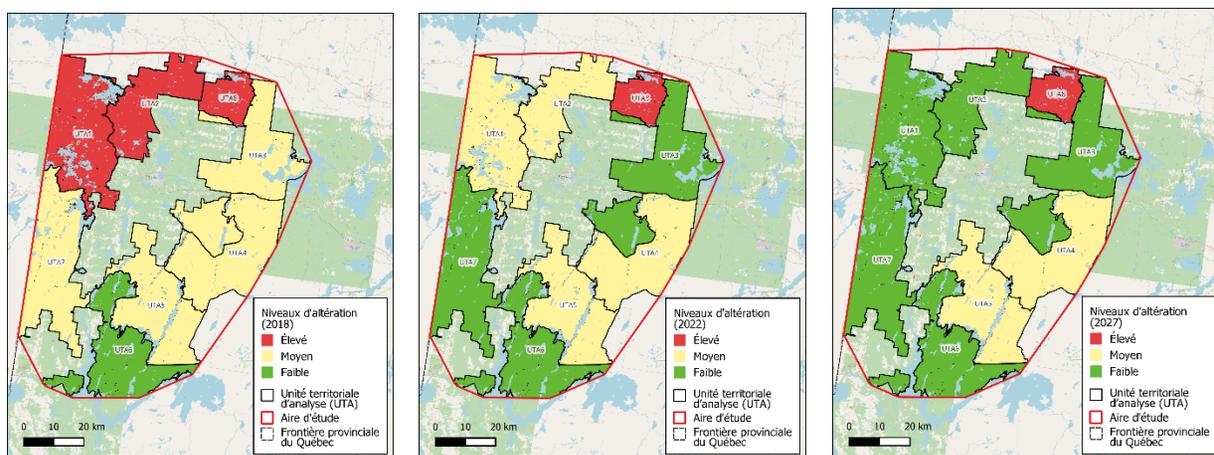
### *La problématique liée à la structure d'âge des forêts*

La structure d'âge des forêts est mesurée comme la proportion relative des peuplements appartenant à différentes classes d'âge, mesurée sur chaque UTA. Tableau A1 montre la structure d'âge et le degré d'altération par UTA pour les années simulées 2018, 2022, et 2027 pour les deux scénarios de récolte. Le niveau d'altération FAIBLE correspond à 50 % ou plus du niveau historique de vieilles forêts, le niveau MOYEN correspond à 30 % ou plus du niveau historique et le niveau ÉLEVÉ correspond à moins de 30 %. La structure d'âge ne diffère pas entre les deux scénarios. Le PAFIT de référence et la proportion simulée de forêts anciennes sont comparables pour 2018 et 2022 (Tableau A1). La proportion de vieilles forêts augmente au cours de la simulation et le degré d'altération diminue (Figure A5). L'UTA 8 est la seule à maintenir un degré d'altération élevé, mais la superficie de l'UA était très limitée dans cette UTA.

Pour l'ensemble de l'UA, la cible fixée par le MFFP est le suivant : " Au moins 80 % de la superficie de l'UA doit présenter une structure d'âge qui diffère faiblement ou modérément de la forêt naturelle ". Tableau A3 indique le nombre d'UTA dans l'UA qui diffèrent faiblement ou modérément de la forêt naturelle. L'objectif de structure d'âge est atteint pour l'UA en 2022 et 2027 dans les deux scénarios de récolte.

**Tableau A2.** La structure d'âge et le degré d'altération par UTA pour les années simulées 2018, 2022, et 2027 pour les deux scénarios de récolte. Les régions ombrées du tableau indiquent les données simulées et de référence à des fins de comparaison. Les UTA en italique gras sont celles où la majorité de la récolte a eu lieu entre 2023 et 2027.

Scénario	UTA	Référence					Simulation (2018)			Simulation (2022)			Simulation (2027)		
		Superficie productive	Critère d'âge utilisé	Proportion en vieilles forêts (%)			Vieilles forêts (ha)	% en vieilles forêts	Degré d'altération	Vieilles forêts (ha)	% en vieilles forêts	Degré d'altération	Vieilles forêts (ha)	% en vieilles forêts	Degré d'altération
				Historique	PAFIT 2018	PAFIT 2022									
Référence	UTA1	60409	80	61	11	23	7522	12	Élevé	16795	28	Moyen	23823	39	Faible
	UTA2	44737	80	61	12	31	5462	12	Élevé	11144	25	Moyen	18410	41	Faible
	UTA3	73922	80	61	20	33	15189	21	Moyen	23254	31	Faible	29471	40	Faible
	<b>UTA4</b>	68684	80	61	19	24	13585	20	Moyen	18369	27	Moyen	<b>19797</b>	<b>29</b>	<b>Moyen</b>
	<b>UTA5</b>	62344	80	67	20	24	12894	21	Moyen	17407	28	Moyen	<b>15673</b>	<b>25</b>	<b>Moyen</b>
	<b>UTA6</b>	58842	80	58	29	37	17490	30	Faible	22978	39	Faible	<b>23587</b>	<b>40</b>	<b>Faible</b>
	UTA7	69387	80	58	20	35	14288	21	Moyen	21360	31	Faible	26673	38	Faible
	UTA8	18824	100	49	2	29	319	2	Élevé	352	2	Élevé	365	2	Élevé
Réduction de la possibilité forestière	UTA1	60409	80	61	11	23	7522	12	Élevé	16795	28	Moyen	23912	40	Faible
	UTA2	44737	80	61	12	31	5462	12	Élevé	11145	25	Moyen	18514	41	Faible
	UTA3	73922	80	61	20	33	15189	21	Moyen	23258	31	Faible	29602	40	Faible
	<b>UTA4</b>	68684	80	61	19	24	13585	20	Moyen	18368	27	Moyen	<b>20266</b>	<b>30</b>	<b>Moyen</b>
	<b>UTA5</b>	62344	80	67	20	24	12894	21	Moyen	17408	28	Moyen	<b>16477</b>	<b>26</b>	<b>Moyen</b>
	<b>UTA6</b>	58842	80	58	29	37	17490	30	Faible	22979	39	Faible	<b>24109</b>	<b>41</b>	<b>Faible</b>
	UTA7	69387	80	58	20	35	14288	21	Moyen	21362	31	Faible	26732	39	Faible
	UTA8	18824	100	49	2	29	319	2	Élevé	353	2	Élevé	365	2	Élevé



**Figure A5.** Cartes de degré d'altération de la structure d'âge par UTA simulée pour les années 2018, 2022, et 2027. Les résultats sont identiques pour les deux scénarios de récolte.

**Tableau A3.** Le niveau d'altération pour l'UA pour les années simulées 2018, 2022, et 2027 pour les deux scénarios de récolte.

Scénario	Année	Superficie des UTA par degré d'altération (ha)			Pourcentage de l'UA dont le degré d'altération est faible ou moyen (%) (cible >= 80%)
		Faible	Moyen	Élevé	
PAFIT	2018	58842	211993	186314	59
	2022	216330	246911	0	100
Référence	2018	58842	274337	123970	73
	2022	202151	236174	18824	96
	2027	307297	131028	18824	96
Réduction de la possibilité forestière	2018	58842	274337	123970	73
	2022	202151	236174	18824	96
	2027	307297	131028	18824	96

#### *Problèmes liés à l'habitat de la martre*

Tableau A4 montre la proportion de forêt supérieure ou égale à 7m par UTA pour les années simulées 2018, 2022 et 2027 pour les deux scénarios de récolte. Les estimations de référence PAFIT 2018 ne correspondent pas exactement aux valeurs simulées pour 2018, probablement en raison de différences dans le tableau de concordance entre la composition de la forêt, l'âge, et la hauteur. Nous avons utilisé le tableau de concordance du modèle Woodstock. Dans les UTA5 et UTA6, la proportion de forêt de 7 mètres ou plus devrait diminuer dans les deux scénarios entre 2022 et 2027. Il s'agit des UTA où la majorité de la récolte a lieu au cours de la période 2023-2027. Les autres UTA restent relativement constantes dans leur proportion de forêt de 7 m ou plus.

**Tableau A4.** Proportion de forêt supérieure ou égale à 7m par UTA pour les années simulées 2018, 2022 et 2027 pour les deux scénarios de récolte.

Scénario	UTA	Superficie en forêt productive (ha)	Proportion de forêt 7 mètres et plus			
			Référence PAFIT	Simulation		
			2018	2018	2022	2027
Référence	UTA1	60409	73	94	94	95
	UTA2	44737	78	89	86	89
	UTA3	73922	82	85	84	85
	<b>UTA4</b>	68684	67	82	85	<b>83</b>
	<b>UTA5</b>	62344	87	90	88	<b>73</b>
	<b>UTA6</b>	58842	89	93	89	<b>80</b>
	UTA7	69387	85	89	91	92
	UTA8	18824	97	98	98	98
Réduction de la possibilité forestière	UTA1	60409	73	94	94	96
	UTA2	44737	78	89	86	90
	UTA3	73922	82	85	84	86
	<b>UTA4</b>	68684	67	82	85	<b>85</b>
	<b>UTA5</b>	62344	87	90	88	<b>76</b>
	<b>UTA6</b>	58842	89	93	89	<b>82</b>
	UTA7	69387	85	89	91	92
	UTA8	18824	97	98	98	97

Tableau A5 présente la proportion de forêt supérieure ou égale à 7m par massif forestier pour les années simulées 2018, 2022 et 2027 pour les deux scénarios de récolte. De manière similaire à l'échelle UTA, les massifs où une récolte forestière a eu lieu entre 2023-2027 montrent également une diminution de la forêt de 7m ou plus entre 2022 et 2027. Dans les autres massifs forestiers, la proportion de forêt de 7m ou plus n'évolue pas beaucoup à travers la simulation selon les deux scénarios.

Tableau A5. Proportion de forêt supérieure ou égale à 7m par massif forestier pour les années simulées 2018, 2022 et 2027 pour les deux scénarios de récolte. Les massifs forestiers ont été sélectionnés en 2018-2023. Les cellules sont surlignées en rouge si elles sont inférieures au critère de 70%, et en rose si elles sont à peine supérieures au critère de 70%.

Scénario	Numéro de massif	Superficie productive (ha)	PAFIT 2022 (%)	Forêt de 7 mètres et plus					
				2017		2022		2027	
				(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Référence	1	20410	92	16194	79	16426	80	16607	81
	2	24736	94	22449	91	22867	92	23242	94
	3	17541	96	16642	95	16780	96	16975	97
	4	24562	98	23980	98	23997	98	23963	98
	5	19346	97	18858	97	18765	97	18790	97
	<b>6</b>	5929	98	5604	95	5125	86	<b>4038</b>	<b>68</b>
	<b>7</b>	5994	93	5798	97	5442	91	<b>4149</b>	<b>69</b>
	8	2189	98	2135	98	2135	98	2132	97
	9	2651	98	2650	100	2650	100	2648	100
	<b>10</b>	3415	96	3260	95	3310	97	<b>2355</b>	<b>69</b>
	11	2634	77	2483	94	2197	83	2164	82
	<b>12</b>	3385	93	3149	93	3187	94	<b>2976</b>	<b>88</b>
	14	2874	99	2849	99	2865	100	2862	100
	Réduction de la possibilité forestière	1	20410	92	16194	79	16431	81	16603
2		24736	94	22449	91	22869	92	23241	94
3		17541	96	16642	95	16781	96	16984	97
4		24562	98	23980	98	24002	98	23925	97
5		19346	97	18858	97	18767	97	18783	97
<b>6</b>		5929	98	5604	95	5125	86	<b>4254</b>	<b>72</b>
<b>7</b>		5994	93	5798	97	5442	91	<b>4396</b>	<b>73</b>
8		2189	98	2135	98	2135	98	2117	97
9		2651	98	2650	100	2650	100	2649	100
<b>10</b>		3415	96	3260	95	3311	97	<b>2506</b>	<b>73</b>
11		2634	77	2483	94	2196	83	2176	83
<b>12</b>		<b>3385</b>	<b>93</b>	<b>3149</b>	<b>93</b>	<b>3188</b>	<b>94</b>	<b>3025</b>	<b>89</b>
14		2874	99	2849	99	2865	100	2860	100

Tableau A6 présente la proportion de l'habitat de la martre par massif forestier pour les années simulées 2018, 2022 et 2027 pour les deux scénarios de récolte. La référence du PAFIT est basée sur l'indice de qualité d'habitat (IQH) et des variables forestières (pourcentage de perturbations récentes, pourcentage de peuplements de 7 m et plus, pourcentage de peuplements adéquats pour la martre).

**Tableau A6.** Proportion de l'habitat de la martre par massif forestier pour les années simulées 2018, 2022, et 2027 pour les deux scénarios de récolte. Les massifs forestiers ont été sélectionnés en 2018-2023 Les cellules sont surlignées en rouge si elles sont inférieures au critère de 50%, et en rose si elles sont à peine supérieures au critère de 50%.

Scénario	Numéro de massif	Superficie productive (ha)	PAFIT (2022) (%)	Simulation (2017)				Simulation (2022)				Simulation (2027)			
				Peuplements adéquats pour la martre		Habitat de la martre tenant compte des besoins spatiaux		Peuplements adéquats pour la martre		Habitat de la martre tenant compte des besoins spatiaux		Peuplements adéquats pour la martre		Habitat de la martre tenant compte des besoins spatiaux	
				(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Référence	1	20410	82	15723	77	8570	42	16010	78	9038	44	16109	79	9586	47
	2	24736	73	20364	82	14453	58	21063	85	16758	68	21373	86	17835	72
	3	17541	80	15551	89	13179	75	15714	90	13172	75	15877	91	12752	73
	4	24562	58	18334	75	8853	36	18363	75	8734	36	18340	75	8733	36
	5	19346	76	15210	79	8283	43	15144	78	8178	42	15140	78	8169	42
	6	5929	79	4409	74	2334	39	3961	67	1799	30	2977	50	440	7
	7	5994	81	5241	87	3744	62	4911	82	2956	49	3769	63	997	17
	8	2189	78	1792	82	384	18	1792	82	388	18	1790	82	384	18
	9	2651	71	1790	68	75	3	1792	68	75	3	1791	68	65	2
	10	3415	87	3180	93	2948	86	3242	95	3022	89	2290	67	933	27
	11	2634	51	2158	82	810	31	1827	69	101	4	1868	71	249	9
	12	3385	83	2881	85	1708	50	2897	86	1782	53	2679	79	1599	47
	14	2874	47	1316	46	-	-	1317	46	-	-	1316	46	-	-
	Réduction de la possibilité forestière	1	20410	82	15723	77	8570	42	16014	78	9043	44	16106	79	9584
2		24736	73	20364	82	14453	58	21065	85	16762	68	21375	86	17857	72
3		17541	80	15551	89	13179	75	15715	90	13174	75	15887	91	12882	73
4		24562	58	18334	75	8853	36	18368	75	8746	36	18312	75	8709	35
5		19346	76	15210	79	8283	43	15146	78	8180	42	15134	78	8150	42
6		5929	79	4409	74	2334	39	3961	67	1799	30	3172	54	623	11
7		5994	81	5241	87	3744	62	4911	82	2956	49	3980	66	1144	19
8		2189	78	1792	82	384	18	1792	82	388	18	1777	81	374	17
9		2651	71	1790	68	75	3	1792	68	75	3	1791	68	65	2
10		3415	87	3180	93	2948	86	3243	95	3024	89	2440	71	1270	37
11		2634	51	2158	82	810	31	1826	69	101	4	1879	71	283	11
12		3385	83	2881	85	1708	50	2898	86	1784	53	2725	81	1607	47
14		2874	47	1316	46	-	-	1317	46	-	-	1315	46	-	-