

***Restauration de la connectivité des massifs
forestiers résineux et mixtes dans Lanaudière et le
sud des Laurentides***

Frédéric Doyon

Georgina O'Farill

Vincent McCullough

Srdjan Ostojic

Pascal Rochon

ISFORT



Institut des Sciences
de la Forêt tempérée

Préparé pour le

Ministère des Ressources naturelles

Janvier 2013

 **Université
du Québec
en Outaouais**

Remerciements

Nous voulons tout d'abord remercier l'ensemble des partenaires du MRN et des CRÉ de Lanaudière et des Laurentides pour leur participation aux rencontres et leur collaboration dans la transmission des données de base ainsi qu'à tous les échanges de courrier qui en ont découlé et leur support technique dans la réalisation de ce projet :

| | | | |
|---------------|-----------|------------|-----------|
| Louis | Ménard | Véronique | Coudé |
| Jean-Francois | Béland | David | Marmen |
| Louis | Ménard | Michel | Chalifoux |
| Frédéric | Joubert | Sébastien | Auger |
| Michel | Hénault | Isabelle | Charrier |
| Monique | Boulet | Paul-Émile | Lafleur |
| Claudie | Desroches | Vincent | Miville |
| Steve | Gagnon | | |

Nous remercions particulièrement Jean-Francois Béland pour son rôle de coordinateur et de courroie de transmission entre notre équipe et les participants. Bronwyn Rayfield, spécialiste en réseau de graphes, est aussi grandement remercié pour l'excellente formation qu'elle nous a donnée sur la connectivité, la théorie des graphes et les outils d'évaluation de la connectivité basés sur ces concepts. Son support dans les travaux de Georgina O'Farill a été remarquable.

Ce projet a été financé par le Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu forestier, Volet I, du MRNF et les fonds personnels de recherche du professeur F. Doyon. Les travaux de Mme Georgina O'Farill qui ont été effectués dans le cadre de ce projet sont financés par une bourse de stage post-doctoral FRQNT supervisé par le professeur Marie-Josée Fortin de l'Université de Toronto.

Citation

Doyon, F., G. O'Farill, V. McCullough, S. Ostojic, et P. Rochon. 2013. Restauration de la connectivité des massifs forestiers résineux et mixtes dans Lanaudière et le sud des Laurentides. Rapport scientifique de l'Institut des Sciences de la Forêt tempérée. 69 p. + 9 Annexes

Abbréviation

UAF : Unité d'aménagement forestier

UTR : Unité territoriale de référence

iGraph : Package de R permettant de calculer les métriques de réseau de graphe

SADF : Stratégie d'aménagement forestier durable

MRNF : Ministère des ressources naturelles et de la Faune

AMC : Analyse multicritère

GUIDOS : Logiciel d'analyse d'image permettant de détecter les classes morphologiques

SELES : Logiciel de modélisation de la dynamique spatio-temporel des paysages. Il est utilisé ici strictement pour faire l'extraction du graphe.

MR&R : Mixte à dominance résineuse et résineux

M-S : Mûr et suranné

Lexique

Tache : En écologie du paysage, il s'agit d'une unité spatiale délimitée présentant des caractéristiques homogènes différentes de celles qui l'entourent. Dans le cas qui nous préoccupe, il s'agit d'un habitat pouvant regrouper plusieurs peuplements forestiers ayant un type de couvert et une classe d'âge homogène (ex. : mixte résineux mûr (MR mûr).

Grappe : Ensemble de taches connectées entre elles.

Réseau de graphe : Construction mathématique caractérisant un ensemble d'éléments et les liens qui existent entre eux.

Classes morphologiques : Description topologique des regroupements de pixels de même nature selon la forme

Ratio de connectivité : Le ratio des pourcentages en classes morphologiques favorables à la connectivité (Intérieur + Boucle + Pont) sur celles défavorables (Branche + Bordure + Îlot + Perforation).

Ratio de forêt d'intérieur : Ratio superficie en conditions d'intérieur sur la superficie en classes morphologiques favorables.

Centralité (*betweenness*): Métrique évaluant l'importance qu'une tache a pour connecter les autres taches d'une même grappe.

Seuil de distance de déplacement : Distance limite entre la bordure de deux taches permettant de les connecter entre elles

Résumé

L'organisation spatiale des habitats joue un rôle crucial pour plusieurs processus écologiques nécessaires au maintien de l'intégrité des écosystèmes forestiers. Le récent portrait des enjeux écologiques, réalisé pour l'ensemble du Québec dans la foulée de la création des plans régionaux de développement intégré des ressources et du territoire, a permis de mettre en lumière des problèmes d'abondance en habitat pour les stades murs et surannés dans plusieurs régions du Québec; par exemple, dans Lanaudière et le sud des Laurentides, les peuplements à dominance résineuse murs et surannés sont déficients. De plus, les massifs restants sont très fragmentés, et souvent disposés comme des îles au milieu d'une mer de peuplements à dominance feuillue. Sans l'avoir vraiment évalué, il est suspecté que la connectivité de ces habitats ne leur permet pas de remplir leur rôle fonctionnel dans le paysage. Cette étude a pour objectif de proposer une approche qui permettra de guider l'aménagiste face à une problématique de restauration de la connectivité. Celle-ci est divisée en 5 étapes :

1. Diagnostiquer les problèmes de connectivité en peuplements à dominance résineuse murs et surannés afin d'identifier les zones présentant des lacunes importantes ;
2. Identifier des massifs potentiels en habitat et caractériser ceux-ci, ainsi que les massifs forestiers actuels, dans le leur rôle de carrefour de connectivité;
3. Intégrer cette information aux autres valeurs considérées dans la planification territoriale et procéder à une évaluation multicritère des taches;
4. Optimiser la stratégie de restauration de la connectivité en sélectionnant les massifs potentiels qui sont les plus aptes à remplir ce rôle tout en respectant les vocations de la planification territoriale;
5. Développer un outil visant à supporter le choix d'une stratégie de restauration de la connectivité en rendant compte de l'amélioration de la connectivité en fonction de la superficie restaurée.

Pour la première étape, nous avons utilisé le logiciel GUIDOS afin de classer les taches de massif forestier des 4 types d'habitats (M&R M-S, M&R S, R M-S, R S) en classe morphologique. Parmi ces classes morphologiques, certaines sont favorables à la connectivité alors que d'autres lui sont plutôt défavorables. Nous avons donc évalué l'importance de ces deux types de classes morphologiques par UAF et par UTR. Afin de tenir compte du potentiel du territoire à supporter le type d'habitat d'intérêt (peuplement à dominance résineuse murs et surannés), cette évaluation s'est fait relativement à la végétation potentielle telle qu'indiquée par les types écologiques. Nos résultats montrent que les problèmes de connectivité sont variables selon les UAFs :

- UAF 61-51 : Il y aurait assez de peuplements à dominance résineuse mais les peuplements surannés seraient déficients. L'organisation spatiale montre qu'il y a un léger problème de fragmentation pour les résineux. Comme cette UAF ne supporte naturellement pas beaucoup ce type de peuplement, nous estimons les problèmes de connectivité comme « **modéré** » dans cette UAF;

- UAF 64-52 : les peuplements mixtes à dominance résineux sont en abondance suffisante mais pas les peuplements résineux. On observe des problèmes de fragmentation autant pour les mixtes à dominance résineuse que les résineux et un problème de manque d'habitats d'intérieur pour les mixtes. Nous estimons les problèmes de connectivité pour cet UAF comme « **modéré à important** ».
- UAF 62-51 : Bien qu'il y ait de façon suffisante des habitats mixtes à dominance résineuse mûrs, le manque important dans les trois autres types d'habitats (M&R S, R M-S, R S), le ratio de connectivité et le ratio d'intérieur indiquent d'importants problèmes de connectivité, et cela pour les quatre types d'habitat. Cette UAF est celle **qui présente le plus de problèmes** au niveau de connectivité par rapport à un paysage composé de la végétation potentielle.
- UAF 62-52 : Bien que les peuplements mûrs soient abondants de façon absolue lorsqu'on les compare aux autres UAFs, cette abondance demeure de façon relative tout de même trois fois moins que celle qu'on devrait trouver si la végétation potentielle s'exprimerait. Les peuplements surannés sont encore plus déficients de façon relative. On observe donc des **problèmes de connectivité importants** pour cette UAF.

Les mêmes indicateurs ont servi par la suite à mettre en ordre de priorité de problème de connectivité les UTRs de chacune des 4 UAFs.

Pour la deuxième étape, nous avons estimé la centralité des habitats actuels et de ceux pouvant atteindre le stade mûr dans les 20 prochaines années. Pour ce faire, nous avons premièrement évalué le paysage en termes de friction aux mouvements. Puis, nous avons extrait le graphe de connectivité pour pouvoir effectuer les analyses de la théorie des réseaux de graphes. Les valeurs de centralité rompue ont ensuite été évaluées selon trois seuils de distance de déplacement, soit 500 m, 2 km, et 5 km. Les résultats montrent que certaines taches sont beaucoup plus importantes que d'autres pour favoriser la connectivité de chacun des paysages. De plus, l'analyse du nombre de liens permet d'observer que le potentiel de restauration n'est pas le même d'une UAF à l'autre, et se distingue aussi du point de vue du seuil de la distance maximale de déplacement considérée. Le potentiel de restauration des UAFs est le plus intéressant selon l'ordre suivant : 64-52 >> 61-51 >> 62-52 >> 62-51. La répartition spatiale des valeurs de centralité des taches montre la prépondérance à voir se structurer des corridors de déplacement dans les fonds de vallées, à mesure que le seuil de distance de déplacement augmente. Ce résultat est extrêmement important puisqu'il permet d'identifier les corridors de connectivité privilégiée pour chaque UAF.

À l'étape suivante, nous avons appliqué la méthode classique de l'analyse multicritère en tenant compte des différentes dimensions ayant déjà été considérées au plan d'affectation afin de maximiser les investissements déjà réalisés (ou prévus) sur le territoire tout en minimisant les conflits d'usage. Nous avons donc dans un premier temps identifié les critères qui seraient représentatifs des valeurs considérées dans la stratégie d'aménagement forestier durable du PRDIRT, en cohérence avec le plan d'affectation. Puis, à l'aide d'un exercice réalisé avec les experts du MRNF, nous avons attribué un poids pour chacun des critères. Les critères sont, en ordre décroissant d'importance, les suivants : la contribution à la connectivité (la centralité), l'importance de la problématique de connectivité dans l'UTR, la proximité à un corridor riverain, la proximité au réseau

de protection sans prélèvement, l'importance de la forêt d'intérieur, le coût de restauration, le temps de restauration, le type d'habitat, la proximité au réseau de protection avec prélèvement, la proximité aux zones d'intensification de la production ligneuse, la résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, et la productivité des sites. Puis, pour chacun des critères, nous avons développé des modèles d'indicateurs spatiaux qui soient représentatifs de ceux-ci. L'évaluation des critères à partir des modèles d'indicateurs a permis l'application de l'analyse multicritère afin de mettre en ordre de priorité les tâches potentielles pour la restauration de la connectivité.

Pour la quatrième étape, qui consiste à optimiser la stratégie de restauration de la connectivité, nous avons simplement mis les tâches potentielles en ordre décroissant de valeurs de centralité et de valeurs de l'analyse multicritère, et cela, pour les trois seuils de distance maximale de déplacement.

Cet ordonnancement a permis de développer, pour la cinquième étape, les courbes de rendement en connectivité. Ces courbes présentent comment l'appréciation de la superficie en habitats restaurés vient améliorer la connectivité du paysage. Pour évaluer la valeur de la connectivité du paysage, de façon globale, nous avons utilisé la statistique de la taille moyenne et médiane des grappes ainsi que le nombre de grappes. Les courbes de rendement présentent comment ces trois métriques de la connectivité globale changent suite à l'ajout successif de blocs de 500 ha de tâches en habitats potentiels. Ces blocs sont obtenus en cumulant les superficies des tâches qui ont été mises en ordre de priorité en commençant par celles ayant obtenu les meilleures valeurs et en finissant par celles ayant obtenu les moins bonnes. On obtient ainsi des blocs de 500 ha qui vont du meilleur bloc au moins bon. Pour ce faire, nous utilisons les deux ordonnancements, soit l'ordre découlant des mesures de centralité seulement et l'ordre découlant des résultats de l'analyse multicritère, et cela bien sûr, en fonction des trois seuils de distance maximale de déplacement. De cette analyse se dégagent deux groupes d'UAFs.

- UAFs 61-51 et 64-52 : Ces deux UAFs sont celles pour lesquelles il existe le moins de tâches potentielles pour la restauration de la connectivité (430 et 1049 respectivement). Pour les seuils de distance maximale de déplacement de 2 km et de 5 km, peu importe le type d'ordonnancement (centralité seulement ou valeur de l'analyse multicritère), on observe une tendance à une amélioration géométrique de la connectivité, c'est-à-dire que l'amélioration est linéairement fonction de la superficie restaurée au début, puis cette amélioration augmente géométriquement après un point d'inflexion se trouvant autour de 2 000 ha d'habitat restaurés. Cela nous indique donc qu'il y aurait avantage à restaurer une superficie qui dépasse ce point d'inflexion, puisque l'amélioration de la connectivité devient plus efficace pour chaque bloc de 500 ha et au-delà, même si les meilleures tâches sont celles qui ont été utilisées en premier. Pour le seuil de distance maximale de déplacement de 500 m, on n'observe aucune amélioration de la connectivité, même en ajoutant toutes les tâches potentielles disponibles pour les 20 prochaines années.
- UAFs 62-51 et 62-52: Ces deux UAFs sont celles pour lesquelles il existe une grande quantité de tâches potentielles pour la restauration de la connectivité (2188 et 3267 respectivement). Pour ces deux UAFs, on observe une amélioration linéaire de la connectivité pour les trois seuils de distance maximale de déplacement, au moins jusqu'à ce que plus de 10 000 ha

d'habitat soient restaurés. Au-delà de ce seuil, on assiste à une progression géométrique de l'augmentation de la taille moyenne des grappes pour atteindre un maximum, pour après, soit décliner abruptement (UAF 62-51) ou se maintenir à un plateau (UAF 62-52). Pour ces deux UAFs, qui sont celles présentant les problèmes de connectivité les plus importants, ces résultats montrent que le rendement en amélioration de la connectivité sera proportionnel aux efforts consentis en augmentation de la superficie en habitat.

Ces travaux présentent une approche originale permettant d'inclure la dimension de la connectivité dans la planification forestière. L'analyse de la connectivité par les métriques de réseau de graphes constitue un outil extrêmement utile pour évaluer 1) les massifs à préserver et 2) les massifs à restaurer. Nous croyons que cette approche analytique pourrait aussi être utilisée pour évaluer différents scénarios futurs qui se traduiraient en perte en habitat actuel vs. en gain en habitat potentiel. Par exemple, il serait facile d'évaluer l'impact des PAFI-T sur la connectivité de certains habitats jugés importants. De plus, elle peut servir aussi afin de faire du monitoring des écosystèmes et mieux documenter l'évolution des conditions écologiques.

Nos travaux montrent qu'il n'y a pas de règles générales qui puissent caractériser simplement la connectivité : dans l'étude que nous avons effectuée, malgré que nous ayons des UAFs qui se situent dans un même territoire, chacune d'entre elles présentent des caractéristiques propres, requérant une stratégie adaptée.

Table des matières

| | |
|---|----------|
| Remerciements | ii |
| Citation | iii |
| Abbréviation | ii |
| Lexique | iii |
| Résumé | iv |
| Table des matières | viii |
| Liste des Tableaux | xi |
| Liste des Figures | xii |
| Liste des Annexes | xv |
| Introduction | 1 |
| Objectifs | 3 |
| Livrables..... | 4 |
| Méthodologie générale..... | 4 |
| Site d'étude..... | 4 |
| Identification des taches d'habitats actuels | 5 |
| Identification des taches d'habitats potentiels..... | 6 |
| Diagnostic des problèmes de connectivité avec le Logiciel GUIDOS | 7 |
| Objectifs | 7 |
| Méthodologie | 7 |
| Aperçu du logiciel GUIDOS..... | 7 |
| Préparation des entrées de Guidos | 8 |
| Statistique des sorties GUIDOS..... | 9 |
| Diagnostic de la problématique par UTR | 10 |
| Résultats et discussion | 12 |
| À l'échelle de l'UAF | 12 |
| a) Habitat disponible | 12 |
| b) Ratio de connectivité..... | 13 |
| c) Le ratio d'intérieur | 13 |
| À l'échelle de l'UTR | 13 |

| | |
|---|-----------|
| Évaluation de l'importance des taches potentielles pour la restauration de la connectivité à l'aide des réseaux de graphes | 18 |
| Objectifs | 18 |
| Méthodologie | 18 |
| La matrice de friction | 18 |
| Identification des taches actuelles et potentielles | 20 |
| L'extraction du réseau de graphe | 21 |
| Évaluation de la métrique de centralité des habitats potentiels..... | 22 |
| Considération des différentes capacités de déplacement des espèces | 22 |
| Résultats et discussion | 25 |
| Tache des habitats actuels et potentiels | 25 |
| Fréquence et la densité des liens par tache | 25 |
| Nombre de grappes | 27 |
| Ordre de priorité des taches potentielles de restauration de la connectivité à l'aide de l'analyse multicritère..... | 35 |
| Objectifs | 35 |
| Méthodologie | 35 |
| Sélection des habitats et identification des taches individuelles | 35 |
| Formulation multicritère, identification des critères et attribution des poids..... | 36 |
| Modèles d'indicateur pour évaluer les critères | 36 |
| Habitat | 37 |
| Centralité | 41 |
| Proximité au réseau de protection sans prélèvement | 41 |
| Corridors riverains | 42 |
| Coût de restauration..... | 43 |
| Temps requis à la restauration | 43 |
| Proximité au réseau de protection avec prélèvement | 47 |
| Proximité au réseau des aires d'intensification de production ligneuse (AIPL) | 47 |
| Résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) | 48 |
| Productivité des sites..... | 48 |

| | |
|--|-----------|
| Pourcentage de forêt intérieure..... | 49 |
| Problématique de connectivité par UTR | 49 |
| Résultats et discussion | 50 |
| Poids accordés aux critères..... | 50 |
| Application des modèles d'indicateurs pour l'analyse multicritère | 50 |
| Résultats de l'analyse multicritère..... | 51 |
| Optimisation de la stratégie de restauration de la connectivité | 53 |
| Objectifs | 53 |
| Méthodologie..... | 53 |
| Mesure de centralité globale | 53 |
| Courbe de rendement en restauration de la connectivité | 54 |
| Résultats..... | 54 |
| Courbe de coût de rendement..... | 54 |
| Ordre de priorité basé sur la centralité | 54 |
| Ordre de priorité basé sur les valeurs de l'analyse multicritère | 58 |
| Conclusions..... | 66 |
| Littérature citée..... | 68 |
| ANNEXES | 70 |

Liste des Tableaux

| | | |
|-------------|---|----|
| Tableau 1. | Exemple de données calculées par GUIDOS | 8 |
| Tableau 2. | Exemple de résultats des indicateurs GUIDOS et du facteur combiné pour les MR&R M_S et S de la 61-51..... | 11 |
| Tableau 3. | Indicateurs de la connectivité pour les quatre UAFs étudiées dans ce projet..... | 12 |
| Tableau 4. | Ordre en priorité des problématiques de connectivité par UTR pour chacun des quatre types d'habitat (MR&R M-S, MR&R S, R M-S, R S) et combinée pour tous les habitats. | 14 |
| Tableau 5. | Valeur de friction des peuplements forestiers en fonction de la composition et la classe d'âge..... | 19 |
| Tableau 6. | Valeur de friction des habitats non-forestiers. | 19 |
| Tableau 7. | Nombre de taches d'habitats actuels et potentiels en mixte à dominance résineuse et résineux de stade mature et plus vieux par UAF. | 25 |
| Tableau 8. | Valeur attribuée aux taches d'habitats potentiels en fonction de l'habitat | 41 |
| Tableau 9. | Largeur de la zone tampon autour des chemins selon le type et la classe de chemin. | 47 |
| Tableau 10. | Poids accordés aux différents critères par les participants | 50 |
| Tableau 11. | Couches géomatiques présentant les résultats de l'application des modèles d'indicateurs de critères..... | 51 |
| Tableau 12. | Statistiques des valeurs de l'analyse multicritère par UAFs et par seuil de distance de déplacement. | 52 |

Liste des Figures

| | | |
|------------|---|----|
| Figure 1. | Évolution historique du pourcentage de la superficie productive forestière pour différents types de communautés forestières dans les UAF 062-51 et 062-62 (type de communauté forestière suivi de « (2) »). Tiré de Roy <i>et al.</i> (2010). | 2 |
| Figure 2. | Le territoire d'étude comprend les UAFs 064-52 (rose), 061-51 (vert) des Laurentides et les UAFs 062-52 (bleu) et 062-51 (rouge) de Lanaudière avec une zone tampon de 5km autour de celles-ci. | 5 |
| Figure 3. | Exemple des analyses GUIDOS différents | 8 |
| Figure 4. | Exemple d'une fiche de diagnostic réalisée à l'aide de GUIDOS pour l'UAF 062-52, pour l'habitat mixte à dominance résineuse + résineux mûrs et surannés (MR-R_M-S). Les codes de couleur indiquant les classes morphologies sont les mêmes qu'à la Figure 3. | 10 |
| Figure 5. | Répartition des classes morphologiques de l'UTR UAF_6151_1028 pour l'habitat MR&R M-S. Les codes de couleur indiquant les classes morphologies sont les mêmes qu'à la Figure 3..... | 11 |
| Figure 6. | Importance relative des problèmes de connectivité par UTR tel que diagnostiqué à l'aide des classes morphologiques pour l'UAF 62-51 pour l'habitat mixte résineux et résineux pour les classes d'âge mature et surannée (MR&R M-S). | 17 |
| Figure 7. | Carte des coûts de friction pour les 4 UAFs. | 20 |
| Figure 8. | Exemple d'une partie du réseau de graphe extrait. Dans cette figure, les massifs d'habitats évalués sont en noirs. | 23 |
| Figure 9. | Exemple du réseau de graphes extrait pour l'UAF 62-52. | 24 |
| Figure 10. | Fréquence de liens en fonction du seuil de distance de déplacement pour a) l'UAF 6151, b) l'UAF 6251, c) l'UAF 6252 et d) l'UAF 6452, pour les massifs actuels seulement et les massifs actuels et potentiels. | 27 |
| Figure 11. | Densité de liens par tache en fonction du seuil de distance de déplacement pour a) l'UAF 6151, b) l'UAF 6251, c) l'UAF 6252 et d) l'UAF 6452, pour les massifs actuels seulement et les massifs actuels et potentiels. | 28 |
| Figure 12. | Nombre de taches dans tous les UAFs par seuil de distance de déplacement (500m, 2km and 5km) et avec les massifs actuels et les massifs actuels et potentiels pour a) l'UAF 6151, b) l'UAF 6251, c) l'UAF 6252 et d) UAF 6452. | 29 |
| Figure 13. | Distribution des taches basée sur leur valeur de centralité des taches d'habitat actuel et potentiel pour a) l'UAF 61-51 et b) l'UAF 62-52, tous seuil de distance de déplacement confondus. | 30 |
| Figure 14. | Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 61-51 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km). | 31 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figure 15. | Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 62-51 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km). | 32 |
| Figure 16. | Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 62-52 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km). | 33 |
| Figure 17. | Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 64-52 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km). | 34 |
| Figure 18. | Exemple de calcul de l'indicateur de proximité au réseau de protection sans prélèvement (UAF 62-52). Les zones en jaune représentent les zones de protection sans prélèvement. | 42 |
| Figure 19. | Exemple de calcul de l'indicateur de proximité du corridor riverain (zone de l'UAF 62-52). Les zones en bleu représentent les plans d'eau. | 43 |
| Figure 20. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de centralité pour l'UAF 61-51. | 56 |
| Figure 21. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de centralité pour l'UAF 64-52. | 56 |
| Figure 22. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de centralité pour l'UAF 62-52. | 57 |
| Figure 23. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de centralité pour l'UAF 62-51. | 57 |
| Figure 24. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 61-51. | 58 |
| Figure 25. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 64-52. | 59 |
| Figure 26. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 62-52. | 59 |
| Figure 27. | Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 62-51. | 60 |
| Figure 28. | Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l'UAF 61-51. | 61 |
| Figure 29. | Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l'UAF 64-52. | 63 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figure 30. | Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l'UAF 62-51. | 64 |
| Figure 31. | Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l'UAF 62-52. | 65 |

Liste des Annexes

| | | |
|-----------|---|----|
| Annexe 1. | Âge pour qu'un peuplement soit qualifié un habitat mûr ou suranné en fonction de l'espèce dominante. | 71 |
| Annexe 2. | Âge attribué aux peuplements en fonction du code de classe d'âge dans l'inventaire écoforestier. | 72 |
| Annexe 3. | Types écologiques retenus menant à une végétation potentiellement résineuse et mixte à dominance résineuse. | 73 |
| Annexe 4. | Rang attribué aux UTRs pour chacun des trois indicateurs (habitat disponible, ratio de connectivité, ratio d'intérieur) relativisés à la valeur obtenue lorsqu'évaluée à partir des habitats potentiels, et cela, en fonction des 4 types d'habitats. Le facteur combiné est la somme des rangs des trois indicateurs relativisés. | 74 |
| Annexe 5. | Représentation cartographique de l'importance de la problématique de connectivité dans chacune des UTRs par UAF et par type d'habitat. | 85 |
| Annexe 6. | Liens entre les classes d'habitat utilisées pour attribuer le coût de friction des peuplements forestiers (Tableau 2) et les codes d'appellation cartographique identifiant les peuplements dans l'inventaire écoforestier. | 89 |
| Annexe 7. | Description des affectations pour les zones de protection avec et sans prélèvement de la matière ligneuse. | 93 |
| Annexe 8. | Sévérité estimée de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette en fonction des caractéristiques de composition d'âge de densité et des sites sur lesquels pousse le peuplement. | 94 |
| Annexe 9. | Classe de productivité attribuée aux différents types écologiques en fonction de la région écologique. Basé sur le Guide des stations sylvicoles du MRN. | 95 |

Introduction

Avant la colonisation, on peut supposer que la composition, la structure et les processus des écosystèmes forestiers oscillaient à l'intérieur d'une enveloppe de variabilité naturelle en équilibre régional avec les conditions environnementales. Depuis les derniers siècles, à cause de l'aménagement du territoire, et principalement l'exploitation à grande échelle de la matière ligneuse, cet équilibre a été modifié, éloignant progressivement les caractéristiques forestières à l'extérieur de leur enveloppe de variabilité naturelle (Bouffard *et al.* 2003). Selon Hunter (2002), ces altérations rendent les forêts plus simples, moins aptes à conserver la biodiversité et moins robustes pour faire face aux perturbations naturelles.

En voulant appliquer les principes de l'aménagement forestier écosystémique (AFÉ) au Québec, le MRNF (2008) vise à réduire ces écarts entre les caractéristiques de la forêt précoloniale et celles de la forêt actuelle. Pour ce faire, des exercices d'évaluation des enjeux écologiques ont été réalisés un peu partout au Québec. On note parmi ces enjeux, l'importance et la répartition spatiale des forêts mûres et surannées. Dans presque toute la zone de la sapinière à bouleau jaune, cet enjeu est jugé critique, sinon préoccupant (Doyon et Varady-Szabo 2012). Plus spécifiquement, les portraits forestiers historiques pour les UAFs de Lanaudière et du sud des Laurentides (Roy *et al.* 2009a et Roy *et al.* 2010a) ont amené à déterminer quels sont les enjeux écologiques pour ces territoires (Roy *et al.* 2009b et Roy *et al.* 2010b). Parmi ceux-ci, on note :

- Une diminution entre 17 et 46 % de la superficie des forêts mûres et surannées;
- Une baisse entre 14 et 25 % des peuplements mixtes, et plus concrètement des essences résineuses longévives (pin blanc, pruche et épinettes) et du bouleau jaune, avec une augmentation des feuillus tolérants et intolérants ;
- Par rapport à la forêt vierge, une baisse des forêts d'intérieur entre 49 et 71 %, intersectées par une densité de chemins entre 1.0 et 1.3 km de chemin / km².

Tel qu'observé dans les archives historiques qui ont servi à définir les états de références, soit les carnets d'arpentage et les inventaires forestiers gouvernementaux, on constate une perte progressive des superficies résineuses d'environ 35% par rapport au niveau historique (Figure 1). Même constat pour les communautés forestières mixtes à dominance résineuse, où il y a eu une baisse d'environ 10% entre la donnée historique et actuelle.

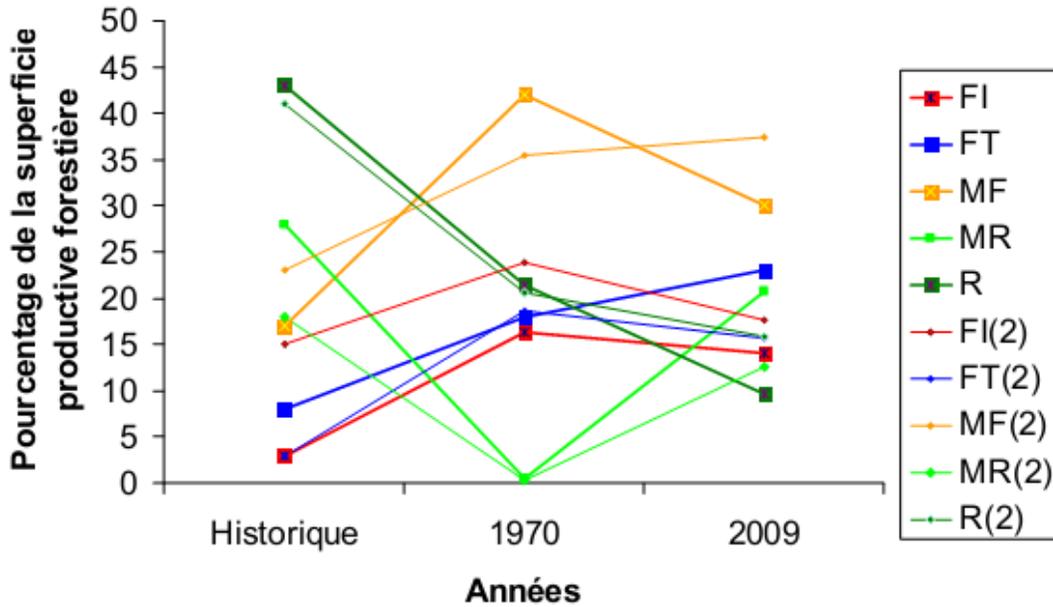


Figure 1. Évolution historique du pourcentage de la superficie productive forestière pour différents types de communautés forestières dans les UAF 062-51 et 062-62 (type de communauté forestière suivi de « (2) »). Tiré de Roy *et al.* (2010).

Combinées à l'exploitation forestière, les épidémies de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 1970 ont aussi contribué à la diminution des résineux dans les paysages de la forêt tempérée. Il en résulte 1) une diminution en superficie des massifs mûrs et surannés résineux et mixtes et 2) un effritement du réseau de connectivité entre les massifs et la dissection des corridors (Roy *et al.* 2009b, Roy *et al.* 2010b). Ce qui fut autrefois un réseau complexe de grappes d'habitats interreliés à l'intérieur d'une matrice de forêts feuillues, est maintenant limité à quelques îlots plus ou moins isolés. Tous ces éléments convergent pour exprimer que l'enjeu écologique de connectivité entre les massifs forestiers apparaît comme critique en ce qui concerne les habitats mûrs et surannés résineux et mixtes à dominance résineuse. Ces peuplements sont d'une importance capitale pour la faune qui utilise ce réseau comme habitat et comme couvert en hiver (Lesage *et al.* 2000). Cela est d'autant plus important que les corridors résineux se situent souvent en zones riveraines, éléments du paysage étant réputés comme cruciaux pour le mouvement des organismes.

Même si les deux premiers enjeux identifiés pour ce territoire sont spatiaux (ne considèrent que les quantités, sans égard pour leur position dans l'espace), la restauration des peuplements mixtes matures et surannés dans des endroits stratégiques du paysage pourrait permettre du même coup de réduire les écarts pour les enjeux de fragmentation et de connectivité. Les études sur la fragmentation recommandent le développement d'outils et de démarches permettant d'adresser la problématique liée à la connectivité entre les massifs forestiers, un phénomène mondialement reconnu (Elbakidze *et al.* 2011). À ce jour, peu d'études se sont penchées sur des solutions permettant d'aider les aménagistes forestiers à restaurer la perte de connectivité de massifs peu représentés dans la matrice forestière.

Actuellement, la Stratégie d'Aménagement durable des Forêts (SADF) (MRNF 2011) offre peu de moyens et de balises pour s'attaquer à l'enjeu de l'organisation spatiale des peuplements. Cette difficulté est d'autant plus importante que ces enjeux doivent être répondus tout en tenant compte des contraintes spatiales associées à l'affectation de diverses autres fonctions sur le territoire. L'intégration des fonctions de connectivité dans la planification territoire demande effectivement une évaluation spatio-temporelle complexe et des outils doivent être développés à cet égard.

Objectifs

Le projet présenté ici vise donc à proposer une procédure d'évaluation qui pourrait servir dans le cadre de l'application de la SADF pour le volet de l'organisation spatiale des forêts. À nos yeux, cette procédure devrait permettre :

- 1) De mieux comprendre et de localiser les problèmes de connectivité ;
- 2) D'identifier les massifs jugés cruciaux pour le maintien et/ou la restauration de la connectivité des habitats ;
- 3) D'intégrer ces informations au zonage fonctionnel des vocations de production et de conservation ;
- 4) Tout cela, dans un contexte temporel dynamique et en cohérence avec la dynamique naturelle.

Avec ce projet, nous testons l'application d'une telle procédure dans le cadre spécifique des territoires des UAFs de Lanaudière et du sud des Laurentides avec l'objectif de rétablir la connectivité entre les massifs de forêts matures et surannées de peuplements résineux et mixtes à dominance de résineux à moyen terme.

Notre procédure se présente en 4 étapes :

- 1) La première étape vise à produire un diagnostic de la fragmentation et la connectivité afin d'identifier les zones présentant des déficiences plus importantes. Pour l'analyse à cette étape, une analyse spatiale des patrons morphologiques (sensu Vogt 2009) des massifs forestiers du territoire est réalisée afin d'identifier les habitats fragmentés et ceux qui favorisent une meilleure connectivité. Cette analyse est effectuée à l'échelle des UAFs puis des UTRs afin de mieux localiser les zones problématiques.
- 2) La deuxième étape vise à quantifier la valeur de connectivité des taches d'habitats actuels et d'habitats potentiels pouvant contribuer à restaurer cette connectivité dans un horizon à moyen terme (20 à 30 ans). Les analyses effectuées à cette étape utilisent la théorie des graphes afin d'en découler un indice de connectivité attribuable à l'échelle de la tache.
- 3) La troisième étape propose une analyse multicritère afin d'évaluer l'importance relative des taches d'habitat potentiel pour la restauration de la connectivité, mais en tenant compte de plusieurs autres objectifs d'aménagement du territoire déjà spatialement localisés au plan d'affectation. Ces autres critères ont été identifiés et pondérés à l'aide des partenaires du projet. Cette analyse multicritère permet de mettre en ordre de priorité les taches potentielles pour la restauration.

4) Finalement, une analyse du rendement de la restauration de la connectivité est réalisée pour chaque UAF. On y présente des courbes d'amélioration de la connectivité en fonction des superficies restaurées, si celles-ci sont restaurées dans l'ordre de priorité proposé à l'étape précédente. Cette dernière analyse permet de mieux cerner le niveau optimal d'efforts requis pour restaurer la connectivité.

Livrables

Au terme de la réalisation de ce projet, en plus de ce rapport complet et des présentations (Power Point) déjà réalisées lors des rencontres précédentes, les partenaires recevront les autres livrables suivants :

- les fiches du diagnostic effectué à l'aide de Guidos pour chaque UAF et chaque UTR des 4 UAFs ;
- les fichiers géomatiques présentant le niveau de fragmentation de chaque UTR ;
- les fichiers géomatiques de chaque critère ayant servi à l'analyse multicritère ;
- les fichiers géomatiques présentant les valeurs de centralité (betweenness) ;

Méthodologie générale

Site d'étude

La procédure développée dans cette recherche a été appliquée à quatre UAFs, soit les UAFs 062-51 et 062-52 de la région de Lanaudière et les UAFs 062-52 et 061-51, du sud des Laurentides. L'UAF 062-51 se trouve dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'Est, plus spécifiquement dans les Hautes collines du Bas Saint-Maurice (3c). L'UAF 062-52 se trouve en grande partie par le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest (90%) et le reste de sa superficie fait partie du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'Est (10%). Elle chevauche deux régions écologiques: les Hautes collines du Bas-Saint-Maurice (3c) et les Collines du Moyen-Saint-Maurice (4c). L'UAF 064-52 se trouve dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest (3b) alors que l'UAF 061-51 appartient à trois sous-domaines bioclimatiques distincts, soit l'érablière à tilleul de l'ouest (2) (<1%), l'érablière à bouleau jaune de l'ouest (3b) (60 %) et l'érablière à bouleau jaune de l'est (3c) (40 %), dans les régions écologiques des Collines de la basse Gatineau (2a), les Collines du lac Nominique (3b) et les Hautes collines du Bas-Saint Maurice (3c).

Pour nos analyses, nous avons ajouté une zone tampon de 5 km autour de toutes ces UAFs afin d'inclure le contexte environnant ces territoires pour une évaluation plus juste de la connectivité (Figure 2) puisque les peuplements limitrophes à ces UAFs peuvent constituer des massifs intéressants pour lesquels il est important d'en évaluer le rôle sur la connectivité. De plus, il se peut que des fonctions de production de conservation importante soit associées à ces territoires, mais il est important de tenir compte des compatibilités de voisinage pour ces fonctions dans l'analyse multicritère.

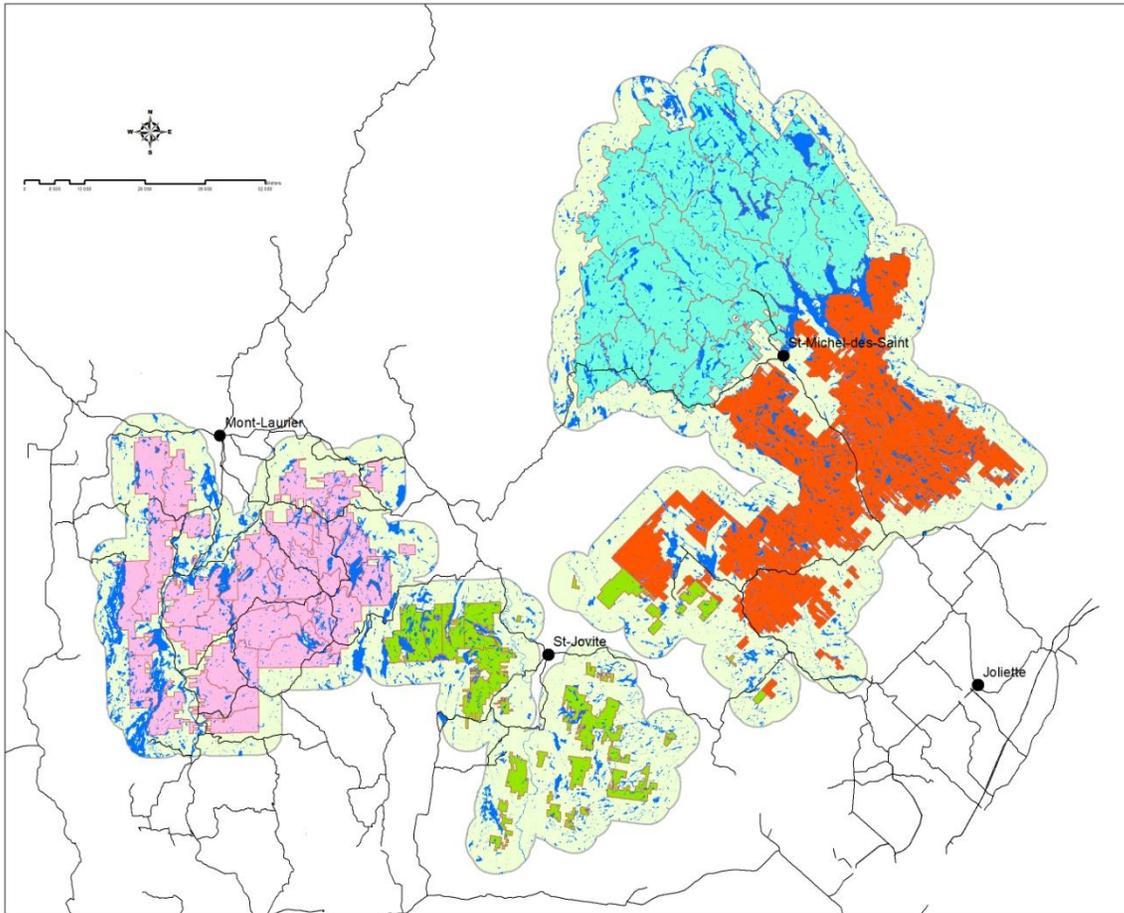


Figure 2. Le territoire d'étude comprend les UAFs 064-52 (rose), 061-51 (vert) des Laurentides et les UAFs 062-52 (bleu) et 062-51 (rouge) de Lanaudière avec une zone tampon de 5km autour de celles-ci.

Identification des taches d'habitats actuels

L'identification des taches d'habitats a été réalisée à partir des données des cartes écoforestières du MRNF (3^{ème} décennal pour les UAFs 062-51 & 062-52, 4^{ème} décennal pour les UAFs 061-51 et 064-52). Les peuplements mixtes à dominance résineuse et les peuplements résineux purs ont été les habitats sélectionnés pour ce diagnostic. La composition du groupe d'essences de la carte écoforestière a permis de sélectionner les peuplements rencontrant l'exigence de composition (Type de couvert R pour les résineux, type de couvert M et première essence nommée l'appellation cartographique est une essence résineuse). L'âge pour qu'un peuplement soit qualifié d'habitat mûr ou suranné a été déterminé en fonction de l'essence résineuse dominante dans le groupement d'essence (Annexe 1). Pour les peuplements classés avec deux classes d'âges, irrégulier ou inéquienne, un âge moyen leur a été attribué en conformité avec le jugement expert des intervenants du projet (

Annexe 2).

À partir de ces catégories de peuplement, quatre types d'habitats ont été définis pour le diagnostic des problèmes de connectivité :

- Peuplements résineux mûrs et surannés (R M-S);
- Peuplements résineux surannés (R S);
- Peuplements mixte à dominance résineuse + résineux mûrs et surannés (MR&R M-S);
- Peuplements mixte à dominance résineuse + résineux surannés (MR&R S);

Les peuplements résineux surannés constituent donc l'habitat le plus restrictif alors que les peuplements mixtes à dominance résineuse et résineux mûrs et surannés le moins restrictif des quatre types, car il comprend aussi les 3 autres types d'habitat.

Identification des taches d'habitats potentiels

L'importance qu'un type de communauté forestière donnée peut représenter dans un paysage dépend aussi bien de l'historique des perturbations que du potentiel des sites à supporter ce type de végétation. On s'attend donc à ce que les territoires du sud dans notre analyse soient moins appropriés pour supporter une grande quantité d'habitats résineux ou mixtes à dominance résineuse que les territoires plus au nord. Ainsi, il est important de diagnostiquer les problèmes de fragmentation et de connectivité des UAFs et des UTRs, de façon relative à la disponibilité potentielle en ces habitats plutôt que de façon absolue. Pour tenir compte de cet effet, nous avons réalisé une comparaison entre le portrait actuel de la distribution des habitats de forêts mûres et surannées de résineux et de mixtes à dominance résineuse et un portrait dit « optimal ». Ce portrait optimal suppose le cas où tous les sites qui sont de types écologiques menant à une végétation potentielle à couvert résineux ou mixte à dominance résineuse seraient en âge de respecter notre critère de statut « suranné » (et par conséquent, « mûr » aussi). Autrement dit, tous les types écologiques pouvant supporter les types de couvert R et MR par leur végétation potentielle (Annexe 3), deviennent des taches d'habitats potentiels.

Diagnostic des problèmes de connectivité avec le Logiciel GUIDOS

Objectifs

Le but de cette première partie vise à diagnostiquer les problèmes de connectivité sur les 4 UAFs de Lanaudière et des basses Laurentides. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- 1) Comparer la proportion du territoire dans les différentes classes morphologiques entre la distribution des habitats actuels et celle des habitats actuels et potentiels, tel qu'exprimé par la végétation potentielle des types écologiques;
- 2) Développer des indicateurs de connectivité basée sur les classes morphologiques;
- 3) Réaliser un diagnostic sur la base de ces indicateurs;
- 4) Mettre en ordre de priorité les UTRs des quatre UAFs en fonction de la problématique de connectivité diagnostiquée par les trois indicateurs.

Méthodologie

Aperçu du logiciel GUIDOS

GUIDOS (**Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes**) est un logiciel utilisé pour effectuer une analyse morphologique des patrons spatiaux des taches d'un paysage (Morphological Spatial Pattern Analysis) (Vogt *et al.* 2007a, Vogt *et al.* 2007b, Vogt *et al.* 2009). GUIDOS classe les taches en 7 différentes classes morphologiques en fonction de la forme de celles-ci (Figure 3). Ces classes sont :

- 1- Forêts d'intérieur : Massif forestier sans la lisière (core)
- 2- Lisière : Zone d'interface entre la portion habitat et non-habitat (edge)
- 3- Perforation : Îlot de non-habitat à l'intérieur d'un massif (perforation)
- 4- Ponts : Corridor reliant deux massifs, trop mince pour être considéré un massif (bridge)
- 5- Boucle : Corridor reliant un même massif (loop)
- 6- Branche : Corridor cul-de sac qui ne permet pas d'atteindre un autre massif (branch)
- 7- Îlot : îlot d'habitat trop petit et isolé pour être un massif (islet)

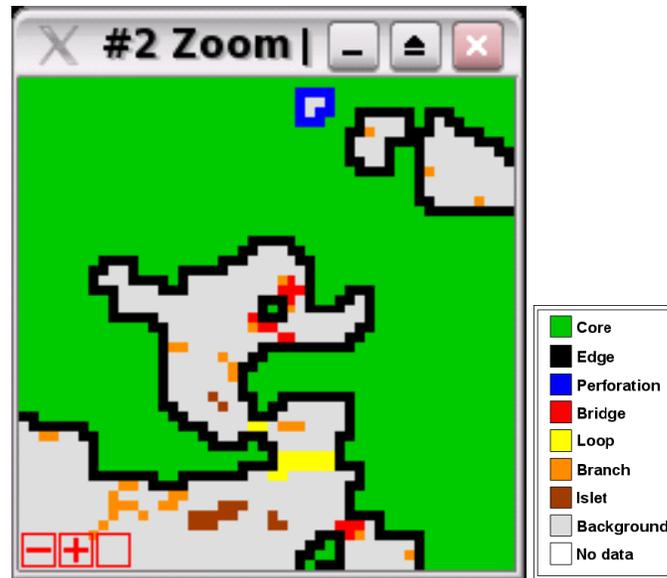


Figure 3. Exemple des analyses GUIDOS différents

Dans notre analyse, cette classification servira pour quantifier certains éléments spatiaux en lien avec la connectivité puisqu'il permet d'établir le nombre de pixel dans chaque classe morphologique. Cette information peut servir à titre de comparaison entre plusieurs paysages ou, dans le cas de ce projet, à évaluer le problème de connectivité entre les différentes UTRs de chaque UAF sous étude. Le Tableau 1 présente un exemple de données calculées par GUIDOS. Les pourcentages par classes morphologiques sont fonction de la quantité en habitat (Foreground) ou de la superficie de la zone étudiée (data area) et la quantité en nombre de pixel (Frequency). Dans l'exemple présenté au Tableau 1, les forêts d'intérieur couvrent 4181 pixels et composent 47% de l'habitat d'intérêt et 5.85% de la superficie du territoire.

Tableau 1. Exemple de données calculées par GUIDOS

| MSPA-class [color]: | Foreground/data area [%] | Frequency |
|---------------------|--------------------------|-----------|
| ===== | ===== | ===== |
| CORE [green]: | 47.10/ 5.85 | 4181 |
| ISLET [brown]: | 1.13/ 0.14 | 320 |
| PERFORATION [blue]: | 0.40/ 0.05 | 58 |
| EDGE [black]: | 36.83/ 4.58 | 3136 |
| LOOP [yellow]: | 0.44/ 0.05 | 275 |
| BRIDGE [red]: | 3.36/ 0.42 | 2158 |
| BRANCH [orange]: | 10.74/ 1.34 | 17142 |
| Background [grey]: | --- /87.57 | 632 |
| Missing [white]: | 54.15 | 4 |

Préparation des entrées de Guidos

Les couvertures des 6 types d'habitat (1 : MR+R mûrs et surannés actuels, 2 : R mûrs et surannés actuels, 3 : MR+R surannés actuels, 4 : R surannés actuels, 5 : MR+R potentiels, 6 : R potentiels) ont été réalisées

à partir des couvertures des polygones écoforestiers. Ces couvertures ont été transformées en mode matriciel (GRID) où les pixels représentant les habitats sont propices (1) ou non (0) (paysage binaire). La grandeur des pixels utilisée est de 40mX40m. Cette taille est considérée comme la largeur minimale pour être considérée comme un corridor permettant de connecter deux massifs. Par la suite, les GRIDS sont transformés en images (Format TIFF) afin de les soumettre à GUIDOS pour l'analyse des patrons morphologiques.

Statistique des sorties GUIDOS

Les analyses des sorties GUIDOS ont été réalisées à deux échelles, soit l'échelle de l'UAF et de l'UTR. L'analyse par UAF avec la zone tampon de 5 km permet d'avoir un aperçu des unités qui sont plus problématiques. L'approche par UTR sert à établir des priorités par UAF et ainsi permettre un niveau de connectivité plus uniforme à travers le paysage lors d'une démarche de restauration.

Trois indicateurs ont été développés à partir des sorties GUIDOS et ont servi à établir le diagnostic de la connectivité sur les différents UAFs et UTRs.

- 1) Le pourcentage d'habitat p/r à la superficie forestière productive;
- 2) Ratio de connectivité : Le ratio des pourcentages en classes morphologiques favorables à la connectivité (Intérieur + Boucle + Pont) sur celles défavorables (Branche + Bordure + Îlot + Perforation);
- 3) Ratio superficie en forêt d'intérieur sur la superficie en classes morphologiques favorables.

Ces trois indicateurs précisent de plus en plus le diagnostic. Le premier indicateur nous présente la quantité d'habitat, le deuxième le pourcentage de cet habitat favorable à la connectivité, et le troisième l'importance des forêts d'intérieur parmi les classes morphologiques favorables. Ainsi, il sera possible de départager ce qui contribue ou défavorise la connectivité d'un territoire. Rappelons que l'utilisation de ces indicateurs pour produire le diagnostic se fait dans un contexte comparatif aux habitats potentiels, tel que décrit par les types écologiques.

La Figure 4 présente une fiche diagnostic typique pour une UAF (le même exercice peut se faire à l'échelle de l'UTR) avec l'image de la distribution des différentes classes morphologiques et les différents paramètres qui sont évalués par GUIDOS. Les indicateurs pour établir le diagnostic sont tirés de ces analyses directement ou en établissant un calcul à partir de différents paramètres énumérés ci-haut. L'ensemble des fiches qui présentent les résultats du diagnostic réalisé à l'aide de GUIDOS par UAF se trouvent dans le document « Fiche diagnostic GUIDOS _UAF.docx » et par UTR dans le fichier « Fiche diagnostic GUIDOS _UTR.docx ». Ces deux fichiers accompagnent ce rapport (voir CD en pochette de ce rapport).

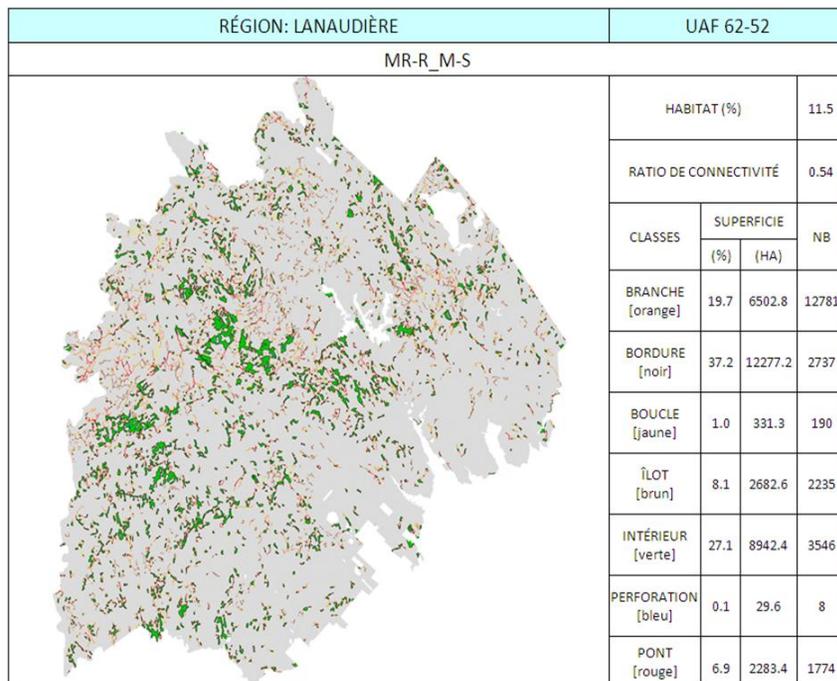


Figure 4. Exemple d'une fiche de diagnostic réalisée à l'aide de GUIDOS pour l'UAF 062-52, pour l'habitat mixte à dominance résineuse + résineux mûrs et surannés (MR-R_M-S). Les codes de couleur indiquant les classes morphologiques sont les mêmes qu'à la Figure 3.

Dans cet exemple présenté à la Figure 4, on constate que 11.5 % de l'UAF 62-52 est constitué de l'habitat ici analysé, soit MR&R_M-S. Un peu plus de la moitié de la superficie en habitat est conçue et de classes morphologiques favorables à la connectivité (ratio de connectivité= 0.54), représentée principalement par les habitats d'intérieur (27%) et les ponts (6.9%).

Diagnostic de la problématique par UTR

Afin de faciliter l'interprétation combinée de ces trois indicateurs (% habitat, ratio de la superficie en classes morphologiques favorables sur celle des classes morphologiques défavorables, ratio de la superficie en forêt d'intérieur sur la superficie en classes morphologiques favorables) utilisés pour le diagnostic des problèmes de connectivité dans les UTR, nous avons dans un premier temps relativisé la valeur de l'indicateur par rapport à celle observée pour les habitats potentiels, tel que décrit par les types écologiques. Dans un second temps, nous avons mis en ordre croissant chacun des 3 indicateurs ainsi relativisé (facteur combiné). Puis, nous avons additionné, pour chaque UTR, les rangs obtenus de chacun des 3 indicateurs relativisés pour l'UTR.

Le Tableau 2 présente un exemple pour l'UAF 061-51 avec différentes UTRs. On y remarque que l'UTR 1028 de l'UAF 61-51 (représentée à la Figure 5) obtient des rangs élevés pour les 3 indicateurs relativisés, particulièrement pour les habitats MR&R S (rangs 89, 86 et 87, somme des rangs=262 → code rouge=critique) alors que l'UTR 1029 obtient des rangs faibles pour les 3 indicateurs relativisés, particulièrement pour les habitats MR&R M-S (rangs 15, 17 et 9, somme des rangs=41 → code vert foncé=négligeable).

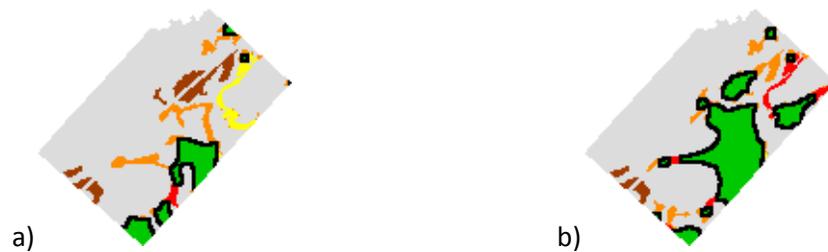


Figure 5. Répartition des classes morphologiques de l'UTR UAF_6151_1028 pour l'habitat MR&R M-S. Les codes de couleur indiquant les classes morphologies sont les mêmes qu'à la Figure 3.

Tableau 2. Exemple de résultats des indicateurs GUIDOS et du facteur combiné pour les MR&R M_S et S de la 61-51.

Le code de couleur représente des catégories de degré d'altération. Vert foncé= négligeable; Vert pâle=modéré; Jaune=Important; Orange= très important; Rouge =critique.

| UAF | UTR | HABITAT_% | | R_supFav/supNFav | | R_supINT/supFav | | Facteur combiné | |
|----------|------|-----------|----|------------------|----|-----------------|----|-----------------|-----|
| | | M-S | S | M-S | S | M-S | S | M-S | S |
| Uaf_6151 | 1015 | 23 | 89 | 19 | 86 | 4 | 87 | 46 | 262 |
| Uaf_6151 | 1026 | 2 | 2 | 1 | 1 | 52 | 54 | 55 | 57 |
| Uaf_6151 | 1027 | 16 | 41 | 41 | 56 | 88 | 79 | 145 | 176 |
| Uaf_6151 | 1028 | 73 | 89 | 73 | 86 | 78 | 87 | 224 | 262 |
| Uaf_6151 | 1029 | 15 | 40 | 17 | 46 | 9 | 17 | 41 | 103 |
| Uaf_6151 | 1030 | 43 | 57 | 14 | 45 | 92 | 60 | 149 | 162 |

Résultats et discussion

À l'échelle de l'UAF

a) Habitat disponible

La problématique de la disponibilité en habitat varie selon les UAFs et le type d'habitat et le potentiel des sites (Tableau 3). En premier lieu, on note que le potentiel, selon les types écologiques, en habitat mixte à dominance résineuse ou résineux est le plus élevé dans l'UAF 062-52 alors que c'est dans cette UAF que les habitats actuels sont en moindre importance. Conséquemment, c'est dans cette UAF que les problèmes de connectivité par rapport au potentiel du territoire seront jugés les plus importants. On trouve amplement d'habitats mûrs et surannés MR-R dans les UAFs 061-51, 064-52, 062-51 par rapport au potentiel des sites. Cependant, en ce qui concerne 062-52, la représentativité de cet habitat actuel est moins du tiers du potentiel. Lorsqu'on regarde les mixtes à dominance résineuse et résineux surannés, la problématique devient aussi marquée pour l'autre UAF de Lanaudière, soit la 062-51. Pour les habitats résineux seulement, la problématique est importante pour l'ensemble des UAFs, surtout lorsqu'on s'attarde à détailler l'importance de la classe d'âge « surannés ». C'est encore dans Lanaudière que l'abondance de ce type d'habitat est le plus faible de façon absolu et de façon relative au potentiel selon les types écologiques.

Tableau 3. Indicateurs de la connectivité pour les quatre UAFs étudiées dans ce projet.

| UAF | Habitat : | Actuel | | | | Potentiel | |
|--------|-----------------------------|--------|------|------|------|-----------|------|
| | | MR-MS | MR-S | R-MS | R-S | MR-TE | R-TE |
| 061-51 | % HABITAT | 9.7 | 5 | 2.5 | 1.2 | 4.7 | 4.6 |
| | % CM ¹ favorable | 32.5 | 27.4 | 22.8 | 21.8 | 28.4 | 27.8 |
| | % CM défavorable | 67.5 | 72.6 | 77.2 | 78.3 | 71.5 | 72.2 |
| | Ratio de connectivité | 0.48 | 0.38 | 0.3 | 0.28 | 0.4 | 0.39 |
| | Ratio d'intérieur | 79.4 | 79.9 | 77.6 | 81.7 | 85.6 | 85.3 |
| 064-52 | % HABITAT | 12 | 8.3 | 3.9 | 2.6 | 9.8 | 9.8 |
| | % CM favorable | 31.7 | 28 | 27.3 | 24.3 | 32.8 | 32.8 |
| | % CM défavorable | 68.3 | 72 | 72.8 | 75.8 | 67.3 | 67.3 |
| | Ratio de connectivité | 0.46 | 0.39 | 0.37 | 0.32 | 0.49 | 0.49 |
| | Ratio d'intérieur | 76.3 | 73.2 | 80.6 | 79.4 | 80.8 | 80.8 |
| 062-51 | % HABITAT | 15.6 | 2.4 | 3.3 | 0.6 | 12.3 | 9.2 |
| | % CM favorable | 42.3 | 33 | 31.1 | 27 | 49.9 | 44.9 |
| | % CM défavorable | 57.7 | 67.1 | 69 | 73 | 50.3 | 55.2 |
| | Ratio de connectivité | 0.73 | 0.49 | 0.45 | 0.37 | 0.99 | 0.81 |
| | Ratio d'intérieur | 83.2 | 79.7 | 78.1 | 74.1 | 92.0 | 89.8 |
| 062-52 | % HABITAT | 11.5 | 1.7 | 5.1 | 0.8 | 36.5 | 19.6 |
| | % CM favorable | 35 | 26.8 | 30.9 | 21.7 | 66.9 | 51.8 |
| | % CM défavorable | 65.1 | 73.3 | 69.1 | 78.4 | 33.1 | 48.2 |
| | Ratio de connectivité | 0.54 | 0.37 | 0.45 | 0.28 | 2.01 | 1.07 |
| | Ratio d'intérieur | 77.4 | 74.3 | 74.8 | 63.6 | 96.1 | 90.0 |

¹CM=Classe morphologique

MR= peuplements résineux et mixtes à dominance résineuse, R= peuplements résineux, MS= murs et surannés, S= surannés, TE= végétations potentielles. Les chiffres soulignés indiquent un problème potentiel de connectivité p/r aux habitats potentiels.

b) Ratio de connectivité

L'indicateur du ratio de connectivité, qui est calculé à partir du ratio de la superficie occupée par les classes morphologiques favorables (forêt intérieur, pont, boucle) divisée par celle des classes morphologiques défavorables (lisière, branche, îlots, perforation), nous indique que le problème de connectivité est surtout plus important dans l'UAF 062-52 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En effet, si tous les sites potentiels supportaient l'habitat désiré, il y aurait deux fois plus de superficie en classe morphologique favorable vs les classes morphologiques défavorables pour les habitats résineux et mixtes à dominance résineuse (2.01) et la même proportion des deux types de classes morphologiques pour ce qui est des habitats résineux seulement (1.07). Cependant, le ratio de connectivité pour cette UAF nous montre que les habitats actuels ont deux fois plus de superficie en classes morphologiques défavorables (MR=0.54 et R=0.45). Pour l'UAF 062-51, dans cette comparaison entre les habitats actuels et potentiels, on note aussi une plus grande importance des proportions des classes morphologiques défavorables pour les habitats résineux et mixtes à dominance résineuse surannés (0.40 vs. 0.99) et les habitats résineux murs et surannés (0.45 vs. 0.81) que ceux surannés (0.37 vs. 0.81). Pour ce qui est des UAFs des Laurentides, les différences sont beaucoup moins marquées.

c) Le ratio d'intérieur

Le ratio des forêts d'intérieur sur l'ensemble des classes morphologiques favorables est moins discriminant du niveau des problèmes de connectivité entre les UAFs. En comparant les habitats potentiels vs les habitats actuels, on constate néanmoins que les forêts d'intérieur contribuent de façon de moins en moins importante, peu importe le type d'habitat, dans l'ordre suivant des UAFs : 064-52 -> 061-51 -> 062-51 -> 062-52.

À l'échelle de l'UTR

Le même exercice a été réalisé à l'échelle des UTR. L'objectif ici n'est pas de détailler le diagnostic pour chacune des UTRs tel qu'on peut le retrouver dans les fiches mais plutôt de mettre en ordre de priorité chacune de celle-ci en termes de problématiques de connectivité. Le tableau présenté à l'Annexe 4 renseigne sur les trois indicateurs pour chacun des quatre types d'habitats. L'utilisation combinée des trois indicateurs a permis de qualifier l'importance de problématiques de connectivité de chacune des UTRs, et cela pour chacun des quatre types d'habitat (Tableau 4). À l'observation des codes de couleur, on note rapidement que les problèmes de connectivité, toujours dans un contexte de comparaison avec la végétation potentielle que les types écologiques devraient supporter, sont plus importants dans les UAFs 62-51 et 62-52.

Tableau 4. Ordre en priorité des problématiques de connectivité par UTR pour chacun des quatre types d'habitat (MR&R M-S, MR&R S, R M-S, R S) et combinée pour tous les habitats. Les chiffres du tableau représentent la somme des rangs de priorité pour chacun des trois indicateurs. Le code de couleur représente des catégories de degré d'altération. Vert foncé= négligeable; Vert pâle=modéré; Jaune=Important; Orange= très important; Rouge =critique.

| UTR | MR&R M-S | MR&R S | R M-S | R S | Tous les habitats |
|---------------|----------|--------|-------|-----|-------------------|
| utr_6151_1001 | 108 | 62 | 196 | 140 | 506 |
| utr_6151_1002 | 104 | 76 | 203 | 227 | 610 |
| utr_6151_1003 | 155 | 110 | 178 | 125 | 568 |
| utr_6151_1004 | 193 | 138 | 208 | 165 | 704 |
| utr_6151_1005 | 127 | 261 | 55 | 149 | 592 |
| utr_6151_1006 | 91 | 106 | 51 | 85 | 333 |
| utr_6151_1007 | 127 | 185 | 55 | 150 | 517 |
| utr_6151_1008 | 106 | 186 | 56 | 152 | 500 |
| utr_6151_1009 | 35 | 69 | 45 | 128 | 277 |
| utr_6151_1010 | 64 | 78 | 159 | 129 | 430 |
| utr_6151_1011 | 164 | 98 | 130 | 98 | 490 |
| utr_6151_1012 | 38 | 27 | 184 | 153 | 402 |
| utr_6151_1013 | 74 | 54 | 55 | 46 | 229 |
| utr_6151_1014 | 133 | 149 | 55 | 148 | 485 |
| utr_6151_1015 | 47 | 190 | 51 | 160 | 448 |
| utr_6151_1016 | 109 | 93 | 110 | 147 | 459 |
| utr_6151_1017 | 88 | 51 | 102 | 111 | 352 |
| utr_6151_1018 | 37 | 253 | 55 | 188 | 533 |
| utr_6151_1019 | 254 | 196 | 155 | 169 | 774 |
| utr_6151_1020 | 49 | 35 | 76 | 71 | 231 |
| utr_6151_1021 | 100 | 139 | 116 | 102 | 457 |
| utr_6151_1022 | 152 | 165 | 178 | 167 | 662 |
| utr_6151_1023 | 99 | 103 | 112 | 121 | 435 |
| utr_6151_1024 | 168 | 143 | 55 | 68 | 434 |
| utr_6151_1025 | 159 | 154 | 236 | 151 | 700 |
| utr_6151_1026 | 50 | 66 | 51 | 38 | 205 |
| utr_6151_1027 | 149 | 204 | 156 | 165 | 674 |
| utr_6151_1028 | 250 | 200 | 191 | 174 | 815 |
| utr_6151_1029 | 47 | 122 | 150 | 125 | 444 |
| utr_6151_1030 | 158 | 185 | 126 | 144 | 613 |
| utr_6251_2001 | 176 | 192 | 52 | 162 | 582 |
| utr_6251_2002 | 169 | 71 | 55 | 68 | 363 |
| utr_6251_2003 | 149 | 187 | 263 | 154 | 753 |
| utr_6251_2004 | 75 | 188 | 69 | 159 | 491 |

| | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|------|
| utr_6251_2005 | 116 | 111 | 75 | 99 | 401 |
| utr_6251_2006 | 126 | 137 | 26 | 217 | 506 |
| utr_6251_2007 | 52 | 95 | 47 | 68 | 262 |
| utr_6251_2008 | 180 | 177 | 146 | 182 | 685 |
| utr_6251_2010 | 108 | 126 | 128 | 156 | 518 |
| utr_6251_2011 | 155 | 169 | 172 | 156 | 652 |
| utr_6251_2012 | 83 | 200 | 164 | 188 | 635 |
| utr_6251_2013 | 167 | 71 | 55 | 68 | 361 |
| utr_6251_2014 | 203 | 197 | 209 | 173 | 782 |
| utr_6251_2015 | 125 | 195 | 92 | 168 | 580 |
| utr_6251_2016 | 127 | 150 | 156 | 163 | 596 |
| utr_6251_2017 | 57 | 142 | 125 | 125 | 449 |
| utr_6251_2018 | 105 | 180 | 162 | 126 | 573 |
| utr_6251_2019 | 6 | 184 | 206 | 146 | 542 |
| utr_6251_2020 | 76 | 163 | 207 | 175 | 621 |
| utr_6251_2021 | 148 | 153 | 249 | 205 | 755 |
| utr_6251_2022 | 193 | 152 | 270 | 175 | 790 |
| utr_6251_2023 | 145 | 175 | 117 | 196 | 633 |
| utr_6251_2024 | 169 | 251 | 200 | 192 | 812 |
| utr_6251_2025 | 175 | 184 | 214 | 159 | 732 |
| utr_6251_2026 | 236 | 261 | 226 | 171 | 894 |
| utr_6251_2027 | 276 | 222 | 240 | 157 | 895 |
| utr_6251_2028 | 270 | 188 | 160 | 234 | 852 |
| utr_6251_2029 | 255 | 179 | 305 | 155 | 894 |
| utr_6251_2030 | 221 | 206 | 259 | 166 | 852 |
| utr_6251_2031 | 257 | 287 | 242 | 249 | 1035 |
| utr_6251_2032 | 258 | 268 | 272 | 247 | 1045 |
| utr_6251_2033 | 64 | 38 | 45 | 37 | 184 |
| utr_6251_2034 | 234 | 194 | 229 | 164 | 821 |
| utr_6251_2035 | 206 | 142 | 173 | 163 | 684 |
| utr_6251_2036 | 136 | 71 | 93 | 68 | 368 |
| utr_6252_1014 | 257 | 243 | 241 | 172 | 913 |
| utr_6252_1015 | 263 | 210 | 261 | 186 | 920 |
| utr_6252_1017 | 269 | 207 | 249 | 161 | 886 |
| utr_6252_1018 | 125 | 189 | 200 | 158 | 672 |
| utr_6252_2001 | 296 | 260 | 253 | 202 | 1011 |
| utr_6252_2002 | 271 | 244 | 248 | 189 | 952 |
| utr_6252_2003 | 287 | 252 | 198 | 200 | 937 |
| utr_6252_2004 | 276 | 190 | 220 | 248 | 934 |
| utr_6252_2005 | 253 | 229 | 186 | 201 | 869 |
| utr_6252_2006 | 230 | 244 | 186 | 196 | 856 |
| utr_6252_2007 | 260 | 267 | 214 | 230 | 971 |

| | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|------|
| utr_6252_2008 | 251 | 215 | 194 | 215 | 875 |
| utr_6252_2009 | 292 | 204 | 244 | 166 | 906 |
| utr_6252_2010 | 313 | 275 | 291 | 224 | 1103 |
| utr_6252_2011 | 307 | 256 | 282 | 208 | 1053 |
| utr_6252_2012 | 302 | 236 | 276 | 184 | 998 |
| utr_6252_2013 | 254 | 168 | 217 | 170 | 809 |
| utr_6252_2016 | 268 | 259 | 254 | 167 | 948 |
| utr_6452_1001 | 179 | 139 | 249 | 177 | 744 |
| utr_6452_1002 | 210 | 203 | 174 | 158 | 745 |
| utr_6452_1003 | 159 | 108 | 129 | 109 | 505 |
| utr_6452_1004 | 154 | 143 | 106 | 94 | 497 |
| utr_6452_1005 | 103 | 80 | 153 | 133 | 469 |
| utr_6452_1006 | 124 | 128 | 141 | 147 | 540 |
| utr_6452_1007 | 144 | 96 | 188 | 122 | 550 |
| utr_6452_1008 | 120 | 100 | 153 | 102 | 475 |
| utr_6452_1009 | 148 | 107 | 207 | 134 | 596 |
| utr_6452_1010 | 117 | 99 | 151 | 143 | 510 |
| utr_6452_1011 | 119 | 82 | 133 | 107 | 441 |
| utr_6452_1012 | 54 | 95 | 109 | 123 | 381 |
| utr_6452_1013 | 174 | 135 | 126 | 102 | 537 |
| utr_6452_1014 | 112 | 80 | 92 | 70 | 354 |
| utr_6452_1015 | 165 | 124 | 182 | 129 | 600 |
| utr_6452_1016 | 158 | 100 | 128 | 91 | 477 |
| utr_6452_1017 | 169 | 120 | 162 | 115 | 566 |
| utr_6452_1018 | 94 | 53 | 167 | 107 | 421 |
| utr_6452_1019 | 57 | 148 | 52 | 113 | 370 |
| utr_6452_1020 | 186 | 186 | 173 | 137 | 682 |
| utr_6452_1021 | 198 | 175 | 174 | 155 | 702 |
| utr_6452_1022 | 179 | 151 | 100 | 86 | 516 |

Cette information nous a permis de produire des cartes qui présentent les priorités de différents secteurs par UAF pour les quatre catégories d'habitat (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Par exemple, on observe à la Figure 6 une gradation de couleur à cinq niveaux (négligeable, modéré, important, très important, et critique) qui indique l'importance de la problématique de connectivité de chacune des UTRs de l'UAF 62-51 pour la catégorie Mixte Résineux – Résineux Mature et Surannée (MR&R M-S). Dans cet exemple, la problématique de la connectivité interprétée par le facteur combiné serait plus importante dans les UTR du nord, et le serait moins, au fur et à mesure que l'on se déplace vers le sud de l'UAF.

Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme cartographique (images pour chaque UAF et chaque type d'habitat dans le répertoire : Analyse\Guidos\Cartes des de la pondération des problèmes

de connectivité) et dans les couches géomatiques dans le CD accompagnant ce rapport (**Projet ArcGis : AMC.mxd; DataFrame : Analyse Multicritère; Layer : Problématique par UTR**)

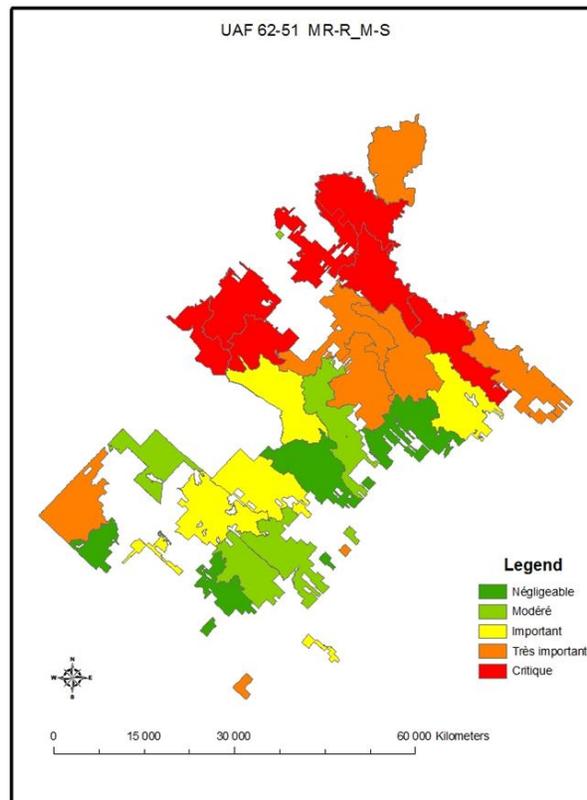


Figure 6. Importance relative des problèmes de connectivité par UTR tel que diagnostiqué à l'aide des classes morphologiques pour l'UAF 62-51 pour l'habitat mixte résineux et résineux pour les classes d'âge mature et surannée (MR&R M-S).

Évaluation de l'importance des taches potentielles pour la restauration de la connectivité à l'aide des réseaux de graphes

Objectifs

Pour cette deuxième partie, nous utilisons la théorie des réseaux de graphes pour évaluer la restauration de la connectivité à l'aide des habitats potentiels. Plus spécifiquement, les objectifs sont :

- 1) D'estimer le coût de friction de déplacement pour les différents types d'habitats rencontrés sur les territoires ;
- 2) D'extraire les réseaux de graphes et de les traduire en modèles mathématiques ;
- 3) D'évaluer le potentiel de restauration de la connectivité par l'analyse des liens et des grappes ;
- 4) D'évaluer, à l'aide d'une métrique de connectivité des réseaux de graphes, la valeur de chacune des taches d'habitats potentiels pour la restauration de la connectivité.

Méthodologie

La matrice de friction

Avec la théorie des réseaux de graphe, la connectivité d'un paysage est déterminée par les liens entre les nœuds du graphe. Les liens représentent le coût du déplacement entre deux nœuds. Autrement dit, la perméabilité (ou son inverse, la friction) du terrain en fonction des capacités de déplacement de chaque organisme. Le coût peut refléter des quantités telles que l'énergie du déplacement ou le risque de mortalité (Fall *et al.* 2007). Dans cette étude, les liens entre les massifs représentent effectivement le coût du déplacement, c'est-à-dire la possibilité de traverser un terrain inhospitalier, présentant un risque de prédation, des ressources plus limitées pour s'alimenter, des entraves physiques, ou des conditions environnementales (sèches, chaudes, froides, etc.) rendant le déplacement plus difficile.

Afin de refléter ces coûts de déplacement, une matrice de friction a été générée. Pour ce faire nous avons attribué des valeurs de friction aux différents types d'habitats à l'aide des experts du MRN participant à ce projet. Pour les habitats forestiers, la règle a été basée sur la différence entre l'habitat évalué et celui de référence, soit résineux mur et suranné. Ainsi, plus l'habitat est de composition feuillue et plus il est jeune, plus l'habitat offre une friction pour la connectivité. Les valeurs de friction sont présentées au Tableau 5. On y constate que les habitats résineux ou mixtes à dominance résineux mûrs et surannés ont une valeur de 1 et que les ouvertures de feuillus ou une valeur de 4, ce qui revient à dire qu'il en coûte 4 fois plus dans ce dernier habitat que dans l'habitat de référence pour s'y déplacer. De plus, les peuplements ayant une faible densité (C ou D) ou ayant été récemment traité par coupe partielles (voilà moins de 10 ans) offre une qualité d'habitat moindre (une valeur de 0.5 de friction est alors ajouté dans ces deux cas). On peut trouver en Annexe 5. les liens entre les classes d'habitat utilisées pour attribuer le coût de friction des peuplements forestiers dans le Tableau 5 et les codes

d'appellation cartographiques identifiant les peuplements dans l'inventaire écoforestier. Une valeur de friction a aussi attribuée aux habitats non-forestiers (Tableau 6). Ces tables ont permis d'attribuer une valeur de coût de friction à chacun des pixels de la zone d'étude (Figure 7), ce qui sera utilisé à l'étape suivante pour le calcul de la longueur des liens entre les massifs lors de l'extraction du réseau de graphe.

Tableau 5. Valeur de friction des peuplements forestiers en fonction de la composition et la classe d'âge.

| Stade | Âge | Sous-type de composition | | | | | | |
|---|---------------|--------------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| | | FI | FT | MFI | MFT | MR | RM | RB |
| Ouverture (coupe ou pert. catast.) | Pas de classe | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Bas perchis/Basse futaie | J | 3.0 | 3.0 | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Futaie | M | 2.0 | 2.0 | 1.75 | 1.75 | 1.5 | 1.0 | 1.0 |
| Haute futaie, Futaie irrégulière/inéquienne | V | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

Tableau 6. Valeur de friction des habitats non-forestiers.

| Habitat non-forestier | Code | Sup. (ha) | Friction |
|---|------|-----------|----------|
| Terre agricole | A | 48 | 10 |
| Terrain agricole localisé dans les secteurs agro-forestiers | AF | 6927 | 10 |
| Aulnaie | AL | 2325 | 3 |
| Milieu fortement perturbé par l'activité humaine | ANT | 3318 | 5 |
| Piste de ski | CS | 250 | 4 |
| Centre urbain | CU | 113 | 10 |
| Dénudé et semi-dénudé humide | DH | 2649 | 3 |
| Dénudé et semi-dénudé sec | DS | 201 | 4 |
| Eau, lac, rivière | EAU | 28398 | 10 |
| Gravière | GR | 544 | 10 |
| Habitation permanente | HAB | 5 | 10 |
| île boisée de 1 ha et moins | ILE | 130 | 2 |
| Site inondé | INO | 5770 | 6 |
| Ligne de transport de l'énergie | LTE | 1304 | 4 |
| Milieu faiblement perturbé par l'activité humaine | NF | 3062 | 3 |
| Inclusion non exploitable à l'intérieur d'un traitement sylvicole | NX | 24 | 2 |
| Route et autoroute (emprise) | RO | 337 | 10 |
| Villégiature (partie déboisée) | VIL | 506 | 7 |
| Linéaire - Ruisseau | | | NA |
| Linéaire - Route classe 1 | | | 10 |
| Linéaire - Route classe 2 | | | 8 |
| Linéaire - Route classe 3 | | | 6 |
| Linéaire - Route classe 4 | | | 3 |
| Linéaire - Ligne hydro-électrique | | | 4 |

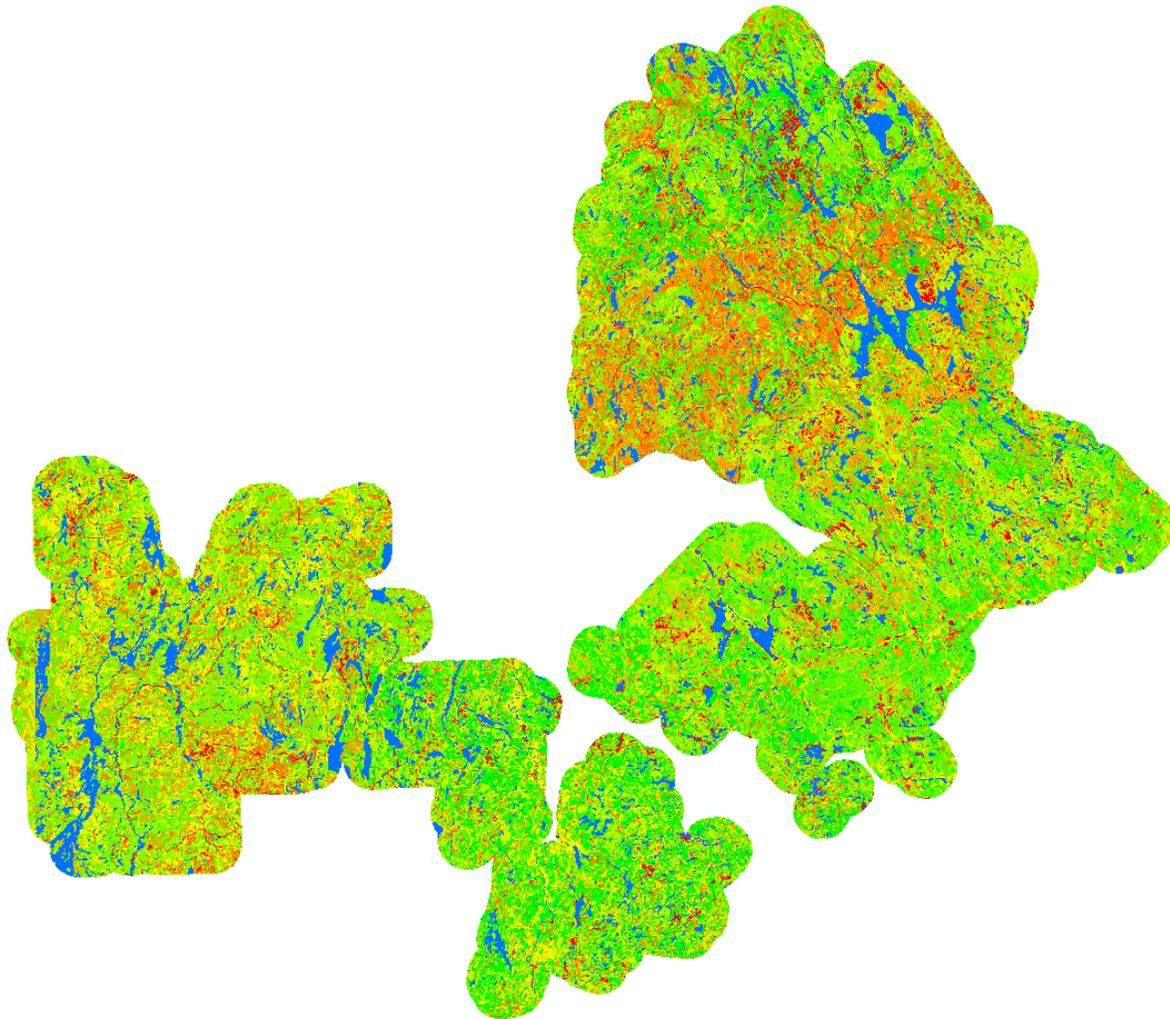


Figure 7. Carte des coûts de friction pour les 4 UAFs.

Identification des taches actuelles et potentielles

Pour réaliser l'extraction du réseau de graphe, nous avons considéré tous les habitats actuels qui répondent à la caractéristiques de l'habitat le moins restrictif, c'est-à-dire, les MR&R M-S, et tous les habitats qui pourront potentiellement devenir ce type d'habitat (mûrs) dans les prochains vingt ans se situant sur des types écologiques menant à des végétation potentielles MR ou R. Cette opération d'identification des habitats potentiels incluent aussi les mixtes à dominance de feuillus (MF) sur les types écologiques retenus, puisque nous considérons que ceux-ci pourront être convertis en MR à l'aide d'une éclaircie de conversion. Cependant, les peuplements mixte à dominance feuillue (MF) ne doivent pas être dans les zone de protections sans prélèvement puisque des opérations forestières seront nécessaires pour les transformer en mixte à dominance résineuse. Cependant, les peuplements mixtes à dominance feuillue (MF) ne doivent pas être dans les zone de protections sans prélèvement plus

qu'aucune opération forestière ne pourra être effectuée pour les transformer en mixte à dominance résineuse.

Les tâches ont été individuellement identifiées spatialement en croisant les cinq informations suivantes :

Le type écologique : soit MR ou R ;

Le type de peuplement : soit MF, MR ou R;

Le temps pour devenir un habitat mûr : soit 0, 10 ans, 20 ans;

La classe de productivité : soit faible, modéré et élevé. (Voir pour comprendre comment les classes de productivité ont été attribuées);

Et sa susceptibilité à la TBE (voir Annexe 8 pour la sévérité des TBE)

Ainsi, chaque combinaison spatialement de ces cinq stratificateurs a constitué une tâche individuelle. Il est ainsi cependant possible que de tâches soient contiguës.

La distribution des tâches d'habitat actuel et potentielles peut être consultée dans les couches géomatiques dans le CD accompagnant ce rapport (**Projet ArcGis** : Réseau de graphes.mxd; **DataFrame** : (Chaque UAF est un Data Frame); **Layers** : Taches (actuelles et potentielles)).

L'extraction du réseau de graphe

Nous avons utilisé le programme SELES (Spatially Explicit Landscape Event Simulator; Fall and Fall 2001; <http://www.seles.info>) pour analyser la structure du paysage et extraire le réseau de graphe. SELES est un outil pour simuler des dynamiques paysagères spatialement explicites. Il est très utilisé pour modéliser le rôle des perturbations sur la structure du paysage. SELES intègre un système d'information géographique et aussi un outil pour l'analyse des réseaux de graphes (Falls *et al.* 2007). Nous nous en sommes servis pour extraire le graphe spatial et générer un ensemble de fichiers contenant les caractéristiques de tous les massifs et les liens possibles entre eux. Ces caractéristiques, telles que la taille du massif et la longueur du lien, permettent, et cela pour différentes distances de connexion maximales possibles, d'évaluer la connectivité du paysage avec les mesures de réseau de graphe. Il est important ici de mentionner que la longueur des liens est calculée de *bordure à bordure* et non de *centroïde à centroïde*, comme il est souvent le cas avec d'autres outils d'extraction de réseau de graphe. Cela a l'avantage de ne pas considérer les déplacements à l'intérieur des habitats préférés. Pour cette opération d'extraction du réseau de graphe, nous avons utilisé le graphe planaire maximal (MPG) pour chaque UAF, qui considère l'ensemble maximal de liens directs et non-croisés entre les massifs. On peut voir un exemple du résultat à la Figure 8 ainsi qu'à la Figure 9.

Les réseaux de graphes planaires maximaux de base (sans seuil de distance) peuvent être consulté dans les couches géomatiques dans le CD accompagnant ce rapport (**Projet ArcGis** : Réseau de graphes.mxd; **DataFrame** : (Chaque UAF est un Data Frame); **Layers** : Taches (actuelles et potentielles), liens (*linkidmpg* « UAF »), *cout de friction* (*cout_* « UAF »)).

Évaluation de la métrique de centralité des habitats potentiels

Plusieurs mesures peuvent être déduites de l'analyse des réseaux de graphes pour quantifier la connectivité d'un habitat (Rayfield *et al.* 2011). De plus, celles-ci peuvent s'appliquer à l'échelle de la tache, de la grappe ou à l'ensemble du réseau de graphe. Une première famille de mesures est dite « topologique », car elles ne considèrent que la présence ou l'absence d'un lien entre les nœuds. Cependant pour notre cas particulier, nous avons utilisé la métrique de centralité (*betweenness*). Pour chaque UAF, nous avons calculé la valeur de centralité à l'aide de la fonction *betweenness_igraph*. La centralité est définie comme le nombre (ou la proportion) de paires de chemins géodésiques du réseau qui transitent par un nœud focal. La valeur de centralité obtenue nous a permis d'ordonner les massifs en considérant leur contribution potentielle à la connectivité du paysage.

Considération des différentes capacités de déplacement des espèces

Puisque la connectivité d'un paysage varie selon les capacités de déplacement d'une espèce, nous avons examiné dans la présente analyse trois différents seuils de distance de déplacement. Un premier seuil vise à représenter des espèces peu mobiles qui sont dépendantes de ce type d'habitat, comme le campagnol à dos roux (*Myodes gapperi*), anciennement *Clethrionomys gapperi*). Pour ce type d'espèces, nous avons établi le seuil à 500 m. Pour représenter les espèces moyennement mobiles qu'on trouverait associées à cet habitat, tel le Tétrás du Canada (*Falci pennis canadensis*), un seuil de 2 km a été fixé. Et finalement, pour des espèces hautement mobiles (ex. la martre d'Amérique, *Martes americana*), un seuil de 5 km a été utilisé.

Le graphe planaire maximal (MPG) extrait par SELES a été fait sans limite de déplacement comme base pour construire les trois réseaux de graphes correspondant à chaque seuil de distance (5 km, 2 km et 500 m). Une fois les fichiers de massifs et de liens obtenus dans SELES, nous avons utilisé le logiciel de statistique R pour toutes les analyses suivantes. R est un logiciel libre d'accès de calculs et graphiques statistiques (www.r-project.org/). Plus particulièrement, nous avons utilisé le package *igraph*, un logiciel gratuit permettant de créer et manipuler des réseaux de graphes. *Igraph* permet, entre autres le traitement rapide de graphes de grandes envergures, avec des millions de massifs et de liens.

Nous avons ajusté les réseaux de graphes pour les différents seuils de distance (500 m, 2 km et 5 km) simplement en éliminant les liens plus grands que ces seuils directement dans *Igraph*. *Igraph* a permis de calculer la valeur de centralité de chaque massif ainsi que le nombre de grappes (un ensemble de massifs connectés) pour chaque combinaison graphe/seuil de distance de déplacement/UAF. En outre, nous avons aussi obtenu le nombre de liens entre les massifs.

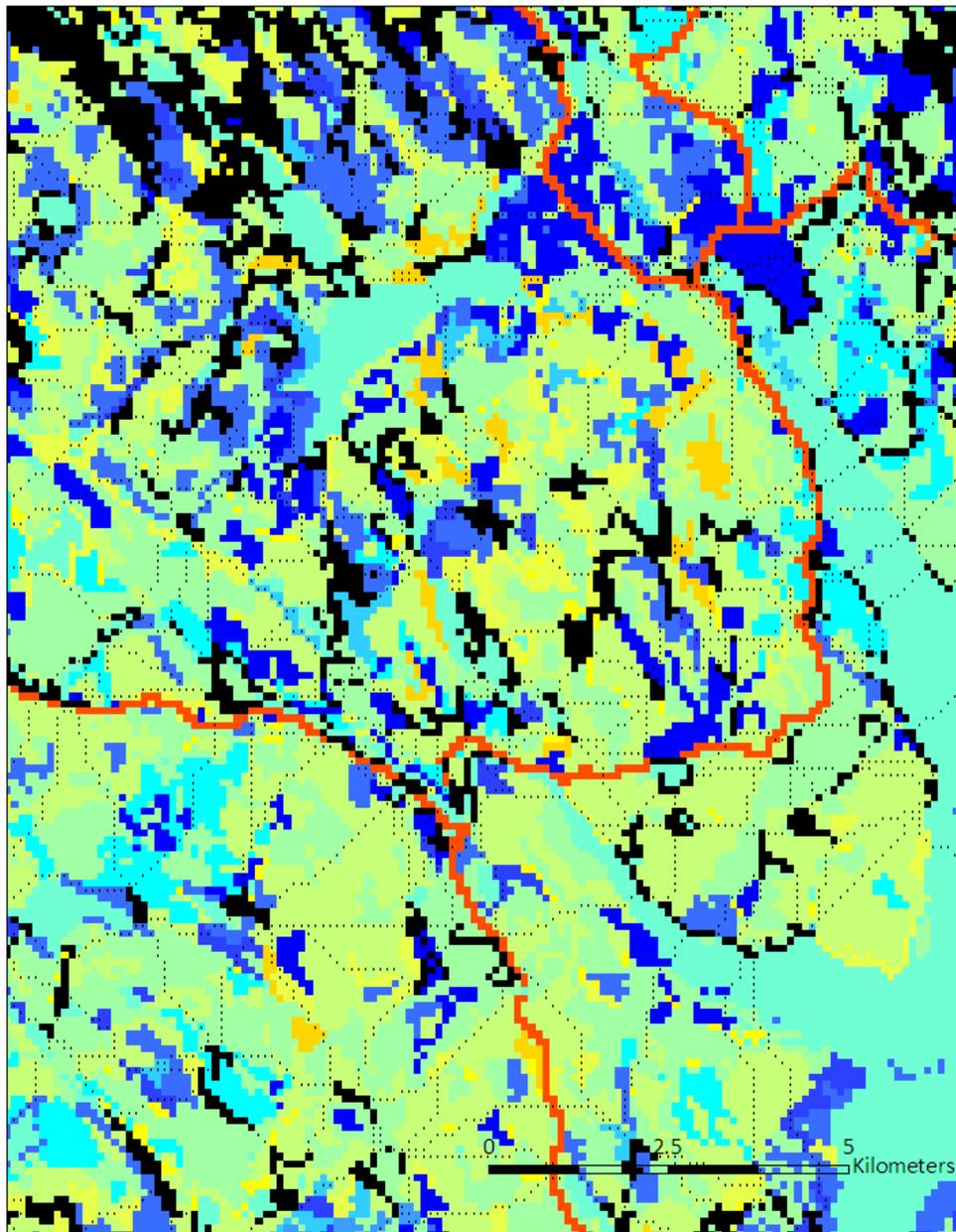


Figure 8. Exemple d'une partie du réseau de graphe extrait. Dans cette figure, les massifs d'habitats évalués sont en noirs.

Les autres couleurs représentent différentes valeurs de coût de friction, les plus froides représentant des faibles valeurs et l'inverse pour les couleurs chaudes (les pixels en rouge représentent un chemin avec une valeur de friction de 10). Les pointillés sont les liens provenant de l'extraction du réseau de graphe. On peut constater que les liens ne sont pas nécessairement le chemin euclidien le plus court et que les pixels avec des valeurs de friction basses sont préférentiellement utilisés pour le déplacement.

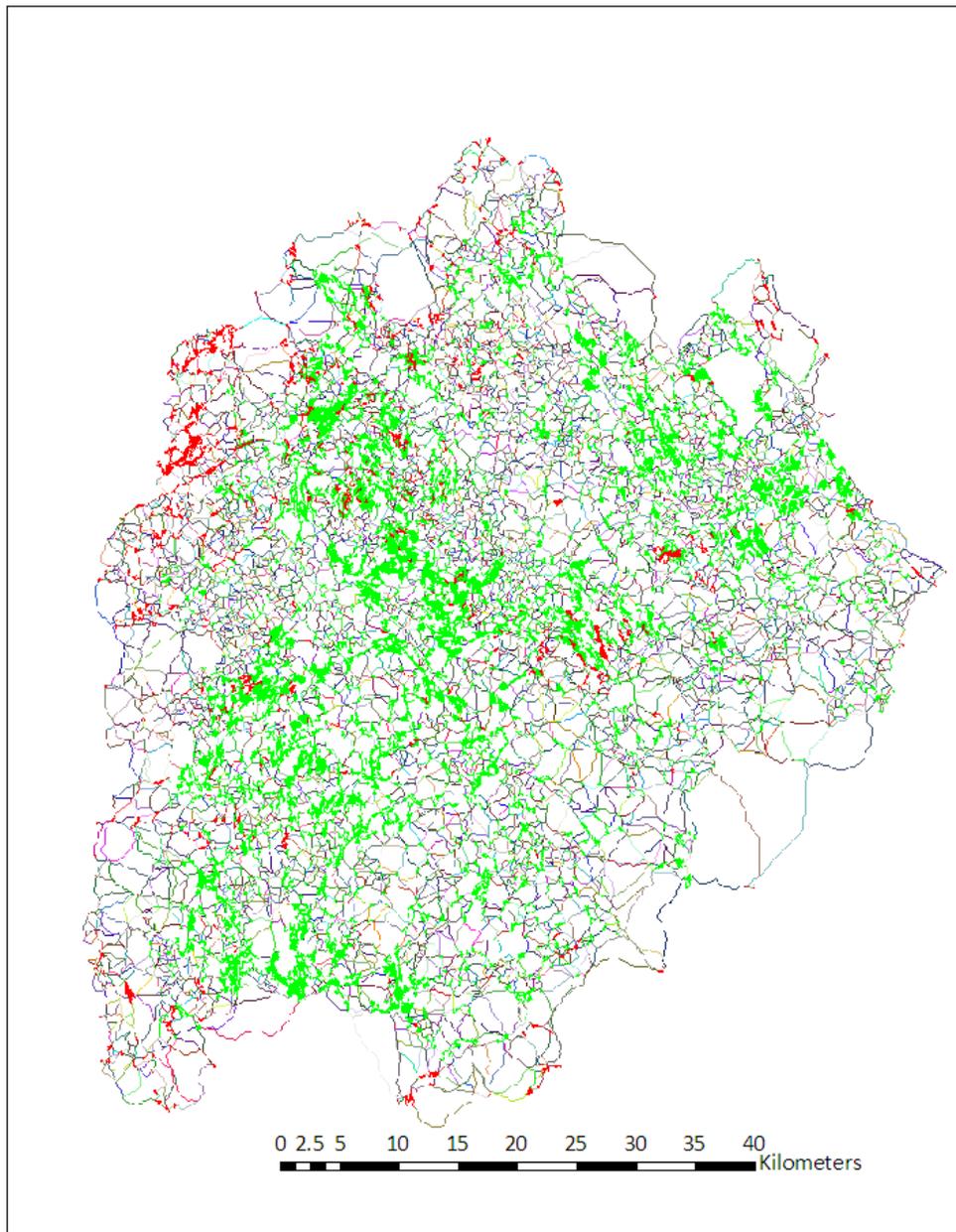


Figure 9. Exemple du réseau de graphes extrait pour l'UAF 62-52.
Les massifs en rouge constituent les habitats actuels et ceux en vert constituent les habitats potentiels dans les 20 prochaines années.

Résultats et discussion

Tache des habitats actuels et potentiels

Nos 4 UAFS n'ont pas tous le même potentiel de restauration de la connectivité. Comme on peut le constater au Tableau 7, trois UAFs ont à peu près le même ordre de grandeur de tâches d'habitat actuel (autour de 1000) alors que l'UAF 64-52 en a plus que deux fois plus. Parmi les trois UAFs qui ont moins de tâches d'habitat actuel, on constate qu'ils se distinguent fortement de par leur nombre de tâches d'habitats potentiels. On peut donc classer nos UAFs selon les trois figures de cas suivants :

- Moyennement de tâches d'habitat actuel et peu de tâches d'habitats potentiels (61-51);
- Moyennement de tâches d'habitat actuel et beaucoup de tâches d'habitats potentiels (62-51 et 62-52);
- Beaucoup de tâches d'habitat actuel et moyennement de tâches d'habitats potentiels (64-52);

Tableau 7. Nombre de tâches d'habitats actuels et potentiels en mixte à dominance résineuse et résineux de stade mature et plus vieux par UAF.

| UAF | Actuel | Potentiel |
|-------|--------|-----------|
| 61-51 | 1353 | 430 |
| 62-51 | 823 | 2188 |
| 62-52 | 1097 | 3267 |
| 64-52 | 2618 | 1049 |

Fréquence et la densité des liens par tache

Comme prévu, nous avons constaté qu'un seuil de distance de déplacement permet de relier un nombre plus élevé de massifs, résultant de l'augmentation de la fréquence des liens possibles et menant donc à une meilleure connectivité dans le paysage (Figure 10). Cette tendance a été observée pour l'ensemble des UAFs. Les graphiques de la Figure 10 montrent aussi qu'en considérant le seuil de distance de 5 km, la quantité de liens possibles est similaire à celle trouvée lorsqu'aucun seuil de distance n'est considéré. Cependant, pour les espèces peu mobiles, au seuil de 500 m, ce n'est qu'une faible proportion de la totalité des liens possibles qui sont disponibles pour ces espèces.

La Figure 10 montre aussi la comparaison entre la fréquence de liens des tâches actuelles et la fréquence des tâches actuelles et potentielles. Ces graphiques montrent un plus grand nombre de liens lorsqu'on considère à la fois les tâches potentielles et les tâches actuelles, exposant ainsi les bénéfices de la restauration de nouveaux massifs forestiers pour contribuer à l'augmentation la connectivité du paysage. Cependant, ce bénéfice n'est pas égal pour toutes les UAFs, et se distinguent aussi en fonction du seuil de distance.

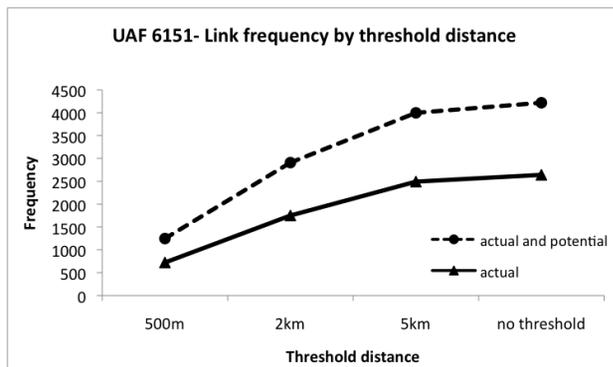
Dans le cas de l'UAF 61-51, on constate que l'ajout de toutes les tâches potentielles n'aurait qu'un effet modéré sur l'augmentation du nombre de liens pour des espèces peu mobiles. En effet, l'ajout de

toutes les taches d'habitats potentiels ne permette pas d'atteindre le seuil de densité de 1 lien par tache (Figure 11), seuil à partir duquel on estime que la majorité des taches sont reliées. Cependant, l'augmentation du nombre de liens et de la densité est plus importante pour les deux autres seuils distance de déplacement (Figure 10). Néanmoins, on constate qu'avec seulement les taches d'habitats actuels, la densité en lien partage est déjà au-delà du seuil de 1 lien par tache pour ces deux seuils de distance de déplacement (2 km et 5 km).

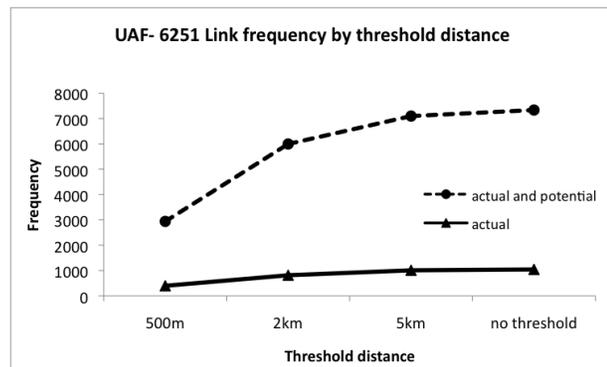
Les cas des UAFs 62-51 et 62-52 sont très similaires. Le nombre de liens avec les taches d'habitat actuel sont plutôt faibles, et cela pour chacun des seuils distance de déplacement (Figure 10). L'ajout de l'ensemble des tâches d'habitats potentiels pourrait contribuer à augmenter significativement le nombre de liens entre les taches dans le paysage, peu importe le seuil de distance de déplacement. Lorsqu'on regarde le graphe de la densité des liens par tache, on s'aperçoit que pour la distance de déplacement à 500 m, on obtient tout juste un peu plus que 0.5 lien par tache avec les taches d'habitat actuel. Pour les deux autres distances (2 km et 5 km), on est tout près de la moyenne recherchée, soit 1 lien par tache. L'ajout des tâches d'habitats potentiels permet d'augmenter la densité en liens pour atteindre le seuil de recherche, et cela, pour les trois distances de déplacement (Figure 11).

Finalement, on voit très bien que le nombre de liens avec les tâches d'habitat actuel sont déjà très importants dans l'UAF 64-52 (Figure 10). L'ajout de tâches d'habitats potentiels permet d'augmenter modérément ce nombre de liens. Il permet d'atteindre tout juste le seuil de densité de liens pour les espèces peu mobiles (Figure 11). Pour les espèces à plus grand déplacement (2 km et 5 km), les habitats actuels semblent suffire pour permettre d'avoir une densité de lien partage plus que suffisante.

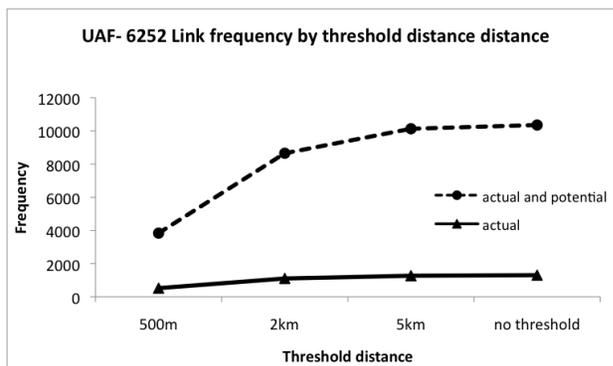
a)



b)



c)



d)

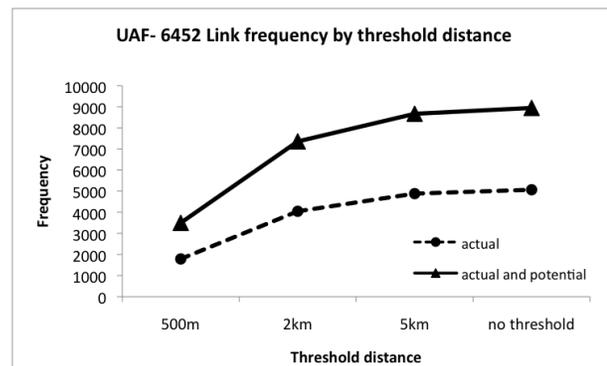


Figure 10. Fréquence de liens en fonction du seuil de distance de déplacement pour a) l'UAF 6151, b) l'UAF 6251, c) l'UAF 6252 et d) l'UAF 6452, pour les massifs actuels seulement et les massifs actuels et potentiels.

Ainsi, lorsqu'on résume ces résultats, on peut dire que le potentiel de restauration des UAFS est le plus intéressant selon l'ordre suivant :

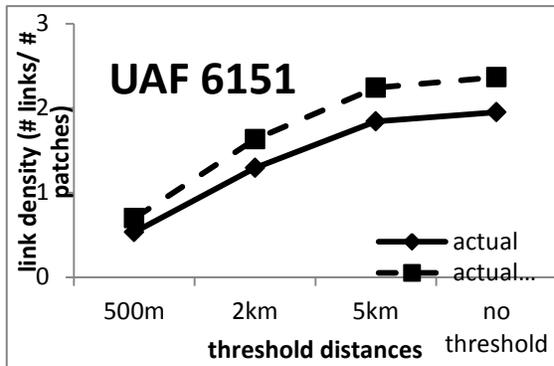
64-52 >> 61-51 >> 62-52 >> 62-51

Nombre de grappes

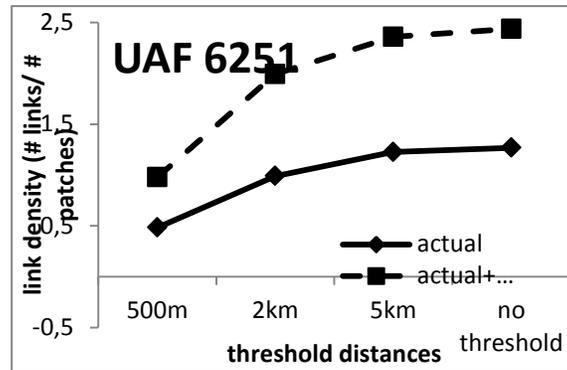
Nous avons constaté une diminution rapide du nombre de grappes en lien avec l'augmentation des seuils de distance considérés (Figure 12). Lorsqu'on considère les espèces hautement mobiles (seuil de 5 km), davantage de massifs deviennent accessibles (les massifs situés à 5 km et moins les uns des autres étant considérés comme reliés), ce qui permet donc la création de composants connectés (grappes). Plus le nombre de grappes est faible, plus la connectivité augmente, car elle indique que davantage de massifs sont liés, et donc accessibles, dans le paysage. Nous avons trouvé les mêmes patrons pour toutes les UAFs. En outre, la Figure 12 montre que l'ajout de tâches potentielles permet de réduire le

nombre de grappes en général. Cependant, pour le cas des UAFs 62-51 et 62-52, pour des faibles le distance de déplacement, l'ajout des tâches potentielles ne me permet pas de relier les taches entre elles suffisamment pour en réduire le nombre de grappes. Ainsi, l'ajout de tâches potentielles ne fait que rajouter des grappes pour ces deux UAF, expliquant le croisement des courbes entre le seuil de 500 m et celui de 2 km.

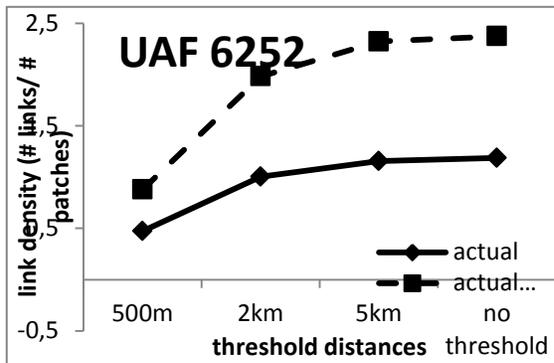
a)



b)



c)



d)

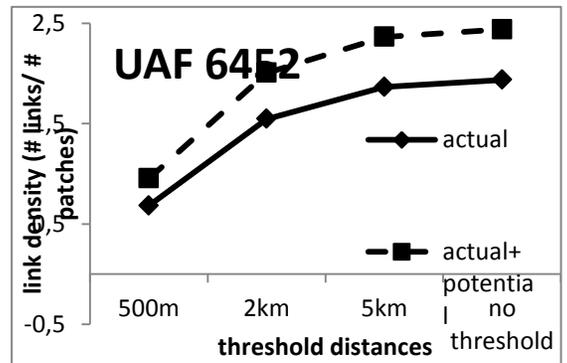
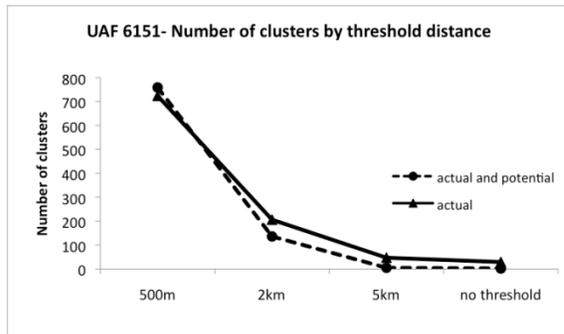
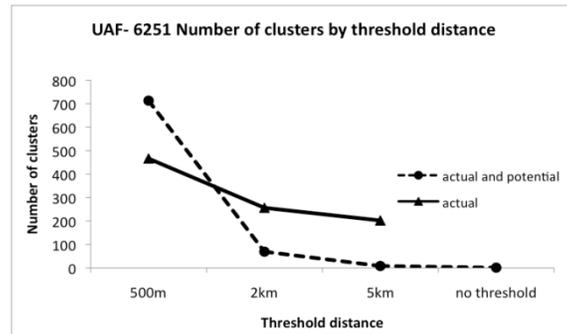


Figure 11. Densité de liens par tache en fonction du seuil de distance de déplacement pour a) l'UAF 6151, b) l'UAF 6251, c) l'UAF 6252 et d) l'UAF 6452, pour les massifs actuels seulement et les massifs actuels et potentiels.

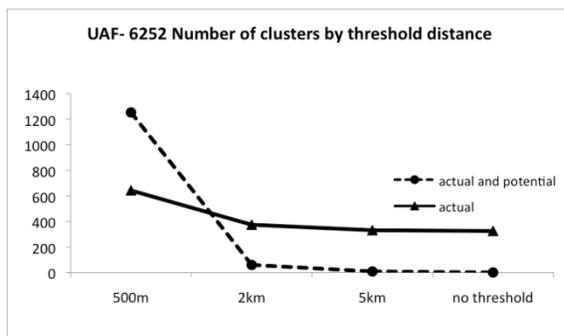
a)



b)



c)



d)

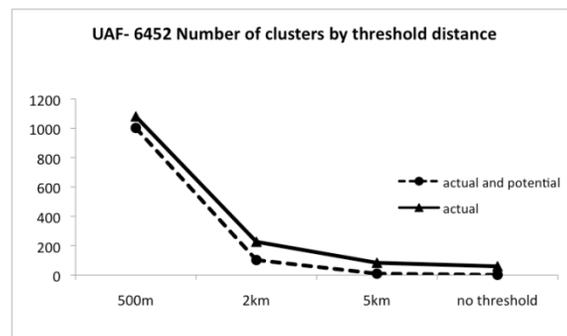


Figure 12. Nombre de taches dans tous les UAFs par seuil de distance de déplacement (500m, 2km and 5km) et avec les massifs actuels et les massifs actuels et potentiels pour a) l'UAF 6151, b) l'UAF 6251, c) l'UAF 6252 et d) UAF 6452.

Centralité

Nous avons calculé la métrique de la centralité pour toutes les taches d'habitat actuel et potentiel pour toutes les UAFs. On constate effectivement que les taches qui sont environnées par d'autres taches reçoivent des fortes valeurs de centralité (Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17). De plus, on constate aussi que l'augmentation du seuil de distance de déplacement permet d'augmenter les valeurs de centralité (voir les valeurs des classes dans les légendes des cartes de centralités qui augmentent avec le seuil de distance de déplacement).

Nous avons constaté un patron général dans tous les UAFs, montrant que seuls quelques massifs montrent des valeurs de centralité très élevées. Il semble donc que certaines taches soient beaucoup plus importantes que d'autres (Figure 13). En effet, cela indiquerait que certaines taches d'habitat serviraient de carrefour en participant à des itinéraires de voies de dispersion importantes (Rayfield et al. 2011). Seulement deux UAFs sont présentées à titre d'exemple, car les modèles sont semblables dans tous les UAFs.

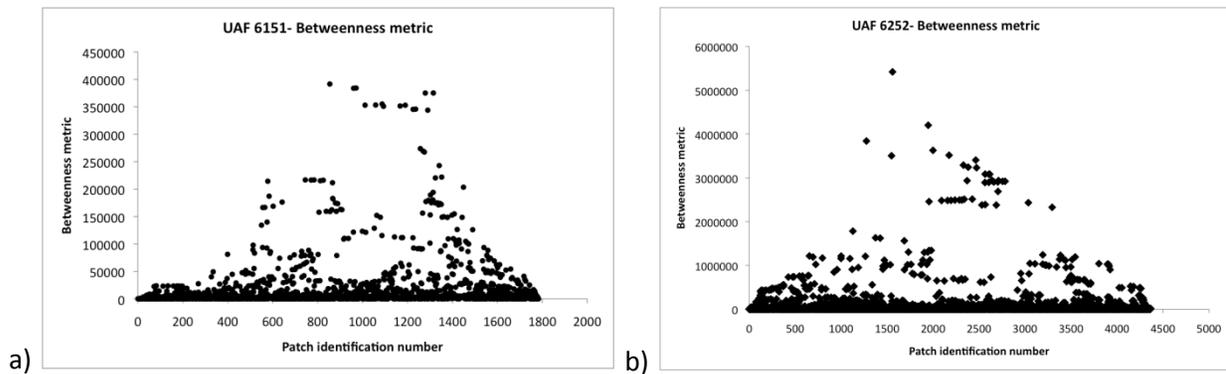


Figure 13. Distribution des taches basée sur leur valeur de centralité des taches d’habitat actuel et potentiel pour a) l’UAF 61-51 et b) l’UAF 62-52, tous seuil de distance de déplacement confondus.

Lorsqu'on compare les valeurs de centralité, pour une même UAF, entre les trois seuils distance de déplacement, on s'aperçoit que plus ce seuil est élevé, plus il s'en dégage une structure de corridor, assurant la connexion des taches (Figure 14, Figure 15, Figure 16, Figure 17). Cela est particulièrement évident pour les UAFs 62-51 et 64-52. On s'aperçoit aussi que pour la distance de 500 m, la centralité permet de dégager une structure de grands massifs plutôt qu'une structure de corridor. D'autre part, on s'aperçoit aussi que les taches qui offrent la meilleure valeur de centralité sont approximativement les mêmes pour les seuils de distance de déplacement de 2 km et de 5 km.

Les valeurs de centralité des tâches peuvent être consulté dans les couches géomatiques dans le CD accompagnant ce rapport (**Projet ArcGis : Réseau de graphe.mxd; DataFrame : (Chaque UAF est un Data Frame); Layers :Centralité 500m, Centralité 2000m, Centralité 5000m**).

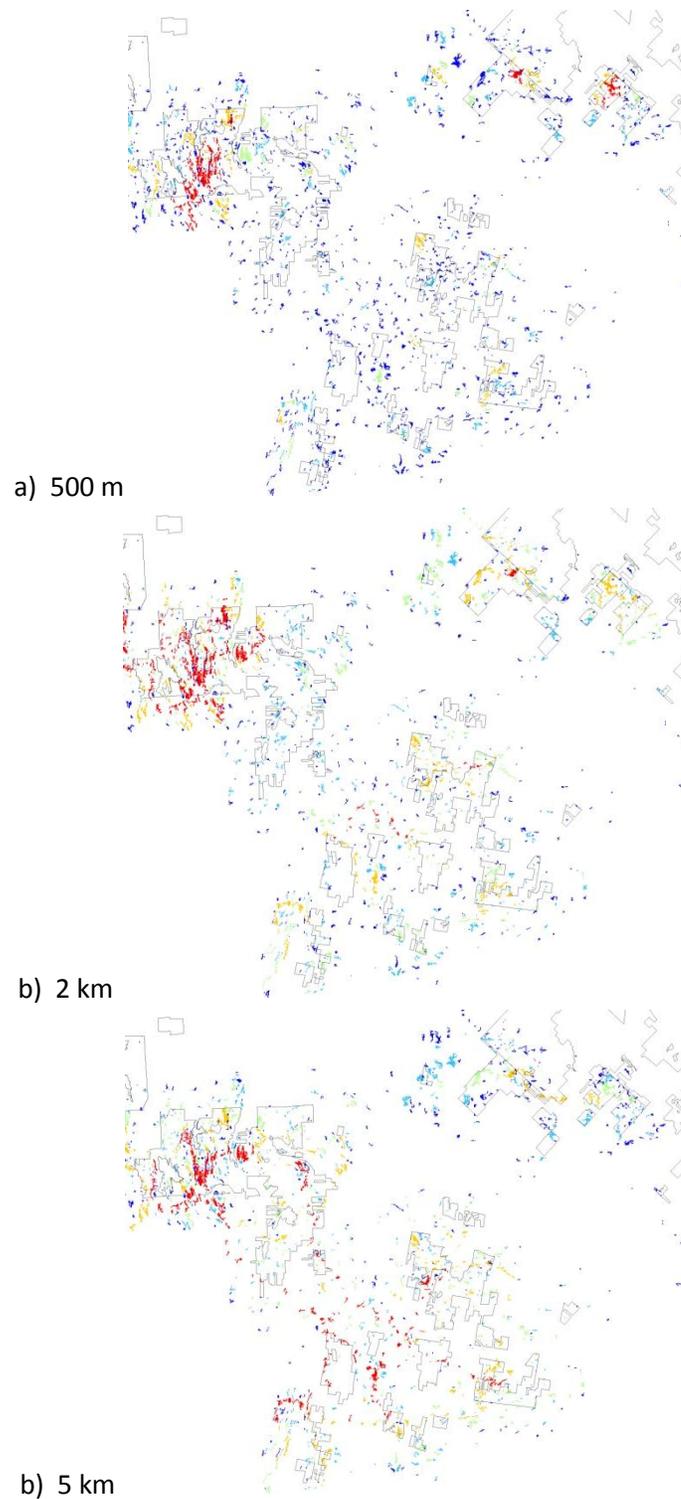


Figure 14. Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 61-51 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km).

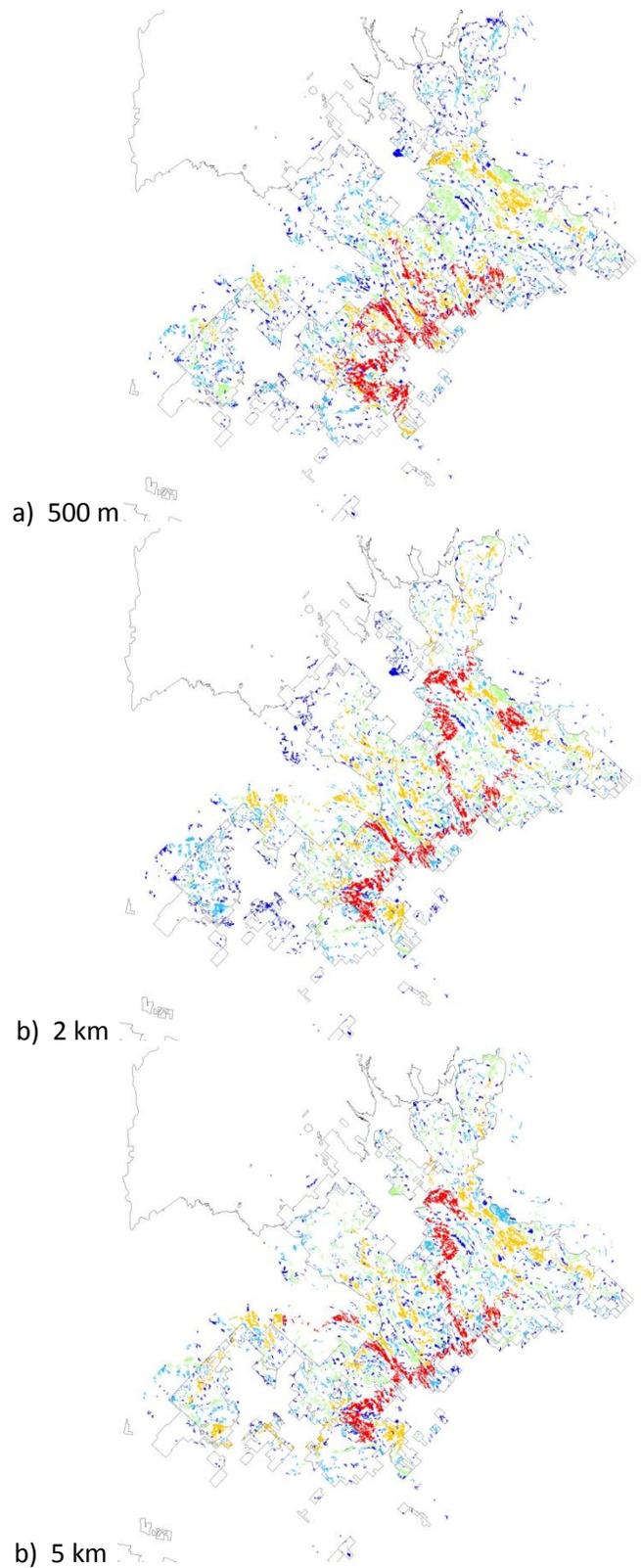


Figure 15. Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 62-51 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km).

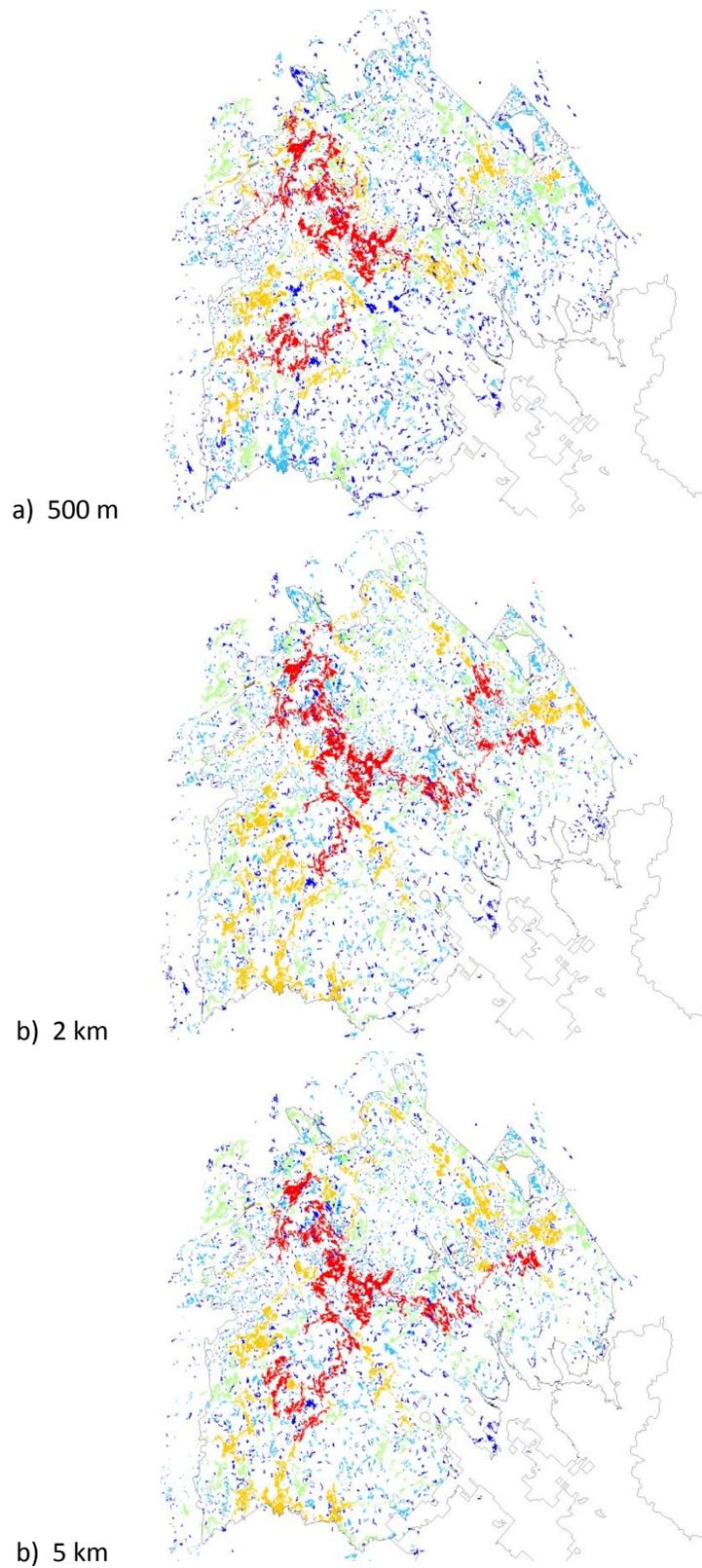


Figure 16. Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 62-52 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km).

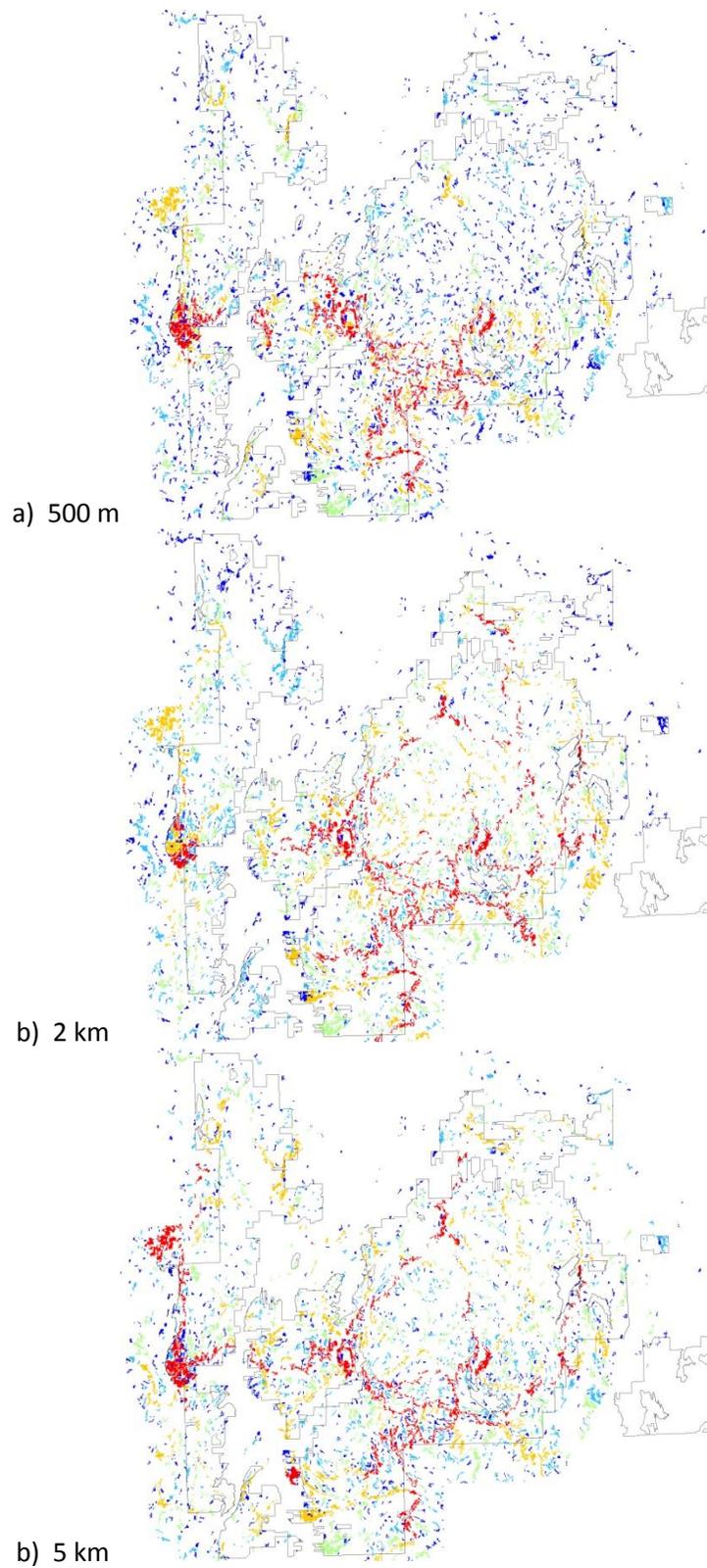


Figure 17. Distribution des valeurs de centralité des taches pour l'UAF 64-52 en fonction du seuil de distance de déplacement (a) 500 m, b) 2 km, c) 5 km).

Ordre de priorité des tâches potentielles de restauration de la connectivité à l'aide de l'analyse multicritère

Objectifs

Dans cette troisième partie, nous combinons l'information obtenue à l'étape précédente à celle sur le zonage fonctionnel du territoire afin d'en déduire un ordre de priorité de sélection des tâches en vue de la restauration de la connectivité. Le problème consiste donc à tenir compte des différentes dimensions ayant déjà été considérées au plan d'affectation afin de maximiser les investissements déjà réalisés (ou prévus) sur le territoire tout en minimisant les conflits d'usage. Pour cette étape, nous utilisons l'analyse multicritère pour cette évaluation multivariée. Les objectifs spécifiques de cette partie sont :

- 1) D'identifier des critères qui seraient représentatifs des valeurs considérées dans la stratégie d'aménagement forestier durable du PRDIRT, en cohérence avec le plan d'affectation;
- 2) D'attribuer un poids à chacun des critères ;
- 3) De développer des modèles d'indicateur qui soient représentatifs des critères et pouvant être évalués de façon spatiale à l'aide des couches géomatiques ;
- 4) D'appliquer l'analyse multicritère et d'en utiliser les résultats afin de mettre en ordre de priorité les tâches potentielles de restauration de la connectivité.

Méthodologie

Sélection des habitats et identification des tâches individuelles

Pour cette évaluation, nous avons utilisé les mêmes tâches qui ont servi pour l'analyse de la centralité, c'est-à-dire, toutes les tâches d'habitats mixtes à dominance de résineux et résineux de stades mur et suranné (MR&R M-S) actuels, ainsi que tous les habitats qui pourront potentiellement devenir ce type d'habitat (mûrs) dans les prochains vingt ans se situant sur des types écologiques menant à des végétations potentielles MR ou R. Cette opération d'identification des tâches habitats potentiels inclut aussi les mixtes à dominances de feuillus (MF) sur les types écologiques retenus, puisque nous considérons que ceux-ci pourront être convertis en MR à l'aide d'une éclaircie de conversion. Cependant, les peuplements mixtes à dominance feuillue (MF) ne doivent pas être dans les zones de protection sans prélèvement puisqu'aucune opération forestière ne pourra être effectuée pour les transformer en mixte à dominance résineuse.

Les tâches ont été individuellement identifiées spatialement en croisant les cinq informations suivantes :

- Le type écologique : soit MR ou R ;
- Le type de peuplement : soit MF, MR ou R;

- Le temps pour devenir un habitat mûr : soit 0, 10 ans, 20 ans;
- La classe de productivité : soit faible modéré et élevé. (Voir l'Annexe 9 pour comprendre comment les classes de productivité ont été attribuées);
- Et sa susceptibilité à la TBE (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** pour la vulnérabilité à la TBE selon un gradient de probabilité de mortalité)

Ainsi, chaque combinaison spatiale de ces cinq stratificateurs a constitué une tâche individuelle. Il est ainsi possible cependant que de tâches soient contiguës.

Formulation multicritère, identification des critères et attribution des poids

Dans l'analyse multicritère, des indicateurs sont utilisés pour caractériser le critère. Chaque critère doit être standardisé pour qu'ils soient numériquement équivalents, c'est-à-dire, que la fourchette de variation de l'indicateur soit la même (la valeur minimale et la valeur maximale que prennent les indicateurs pour caractériser leur critère respectif sont les mêmes). Généralement, les indicateurs sont standardisés entre 0 et 1. Une fois cette opération réalisée, il est alors possible d'attribuer un poids qui viendra alors accorder une importance au critère pour l'évaluation. Ainsi, la formule utilisée pour l'analyse multicritère somme les valeurs standardisées des indicateurs après qu'ils aient été eux-mêmes multipliés par le poids. La somme obtenue est ensuite divisée par la somme des poids, ce qui revient à faire l'équivalent d'une somme pondérée des indicateurs standardisés des critères (Équation 1) :

Équation 1 :
$$\frac{w_i \sum_{i=0}^{12} C_i}{\sum_{i=0}^{12} w_i}$$

En plus de la centralité, onze autres critères ont été ciblés par les partenaires pour mettre en ordre de priorité les tâches à sélectionner pour la restauration de la connectivité. L'attribution des poids à chacun de ces critères a été réalisée lors d'un atelier avec les experts partenaires. Chaque participant pouvait attribuer un poids de 1 à 4 (4 étant le plus important) à chacun des critères avec la contrainte de ne pouvoir utiliser une valeur de poids que 3 fois maximum.

Modèles d'indicateur pour évaluer les critères

Le texte qui suit présente chacun des critères et sa justification, et décrit le modèle d'indicateur qui a été développé pour le représenter sous forme géomatique afin de coter l'ensemble des pixels des paysages par UAF pour chacun d'eux. Ainsi à l'application des modèles d'indicateurs, à chaque pixel est attribuée une note entre 0 et 1 pour chaque critère. Cette étape utilise une formule de standardisation qui compare la valeur obtenue à l'aide de l'indicateur à la fourchette des valeurs obtenues pour l'UAF (standardisation par UAF) (Équations 2). Une fois standardisé, l'indicateur est soit maintenu tel quel (Équations 2, forme a) si l'augmentation de la valeur de l'indicateur indique une meilleure condition pour le critère, ou soit inversée si (Équations 2, forme b) à l'inverse, l'augmentation de valeur de l'indicateur indique une dégradation du critère.

Équations 2 : a) $\frac{\text{Indicateur}-\text{MIN}}{\text{MAX}-\text{MIN}}$ ou b) $1 - \frac{\text{Indicateur}-\text{MIN}}{\text{MAX}-\text{MIN}}$

Mentionnons finalement que, comme plusieurs des valeurs calculées par les modèles d'indicateurs des critères sont des fonctions de la distance à des habitats ou des affectations spécifiques, ces analyses considèrent aussi les aires situées dans la zone tampon de 5 km autour des UAF.

Habitat

Bien que cette partie considère les 4 types d'habitats, une cote a été attribuée pour chacune des taches selon le type d'habitat. On accordera ainsi une plus forte valeur aux habitats plus vieux (suranné>mûr) et plus résineux (R>MR). Cette classification des taches potentielles est réalisée en considérant que les 20 prochaines années pourront permettre d'atteindre les seuils minimaux d'âge nécessaire pour considérer mur ou suranné, soit moins de 20 ans d'intervalle avec la valeur ciblée dans l'Bodin, O., Norberg, J., 2007. A network approach for analyzing spatially structured populations in fragmented landscape. *Landscape Ecology* 22, 31-44.

Brooks, C.P., Antonovics, J., Keitt, T.H., 2008. Spatial and temporal heterogeneity explain disease dynamics in a spatially explicit network model. *American Naturalist* 172, 149-159.

Cantwell, M.D., Forman, R.T.T., 1993. Landscape graphs-ecological modeling with graph-theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape Ecology* 8, 239-255.

Côté, L. et M. Chabot. 2012. Méthode pour intégrer au calcul de possibilité l'effet de la prochaine épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette et l'application d'une stratégie de lutte intégrée. Direction de la conservation des forêts, Ministère des ressources naturelles du Québec. 5 p. + 2 Annexes.

Doyon, F. et D. Bouffard. 2009. Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier de l'UAF 64-51 au cours du 20ème siècle. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique, 84 p. + 9 Annexes.

Doyon, F. et Varady-Szabo H. 2012. Synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec. Pages 9-20 In "Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris de la dernière décennie?" P. Raymond et D. Dumais, éd. Colloque de transfert de connaissances, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des Congrès, Québec, Qc, Canada.

Elbakidze, M., P. Angelstam, K. Andersson, M. Nordberg, et Y. Pautov. 2011. How does forest certification contribute to boreal biodiversity conservation? Standards and outcomes in Sweden and NW Russia. *Forest Ecology and Management* 262: 1983-1995.

Fall, A., M.-J. Fortin, M. Manseau, and D. O'Brien. 2007. Spatial graphs: principles and applications for habitat connectivity. *Ecosystems* 10:448-461.

Ferrari, J.R., Lookingbill, T.R., Neel, M.C., 2007. Two measures of landscape-graph connectivity: assessment across gradients in area and configuration. *Landscape Ecology* 22, 1315-1323.

- Fortuna, M.A., Gomez-Rodriguez, C., Bascompte, J., 2006. Spatial network structure and amphibian persistence in stochastic environments. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 273, 1429-1434.
- James, P. J., B. R. Rayfield, M.-J. Fortin, and A. Fall. 2005. Reserve network design combining spatial graph theory and species' spatial requirements. *Geomatica* 59:323– 333.
- Magle, S.B., Theobald, D.M., Crooks, K.R., 2009. A comparison of metrics predicting landscape connectivity for a highly interactive species along an urban gradient in Colorado, USA. *Landscape Ecology* 24, 267-280.
- Ministère des ressources naturelles et de la forme du Québec. 2012. Guy et des stations sylvicoles du Québec
- Rayfield, B., Fortin, M.J., Fall, A., 2011. Connectivity for conservation: a framework to classify network measures. *Ecology* 92, 847-858.
- Roy, M.-È., McCullough, V., Doyon, F. et E. Mauri Ortuno. 2010b. La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier (UAF) 62-51 & 62-52. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique
- Roy, M.-È., McCullough, V., Doyon, F. et J. Poirier. 2010a. Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 062-51 & 062-52. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique
- Roy, M.-È., V. McCullough et É. Forget. 2009. Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 064-52 et 061-51. Institut québécois d'Aménagement de la forêt feuillue et M.C. Forêt inc. 48 p.
- Roy, M.-È., V. McCullough, É. Forget et F. Doyon. 2009b. La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier 064-52 & 061-51 Rapport technique. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue et M.C. Forêt inc. 38 p + annexes.
- Saura, S., Pascual-Hortal, L., 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83, 91-103.
- Schick, R.S., Lindley, S.T., 2007. Directed connectivity among fish populations in a riverine network. *Journal of Applied Ecology* 44, 1116-1126.
- Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A., Schick, R.S., 2009. Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters* 12, 260-273.
- Vogt, P., Riitters, K., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T., Wickham, J. 2007a. Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecol.* 22, 171–177.
- Vogt, P., Riitters, K., Iwanowski, M., Estreguil, C., Kozak, J., Soille, P. 2007b. Mapping landscape corridors. *Ecol. Indic.* 7 (2), 481–488.

Vogt, P., Ferrari, J 913 ., Lookingbill, T., Gardner, R., Riitters, K., Ostapowicz, K., 2009. Mapping functional connectivity. *Ecol. Indic.* 9, 64–71.

ANNEXES

selon le groupe d'essence. Puisqu'on ne considère ici que les taches d'habitats potentiels, les mixtes à dominance de résineux et les résineux ne peuvent devenir que des habitats de stades mûrs, car ceux qui sont actuellement mûrs et surannés constituent déjà des habitats actuels. Le seul cas permettant d'obtenir un habitat suranné dans une tache d'habitat potentiel est donc celui des peuplements mixtes à dominance de feuillus (MF), étant déjà de stades surannés pouvant être convertis par sylviculture en mixte à dominance résineux (MR).

Tableau 8. Valeur attribuée aux taches d'habitats potentiels en fonction de l'habitat

| Type de couvert | Stade atteint dans les prochains 20 ans | Valeur de l'indicateur |
|-----------------|---|------------------------|
| MR | Mûr | 0.33 |
| R | Mûr | 0.67 |
| MF → MR | Mûr | 0.33 |
| MF → MR | Suranné | 1 |

Centralité

Pour utiliser les valeurs de centralité calculées dans la partie précédente, nous avons voulu ramener l'indicateur par unité de surface des taches. En effet, plus une tache est grosse, plus sa valeur de centralité sera importante car elle devient une source de connectivité à toutes les taches de sa périphérie. Puisque dans la quatrième partie nous voulons optimiser la restauration de la connectivité, il est important de ramener la valeur de centralité par unité de surface. Il sera alors possible de prioriser les taches qui sont les plus importantes, tout en demandant un effort de restauration en superficie habitat moindre.

Pour ce faire, nous avons donc divisé la valeur de centralité par la superficie de la tache. Puis, comme la distribution de fréquence des valeurs étaient très asymétrique, avec énormément de faibles valeurs de centralité et très peu de hautes valeurs (voir Figure 13), nous avons transformé la centralité pour les trois seuils de distance de déplacement en utilisant la formule suivante (Équation 3) :

$$\text{Équation 3 : } y = \log(x + 1)$$

Le résultat a alors ensuite été standardisé en utilisant les formules des Équations 2.

Proximité au réseau de protection sans prélèvement

Cette zone constitue des endroits privilégiés afin de favoriser la connexion des habitats, car ils ne seront jamais perturbés par des interventions forestières. En effet, les milieux à proximité des écosystèmes forestiers exceptionnels, des refuges biologiques et des zones de conservation sont des exemples d'endroits propices où la connectivité peut être améliorée. Ces zones offrent un bon potentiel, étant donné qu'ils sont proches de massifs à statut permanent servant de noyaux propices à la connectivité. **L'Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les différents types d'affectations associées au réseau de protection avec et sans prélèvement.

Pour ce modèle d'indicateur, l'équation est une fonction de distance décroissante à la puissance 0.75 (Équation 4). Elle permet ainsi d'accorder une meilleure valeur aux pixels proches des zones ayant ce statut de protection. Plus on se rapproche du réseau de protection, plus haute est la cote du pixel sous observation. Lorsque le pixel est à l'intérieur de la zone de protection, comme la distance est nulle, la valeur standardisée obtenue est 1, soit la valeur standardisée maximale. La standardisation de ce modèle d'indicateur s'effectue en divisant par la valeur maximale de la fonction décroissante de la distance observée dans le jeu de données. La Figure 18 présente un exemple du changement de la valeur en fonction de la distance à la zone de protection sans prélèvement. La valeur attribuée à une tache pour le calcul de l'analyse multicritère est donc la moyenne des valeurs obtenues pour tous les pixels de la tache.

Équation 4 :

$$1 - \frac{\bar{d}^{0.75}}{\bar{d}^{0.75}_{\text{Max}}}$$

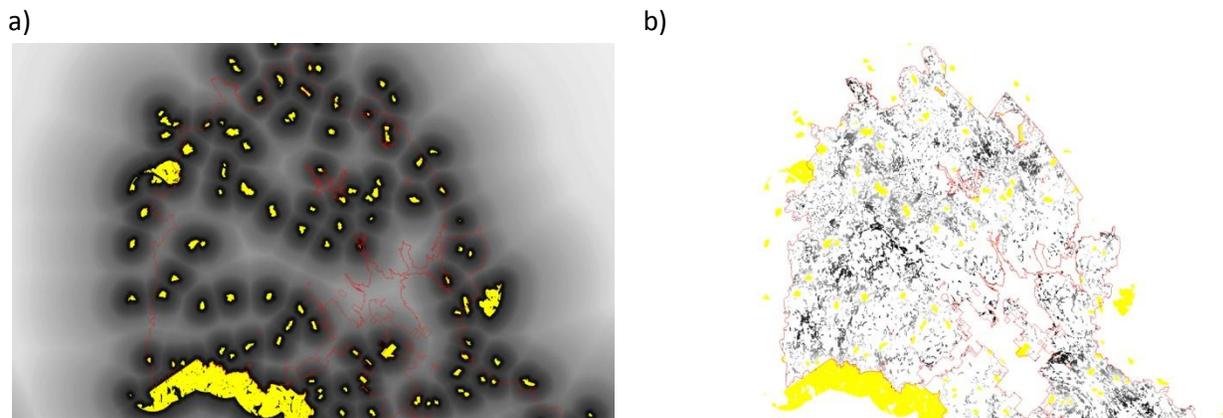


Figure 18. Exemple de calcul de l'indicateur de proximité au réseau de protection sans prélèvement (UAF 62-52). Les zones en jaune représentent les zones de protection sans prélèvement.

a) Application de la fonction décroissante de la distance pour déterminer la valeur de proximité. b) Attributions de la valeur standardisée aux taches potentielles (plus elles sont bonnes, plus elles sont pâles).

Corridors riverains

Les corridors riverains sont des endroits-clés pour la faune. Nous avons considéré comme corridors riverains tous les pixels se trouvant à proximité d'une berge d'un plan d'eau identifié comme tel dans la couche géomatique de l'inventaire écoforestier du MRN. L'indicateur calculé pour ce critère utilise aussi une fonction décroissante en fonction de la distance (Équation 5). La formule utilisée pour le calculer est donc semblable au critère précédent, où la valeur attribuée à un pixel augmente à mesure que l'on se rapproche de ces plans d'eau. Cependant, elle utilise plutôt une fonction de distance décroissante à la puissance 0.25, ce qui fait que l'éloignement au corridor est beaucoup plus rapidement pénalisé que pour le critère précédent. La standardisation de ce modèle d'indicateur s'effectue en divisant par la différence entre les valeurs maximale et minimale de la fonction décroissante de la distance observée

dans le jeu de données. La valeur attribuée à une tache pour le calcul de l'analyse multicritère est donc la moyenne des valeurs obtenues pour tous les pixels de la tache.

Équation 5.
$$1 - \frac{\bar{d}^{0.25}}{\bar{d}_{\text{Max}}^{0.25} - \bar{d}_{\text{Min}}^{0.25}}$$

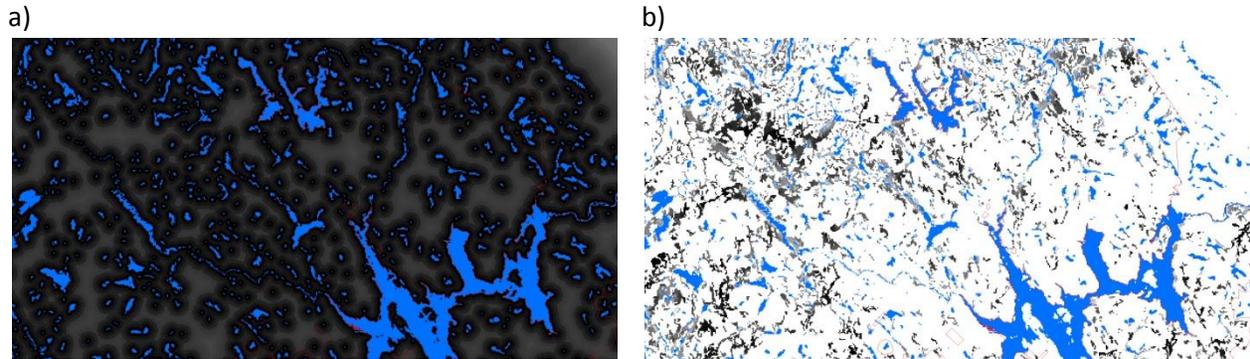


Figure 19. Exemple de calcul de l'indicateur de proximité du corridor riverain (zone de l'UAF 62-52). Les zones en bleu représentent les plans d'eau.

a) Application de la fonction décroissante de la distance pour déterminer la valeur de proximité. b) Attributions de la valeur standardisée aux taches potentielles (plus elles sont bonnes, plus elles sont pâles).

Coût de restauration

Le coût de restauration influence directement la décision à investir lors d'une prise de décision. Pour ce critère, une cote relative a été déterminée afin de discriminer l'intensité sylvicole nécessaire pour obtenir un couvert désiré qui soit le plus proche du résineux. Dans le cas qui nous concerne, pour cet indicateur, une valeur de 0 a été attribuée pour tous les habitats potentiels qui sont de type de couvert mixte à dominance feuillue, puisqu'une intervention sylvicole sera nécessaire pour convertir la composition à mixte à dominance résineuse. Pour les autres habitats potentiels (MR et R), la valeur attribuée est de 1.

Temps requis à la restauration

Le critère de temps requis pour que le peuplement devienne mûr est calculé selon le type de groupement d'essence auquel il est associé (voir Bodin, O., Norberg, J., 2007. A network approach for analyzing spatially structured populations in fragmented landscape. *Landscape Ecology* 22, 31-44.

Brooks, C.P., Antonovics, J., Keitt, T.H., 2008. Spatial and temporal heterogeneity explain disease dynamics in a spatially explicit network model. *American Naturalist* 172, 149-159.

Cantwell, M.D., Forman, R.T.T., 1993. Landscape graphs-ecological modeling with graph-theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape Ecology* 8, 239-255.

- Côté, L. et M. Chabot. 2012. Méthode pour intégrer au calcul de possibilité l'effet de la prochaine épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette et l'application d'une stratégie de lutte intégrée. Direction de la conservation des forêts, Ministère des ressources naturelles du Québec. 5 p. + 2 Annexes.
- Doyon, F. et D. Bouffard. 2009. Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier de l'UAF 64-51 au cours du 20ème siècle. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique, 84 p. + 9 Annexes.
- Doyon, F. et Varady-Szabo H. 2012. Synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec. Pages 9-20 In "Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris de la dernière décennie?" P. Raymond et D. Dumais, édés. Colloque de transfert de connaissances, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des Congrès, Québec, Qc, Canada.
- Elbakidze, M., P. Angelstam, K. Andersson, M. Nordberg, et Y. Pautov. 2011. How does forest certification contribute to boreal biodiversity conservation? Standards and outcomes in Sweden and NW Russia. *Forest Ecology and Management* 262: 1983–1995.
- Fall, A., M.-J. Fortin, M. Manseau, and D. O'Brien. 2007. Spatial graphs: principles and applications for habitat connectivity. *Ecosystems* 10:448-461.
- Ferrari, J.R., Lookingbill, T.R., Neel, M.C., 2007. Two measures of landscape-graph connectivity: assessment across gradients in area and configuration. *Landscape Ecology* 22, 1315-1323.
- Fortuna, M.A., Gomez-Rodriguez, C., Bascompte, J., 2006. Spatial network structure and amphibian persistence in stochastic environments. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 273, 1429-1434.
- James, P. J., B. R. Rayfield, M.-J. Fortin, and A. Fall. 2005. Reserve network design combining spatial graph theory and species' spatial requirements. *Geomatica* 59:323– 333.
- Magle, S.B., Theobald, D.M., Crooks, K.R., 2009. A comparison of metrics predicting landscape connectivity for a highly interactive species along an urban gradient in Colorado, USA. *Landscape Ecology* 24, 267-280.
- Ministère des ressources naturelles et de la forme du Québec. 2012. Guy et des stations sylvicoles du Québec
- Rayfield, B., Fortin, M.J., Fall, A., 2011. Connectivity for conservation: a framework to classify network measures. *Ecology* 92, 847-858.
- Roy, M.-È., McCullough, V., Doyon, F. et E. Mauri Ortuno. 2010b. La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier (UAF) 62-51 & 62-52. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique

- Roy, M.-È., McCullough, V., Doyon, F. et J. Poirier. 2010a. Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 062-51 & 062-52. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique
- Roy, M.-È., V. McCullough et É. Forget. 2009. Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 064-52 et 061-51. Institut québécois d'Aménagement de la forêt feuillue et M.C. Forêt inc. 48 p.
- Roy, M.-È., V. McCullough, É. Forget et F. Doyon. 2009b. La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier 064-52 & 061-51 Rapport technique. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue et M.C. Forêt inc. 38 p + annexes.
- Saura, S., Pascual-Hortal, L., 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83, 91-103.
- Schick, R.S., Lindley, S.T., 2007. Directed connectivity among fish populations in a riverine network. *Journal of Applied Ecology* 44, 1116-1126.
- Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A., Schick, R.S., 2009. Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters* 12, 260-273.
- Vogt, P., Riitters, K., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T., Wickham, J. 2007a. Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecol.* 22, 171–177.
- Vogt, P., Riitters, K., Iwanowski, M., Estreguil, C., Kozak, J., Soille, P. 2007b. Mapping landscape corridors. *Ecol. Indic.* 7 (2), 481–488.
- Vogt, P., Ferrari, J 913 ., Lookingbill, T., Gardner, R., Riitters, K., Ostapowicz, K., 2009. Mapping functional connectivity. *Ecol. Indic.* 9, 64–71.

ANNEXES

). Plus le temps pour arriver à maturité est élevé, moins le potentiel est bon. L'indicateur se calculera selon la formule suivante (Équation 6) :

$$\text{Équation 6 :} \quad 1 - \frac{\Delta\hat{\text{Age}} - \text{MIN}}{\text{MAX} - \text{MIN}}$$

Où $\Delta\hat{\text{Age}}$ indique le temps requis pour que le peuplement devienne mûr. Le reste de la formule standardise entre 0 et 1.

Proximité au réseau de protection avec prélèvement

Ce critère utilise la même formule que le critère *proximité au réseau de protection sans prélèvement* pour son calcul. **L'Erreur ! Source du renvoi introuvable.** énumère les différentes affectations qui sont représentatives des zones de protection avec prélèvement.

Proximité au réseau des aires d'intensification de production ligneuse (AIPL)

Les experts ont jugé peu compatibles les valeurs de connectivité et de production intensive de matière ligneuse. En effet, comme la restauration de la connectivité d'habitats murs et surannés pourra impliquer de maintenir certains couverts en « laisser croître », il est favorable que ces habitats, qui serviront à la restauration, soit dans des zones extensives plutôt qu'intensives. Cependant, comme les zones d'intensification de production ligneuse (AIPL) n'étaient pas encore déterminées lors de la réalisation de cette étude, nous avons développé des règles simples et générales associées strictement à la facilité d'accès en fonction du réseau routier actuel. Pour ce faire, nous avons identifié des zones tampons de chaque côté des chemins du réseau routier, la largeur de cette zone tampon étant dépendante de la classe du chemin forestier (Tableau 9). La logique utilisée pour créer ce tableau est basée sur le principe que plus l'activité du chemin est intense, plus la zone est facile d'accès et possède donc un fort potentiel pour l'intensification de la sylviculture. Dans l'attribution de la valeur de l'indicateur, tous pixels se situant à l'intérieur de la zone tampon se voient attribuer une valeur de 0 et inversement, toutes tâches se situant à l'extérieur de la zone tampon se voient attribuer la valeur de 1.

Tableau 9. Largeur de la zone tampon autour des chemins selon le type et la classe de chemin.

| Type chemins | Tampon (km) |
|------------------------------------|-------------|
| Chemin forestier classe 3 | 0.5km |
| Chemin forestier classe 2 | 1 km |
| Non-déterminée | 1 km |
| Secondaire | 1 km |
| Autoroute | 2 km |
| Chemin carrossable non pavé | 2 km |
| Chemin carrossable pave | 2 km |
| Chemin forestier classe 1 | 2 km |
| Chemin forestier largeur excessive | 2 km |
| Collectrice | 2 km |

| | |
|----------------------------------|------|
| Nationale | 2 km |
| Permanent | 2 km |
| Primaire | 2 km |
| Rte d'accès aux ressources pavée | 2 km |
| Rte locale pavée | 2 km |
| Rue pavée | 2 km |
| Rte régionale | 2 km |

Résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE)

La restauration de la connectivité pourra exiger de maintenir des peuplements sur une rotation plus longue que celle proposée sur la base du rendement économique. Elle peut donc amener une perte d'opportunité économique et constitue donc un investissement à maintenir sur le territoire pour que le service écologique qu'elle procure se matérialise et ainsi, en veuille l'effort. On veut donc éviter de sélectionner des taches qui seront vulnérables aux épidémies de TBE.

L'indicateur utilisé pour représenter ce critère vise à représenter la vulnérabilité des peuplements aux épidémies de TBE. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode d'évaluation de la sévérité des épidémies développée par le ministère (Côté et Chabot 2012). Cette méthode permet d'estimer la mortalité prévue d'un peuplement en fonction de la composition, de l'âge, de la densité des peuplements et du drainage des sites. On y constate que la sévérité potentielle des épidémies de TBE sur les peuplements est plus importante en effet pour certains groupes d'essence (SEPM, SEPM-THO, mixte BOPR, mixte RBOP, mixte EROR, mixte RERO, mixte PEUR et mixte RPEU) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Pour appliquer notre indicateur pour ce critère, nous avons évalué le pourcentage de mortalité des peuplements en ajustant l'âge de ceux-ci en ajoutant 20 ans, puisque la prochaine épidémie est prévue pour 2035. Ainsi, comme les classes d'âge dans l'inventaire forestier sont à intervalles de 20 ans, nous avons augmenté simplement la classe d'âge des peuplements vers la suivante (10 → 30, 30 → 50, etc.). Pour notre indicateur nous avons utilisé donc l'inverse de la mortalité, soit la survie, en utilisant la formule suivante (Équation 7) :

$$\text{Équation 7} : \quad 1 - \% \text{ mortalité}$$

Productivité des sites

Pour évaluer ce critère, les partenaires experts ont estimé qu'il serait plus avantageux de choisir des sites moins productifs pour l'identification des taches visant à restaurer la connectivité. En effet, les rotations sur les sites moins productifs sont plus longues et permettent aux peuplements de remplir leur service écologique plus longtemps. De plus, comme ces sites supportent moins de volume, la perte d'opportunité économique associée au maintien sur des rotations plus longues de ces peuplements est moins importante.

Pour évaluer les classes de productivité des sites, nous nous sommes basés sur le Guide des stations sylvicoles du MRN (MRNF 2012).

À l'aide de ce document, une des 3 classes de productivité a pu être attribuée à chacune des taches (1 – faible, 2- modéré, 3- élevé), en fonction de la région écologique et de type écologique (Annexe 9). Pour cet indicateur, on assigne donc une cote de 1 à la classe faible, de 0.5 à la classe modérée et de 0 à la classe élevée.

Pourcentage de forêt intérieure

Avec ce critère, on accorde une importance plus grande aux taches qui possèdent des conditions de forêt d'intérieur. L'indicateur utilisé ici est la proportion de forêt d'intérieur observée dans la tâche. Pour évaluer cette proportion, nous avons retenu les pixels de forêt d'intérieur qui avaient été évalués à l'aide Guidos (voir la première partie de ce rapport), puis avons évalué la proportion que ces pixels occupaient dans la tâche. L'indicateur constitue donc directement cette proportion.

Problématique de connectivité par UTR

Il s'agit d'un indicateur qui prend en considération les résultats de l'analyse GUIDOS par UTR. Le calcul de l'indicateur de ce critère se veut une standardisation des résultats qui permet d'ordonner les différentes UTRs selon leur problématique de connectivité. Ce calcul considère simultanément les 4 types d'habitat sous étude (Tableau 4).

Résultats et discussion

Poids accordés aux critères

Sept participants ont évalué les 12 critères (Tableau 10). Ceux-ci ont estimé que les quatre critères suivants, soit la centralité, la problématique de connectivité de l'UTR et la proximité à un corridor riverain et au réseau de protection sans prélèvement avaient les poids les plus importants. À l'inverse, la proximité au réseau de protection avec prélèvement, aux zones d'intensification de la production ligneuse, la résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette et la productivité des sites ont été jugés les critères les moins importants. Pour l'attribution des poids les plus importants et les moins importants, les participants semblent s'entendre assez bien. Cependant, pour les poids mitoyens, il semble y avoir parfois de grandes divergences d'opinion entre les participants (prendre, par exemple, le « coût pour restaurer »), tel que nous l'indiquent les plus fortes valeurs de dispersion exprimées par l'écart-type.

Tableau 10. Poids accordés aux différents critères par les participants

| Critères | Participant | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Moyenne | Écart-type |
|---|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---------|------------|
| Contribution à la connectivité (centralité) | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4.00 | 0.00 |
| Problématique UTR | | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3.43 | 0.53 |
| Corridor riverain | | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3.29 | 0.76 |
| Position par rapport au réseau de protection sans prélèvement | | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3.14 | 0.69 |
| Forme des habitats (Ratio de forêt d'intérieur) | | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 4 | 2.57 | 1.13 |
| Coût pour restaurer | | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2.43 | 1.27 |
| Temps requis pour atteindre l'âge minimal | | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2.43 | 0.98 |
| Type d'habitat | | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2.29 | 0.95 |
| Position par rapport au réseau de protection avec prélèvement | | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1.71 | 0.76 |
| Proximité aux zones d'intensification de la production ligneuse | | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1.71 | 0.76 |
| Résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1.29 | 0.49 |
| Productivité des sites | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1.14 | 0.38 |

Application des modèles d'indicateurs pour l'analyse multicritère

Les modèles d'indicateurs pour chacun des critères ont été appliqués dans chacune des 4 UAFs. Les cartes des valeurs des 12 indicateurs des critères peuvent être consultées dans les couches géomatiques décrites dans Tableau 11.

Tableau 11. Couches géomatiques présentant les résultats de l'application des modèles d'indicateurs de critères.

| Critères | Projet | Dataframe | Couches |
|---|--------|-----------|-----------------------------------|
| Type d'habitat | AMC | An. Mult. | Ponderation_Habitat |
| Contribution à la connectivité (centralité) | AMC | An. Mult. | Centralité |
| Problématique UTR | AMC | An. Mult. | Ponderation_Problématique par UTR |
| Corridor riverain | AMC | An. Mult. | Corridors riverains |
| Position par rapport au réseau de protection sans prélèvement | AMC | An. Mult. | Protection sans prélèvement |
| Forêt d'intérieur | AMC | An. Mult. | Forêt d'intérieur |
| Temps requis pour restaurer | AMC | An. Mult. | Temps requis à la restauration |
| Coût pour restaurer | AMC | An. Mult. | Coût pour restaurer |
| Position par rapport au réseau de protection avec prélèvement | AMC | An. Mult. | Protection avec prélèvement |
| Proximité aux zones d'intensification de la production ligneuse | AMC | An. Mult. | AIPL |
| Résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette | AMC | An. Mult. | TBE |
| Productivité des sites | AMC | An. Mult. | Productivité |

Résultats de l'analyse multicritère

L'application de l'équation multicritère a permis d'obtenir une valeur pondérée pour chaque tâche potentielle afin d'évaluer sa pertinence à contribuer à la restauration de la connectivité. Comme la centralité a été évaluée à trois échelles (trois seuils de distance de déplacement), le calcul de la valeur multicritère de chaque tâche a été réalisé pour ces trois seuils de distance de déplacement. On peut observer au Tableau 12 que les valeurs obtenues de l'analyse multicritère varie entre 0.27 et 0.80, avec une moyenne autour de 0.55 et un écart-type de 0.07. Lorsqu'on compare les UAFs, on note que les valeurs des UAFs 62-51 et 62-52 sont plus basses que celles des UAFs 61-51 et 64-54. Lorsqu'on compare les valeurs par seuil de distance de déplacement, on s'aperçoit que les valeurs augmentent avec la distance. Cependant, les valeurs de l'analyse multicritère sont davantage corrélées entre les deux plus grands seuils de distance (corrélation entre 2 km et 5 km : $r=0.96$) que ces deux derniers avec le seuil le plus petit (corrélation entre 500m et 2 km : $r=0.89$, corrélation entre 500m et 5 km : $r=0.88$).

Tableau 12. Statistiques des valeurs de l'analyse multicritère par UAFs et par seuil de distance de déplacement.

| Seuil de distance de déplacement | Minima | | | Moyennes | | | Maxima | | | Écart-Types | | |
|----------------------------------|--------|------|------|----------|------|------|--------|------|------|-------------|------|------|
| | 500M | 2KM | 5KM | 500M | 2KM | 5KM | 500M | 2KM | 5KM | 500M | 2KM | 5KM |
| 6151 | 0.36 | 0.38 | 0.39 | 0.55 | 0.58 | 0.60 | 0.76 | 0.75 | 0.77 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| 6251 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.52 | 0.55 | 0.56 | 0.71 | 0.73 | 0.73 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| 6252 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.51 | 0.55 | 0.55 | 0.68 | 0.73 | 0.73 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| 6452 | 0.34 | 0.36 | 0.36 | 0.57 | 0.60 | 0.61 | 0.75 | 0.78 | 0.80 | 0.07 | 0.08 | 0.08 |
| Total | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.53 | 0.56 | 0.57 | 0.76 | 0.78 | 0.80 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |

Les valeurs de l'analyse multicritère des taches peuvent être consulté dans les couches géomatiques dans le CD accompagnant ce rapport (**Projet ArcGis : AMC.mxd; DataFrame : Résultats de l'AMC; Layers : (Pour chaque UAF) Seuil de distance 500 m, Seuil de distance 2000m, Seuil de distance 5000 m**).

Optimisation de la stratégie de restauration de la connectivité

Objectifs

Dans la quatrième et dernière partie de cette étude, nous utilisons les résultats de l'analyse multicritère pour optimiser le choix des taches à restaurer et pour évaluer comment différents niveaux d'efforts pour restaurer les peuplements mûrs et surannés à dominance résineuse permettraient de restaurer la connectivité en ces habitats. Il s'agit donc d'évaluer comment l'appréciation en superficie en habitats restaurés vient améliorer la connectivité. Les objectifs spécifiques de cette partie sont donc :

- 1) D'identifier une mesure de centralité globale qui permette d'évaluer la connectivité sur l'ensemble d'une UAF;
- 2) De mettre les taches potentielles en ordre décroissant de pertinence pour la restauration de la connectivité. Pour cet objectif, nous utilisons soit l'ordre découlant de l'analyse multicritère, soit l'ordre découlant uniquement de la centralité. Cet ordonnancement est réalisé par UAF, pour chacun des trois seuils de distance de déplacement ;
- 3) De développer une approche d'évaluation de rendement de la connectivité en fonction de la superficie restaurée (courbe de rendement);

Méthodologie

Mesure de centralité globale

La mesure de centralité s'appliquait à l'échelle de la tache pour évaluer sa contribution à la connectivité. Pour l'exercice qui nous intéresse dans cette dernière partie, nous voulons voir comment la connectivité globale du paysage s'améliore avec l'ajout de taches potentielles qui seraient restaurées en habitat désiré. Bien qu'il existe une myriade de mesures de centralité globale (Rayfield *et al.* 2011), nous avons opté pour une mesure simple permettant de mieux comprendre les effets améliorants de la restauration en habitat sur la connectivité. Cette mesure est la taille moyenne et médiane des grappes de taches connectées. Elle se calcule facilement en identifiant, premièrement, les grappes qui sont composées de taches connectées au seuil de distance de déplacement utilisé (500m, 2km, 5km), et deuxièmement, en sommant la superficie des taches qui composent chacune de ces grappes. Il est alors possible d'en déduire des statistiques sur la distribution de fréquence des classes de taille des grappes, telles la moyenne et la médiane. L'augmentation de ces dernières nous informe alors sur l'amélioration de l'état de la connectivité du paysage. L'identification des grappes et des taches qui les composent ainsi que le calcul de leur superficie ont été effectués avec *igraph*.

Courbe de rendement en restauration de la connectivité

Dans un contexte où il est important d'optimiser les investissements, nous proposons ici de fournir un outil d'évaluation de l'appréciation de la connectivité du paysage en fonction des efforts réalisés en restauration en habitat. Cet outil est une courbe de rendement qui présente l'amélioration de la connectivité en fonction de la superficie restaurée. Pour ce faire, nous évaluons la connectivité globale séquentiellement suite à l'ajout successif de blocs de 500 ha de taches en habitats potentiels. Ces blocs sont obtenus en cumulant les superficies des taches qui ont été mises en ordre de priorité décroissant en commençant par celles ayant obtenu les meilleures valeurs jusqu'au moins bonnes. On obtient ainsi des blocs de 500 ha, allant du meilleur bloc au moins bon. Pour cet exercice, nous utilisons deux ordres de priorité : premièrement, l'ordre découlant des mesures de centralité seulement, et deuxièmement, l'ordre découlant des résultats de l'analyse multicritère. En procédant ainsi, nous nous assurons que les premiers efforts demeurent les plus intéressants, c'est-à-dire qui offrent le plus d'amélioration de connectivité, tout en étant cohérents et respectueux du zonage fonctionnel du territoire.

Compte tenu des différences entre les UAFs dans le nombre de taches potentielles pour la restauration (Tableau 7), le nombre de blocs de 500 ha pouvant s'ajouter à la superficie des habitats actuels est différent. Ainsi, pour l'UAF 61-51, seulement sept blocs de 500 ha peuvent à être ajoutés alors que pour l'UAF 62-51 et l'UAF 62-52, il y en aurait 80 et 110 ! Ainsi, pour ces deux UAFs, nous utilisons des blocs incrémentiels de 1000 ha plutôt. Ces différences ne sont pas très importantes néanmoins, car ce qui nous intéresse, c'est surtout ce qui se produit dans les premiers milliers d'hectares de restauration, puisque de façon réaliste, les efforts de restauration se situeront plutôt dans cet ordre de grandeur. Les courbes de rendement en connectivité ont été créées pour chaque seuil de distance évalué (500 m, 2 km et 5 km).

Résultats

Courbe de coût de rendement

Ordre de priorité basé sur la centralité

Pour les UAFs 61-51 et 64-52 (Figure 20 et Figure 21), nous avons observé des patrons similaires. En effet, il existe une différence importante, et cela, selon le seuil de distance de déplacement, dans la façon dont la taille moyenne de la grappe augmente à mesure qu'on ajoute des superficies d'habitat des taches potentielles. Pour un seuil de distance de 5 km, la taille moyenne de la grappe augmente géométriquement à mesure que le nombre d'habitats restaurés augmente. Ainsi, on dénote un point d'inflexion important dans la courbe autour de 2000 ha pour l'UAF 61-51, et 3000 ha pour l'UAF 64-52. Ce résultat nous indique qu'il devient de plus en plus intéressant d'ajouter de la superficie en habitat restauré, et ce, malgré le fait que ce soient les meilleures taches qui aient été ajoutées au départ. On peut donc observer un effet de densité de taches, qui soit plus important que l'effet associé au positionnement des taches. On peut aussi dire que pour l'effort de restauration, il devient surtout

intéressant après ce point d'inflexion, car le rendement en connectivité augmente plus rapidement après ces superficies.

En revanche, pour le seuil de distance de 2 km, la courbe de rendement en connectivité augmente linéairement pour les 2 UAFs. On note que la taille moyenne des grappes s'apprécie de 13-15% de la valeur initiale (soit lorsqu'on considère seulement les taches actuelles) par bloc de 500 ha. Cependant, dans le cas de l'UAF 61-51, elle se stabilise autour de 2500 ha, suggérant un seuil au-delà duquel la connectivité ne s'améliorerait pas.

Pour ce qui est du seuil de distance de déplacement de 500 m, la taille moyenne de la grappe n'augmente pas significativement pour ces deux UAFs. Ainsi, l'effort pour restaurer davantage d'habitats ne se traduit plus par une plus grande connectivité. En effet, on constate que les taches actuelles d'habitat sont très dispersées, de même que les taches potentielles par rapport aux taches actuelles (voir les couches AMC.mxd/Taches dans le CD accompagnant ce rapport). Il faudrait donc ajouter une quantité plus importante que la quantité qui serait disponible si toutes les taches potentielles étaient utilisées avant de voir la moyenne de la taille des grappes augmenter significativement.

Pour les UAFs 62-52 et 62-51 (Figure 22, Figure 23), on observe une augmentation linéaire de la taille moyenne de la grappe en fonction de la superficie restaurée, puis, une fois rendu à des superficies restaurées importantes, on observe une progression géométrique de la tailles des grappes (point d'inflexion entre 15 000 et 30 000 ha restaurés), et cela, pour tous les seuils de distance de déplacement. Pour les seuils de distances de 2 km et de 500 m, l'augmentation de taille moyenne de la grappe atteint une valeur maximale, après quoi l'effort de restauration de l'habitat ne résultera pas en une augmentation de la connectivité. On peut constater qu'au-delà de ce seuil pour ces deux distances de déplacement, l'ajout de massifs d'habitat entraîne une diminution rapide de la taille moyenne de la grappe. Ceci s'explique par le fait que ces massifs boisés ajoutés soient éloignés (faible centralité) et donc, non liés aux grappes existantes, étant donné le seuil de distance, ajoutant ainsi plusieurs grappes, et réduisant la taille moyenne de grappe dans le paysage.

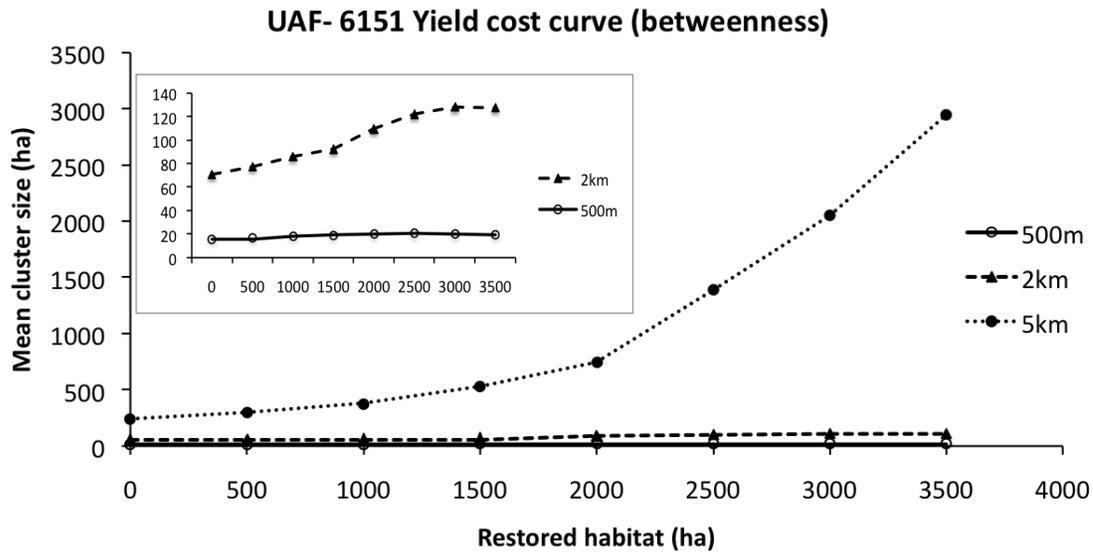


Figure 20. Taille moyenne des grappes en fonction de l’effort en superficie de restauration d’habitat utilisant l’ordre de priorité des valeurs de centralité pour l’UAF 61-51. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d’observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

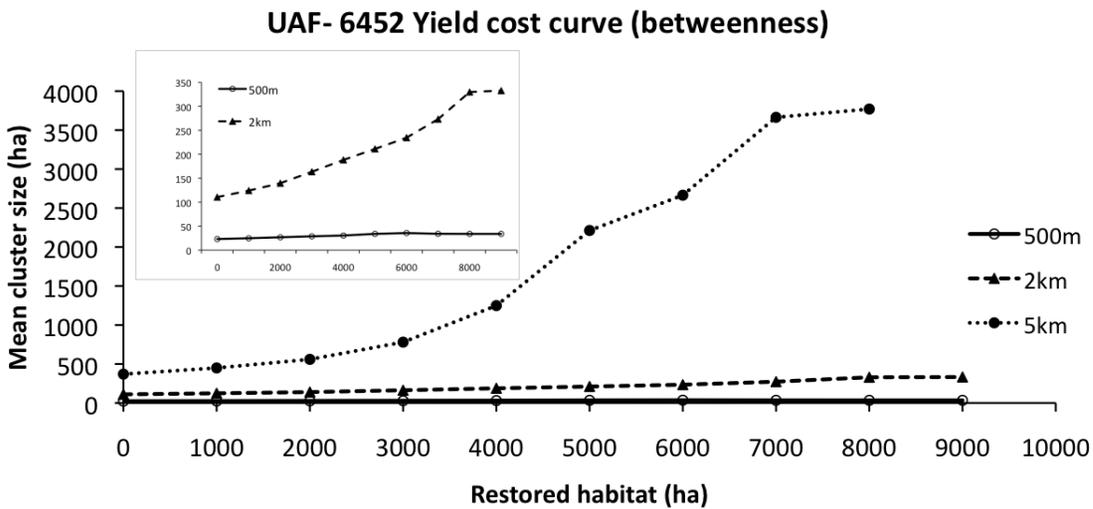


Figure 21. Taille moyenne des grappes en fonction de l’effort en superficie de restauration d’habitat utilisant l’ordre de priorité des valeurs de centralité pour l’UAF 64-52. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d’observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

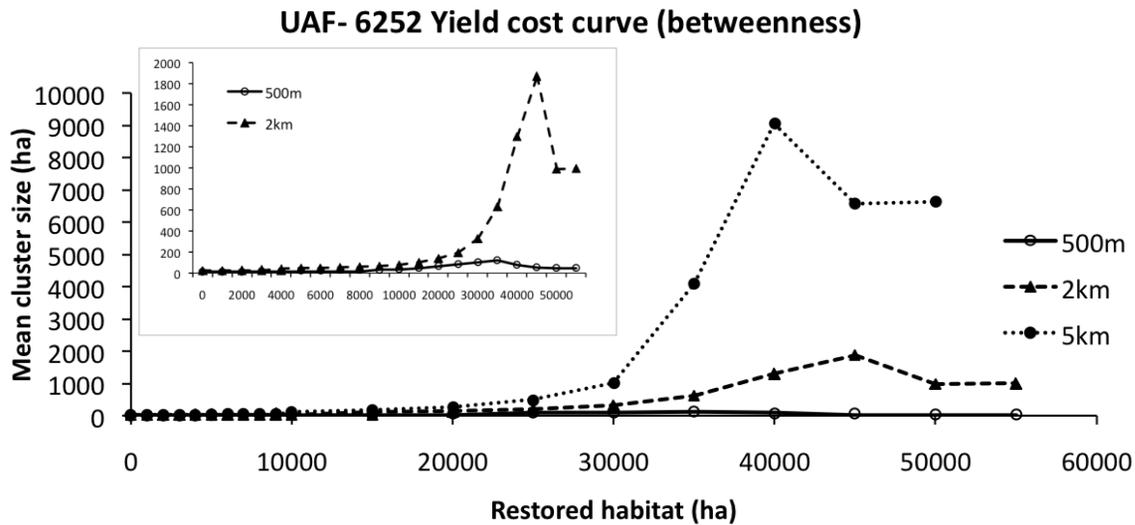


Figure 22. Taille moyenne des grappes en fonction de l’effort en superficie de restauration d’habitat utilisant l’ordre de priorité des valeurs de centralité pour l’UAF 62-52. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d’observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

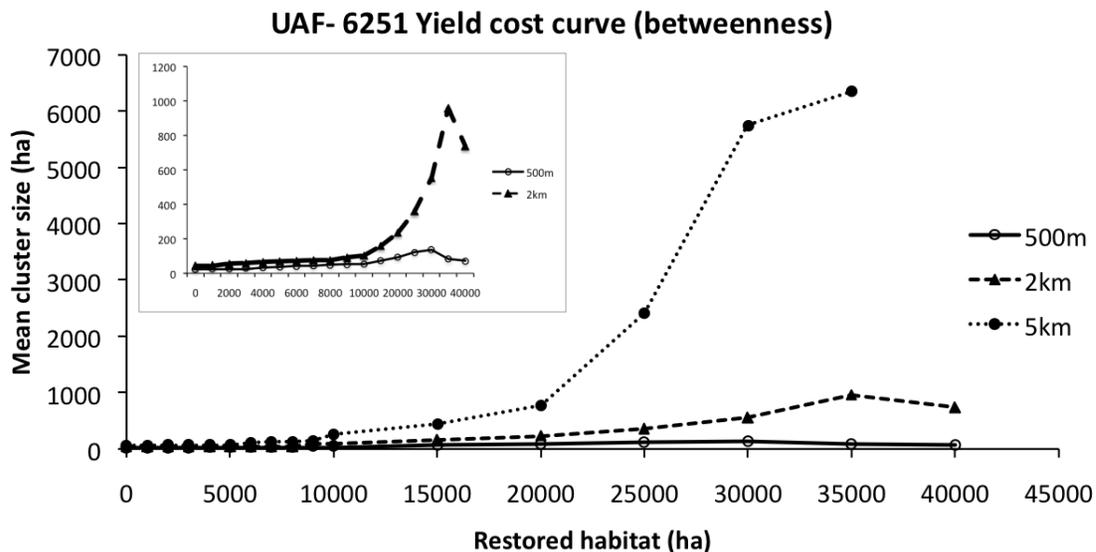


Figure 23. Taille moyenne des grappes en fonction de l’effort en superficie de restauration d’habitat utilisant l’ordre de priorité des valeurs de centralité pour l’UAF 62-51. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d’observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

Ordre de priorité basé sur les valeurs de l'analyse multicritère

Les patrons observés pour l'ordre de priorité basé sur la centralité sont se reproduits similairement lorsqu'on utilise l'ordre de priorité basé sur les valeurs de l'analyse multicritère (Figure 24, Figure 25, Figure 26, Figure 27). On observe néanmoins que l'amélioration de la connectivité se fait moins rapidement avec l'ajout de superficies en habitat que lorsque seule la centralité est considérée pour régir l'ordre de priorité, et cela, pour tous les seuils de distance de déplacement. En effet, on remarque que les points d'inflexion, les plateaux et les maxima (lorsqu'ils sont présents) arrivent après plus d'efforts de restauration. Ce cas est particulièrement évident pour les UAFs 62-52 et 62-51 lorsqu'on compare les maxima atteints avec l'un et l'autre des deux ordres de priorité. On peut donc dire que **la considération multiple et simultanée d'autres critères dans la sélection des tâches à restaurer se fait donc à un coût d'efficacité moindre en amélioration de la connectivité.**

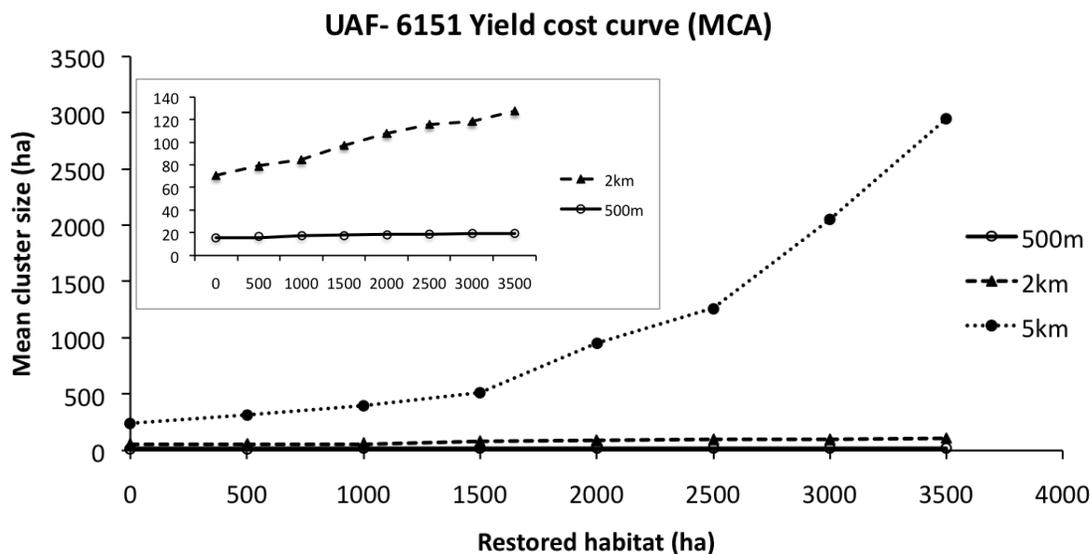


Figure 24. Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 61-51. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d'observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

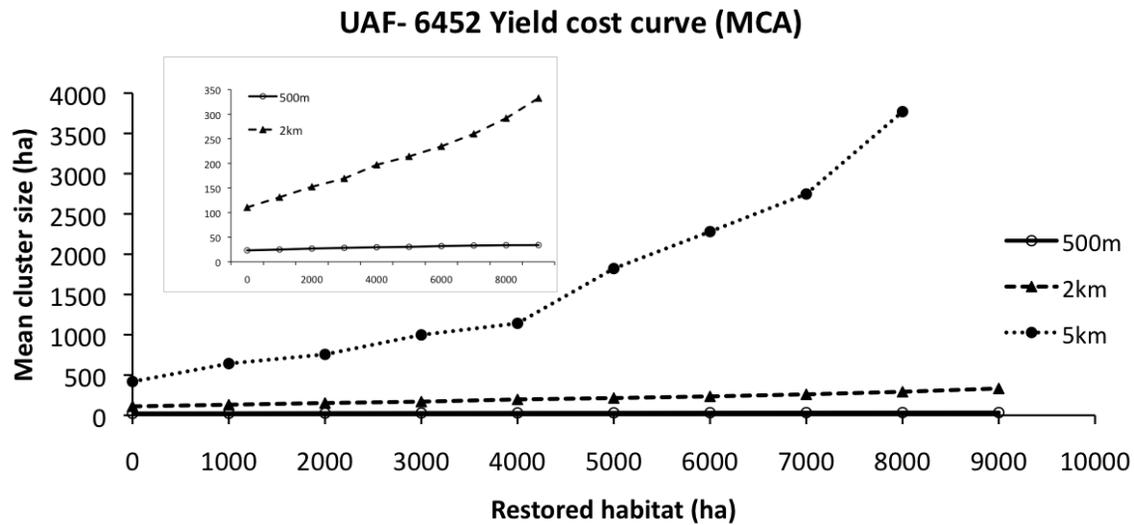


Figure 25. Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 64-52. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d'observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

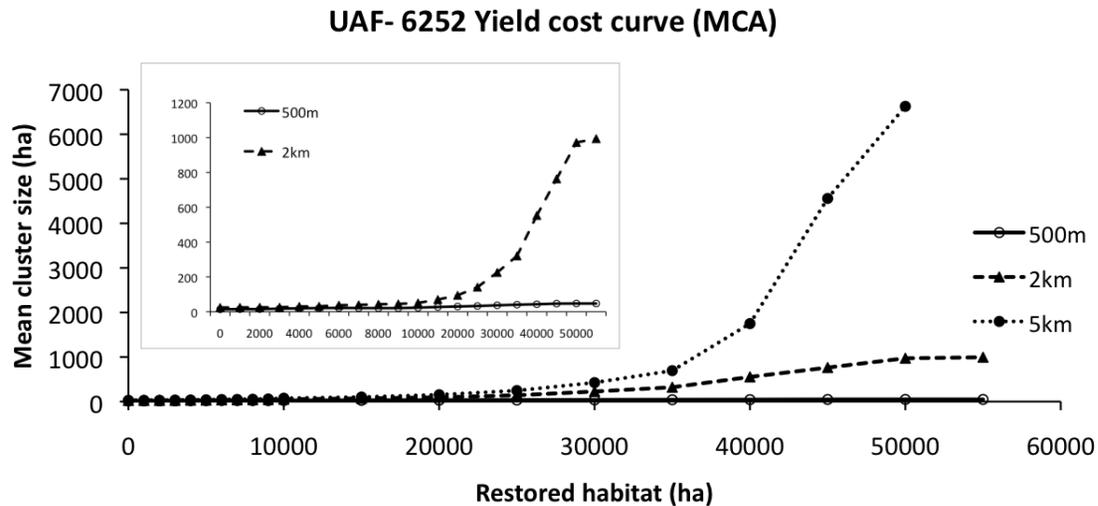


Figure 26. Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 62-52. Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d'observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

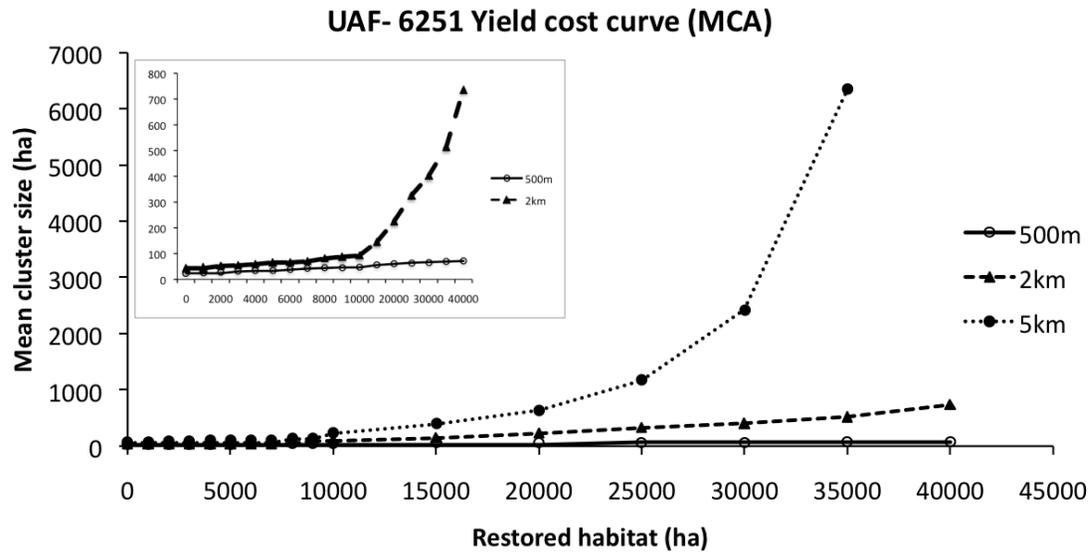


Figure 27. Taille moyenne des grappes en fonction de l'effort en superficie de restauration d'habitat utilisant l'ordre de priorité des valeurs de l'analyse multicritère (MCA) pour l'UAF 62-51.

Le graphique en médaillon présente les résultats sous une échelle plus petite, permettant d'observer plus en détail le patron des courbes de 2 km et de 500 m.

Il est intéressant de détailler davantage le mécanisme de sélection des taches afin de mieux comprendre ce qui résulte de l'application de l'ordre de priorité. Pour l'UAF 61-51, on constate alors que la taille moyenne et médiane des grappes n'augmente presque pas à cause d'une augmentation du nombre de grappes après que celui-ci ait baissé de 500 et 2000 ha de superficie en habitat ajouté (Figure 28). Ainsi, l'ajout de superficie après 2000 ha ne fait qu'augmenter le nombre de petites grappes et ne permet pas de connecter les taches entre elles. Ce phénomène s'observe sur les cartes (voir les cartes dans les couches géomatiques (***ArcGis :Réseau de graphes.mxd/6151/ Ajout séquentiel selon l'ordre de priorité de l'AMC avec la centralité évaluée à 500 m***)) puisque l'ajout de superficies de 0 à 3500 ha ne semble visuellement pas changer l'organisation des grappes connectées.

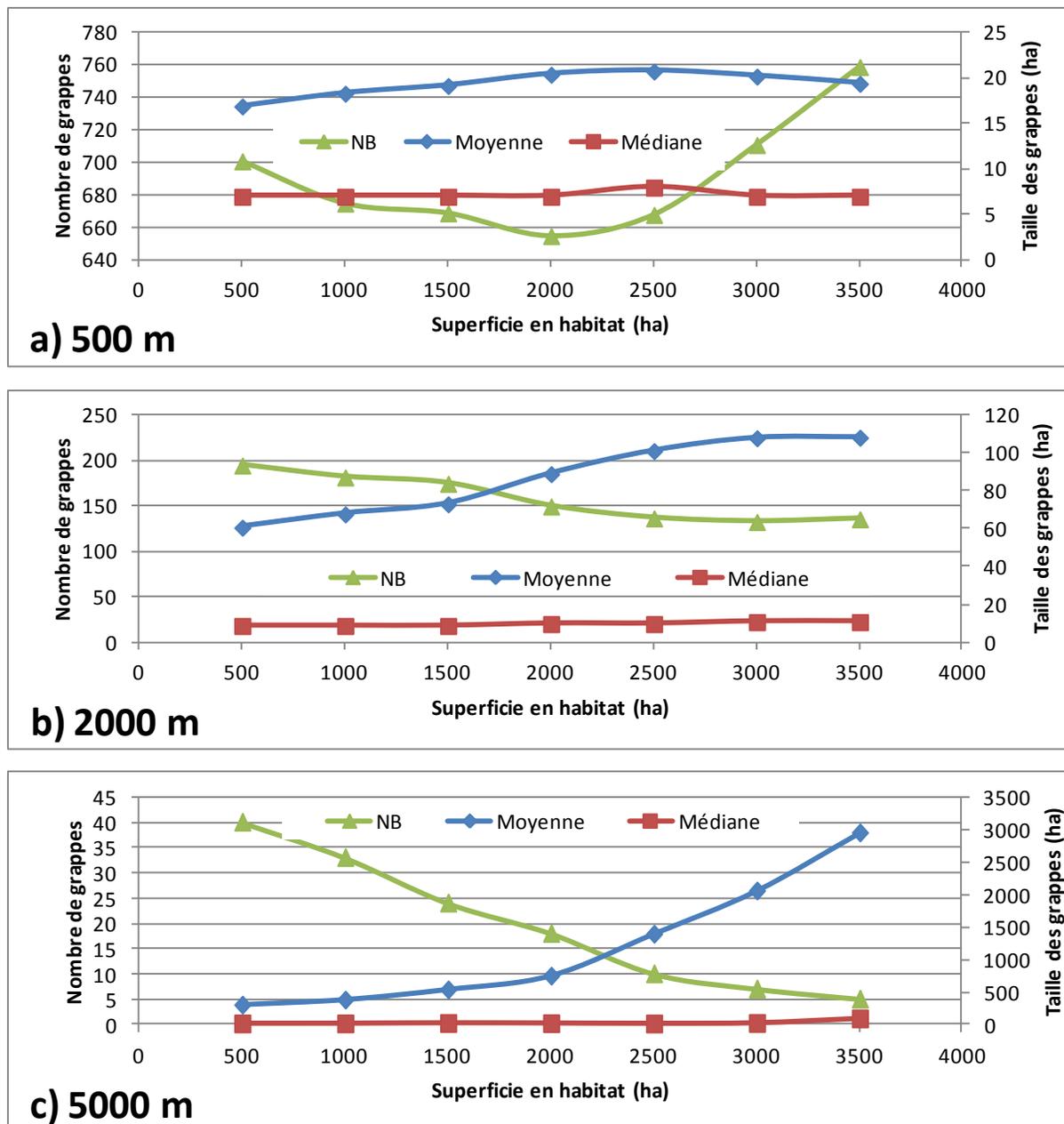


Figure 28. Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l'UAF 61-51.

Pour le seuil de 2000m et de 5000 m, on voit une augmentation de la taille moyenne des grappes accompagnée d'une baisse substantielle du nombre de grappes, mais la médiane ne change pas. Ainsi, cela nous permet de dire que seulement certaines grappes se mettent à se connecter entre elles pour faire un plus grand massif, délaissant les petites grappes de façon isolée. Cette dynamique est très bien capturée lorsqu'on observe les cartes de la répartition des grappes avec l'augmentation de la superficie restaurée (voir les cartes dans les couches géomatiques (*ArcGis :Réseau de graphes.mxd/6151/ Ajout séquentiel selon l'ordre de priorité de l'AMC avec la centralité évaluée à 2000 m et à 5000 m*). Par exemple, on constate pour le seuil de distance de 2000 m, qu'après 1000 ha ajoutés, les taches du nord-

ouest forment un grand massif tout connecté, et qu'après 2000 ha, de grands massifs connectés se dessinent sur l'ensemble de l'UAF. Ce phénomène de dominance des grappes de très grandes superficies est encore plus important pour le seuil de distance de 5000 m, où l'on peut voir qu'après 2000 ha d'ajout en habitat potentiel, il ne reste que quelques très grands massifs connectés.

Pour l'UAF 64-52, les mêmes constats apparaissent avec la différence que l'atteinte des plateaux se fait après plus de superficie restaurée (8000 ha) et qu'on n'observe pas d'augmentation du nombre de grappes après avoir atteint le minimum (Figure 29) comme pour l'UAF 61-51.

Pour les UAFs 62-51 et 62-52, on peut remarquer la relation entre le nombre de grappes et la taille moyenne des tailles des grappes (Figure 30, Figure 31). Au début, et cela pour les trois seuils de distance de déplacement, les deux changent linéairement pour atteindre un point d'inflexion, et puis se mettent à changer rapidement pour ensuite atteindre un plateau. Cette dynamique est très bien capturée lorsqu'on observe les cartes de la répartition des grappes avec l'augmentation de la superficie restaurée (voir les cartes dans les couches géomatiques (***ArcGis :Réseau de graphes.mxd/6251/ Ajout séquentiel selon l'ordre de priorité de l'AMC avec la centralité évaluée à 500 m, 2000 m et à 5000 m***)). On peut y voir que l'ajout de taches potentielles est optimisé, car les premières superficies ajoutées se font dans les corridors identifiés comme étant les plus prometteurs en matière de connectivité dans la deuxième partie de cette étude (Évaluation de la centralité des taches). En effet, on observe dans le passage de 1000 ha à 10 000 ha de superficie ajoutée une consolidation du réseau de connectivité.

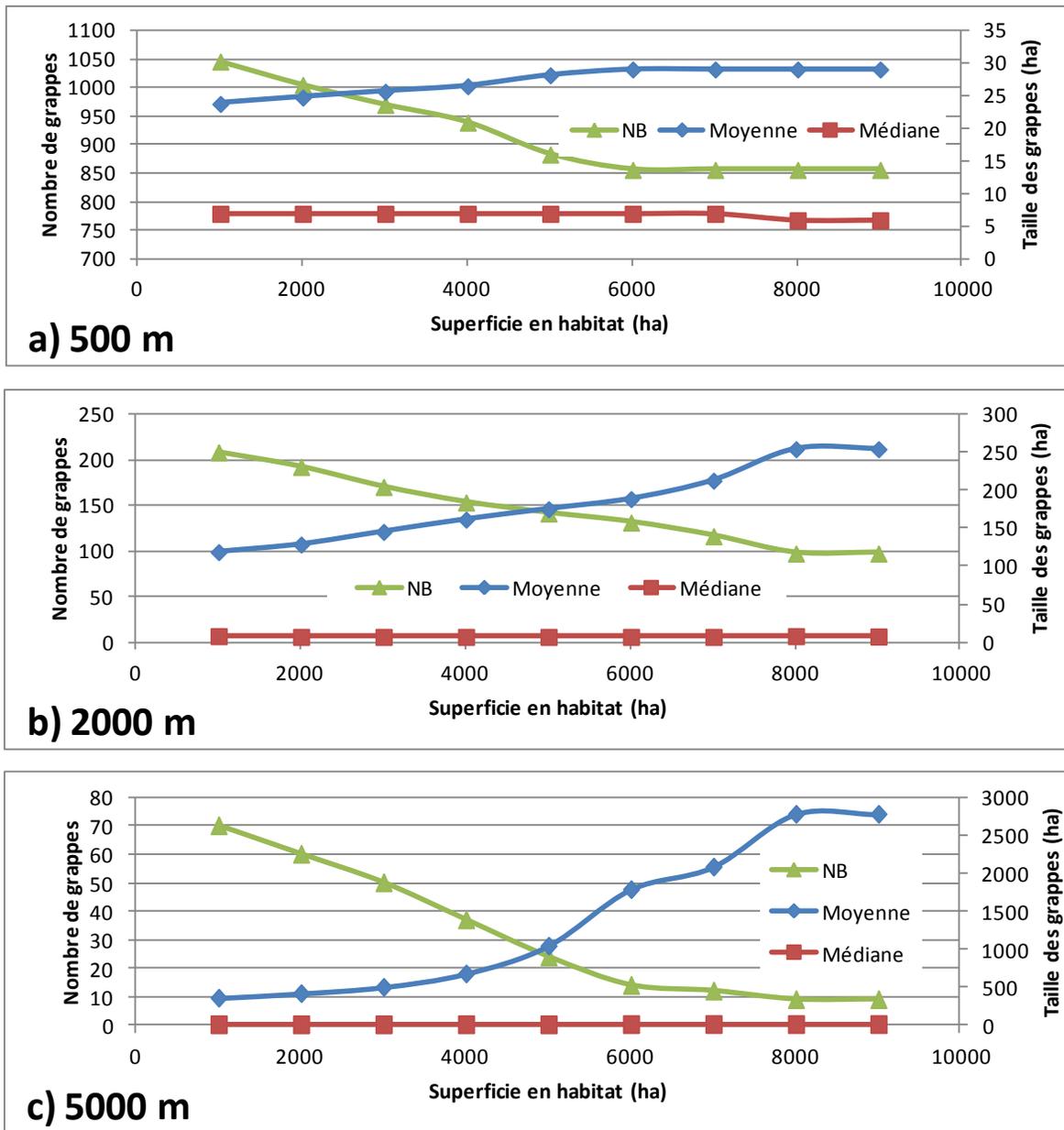


Figure 29. Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l'UAF 64-52.

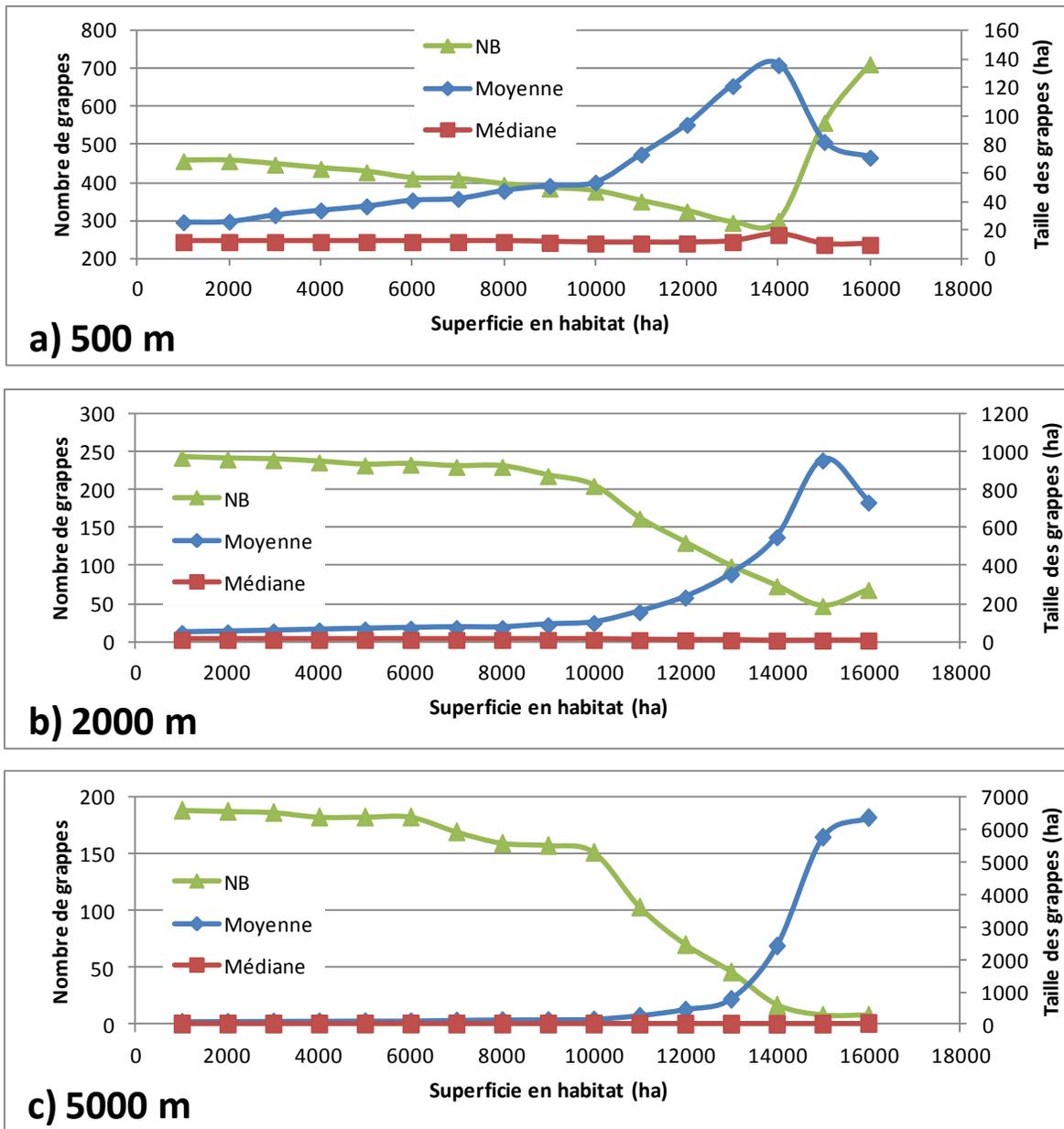


Figure 30. Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l’UAF 62-51.

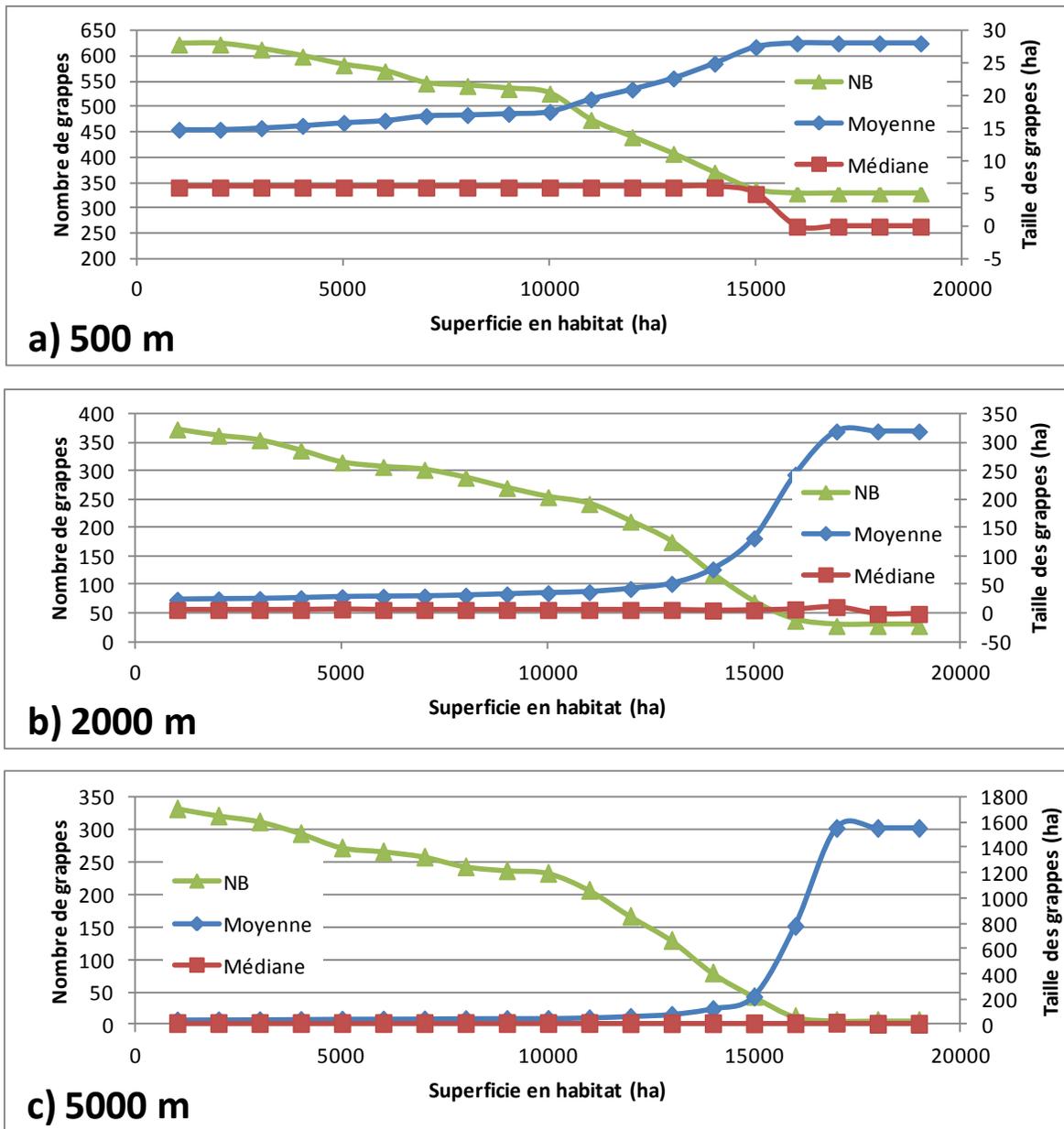


Figure 31. Statistiques des grappes (nombre de tache, moyenne et médiane de la taille des grappes pour l’UAF 62-52.

Conclusions

En conclusion, nos travaux ont démontré les résultats suivants :

- 1) L'analyse des classes morphologiques (telle que réalisée ici avec GUIDOS) offre une approche simple et rapide pour faire le diagnostic des problèmes de connectivités.
- 2) La comparaison entre l'état actuel et la distribution de la végétation potentielle tel qu'exprimé par les types écologiques offre une base solide pour établir des priorités de restauration en matière de connectivité. Les problèmes de connectivité diagnostiqués diffèrent d'une UAF à l'autre, et entre les UTRs d'une même UAFs. Parmi les 4 UAFs analysées, les UAFs 62-51 et 62-52 sont les plus éloignées du potentiel. L'UAF 61-51 montre des signes importants de fragmentation pour les habitats étudiés, mais cela semble plutôt dû aux conditions écologiques qui ne permettraient pas de supporter beaucoup plus de MR&R M-S ;
- 3) L'évaluation de la centralité a permis de démontrer qu'il existe une minorité de taches actuelles très importantes à préserver, puisqu'elles servent de carrefour pour la connectivité. D'autre part, parmi les taches potentielles qui permettraient de restaurer la connectivité, certaines sont plus importantes que d'autres.
- 4) La répartition spatiale des valeurs de centralité des taches montre une prépondérance à voir s'agglomérer les meilleures taches (centralité élevée) dans une structure de corridors (souvent dans les fonds de vallées) à mesure que le seuil de distance maximal de déplacement augmente. Ce résultat est extrêmement important puisqu'il permet d'identifier les corridors de connectivité à privilégier pour chaque UAF.
- 5) L'analyse multicritère a permis d'intégrer la dimension de la connectivité simultanément à un ensemble de valeurs, parfois opposées, de façon à tenir compte des usages et vocations des taches potentielles pour la restauration des superficies en habitat à dominance résineuse mûrs et surannés.
- 6) On observe une limite au bénéfice de la restauration d'habitat selon le seuil de distance maximale de déplacement. Ce résultats suggère qu'au lieu de se concentrer sur la restauration d'une grande quantité d'habitats, on devrait d'abord considérer les massifs forestiers clés de restauration (dont les valeurs de centralité ou d'analyse multicritère sont élevées), qui contribuent davantage à la connectivité (taille moyenne de la grappe).
- 7) Bien que nous ayons optimisé la restauration en mettant en priorité les taches potentielles présentant le meilleur potentiel de restauration de la connectivité, on observe en général une forme géométrique d'amélioration de la connectivité en fonction de la superficie restaurée, avec un point d'inflexion variant selon l'UAF. Cela suggère que la superficie totale en habitat restauré (effet de densité de taches dans le paysage) est plus importante pour ces UAFs que la valeur de centralité de chacune de taches. Néanmoins, on s'aperçoit que l'ordre de priorité basé sur la centralité seulement permet de restaurer plus rapidement la connectivité que si l'ordre de priorité provient des valeurs de l'analyse multicritère.
- 8) Nos résultats montrent que la connectivité du paysage varie lorsque différents seuils de distance de déplacement sont considérés. La structure plutôt dispersée des massifs actuels et des taches d'habitat potentiel offre peu de potentiel de restauration de la connectivité pour les animaux à

faible distance maximale de déplacement (peu mobile); ils ne seront pas favorisées par la connectivité des massifs forestiers puisqu'ils ne pourront pas rejoindre les massifs restaurés. Ainsi, les objectifs de rétablissement de la connectivité doivent être orientés vers les animaux à mobilité modérée et grande.

- 9) Nos travaux montrent l'absence de règles générales pouvant caractériser simplement la connectivité : malgré le fait que les UAFs de cette étude se situaient dans un même territoire, chacune d'entre elles présente des caractéristiques propres, requérant une stratégie de restauration de la connectivité adaptée à celles-ci.

Ces travaux présentent une approche originale permettant d'inclure la dimension de la connectivité dans la planification forestière. L'analyse de la connectivité par les métriques de réseau de graphes constitue un outil extrêmement utile pour évaluer 1) les massifs à préserver et 2) les massifs à restaurer. Nos résultats nous amènent à recommander qu'il faille évaluer explicitement la connectivité dans la planification forestière. Nous croyons que cette approche analytique pourrait être utilisée pour évaluer différents scénarios futurs (PAFI-T) qui se traduiraient nécessairement en perte en habitat actuel vs. en gain en habitat potentiel. De plus, elle pourrait servir aussi afin de faire du monitoring des écosystèmes et ainsi mieux documenter l'évolution des conditions écologiques à l'échelle du paysage.

Les taches potentielles les plus importantes sont rares et cruciales. Comme leur potentiel de restauration est plus important, il est cohérent de voir à les laisser atteindre le stade mûr, voire à accélérer le développement de ces taches.

Pour notre étude de cas particulièrement, nous recommandons, autant pour les taches actuelles ou que celles potentielles qui seront visées pour assurer la restauration de la connectivité, de les maintenir sous un régime avec rotation prolongée afin que le service écologique qu'elles offrent dure une certaine période de temps, en attendant que d'autres taches potentielles viennent prendre le relais. Mettre celles-ci en régimes de coupes partielles pourrait permettre à ces taches de remplir leur rôle fonctionnel pour la connectivité, tout en générant du volume de matière ligneuse. Il faudra néanmoins faire attention à ce que la sylviculture employée ne vienne pas dénaturer le peuplement, au point qu'il ne soit plus représentatif du stade (mûr ou suranné) inscrit dans l'information cartographique.

Littérature citée

- Bodin, O., Norberg, J., 2007. A network approach for analyzing spatially structured populations in fragmented landscape. *Landscape Ecology* 22, 31-44.
- Brooks, C.P., Antonovics, J., Keitt, T.H., 2008. Spatial and temporal heterogeneity explain disease dynamics in a spatially explicit network model. *American Naturalist* 172, 149-159.
- Cantwell, M.D., Forman, R.T.T., 1993. Landscape graphs-ecological modeling with graph-theory to detect configurations common to diverse landscapes. *Landscape Ecology* 8, 239-255.
- Côté, L. et M. Chabot. 2012. Méthode pour intégrer au calcul de possibilité l'effet de la prochaine épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette et l'application d'une stratégie de lutte intégrée. Direction de la conservation des forêts, Ministère des ressources naturelles du Québec. 5 p. + 2 Annexes.
- Doyon, F. et D. Bouffard. 2009. Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier de l'UAF 64-51 au cours du 20ème siècle. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique, 84 p. + 9 Annexes.
- Doyon, F. et Varady-Szabo H. 2012. Synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec. Pages 9-20 In "Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris de la dernière décennie?" P. Raymond et D. Dumais, édés. Colloque de transfert de connaissances, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des Congrès, Québec, Qc, Canada.
- Elbakidze, M., P. Angelstam, K. Andersson, M. Nordberg, et Y. Pautov. 2011. How does forest certification contribute to boreal biodiversity conservation? Standards and outcomes in Sweden and NW Russia. *Forest Ecology and Management* 262: 1983–1995.
- Fall, A., M.-J. Fortin, M. Manseau, and D. O'Brien. 2007. Spatial graphs: principles and applications for habitat connectivity. *Ecosystems* 10:448-461.
- Ferrari, J.R., Lookingbill, T.R., Neel, M.C., 2007. Two measures of landscape-graph connectivity: assessment across gradients in area and configuration. *Landscape Ecology* 22, 1315-1323.
- Fortuna, M.A., Gomez-Rodriguez, C., Bascompte, J., 2006. Spatial network structure and amphibian persistence in stochastic environments. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 273, 1429-1434.
- James, P. J., B. R. Rayfield, M.-J. Fortin, and A. Fall. 2005. Reserve network design combining spatial graph theory and species' spatial requirements. *Geomatica* 59:323– 333.
- Magle, S.B., Theobald, D.M., Crooks, K.R., 2009. A comparison of metrics predicting landscape connectivity for a highly interactive species along an urban gradient in Colorado, USA. *Landscape Ecology* 24, 267-280.
- Ministère des ressources naturelles et de la forme du Québec. 2012. Guy et des stations sylvicoles du Québec

- Rayfield, B., Fortin, M.J., Fall, A., 2011. Connectivity for conservation: a framework to classify network measures. *Ecology* 92, 847-858.
- Roy, M.-È., McCullough, V., Doyon, F. et E. Mauri Ortuno. 2010b. La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier (UAF) 62-51 & 62-52. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique
- Roy, M.-È., McCullough, V., Doyon, F. et J. Poirier. 2010a. Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 062-51 & 062-52. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique
- Roy, M.-È., V. McCullough et É. Forget. 2009. Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 064-52 et 061-51. Institut québécois d'Aménagement de la forêt feuillue et M.C. Forêt inc. 48 p.
- Roy, M.-È., V. McCullough, É. Forget et F. Doyon. 2009b. La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en oeuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier 064-52 & 061-51 Rapport technique. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue et M.C. Forêt inc. 38 p + annexes.
- Saura, S., Pascual-Hortal, L., 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83, 91-103.
- Schick, R.S., Lindley, S.T., 2007. Directed connectivity among fish populations in a riverine network. *Journal of Applied Ecology* 44, 1116-1126.
- Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A., Schick, R.S., 2009. Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters* 12, 260-273.
- Vogt, P., Riitters, K., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T., Wickham, J. 2007a. Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape Ecol.* 22, 171–177.
- Vogt, P., Riitters, K., Iwanowski, M., Estreguil, C., Kozak, J., Soille, P. 2007b. Mapping landscape corridors. *Ecol. Indic.* 7 (2), 481–488.
- Vogt, P., Ferrari, J 913 ., Lookingbill, T., Gardner, R., Riitters, K., Ostapowicz, K., 2009. Mapping functional connectivity. *Ecol. Indic.* 9, 64–71.

ANNEXES

Annexe 1. Âge pour qu'un peuplement soit qualifié un habitat mûr ou suranné en fonction de l'espèce dominante.

| Essence dominante | Mûr (âge) | Suranné (âge) |
|-------------------|-----------|---------------|
| Sapin | >=50 | >=90 |
| Épinette | >=70 | >=120 |
| Pin blanc | >=90 | >=120 |
| Pin rouge | >=90 | >=120 |
| Pin gris | >=70 | >=90 |
| Thuya | >=70 | >=120 |
| Pruche | >=90 | >=120 |
| Mélèze | >=70 | >=90 |
| Résineux | >=70 | >=120 |

Annexe 2. Âge attribué aux peuplements en fonction du code de classe d'âge dans l'inventaire écoforestier.

| Classes d'âge | Classes d'âge modifié |
|---------------|-----------------------|
| 10 | 10 |
| 30 | 30 |
| 3030 | 30 |
| 3050 | 30 |
| 3070 | 30 |
| 5070 | 50 |
| 3090 | 50 |
| 50 | 50 |
| 5050 | 50 |
| 5090 | 50 |
| 5030 | 50 |
| 50120 | 50 |
| 7050 | 70 |
| 7030 | 70 |
| 70120 | 70 |
| 70 | 70 |
| 7090 | 70 |
| 30120 | 50 |
| 9050 | 90 |
| JIN | 70 |
| JIR | 70 |
| 9030 | 90 |
| 7070 | 70 |
| 12070 | 120 |
| 12030 | 120 |
| VIN | 120 |
| 12050 | 120 |
| 9070 | 90 |
| 90120 | 90 |
| 90 | 90 |
| VIR | 120 |
| 9090 | 90 |
| 12090 | 120 |
| 120120 | 120 |
| 120 | 120 |

Annexe 3. Types écologiques retenus menant à une végétation potentiellement résineuse et mixte à dominance résineuse.

| Végétations potentielles mixte en dominance résineuse | |
|--|-----|
| Sapinière à bouleau jaune | MS1 |
| Sapinière à bouleau blanc | MS2 |
| Sapinière à érable rouge | MS6 |
| Végétations potentielles résineuses | |
| Pessière blanche ou cédrière issue d'agriculture | RB1 |
| Cédrière tourbeuse à sapins | RC3 |
| Pessière noire à lichens | RE1 |
| Pessière noire à mousses ou à éricacées | RE2 |
| Pessière noire à sphaignes | RE3 |
| Pinède blanche ou pinède rouge | RP1 |
| Sapinière à thuya | RS1 |
| Sapinière à épinette noire | RS2 |
| Sapinière à épinette noire et sphaignes | RS3 |
| Sapinière à épinette rouge | RS5 |
| Prucheraie | RT1 |

Annexe 4. Rang attribué aux UTRs pour chacun des trois indicateurs (habitat disponible, ratio de connectivité, ratio d'intérieur) relativisés à la valeur obtenue lorsqu'évaluée à partir des habitats potentiels, et cela, en fonction des 4 types d'habitats. Le facteur combiné est la somme des rangs des trois indicateurs relativisés.

| UTR | Type d'habitat | Absolue | | | Relativisé | | | Ordre | | |
|---------------|----------------|---------|----------------|-------------|------------|----------------|-------------|-------|----------------|------------|
| | | %Hab | Ratio Connect. | Ration Int. | %Hab | Ratio Connect. | Ration Int. | %Hab | Ratio Connect. | Ratio Int. |
| utr_6151_1001 | MR&R M_S | 3.72 | 0.20 | 0.18 | 0.93 | 1.11 | 1.08 | 68 | 34 | 6 |
| utr_6151_1002 | MR&R M_S | 4.53 | 0.24 | 0.97 | 0.64 | 1.21 | 1.22 | 79 | 23 | 2 |
| utr_6151_1003 | MR&R M_S | 12.61 | 0.31 | 0.90 | 1.20 | 0.67 | 1.00 | 54 | 71 | 30 |
| utr_6151_1004 | MR&R M_S | 10.16 | 0.31 | 0.58 | 0.85 | 1.15 | 0.76 | 69 | 29 | 95 |
| utr_6151_1005 | MR&R M_S | 0.69 | 0.03 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 64 | 44 | 19 |
| utr_6151_1006 | MR&R M_S | 2.64 | 0.35 | 0.72 | 3.57 | 3.95 | 0.86 | 14 | 4 | 73 |
| utr_6151_1007 | MR&R M_S | 1.00 | 0.02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 64 | 44 | 19 |
| utr_6151_1008 | MR&R M_S | 0.89 | 0.22 | 1.00 | 0.67 | 1.57 | 1.00 | 76 | 11 | 19 |
| utr_6151_1009 | MR&R M_S | 2.47 | 0.31 | 0.97 | 2.57 | 1.53 | 1.72 | 20 | 14 | 1 |
| utr_6151_1010 | MR&R M_S | 8.48 | 0.32 | 0.72 | 2.48 | 2.49 | 0.97 | 21 | 6 | 37 |
| utr_6151_1011 | MR&R M_S | 7.75 | 0.41 | 0.80 | 1.54 | 1.09 | 0.80 | 41 | 38 | 85 |
| utr_6151_1012 | MR&R M_S | 7.38 | 0.38 | 0.78 | 4.39 | 1.70 | 1.01 | 12 | 10 | 16 |
| utr_6151_1013 | MR&R M_S | 7.24 | 0.40 | 1.00 | 4.58 | 1.00 | 1.00 | 11 | 44 | 19 |
| utr_6151_1014 | MR&R M_S | 2.37 | 0.11 | 1.00 | 3.89 | 0.22 | 1.00 | 13 | 101 | 19 |
| utr_6151_1015 | MR&R M_S | 14.79 | 0.27 | 0.73 | 2.28 | 1.27 | 1.12 | 24 | 19 | 4 |
| utr_6151_1016 | MR&R M_S | 7.00 | 0.28 | 0.72 | 13.73 | 2.68 | 0.72 | 4 | 5 | 100 |
| utr_6151_1017 | MR&R M_S | 5.11 | 0.38 | 0.86 | 2.65 | 1.46 | 0.93 | 19 | 15 | 54 |
| utr_6151_1018 | MR&R M_S | 1.83 | 0.09 | 1.00 | 3.21 | 5.03 | 1.00 | 15 | 3 | 19 |
| utr_6151_1019 | MR&R M_S | 10.16 | 0.33 | 0.55 | 0.58 | 0.80 | 0.58 | 83 | 65 | 106 |
| utr_6151_1020 | MR&R M_S | 16.33 | 0.59 | 0.76 | 1.89 | 1.55 | 1.05 | 29 | 12 | 8 |
| utr_6151_1021 | MR&R M_S | 19.67 | 0.52 | 0.78 | 1.63 | 1.20 | 0.97 | 36 | 24 | 40 |
| utr_6151_1022 | MR&R M_S | 12.21 | 0.49 | 0.90 | 1.65 | 0.74 | 0.95 | 35 | 69 | 48 |
| utr_6151_1023 | MR&R M_S | 7.74 | 0.47 | 0.86 | 2.14 | 1.22 | 0.94 | 26 | 22 | 51 |
| utr_6151_1024 | MR&R M_S | 7.12 | 0.31 | 1.00 | 0.07 | 1.00 | 1.00 | 105 | 44 | 19 |
| utr_6151_1025 | MR&R M_S | 10.34 | 0.56 | 0.89 | 8.34 | 0.34 | 0.89 | 6 | 86 | 67 |
| utr_6151_1026 | MR&R M_S | 18.15 | 1.62 | 0.96 | 14.29 | 10.45 | 0.96 | 3 | 2 | 45 |
| utr_6151_1027 | MR&R M_S | 12.99 | 0.74 | 0.72 | 2.72 | 1.04 | 0.76 | 17 | 41 | 91 |
| utr_6151_1028 | MR&R M_S | 22.23 | 0.54 | 0.65 | 0.69 | 0.51 | 0.75 | 75 | 79 | 96 |
| utr_6151_1029 | MR&R M_S | 23.71 | 0.71 | 0.76 | 3.12 | 1.32 | 1.02 | 16 | 17 | 14 |
| utr_6151_1030 | MR&R M_S | 13.34 | 0.36 | 0.59 | 1.45 | 1.54 | 0.70 | 44 | 13 | 101 |
| utr_6251_2001 | MR&R M_S | 17.46 | 0.53 | 0.83 | 1.92 | 0.63 | 0.86 | 28 | 73 | 75 |
| utr_6251_2002 | MR&R M_S | 6.91 | 0.31 | 0.71 | 0.07 | 1.00 | 1.00 | 106 | 44 | 19 |
| utr_6251_2003 | MR&R M_S | 3.74 | 0.12 | 1.00 | 1.48 | 0.29 | 1.03 | 43 | 94 | 12 |
| utr_6251_2004 | MR&R M_S | 10.18 | 0.71 | 0.88 | 1.75 | 1.16 | 1.02 | 32 | 28 | 15 |
| utr_6251_2005 | MR&R M_S | 13.69 | 0.87 | 0.84 | 1.94 | 1.12 | 0.93 | 27 | 33 | 56 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|----------|--------|------|------|---------|-------|------|-----|-----|-----|
| utr_6251_2006 | MR&R M_S | 25.91 | 0.93 | 0.96 | 4.60 | 0.46 | 0.98 | 10 | 81 | 35 |
| utr_6251_2007 | MR&R M_S | 23.60 | 1.18 | 0.87 | 11.35 | 2.08 | 0.97 | 5 | 8 | 39 |
| utr_6251_2008 | MR&R M_S | 17.60 | 0.60 | 0.71 | 2.34 | 0.57 | 0.81 | 22 | 76 | 82 |
| utr_6251_2010 | MR&R M_S | 17.77 | 0.68 | 0.75 | 5.38 | 1.09 | 0.89 | 7 | 36 | 65 |
| utr_6251_2011 | MR&R M_S | 19.40 | 0.67 | 0.81 | 2.29 | 0.73 | 0.90 | 23 | 70 | 62 |
| utr_6251_2012 | MR&R M_S | 28.13 | 1.36 | 0.95 | 1.29 | 1.18 | 1.03 | 48 | 25 | 10 |
| utr_6251_2013 | MR&R M_S | 8.13 | 0.52 | 1.00 | 0.08 | 1.00 | 1.00 | 104 | 44 | 19 |
| utr_6251_2014 | MR&R M_S | 14.43 | 0.56 | 0.66 | 0.53 | 0.77 | 0.94 | 84 | 67 | 52 |
| utr_6251_2015 | MR&R M_S | 14.33 | 0.66 | 0.93 | 0.83 | 1.09 | 1.00 | 70 | 37 | 18 |
| utr_6251_2016 | MR&R M_S | 25.16 | 0.76 | 0.76 | 2.26 | 1.15 | 0.87 | 25 | 30 | 72 |
| utr_6251_2017 | MR&R M_S | 35.66 | 1.06 | 0.89 | 1.86 | 1.37 | 1.03 | 30 | 16 | 11 |
| utr_6251_2018 | MR&R M_S | 22.17 | 0.89 | 0.89 | 1.56 | 1.13 | 0.99 | 40 | 32 | 33 |
| utr_6251_2019 | MR&R M_S | 34.95 | 1.07 | 0.90 | 77.67 | 10.66 | 1.20 | 2 | 1 | 3 |
| utr_6251_2020 | MR&R M_S | 26.08 | 0.85 | 0.87 | 5.27 | 1.17 | 0.96 | 8 | 26 | 42 |
| utr_6251_2021 | MR&R M_S | 13.30 | 0.59 | 0.63 | 4.96 | 1.05 | 0.72 | 9 | 40 | 99 |
| utr_6251_2022 | MR&R M_S | 8.97 | 0.48 | 0.68 | 1.63 | 0.75 | 0.79 | 37 | 68 | 88 |
| utr_6251_2023 | MR&R M_S | 20.39 | 0.74 | 0.87 | 1.67 | 0.82 | 0.95 | 33 | 63 | 49 |
| utr_6251_2024 | MR&R M_S | 15.74 | 0.78 | 0.89 | 0.94 | 0.88 | 0.96 | 66 | 59 | 44 |
| utr_6251_2025 | MR&R M_S | 12.91 | 0.52 | 0.71 | 1.79 | 0.85 | 0.81 | 31 | 61 | 83 |
| utr_6251_2026 | MR&R M_S | 7.32 | 0.64 | 0.87 | 0.32 | 0.41 | 0.91 | 93 | 82 | 61 |
| utr_6251_2027 | MR&R M_S | 7.20 | 0.45 | 0.65 | 0.46 | 0.33 | 0.67 | 86 | 87 | 103 |
| utr_6251_2028 | MR&R M_S | 9.42 | 0.44 | 0.75 | 0.71 | 0.21 | 0.76 | 74 | 102 | 94 |
| utr_6251_2029 | MR&R M_S | 4.84 | 0.42 | 0.72 | 0.64 | 0.34 | 0.76 | 78 | 85 | 92 |
| utr_6251_2030 | MR&R M_S | 13.11 | 0.68 | 0.81 | 0.66 | 0.59 | 0.87 | 77 | 74 | 70 |
| utr_6251_2031 | MR&R M_S | 8.11 | 0.43 | 0.79 | 0.31 | 0.37 | 0.84 | 95 | 83 | 79 |
| utr_6251_2032 | MR&R M_S | 6.22 | 0.24 | 0.84 | 0.37 | 0.18 | 0.89 | 89 | 105 | 64 |
| utr_6251_2034 | MR&R M_S | 7.40 | 0.49 | 0.73 | 0.61 | 0.58 | 0.84 | 81 | 75 | 78 |
| utr_6251_2035 | MR&R M_S | 10.65 | 0.59 | 0.84 | 0.79 | 0.65 | 0.90 | 71 | 72 | 63 |
| utr_6251_2036 | MR&R M_S | 71.16 | 1.54 | 0.98 | 0.71 | 1.00 | 1.00 | 73 | 44 | 19 |
| utr_6251_2033 | MR&R M_S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 2500.00 | 1.00 | 1.00 | 1 | 44 | 19 |
| utr_6252_1014 | MR&R M_S | 8.32 | 0.49 | 0.84 | 0.30 | 0.28 | 0.89 | 96 | 95 | 66 |
| utr_6252_1015 | MR&R M_S | 4.83 | 0.45 | 0.82 | 0.21 | 0.29 | 0.87 | 101 | 93 | 69 |
| utr_6252_1017 | MR&R M_S | 4.74 | 0.44 | 0.69 | 0.40 | 0.36 | 0.75 | 88 | 84 | 97 |
| utr_6252_1018 | MR&R M_S | 8.07 | 0.79 | 0.80 | 1.38 | 1.25 | 0.91 | 45 | 21 | 59 |
| utr_6252_2001 | MR&R M_S | 12.95 | 0.51 | 0.57 | 0.32 | 0.26 | 0.61 | 94 | 97 | 105 |
| utr_6252_2002 | MR&R M_S | 14.13 | 0.49 | 0.75 | 0.35 | 0.30 | 0.79 | 91 | 91 | 89 |
| utr_6252_2003 | MR&R M_S | 9.54 | 0.40 | 0.73 | 0.27 | 0.24 | 0.77 | 98 | 99 | 90 |
| utr_6252_2004 | MR&R M_S | 13.74 | 0.46 | 0.79 | 0.28 | 0.25 | 0.82 | 97 | 98 | 81 |
| utr_6252_2005 | MR&R M_S | 15.34 | 0.57 | 0.76 | 0.61 | 0.32 | 0.81 | 80 | 89 | 84 |
| utr_6252_2006 | MR&R M_S | 15.80 | 0.77 | 0.84 | 0.59 | 0.47 | 0.88 | 82 | 80 | 68 |
| utr_6252_2007 | MR&R M_S | 15.17 | 0.80 | 0.85 | 0.36 | 0.27 | 0.86 | 90 | 96 | 74 |
| utr_6252_2008 | MR&R M_S | 16.21 | 0.69 | 0.82 | 0.45 | 0.32 | 0.85 | 87 | 88 | 76 |
| utr_6252_2009 | MR&R M_S | 10.45 | 0.50 | 0.74 | 0.24 | 0.23 | 0.76 | 99 | 100 | 93 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|----------|--------|------|------|--------|------|------|-----|-----|-----|
| utr_6252_2010 | MR&R M_S | 6.77 | 0.38 | 0.66 | 0.11 | 0.10 | 0.67 | 103 | 106 | 104 |
| utr_6252_2011 | MR&R M_S | 5.20 | 0.35 | 0.67 | 0.14 | 0.19 | 0.70 | 102 | 103 | 102 |
| utr_6252_2012 | MR&R M_S | 9.50 | 0.37 | 0.70 | 0.22 | 0.19 | 0.73 | 100 | 104 | 98 |
| utr_6252_2013 | MR&R M_S | 12.95 | 0.51 | 0.80 | 0.48 | 0.30 | 0.85 | 85 | 92 | 77 |
| utr_6252_2016 | MR&R M_S | 7.43 | 0.51 | 0.76 | 0.34 | 0.32 | 0.80 | 92 | 90 | 86 |
| utr_6452_1001 | MR&R M_S | 7.32 | 0.33 | 0.73 | 0.72 | 0.82 | 0.96 | 72 | 64 | 43 |
| utr_6452_1002 | MR&R M_S | 17.69 | 0.52 | 0.77 | 1.21 | 0.54 | 0.84 | 53 | 77 | 80 |
| utr_6452_1003 | MR&R M_S | 7.14 | 0.27 | 0.73 | 1.37 | 1.00 | 0.91 | 46 | 53 | 60 |
| utr_6452_1004 | MR&R M_S | 20.21 | 0.77 | 0.88 | 1.17 | 0.86 | 0.97 | 56 | 60 | 38 |
| utr_6452_1005 | MR&R M_S | 14.42 | 0.41 | 0.72 | 1.18 | 1.14 | 1.01 | 55 | 31 | 17 |
| utr_6452_1006 | MR&R M_S | 25.91 | 0.92 | 0.92 | 1.13 | 1.10 | 0.99 | 58 | 35 | 31 |
| utr_6452_1007 | MR&R M_S | 8.84 | 0.31 | 0.62 | 1.23 | 0.97 | 0.98 | 52 | 56 | 36 |
| utr_6452_1008 | MR&R M_S | 14.56 | 0.44 | 0.80 | 1.11 | 1.00 | 1.04 | 59 | 52 | 9 |
| utr_6452_1009 | MR&R M_S | 20.19 | 0.52 | 0.79 | 1.26 | 0.93 | 0.96 | 50 | 57 | 41 |
| utr_6452_1010 | MR&R M_S | 14.29 | 0.34 | 0.54 | 1.57 | 1.27 | 0.91 | 39 | 20 | 58 |
| utr_6452_1011 | MR&R M_S | 19.93 | 0.41 | 0.65 | 1.53 | 1.03 | 0.98 | 42 | 43 | 34 |
| utr_6452_1012 | MR&R M_S | 11.17 | 0.40 | 0.69 | 1.58 | 1.72 | 1.05 | 38 | 9 | 7 |
| utr_6452_1013 | MR&R M_S | 13.37 | 0.38 | 0.60 | 1.28 | 0.99 | 0.87 | 49 | 54 | 71 |
| utr_6452_1014 | MR&R M_S | 13.41 | 0.41 | 0.77 | 1.11 | 1.07 | 1.02 | 60 | 39 | 13 |
| utr_6452_1015 | MR&R M_S | 6.03 | 0.29 | 0.51 | 1.23 | 1.16 | 0.79 | 51 | 27 | 87 |
| utr_6452_1016 | MR&R M_S | 10.23 | 0.48 | 0.75 | 1.17 | 0.98 | 0.96 | 57 | 55 | 46 |
| utr_6452_1017 | MR&R M_S | 5.82 | 0.36 | 0.73 | 1.07 | 0.90 | 0.95 | 61 | 58 | 50 |
| utr_6452_1018 | MR&R M_S | 6.93 | 0.29 | 0.72 | 1.35 | 1.03 | 1.09 | 47 | 42 | 5 |
| utr_6452_1019 | MR&R M_S | 18.85 | 0.95 | 0.98 | 2.67 | 2.13 | 0.99 | 18 | 7 | 32 |
| utr_6452_1020 | MR&R M_S | 7.56 | 0.49 | 0.84 | 1.03 | 0.79 | 0.93 | 63 | 66 | 57 |
| utr_6452_1021 | MR&R M_S | 6.71 | 0.47 | 0.88 | 0.94 | 0.52 | 0.93 | 67 | 78 | 53 |
| utr_6452_1022 | MR&R M_S | 8.72 | 0.49 | 0.65 | 1.05 | 0.84 | 0.93 | 62 | 62 | 55 |
| utr_6452_1023 | MR&R M_S | 6.38 | 0.37 | 0.68 | 1.65 | 1.30 | 0.95 | 34 | 18 | 47 |
| utr_6151_1001 | MR&R S | 3.67 | 0.20 | 0.18 | 0.92 | 1.13 | 1.08 | 44 | 14 | 4 |
| utr_6151_1002 | MR&R S | 3.99 | 0.26 | 0.96 | 0.56 | 1.32 | 1.21 | 65 | 9 | 2 |
| utr_6151_1003 | MR&R S | 8.90 | 0.26 | 0.95 | 0.85 | 0.57 | 1.06 | 48 | 55 | 7 |
| utr_6151_1004 | MR&R S | 10.16 | 0.31 | 0.58 | 0.85 | 1.15 | 0.76 | 49 | 12 | 77 |
| utr_6151_1005 | MR&R S | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 79 | 91 | 91 |
| utr_6151_1006 | MR&R S | 0.58 | 0.16 | 0.75 | 0.78 | 1.81 | 0.90 | 52 | 4 | 50 |
| utr_6151_1007 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 3 | 91 | 91 |
| utr_6151_1008 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 75.76 | 0.00 | 0.00 | 4 | 91 | 91 |
| utr_6151_1009 | MR&R S | 1.60 | 0.13 | 1.00 | 1.67 | 0.67 | 1.78 | 21 | 47 | 1 |
| utr_6151_1010 | MR&R S | 6.26 | 0.25 | 0.66 | 1.83 | 1.96 | 0.89 | 20 | 3 | 55 |
| utr_6151_1011 | MR&R S | 6.70 | 0.50 | 0.80 | 1.33 | 1.34 | 0.80 | 23 | 7 | 68 |
| utr_6151_1012 | MR&R S | 6.15 | 0.36 | 0.82 | 3.66 | 1.61 | 1.06 | 16 | 5 | 6 |
| utr_6151_1013 | MR&R S | 5.65 | 0.21 | 1.00 | 3.58 | 1.00 | 1.00 | 17 | 19 | 18 |
| utr_6151_1014 | MR&R S | 0.57 | 0.06 | 1.00 | 0.93 | 0.11 | 1.00 | 43 | 88 | 18 |
| utr_6151_1015 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 15.38 | 0.00 | 0.00 | 8 | 91 | 91 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|------|------|--------|------|------|-----|----|----|
| utr_6151_1016 | MR&R S | 6.74 | 0.29 | 0.72 | 13.22 | 2.72 | 0.72 | 9 | 2 | 82 |
| utr_6151_1017 | MR&R S | 2.11 | 0.41 | 0.93 | 1.09 | 1.55 | 1.01 | 29 | 6 | 16 |
| utr_6151_1018 | MR&R S | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.00 | 0.00 | 71 | 91 | 91 |
| utr_6151_1019 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.75 | 0.00 | 0.00 | 14 | 91 | 91 |
| utr_6151_1020 | MR&R S | 11.18 | 0.51 | 0.79 | 1.30 | 1.33 | 1.09 | 24 | 8 | 3 |
| utr_6151_1021 | MR&R S | 11.71 | 0.41 | 0.66 | 0.97 | 0.94 | 0.81 | 42 | 31 | 66 |
| utr_6151_1022 | MR&R S | 4.77 | 0.34 | 0.87 | 0.65 | 0.51 | 0.92 | 62 | 57 | 46 |
| utr_6151_1023 | MR&R S | 3.14 | 0.47 | 0.83 | 0.87 | 1.24 | 0.91 | 45 | 10 | 48 |
| utr_6151_1024 | MR&R S | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 106 | 19 | 18 |
| utr_6151_1025 | MR&R S | 1.96 | 0.46 | 0.87 | 1.58 | 0.28 | 0.87 | 22 | 73 | 59 |
| utr_6151_1026 | MR&R S | 13.17 | 0.61 | 0.89 | 10.37 | 3.93 | 0.89 | 11 | 1 | 54 |
| utr_6151_1027 | MR&R S | 3.26 | 0.33 | 0.64 | 0.68 | 0.46 | 0.68 | 58 | 62 | 84 |
| utr_6151_1028 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 3.09 | 0.00 | 0.00 | 18 | 91 | 91 |
| utr_6151_1029 | MR&R S | 5.22 | 0.33 | 0.76 | 0.69 | 0.62 | 1.02 | 57 | 52 | 13 |
| utr_6151_1030 | MR&R S | 2.81 | 0.15 | 0.73 | 0.31 | 0.64 | 0.87 | 74 | 51 | 60 |
| utr_6251_2001 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 10.99 | 0.00 | 0.00 | 10 | 91 | 91 |
| utr_6251_2002 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 34 | 19 | 18 |
| utr_6251_2003 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 39.53 | 0.00 | 0.00 | 5 | 91 | 91 |
| utr_6251_2004 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 17.21 | 0.00 | 0.00 | 6 | 91 | 91 |
| utr_6251_2005 | MR&R S | 2.29 | 0.78 | 0.93 | 0.32 | 1.00 | 1.02 | 72 | 25 | 14 |
| utr_6251_2006 | MR&R S | 6.13 | 0.48 | 0.95 | 1.09 | 0.24 | 0.98 | 30 | 76 | 31 |
| utr_6251_2007 | MR&R S | 4.41 | 0.53 | 0.83 | 2.12 | 0.93 | 0.93 | 19 | 32 | 44 |
| utr_6251_2008 | MR&R S | 5.62 | 0.52 | 0.74 | 0.75 | 0.49 | 0.85 | 54 | 60 | 63 |
| utr_6251_2010 | MR&R S | 4.09 | 0.35 | 0.77 | 1.24 | 0.56 | 0.92 | 25 | 56 | 45 |
| utr_6251_2011 | MR&R S | 1.85 | 0.55 | 0.85 | 0.22 | 0.60 | 0.94 | 77 | 53 | 39 |
| utr_6251_2012 | MR&R S | 1.93 | 0.42 | 0.84 | 0.09 | 0.37 | 0.91 | 86 | 67 | 47 |
| utr_6251_2013 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 34 | 19 | 18 |
| utr_6251_2014 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 3.68 | 0.00 | 0.00 | 15 | 91 | 91 |
| utr_6251_2015 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.79 | 0.00 | 0.00 | 13 | 91 | 91 |
| utr_6251_2016 | MR&R S | 4.47 | 0.38 | 0.87 | 0.40 | 0.58 | 0.99 | 70 | 54 | 26 |
| utr_6251_2017 | MR&R S | 9.32 | 0.64 | 0.83 | 0.49 | 0.82 | 0.96 | 66 | 39 | 37 |
| utr_6251_2018 | MR&R S | 3.65 | 0.54 | 0.79 | 0.26 | 0.69 | 0.87 | 76 | 46 | 58 |
| utr_6251_2019 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 222.22 | 0.00 | 0.00 | 2 | 91 | 91 |
| utr_6251_2020 | MR&R S | 3.71 | 0.49 | 0.77 | 0.75 | 0.67 | 0.85 | 53 | 48 | 62 |
| utr_6251_2021 | MR&R S | 2.77 | 0.51 | 0.54 | 1.03 | 0.89 | 0.61 | 32 | 34 | 87 |
| utr_6251_2022 | MR&R S | 2.29 | 0.45 | 0.80 | 0.41 | 0.70 | 0.94 | 69 | 43 | 40 |
| utr_6251_2023 | MR&R S | 3.64 | 0.59 | 0.82 | 0.30 | 0.66 | 0.90 | 75 | 49 | 51 |
| utr_6251_2024 | MR&R S | 0.57 | 0.19 | 0.67 | 0.03 | 0.21 | 0.72 | 92 | 78 | 81 |
| utr_6251_2025 | MR&R S | 3.07 | 0.50 | 0.67 | 0.43 | 0.81 | 0.76 | 68 | 40 | 76 |
| utr_6251_2026 | MR&R S | 0.40 | 0.21 | 0.71 | 0.02 | 0.14 | 0.75 | 97 | 85 | 79 |
| utr_6251_2027 | MR&R S | 2.15 | 0.45 | 0.75 | 0.14 | 0.33 | 0.77 | 80 | 69 | 73 |
| utr_6251_2028 | MR&R S | 1.63 | 0.38 | 0.98 | 0.12 | 0.19 | 1.00 | 81 | 82 | 25 |
| utr_6251_2029 | MR&R S | 1.26 | 0.48 | 0.90 | 0.17 | 0.39 | 0.96 | 78 | 65 | 36 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|------|------|---------|------|------|-----|----|----|
| utr_6251_2030 | MR&R S | 0.61 | 0.49 | 0.85 | 0.03 | 0.42 | 0.91 | 94 | 63 | 49 |
| utr_6251_2031 | MR&R S | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 105 | 91 | 91 |
| utr_6251_2032 | MR&R S | 0.63 | 0.13 | 0.57 | 0.04 | 0.09 | 0.61 | 90 | 90 | 88 |
| utr_6251_2034 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 8.26 | 0.00 | 0.00 | 12 | 91 | 91 |
| utr_6251_2035 | MR&R S | 0.16 | 0.78 | 1.00 | 0.01 | 0.85 | 1.08 | 101 | 36 | 5 |
| utr_6251_2036 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 34 | 19 | 18 |
| utr_6251_2033 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 2500.00 | 1.00 | 1.00 | 1 | 19 | 18 |
| utr_6252_1014 | MR&R S | 0.23 | 0.50 | 0.75 | 0.01 | 0.29 | 0.79 | 103 | 71 | 69 |
| utr_6252_1015 | MR&R S | 0.30 | 0.43 | 0.89 | 0.01 | 0.28 | 0.95 | 100 | 72 | 38 |
| utr_6252_1017 | MR&R S | 1.16 | 0.46 | 0.81 | 0.10 | 0.39 | 0.88 | 85 | 66 | 56 |
| utr_6252_1018 | MR&R S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 17.06 | 0.00 | 0.00 | 7 | 91 | 91 |
| utr_6252_2001 | MR&R S | 3.03 | 0.31 | 0.56 | 0.07 | 0.16 | 0.60 | 87 | 84 | 89 |
| utr_6252_2002 | MR&R S | 4.24 | 0.32 | 0.71 | 0.11 | 0.20 | 0.74 | 83 | 81 | 80 |
| utr_6252_2003 | MR&R S | 2.24 | 0.22 | 0.71 | 0.06 | 0.13 | 0.75 | 88 | 86 | 78 |
| utr_6252_2004 | MR&R S | 0.32 | 0.48 | 1.00 | 0.01 | 0.26 | 1.04 | 104 | 74 | 12 |
| utr_6252_2005 | MR&R S | 3.04 | 0.35 | 0.77 | 0.12 | 0.20 | 0.81 | 82 | 80 | 67 |
| utr_6252_2006 | MR&R S | 0.98 | 0.49 | 0.66 | 0.04 | 0.30 | 0.69 | 91 | 70 | 83 |
| utr_6252_2007 | MR&R S | 1.03 | 0.36 | 0.67 | 0.02 | 0.12 | 0.68 | 95 | 87 | 85 |
| utr_6252_2008 | MR&R S | 3.77 | 0.44 | 0.86 | 0.10 | 0.21 | 0.89 | 84 | 79 | 52 |
| utr_6252_2009 | MR&R S | 1.44 | 0.75 | 0.90 | 0.03 | 0.35 | 0.93 | 93 | 68 | 43 |
| utr_6252_2010 | MR&R S | 1.12 | 0.42 | 0.58 | 0.02 | 0.11 | 0.59 | 96 | 89 | 90 |
| utr_6252_2011 | MR&R S | 0.33 | 0.31 | 0.75 | 0.01 | 0.17 | 0.78 | 102 | 83 | 71 |
| utr_6252_2012 | MR&R S | 2.04 | 0.45 | 0.76 | 0.05 | 0.22 | 0.79 | 89 | 77 | 70 |
| utr_6252_2013 | MR&R S | 0.36 | 0.80 | 1.00 | 0.01 | 0.46 | 1.05 | 99 | 61 | 8 |
| utr_6252_2016 | MR&R S | 0.30 | 0.38 | 0.63 | 0.01 | 0.24 | 0.66 | 98 | 75 | 86 |
| utr_6452_1001 | MR&R S | 6.63 | 0.28 | 0.73 | 0.65 | 0.70 | 0.96 | 60 | 44 | 35 |
| utr_6452_1002 | MR&R S | 8.91 | 0.40 | 0.71 | 0.61 | 0.41 | 0.77 | 64 | 64 | 75 |
| utr_6452_1003 | MR&R S | 5.22 | 0.26 | 0.76 | 1.00 | 0.97 | 0.94 | 38 | 29 | 41 |
| utr_6452_1004 | MR&R S | 11.46 | 0.67 | 0.84 | 0.66 | 0.75 | 0.93 | 59 | 42 | 42 |
| utr_6452_1005 | MR&R S | 9.76 | 0.37 | 0.74 | 0.80 | 1.01 | 1.04 | 51 | 18 | 11 |
| utr_6452_1006 | MR&R S | 15.78 | 0.59 | 0.91 | 0.69 | 0.70 | 0.99 | 56 | 45 | 27 |
| utr_6452_1007 | MR&R S | 7.03 | 0.32 | 0.63 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 41 | 27 | 28 |
| utr_6452_1008 | MR&R S | 9.70 | 0.42 | 0.79 | 0.74 | 0.96 | 1.02 | 55 | 30 | 15 |
| utr_6452_1009 | MR&R S | 15.72 | 0.46 | 0.80 | 0.98 | 0.82 | 0.98 | 40 | 38 | 29 |
| utr_6452_1010 | MR&R S | 9.90 | 0.32 | 0.52 | 1.09 | 1.21 | 0.87 | 31 | 11 | 57 |
| utr_6452_1011 | MR&R S | 15.49 | 0.40 | 0.64 | 1.19 | 1.00 | 0.98 | 26 | 26 | 30 |
| utr_6452_1012 | MR&R S | 5.99 | 0.26 | 0.64 | 0.85 | 1.13 | 0.97 | 47 | 15 | 33 |
| utr_6452_1013 | MR&R S | 10.40 | 0.35 | 0.57 | 1.00 | 0.90 | 0.82 | 37 | 33 | 65 |
| utr_6452_1014 | MR&R S | 10.30 | 0.39 | 0.76 | 0.86 | 1.03 | 1.01 | 46 | 17 | 17 |
| utr_6452_1015 | MR&R S | 4.89 | 0.28 | 0.50 | 1.00 | 1.14 | 0.78 | 39 | 13 | 72 |
| utr_6452_1016 | MR&R S | 8.79 | 0.42 | 0.76 | 1.00 | 0.87 | 0.97 | 33 | 35 | 32 |
| utr_6452_1017 | MR&R S | 3.54 | 0.26 | 0.81 | 0.65 | 0.65 | 1.05 | 61 | 50 | 9 |
| utr_6452_1018 | MR&R S | 6.00 | 0.30 | 0.69 | 1.17 | 1.05 | 1.05 | 27 | 16 | 10 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|------|------|-------|------|------|-----|-----|-----|
| utr_6452_1019 | MR&R S | 2.22 | 0.34 | 0.95 | 0.31 | 0.77 | 0.97 | 73 | 41 | 34 |
| utr_6452_1020 | MR&R S | 3.32 | 0.30 | 0.78 | 0.45 | 0.49 | 0.86 | 67 | 58 | 61 |
| utr_6452_1021 | MR&R S | 4.42 | 0.44 | 0.84 | 0.62 | 0.49 | 0.89 | 63 | 59 | 53 |
| utr_6452_1022 | MR&R S | 6.79 | 0.48 | 0.59 | 0.82 | 0.83 | 0.84 | 50 | 37 | 64 |
| utr_6452_1023 | MR&R S | 4.24 | 0.28 | 0.55 | 1.10 | 0.98 | 0.77 | 28 | 28 | 74 |
| utr_6151_1001 | R M-S | 0.39 | 0.05 | 1.00 | 0.10 | 0.31 | 6.00 | 104 | 91 | 1 |
| utr_6151_1002 | R M-S | 0.88 | 0.01 | 1.00 | 0.12 | 0.06 | 1.26 | 97 | 101 | 5 |
| utr_6151_1003 | R M-S | 2.46 | 0.21 | 0.95 | 0.23 | 0.45 | 1.06 | 84 | 75 | 19 |
| utr_6151_1004 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 8.32 | 0.00 | 0.00 | 4 | 102 | 102 |
| utr_6151_1005 | R M-S | 0.58 | 0.04 | 1.00 | 0.84 | 1.19 | 1.00 | 20 | 6 | 29 |
| utr_6151_1006 | R M-S | 0.32 | 0.10 | 1.00 | 0.55 | 1.10 | 1.25 | 35 | 9 | 7 |
| utr_6151_1007 | R M-S | 1.00 | 0.02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6151_1008 | R M-S | 0.89 | 0.22 | 1.00 | 0.67 | 1.57 | 1.00 | 25 | 2 | 29 |
| utr_6151_1009 | R M-S | 0.60 | 0.20 | 0.80 | 0.62 | 1.02 | 1.42 | 29 | 14 | 2 |
| utr_6151_1010 | R M-S | 1.39 | 0.03 | 1.00 | 0.41 | 0.23 | 1.34 | 61 | 95 | 3 |
| utr_6151_1011 | R M-S | 1.07 | 0.39 | 1.00 | 0.21 | 1.04 | 1.00 | 88 | 13 | 29 |
| utr_6151_1012 | R M-S | 0.74 | 0.17 | 0.45 | 0.44 | 0.77 | 0.59 | 54 | 38 | 92 |
| utr_6151_1013 | R M-S | 1.58 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6151_1014 | R M-S | 0.61 | 0.49 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6151_1015 | R M-S | 6.58 | 0.16 | 0.82 | 1.01 | 0.79 | 1.25 | 10 | 35 | 6 |
| utr_6151_1016 | R M-S | 0.13 | 0.18 | 1.00 | 0.25 | 1.71 | 1.00 | 80 | 1 | 29 |
| utr_6151_1017 | R M-S | 1.06 | 0.18 | 1.00 | 0.55 | 0.67 | 1.08 | 36 | 49 | 17 |
| utr_6151_1018 | R M-S | 0.57 | 0.02 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6151_1019 | R M-S | 8.36 | 0.44 | 0.55 | 0.48 | 1.05 | 0.58 | 50 | 12 | 93 |
| utr_6151_1020 | R M-S | 5.16 | 0.34 | 0.82 | 0.60 | 0.88 | 1.12 | 32 | 30 | 14 |
| utr_6151_1021 | R M-S | 8.76 | 0.41 | 0.71 | 0.73 | 0.96 | 0.88 | 23 | 27 | 66 |
| utr_6151_1022 | R M-S | 3.93 | 0.35 | 0.82 | 0.53 | 0.53 | 0.87 | 39 | 70 | 69 |
| utr_6151_1023 | R M-S | 1.50 | 0.34 | 0.92 | 0.42 | 0.89 | 1.01 | 58 | 29 | 25 |
| utr_6151_1024 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6151_1025 | R M-S | 0.61 | 0.17 | 0.67 | 0.49 | 0.10 | 0.67 | 45 | 100 | 91 |
| utr_6151_1026 | R M-S | 0.94 | 0.22 | 1.00 | 2.85 | 1.00 | 1.00 | 7 | 15 | 29 |
| utr_6151_1027 | R M-S | 2.12 | 0.42 | 0.74 | 0.51 | 0.80 | 0.82 | 43 | 34 | 79 |
| utr_6151_1028 | R M-S | 20.87 | 0.48 | 0.59 | 0.65 | 0.46 | 0.69 | 28 | 74 | 89 |
| utr_6151_1029 | R M-S | 4.12 | 0.57 | 0.17 | 0.54 | 1.05 | 0.23 | 38 | 11 | 101 |
| utr_6151_1030 | R M-S | 5.77 | 0.07 | 0.95 | 0.65 | 0.33 | 1.15 | 27 | 89 | 10 |
| utr_6251_2001 | R M-S | 6.68 | 0.93 | 1.00 | 0.73 | 1.10 | 1.05 | 22 | 8 | 22 |
| utr_6251_2002 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6251_2003 | R M-S | 1.05 | 0.00 | 0.00 | 0.42 | 0.00 | 0.00 | 59 | 102 | 102 |
| utr_6251_2004 | R M-S | 4.60 | 0.67 | 0.83 | 0.89 | 1.23 | 0.98 | 18 | 4 | 47 |
| utr_6251_2005 | R M-S | 4.44 | 0.69 | 0.90 | 0.74 | 0.97 | 1.00 | 21 | 26 | 28 |
| utr_6251_2006 | R M-S | 3.87 | 0.61 | 0.93 | 2.95 | 1.20 | 1.11 | 6 | 5 | 15 |
| utr_6251_2007 | R M-S | 1.05 | 0.33 | 0.85 | 26.25 | 1.00 | 1.00 | 3 | 15 | 29 |
| utr_6251_2008 | R M-S | 6.74 | 0.44 | 0.67 | 1.23 | 0.62 | 0.80 | 9 | 57 | 80 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|--------|------|------|---------|------|------|-----|-----|-----|
| utr_6251_2010 | R M-S | 3.45 | 0.38 | 0.71 | 1.24 | 0.67 | 0.87 | 8 | 50 | 70 |
| utr_6251_2011 | R M-S | 3.87 | 0.40 | 0.74 | 0.57 | 0.55 | 0.86 | 33 | 68 | 71 |
| utr_6251_2012 | R M-S | 8.38 | 0.56 | 0.87 | 0.46 | 0.60 | 0.96 | 52 | 60 | 52 |
| utr_6251_2013 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 11 | 15 | 29 |
| utr_6251_2014 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 3.99 | 0.00 | 0.00 | 5 | 102 | 102 |
| utr_6251_2015 | R M-S | 9.39 | 0.64 | 0.91 | 0.54 | 1.06 | 0.98 | 37 | 10 | 45 |
| utr_6251_2016 | R M-S | 6.90 | 0.43 | 0.69 | 0.67 | 0.68 | 0.78 | 26 | 48 | 82 |
| utr_6251_2017 | R M-S | 12.16 | 0.52 | 0.75 | 0.72 | 0.76 | 0.89 | 24 | 40 | 61 |
| utr_6251_2018 | R M-S | 3.83 | 0.50 | 0.79 | 0.34 | 0.78 | 0.91 | 67 | 37 | 58 |
| utr_6251_2019 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 222.22 | 0.00 | 0.00 | 2 | 102 | 102 |
| utr_6251_2020 | R M-S | 2.48 | 0.31 | 0.64 | 0.51 | 0.43 | 0.71 | 42 | 78 | 87 |
| utr_6251_2021 | R M-S | 0.71 | 0.21 | 0.42 | 0.31 | 0.40 | 0.47 | 72 | 81 | 96 |
| utr_6251_2022 | R M-S | 1.14 | 0.24 | 0.32 | 0.22 | 0.38 | 0.38 | 86 | 85 | 99 |
| utr_6251_2023 | R M-S | 3.39 | 0.50 | 0.90 | 0.49 | 0.70 | 1.01 | 46 | 44 | 27 |
| utr_6251_2024 | R M-S | 2.53 | 0.59 | 0.86 | 0.16 | 0.66 | 0.93 | 93 | 52 | 55 |
| utr_6251_2025 | R M-S | 1.21 | 0.34 | 0.77 | 0.22 | 0.60 | 0.88 | 87 | 59 | 68 |
| utr_6251_2026 | R M-S | 0.61 | 0.24 | 1.00 | 0.03 | 0.17 | 1.04 | 106 | 97 | 23 |
| utr_6251_2027 | R M-S | 1.00 | 0.46 | 0.31 | 0.26 | 0.59 | 0.37 | 79 | 61 | 100 |
| utr_6251_2028 | R M-S | 0.85 | 0.31 | 0.40 | 0.61 | 0.84 | 0.43 | 30 | 32 | 98 |
| utr_6251_2029 | R M-S | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 101 | 102 | 102 |
| utr_6251_2030 | R M-S | 1.40 | 0.46 | 0.70 | 0.10 | 0.47 | 0.77 | 102 | 73 | 84 |
| utr_6251_2031 | R M-S | 2.52 | 0.36 | 0.87 | 0.12 | 0.34 | 0.93 | 100 | 88 | 54 |
| utr_6251_2032 | R M-S | 1.34 | 0.17 | 0.75 | 0.12 | 0.17 | 0.84 | 99 | 98 | 75 |
| utr_6251_2034 | R M-S | 1.52 | 0.43 | 0.70 | 0.16 | 0.62 | 0.83 | 95 | 56 | 78 |
| utr_6251_2035 | R M-S | 2.94 | 0.40 | 0.85 | 0.32 | 0.66 | 0.96 | 71 | 51 | 51 |
| utr_6251_2036 | R M-S | 48.40 | 1.01 | 0.78 | 0.48 | 1.00 | 1.00 | 49 | 15 | 29 |
| utr_6251_2033 | R M-S | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 2500.00 | 1.00 | 1.00 | 1 | 15 | 29 |
| utr_6252_1014 | R M-S | 3.94 | 0.46 | 0.86 | 0.17 | 0.31 | 0.92 | 92 | 92 | 57 |
| utr_6252_1015 | R M-S | 1.61 | 0.39 | 0.71 | 0.14 | 0.39 | 0.78 | 96 | 84 | 81 |
| utr_6252_1017 | R M-S | 0.63 | 0.62 | 0.58 | 0.08 | 0.63 | 0.67 | 105 | 54 | 90 |
| utr_6252_1018 | R M-S | 0.82 | 0.06 | 1.00 | 0.20 | 0.12 | 1.14 | 89 | 99 | 12 |
| utr_6252_2001 | R M-S | 6.48 | 0.43 | 0.41 | 0.29 | 0.40 | 0.49 | 75 | 83 | 95 |
| utr_6252_2002 | R M-S | 4.81 | 0.41 | 0.69 | 0.24 | 0.40 | 0.77 | 83 | 82 | 83 |
| utr_6252_2003 | R M-S | 4.77 | 0.31 | 0.70 | 0.34 | 0.51 | 0.91 | 68 | 71 | 59 |
| utr_6252_2004 | R M-S | 6.51 | 0.35 | 0.77 | 0.28 | 0.42 | 0.89 | 76 | 79 | 65 |
| utr_6252_2005 | R M-S | 7.39 | 0.50 | 0.76 | 0.52 | 0.49 | 0.85 | 41 | 72 | 73 |
| utr_6252_2006 | R M-S | 8.63 | 0.62 | 0.82 | 0.43 | 0.56 | 0.89 | 56 | 66 | 64 |
| utr_6252_2007 | R M-S | 7.99 | 0.68 | 0.85 | 0.29 | 0.44 | 0.89 | 74 | 77 | 63 |
| utr_6252_2008 | R M-S | 5.41 | 0.67 | 0.89 | 0.28 | 0.53 | 0.97 | 77 | 69 | 48 |
| utr_6252_2009 | R M-S | 3.67 | 0.27 | 0.71 | 0.23 | 0.36 | 0.85 | 85 | 87 | 72 |
| utr_6252_2010 | R M-S | 2.69 | 0.29 | 0.41 | 0.12 | 0.21 | 0.44 | 98 | 96 | 97 |
| utr_6252_2011 | R M-S | 1.95 | 0.23 | 0.64 | 0.10 | 0.28 | 0.72 | 103 | 93 | 86 |
| utr_6252_2012 | R M-S | 4.57 | 0.30 | 0.65 | 0.16 | 0.24 | 0.70 | 94 | 94 | 88 |

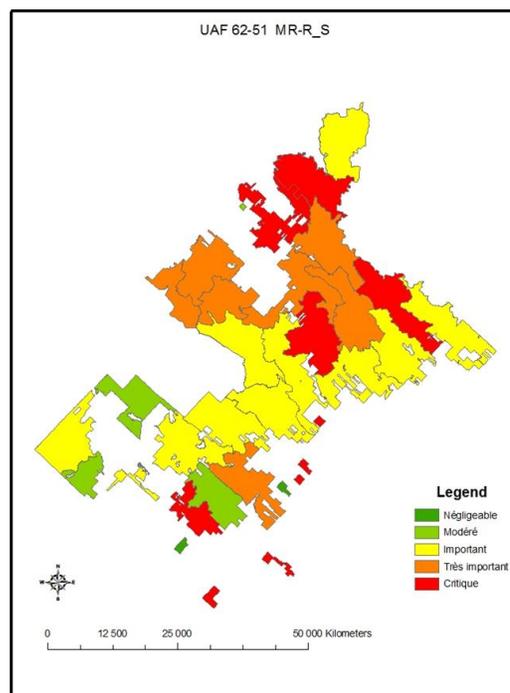
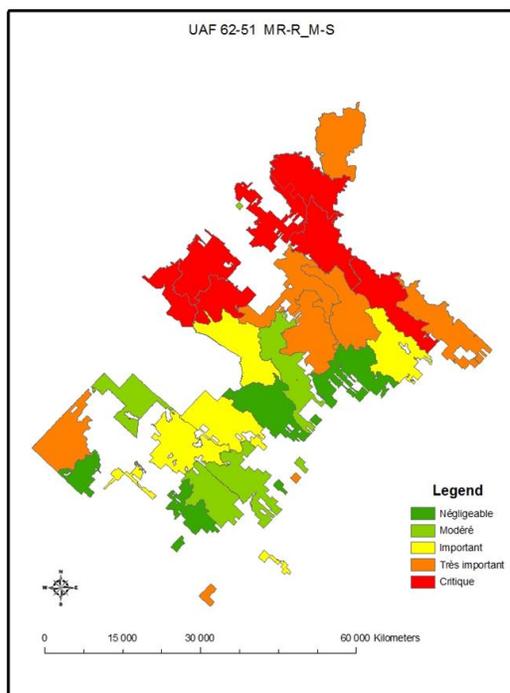
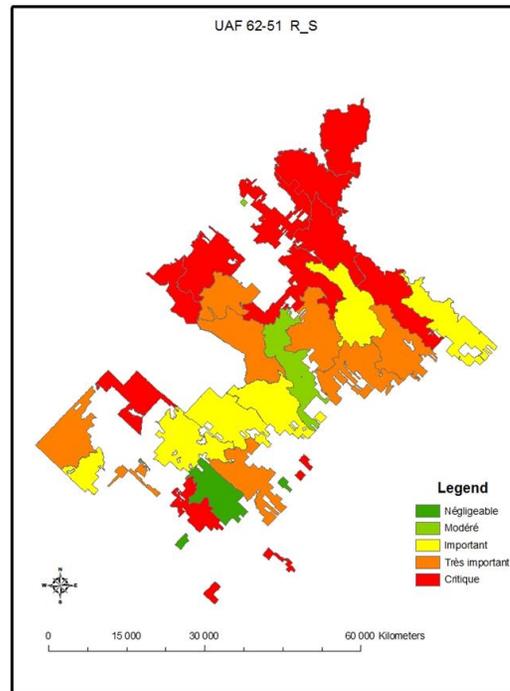
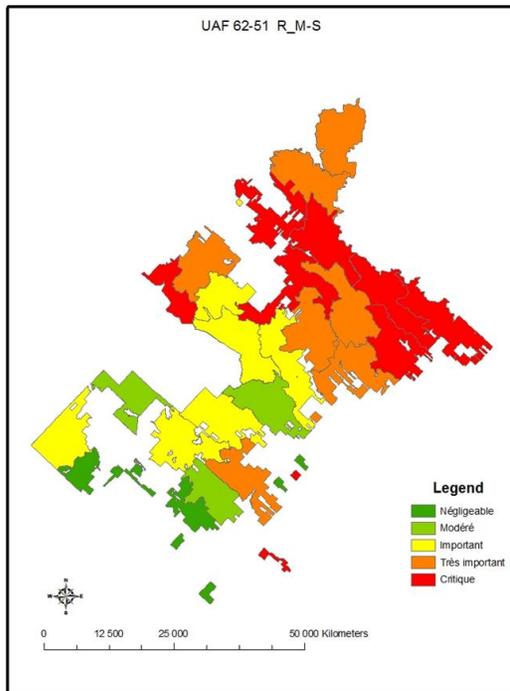
| | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|--------|------|------|--------|------|------|----|----|----|
| utr_6252_2013 | R M-S | 6.52 | 0.46 | 0.75 | 0.36 | 0.44 | 0.84 | 65 | 76 | 76 |
| utr_6252_2016 | R M-S | 3.02 | 0.54 | 0.78 | 0.18 | 0.36 | 0.83 | 91 | 86 | 77 |
| utr_6452_1001 | R M-S | 1.91 | 0.23 | 0.39 | 0.19 | 0.57 | 0.51 | 90 | 65 | 94 |
| utr_6452_1002 | R M-S | 7.75 | 0.54 | 0.81 | 0.53 | 0.56 | 0.88 | 40 | 67 | 67 |
| utr_6452_1003 | R M-S | 2.23 | 0.16 | 0.97 | 0.43 | 0.58 | 1.19 | 57 | 63 | 9 |
| utr_6452_1004 | R M-S | 10.32 | 0.76 | 0.90 | 0.60 | 0.84 | 0.99 | 31 | 31 | 44 |
| utr_6452_1005 | R M-S | 2.97 | 0.22 | 0.80 | 0.24 | 0.61 | 1.12 | 82 | 58 | 13 |
| utr_6452_1006 | R M-S | 11.42 | 0.57 | 0.89 | 0.50 | 0.69 | 0.97 | 44 | 47 | 50 |
| utr_6452_1007 | R M-S | 2.95 | 0.23 | 0.47 | 0.41 | 0.72 | 0.75 | 60 | 43 | 85 |
| utr_6452_1008 | R M-S | 5.24 | 0.31 | 0.75 | 0.40 | 0.72 | 0.97 | 62 | 42 | 49 |
| utr_6452_1009 | R M-S | 3.96 | 0.32 | 0.73 | 0.25 | 0.58 | 0.89 | 81 | 64 | 62 |
| utr_6452_1010 | R M-S | 2.88 | 0.21 | 0.58 | 0.32 | 0.79 | 0.98 | 69 | 36 | 46 |
| utr_6452_1011 | R M-S | 4.12 | 0.28 | 0.70 | 0.32 | 0.70 | 1.06 | 70 | 45 | 18 |
| utr_6452_1012 | R M-S | 3.14 | 0.29 | 0.62 | 0.45 | 1.26 | 0.94 | 53 | 3 | 53 |
| utr_6452_1013 | R M-S | 3.57 | 0.29 | 0.73 | 0.34 | 0.76 | 1.05 | 66 | 39 | 21 |
| utr_6452_1014 | R M-S | 5.85 | 0.36 | 0.81 | 0.49 | 0.95 | 1.09 | 48 | 28 | 16 |
| utr_6452_1015 | R M-S | 1.34 | 0.10 | 0.67 | 0.27 | 0.40 | 1.03 | 78 | 80 | 24 |
| utr_6452_1016 | R M-S | 3.20 | 0.32 | 0.90 | 0.37 | 0.64 | 1.15 | 64 | 53 | 11 |
| utr_6452_1017 | R M-S | 2.37 | 0.32 | 0.66 | 0.43 | 0.80 | 0.85 | 55 | 33 | 74 |
| utr_6452_1018 | R M-S | 1.57 | 0.09 | 0.85 | 0.31 | 0.31 | 1.29 | 73 | 90 | 4 |
| utr_6452_1019 | R M-S | 6.04 | 0.52 | 0.99 | 0.86 | 1.16 | 1.01 | 19 | 7 | 26 |
| utr_6452_1020 | R M-S | 3.44 | 0.36 | 0.82 | 0.47 | 0.59 | 0.91 | 51 | 62 | 60 |
| utr_6452_1021 | R M-S | 2.78 | 0.56 | 0.87 | 0.39 | 0.62 | 0.92 | 63 | 55 | 56 |
| utr_6452_1022 | R M-S | 4.69 | 0.40 | 0.74 | 0.56 | 0.69 | 1.05 | 34 | 46 | 20 |
| utr_6452_1023 | R M-S | 1.88 | 0.20 | 0.88 | 0.49 | 0.72 | 1.22 | 47 | 41 | 8 |
| utr_6151_1001 | RS | 0.39 | 0.05 | 1.00 | 0.10 | 0.31 | 6.00 | 82 | 57 | 1 |
| utr_6151_1002 | RS | 0.55 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 84 | 72 | 71 |
| utr_6151_1003 | RS | 2.46 | 0.21 | 0.95 | 0.23 | 0.45 | 1.06 | 60 | 43 | 22 |
| utr_6151_1004 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 8.32 | 0.00 | 0.00 | 22 | 72 | 71 |
| utr_6151_1005 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 144.93 | 0.00 | 0.00 | 6 | 72 | 71 |
| utr_6151_1006 | RS | 0.16 | 0.07 | 1.00 | 0.28 | 0.71 | 1.25 | 52 | 27 | 6 |
| utr_6151_1007 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 7 | 72 | 71 |
| utr_6151_1008 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 75.76 | 0.00 | 0.00 | 9 | 72 | 71 |
| utr_6151_1009 | RS | 0.20 | 0.06 | 1.00 | 0.21 | 0.28 | 1.78 | 65 | 61 | 2 |
| utr_6151_1010 | RS | 0.44 | 0.05 | 1.00 | 0.13 | 0.38 | 1.34 | 77 | 49 | 3 |
| utr_6151_1011 | RS | 1.07 | 0.39 | 1.00 | 0.21 | 1.04 | 1.00 | 64 | 1 | 33 |
| utr_6151_1012 | RS | 0.47 | 0.15 | 0.33 | 0.28 | 0.65 | 0.43 | 51 | 33 | 69 |
| utr_6151_1013 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 63.29 | 1.00 | 1.00 | 10 | 3 | 33 |
| utr_6151_1014 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 163.93 | 0.00 | 0.00 | 5 | 72 | 71 |
| utr_6151_1015 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 15.38 | 0.00 | 0.00 | 17 | 72 | 71 |
| utr_6151_1016 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 196.08 | 0.00 | 0.00 | 4 | 72 | 71 |
| utr_6151_1017 | RS | 0.38 | 0.19 | 1.00 | 0.20 | 0.71 | 1.08 | 67 | 25 | 19 |
| utr_6151_1018 | RS | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.32 | 0.00 | 0.00 | 45 | 72 | 71 |

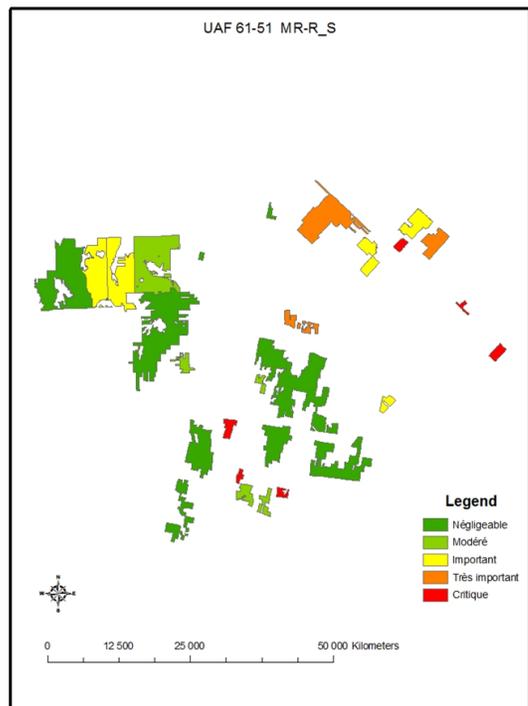
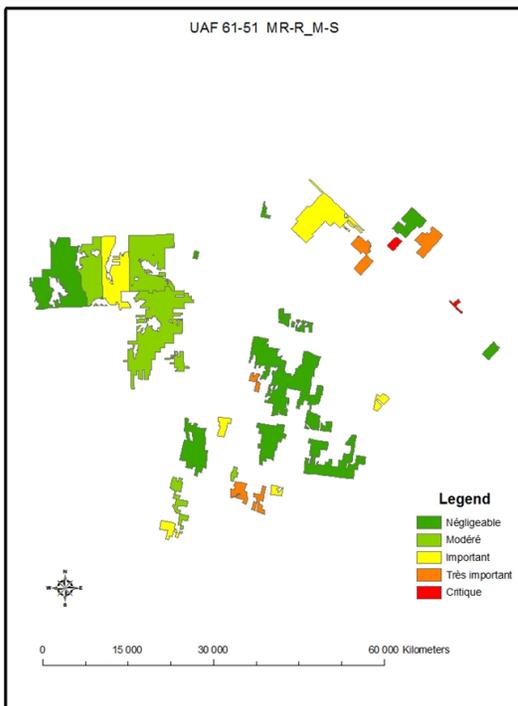
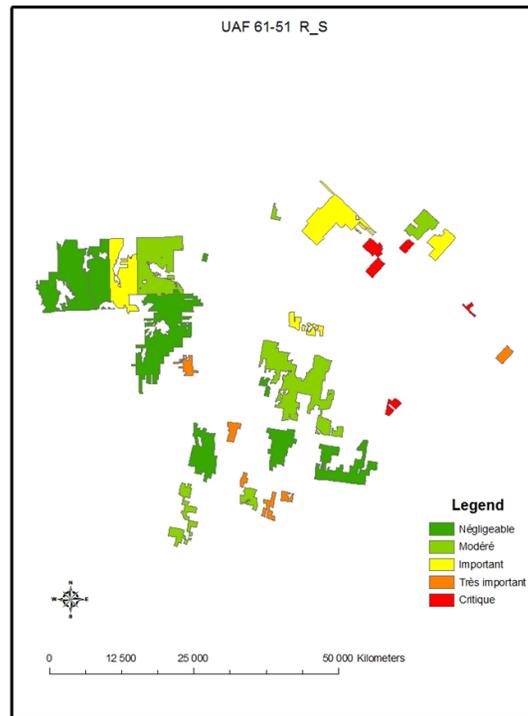
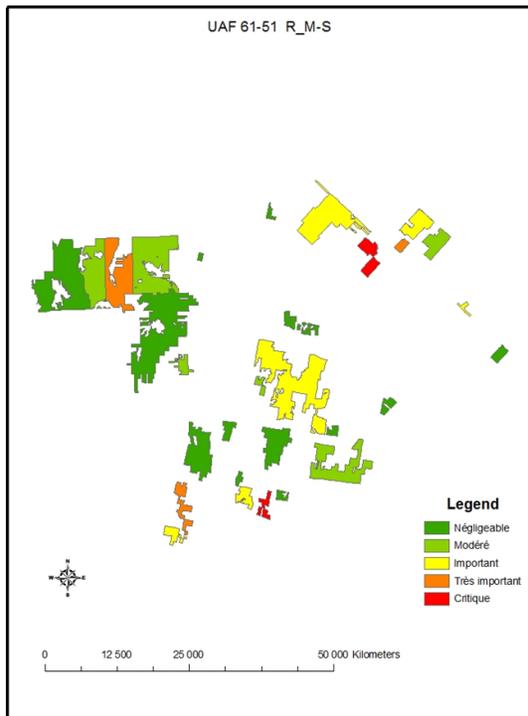
| | | | | | | | | | | |
|---------------|----|--------|------|------|--------|------|------|-----|----|----|
| utr_6151_1019 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.75 | 0.00 | 0.00 | 26 | 72 | 71 |
| utr_6151_1020 | RS | 3.83 | 0.33 | 0.81 | 0.44 | 0.86 | 1.11 | 39 | 17 | 15 |
| utr_6151_1021 | RS | 5.91 | 0.43 | 0.64 | 0.49 | 1.00 | 0.79 | 37 | 11 | 54 |
| utr_6151_1022 | RS | 0.87 | 0.16 | 1.00 | 0.12 | 0.24 | 1.06 | 79 | 65 | 23 |
| utr_6151_1023 | RS | 0.69 | 0.28 | 0.93 | 0.19 | 0.73 | 1.03 | 68 | 23 | 30 |
| utr_6151_1024 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 32 | 3 | 33 |
| utr_6151_1025 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 80.65 | 0.00 | 0.00 | 8 | 72 | 71 |
| utr_6151_1026 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 303.03 | 1.00 | 1.00 | 2 | 3 | 33 |
| utr_6151_1027 | RS | 0.29 | 0.43 | 0.67 | 0.07 | 0.82 | 0.73 | 87 | 19 | 59 |
| utr_6151_1028 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 3.09 | 0.00 | 0.00 | 31 | 72 | 71 |
| utr_6151_1029 | RS | 0.33 | 0.38 | 1.00 | 0.04 | 0.70 | 1.34 | 92 | 29 | 4 |
| utr_6151_1030 | RS | 1.51 | 0.06 | 1.00 | 0.17 | 0.25 | 1.21 | 72 | 63 | 9 |
| utr_6251_2001 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 10.99 | 0.00 | 0.00 | 19 | 72 | 71 |
| utr_6251_2002 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 32 | 3 | 33 |
| utr_6251_2003 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 39.53 | 0.00 | 0.00 | 11 | 72 | 71 |
| utr_6251_2004 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 19.27 | 0.00 | 0.00 | 16 | 72 | 71 |
| utr_6251_2005 | RS | 1.58 | 0.63 | 0.92 | 0.26 | 0.89 | 1.03 | 54 | 16 | 29 |
| utr_6251_2006 | RS | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 74 | 72 | 71 |
| utr_6251_2007 | RS | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 32 | 3 | 33 |
| utr_6251_2008 | RS | 1.36 | 0.23 | 0.28 | 0.25 | 0.31 | 0.33 | 56 | 56 | 70 |
| utr_6251_2010 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 35.97 | 0.00 | 0.00 | 13 | 72 | 71 |
| utr_6251_2011 | RS | 0.22 | 0.69 | 0.78 | 0.03 | 0.95 | 0.91 | 94 | 14 | 48 |
| utr_6251_2012 | RS | 1.02 | 0.40 | 0.76 | 0.06 | 0.43 | 0.84 | 90 | 46 | 52 |
| utr_6251_2013 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 32 | 3 | 33 |
| utr_6251_2014 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 3.99 | 0.00 | 0.00 | 30 | 72 | 71 |
| utr_6251_2015 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.79 | 0.00 | 0.00 | 25 | 72 | 71 |
| utr_6251_2016 | RS | 1.33 | 0.28 | 0.86 | 0.13 | 0.44 | 0.98 | 76 | 44 | 43 |
| utr_6251_2017 | RS | 4.96 | 0.49 | 0.71 | 0.29 | 0.71 | 0.84 | 48 | 26 | 51 |
| utr_6251_2018 | RS | 0.17 | 0.60 | 1.00 | 0.02 | 0.94 | 1.16 | 99 | 15 | 12 |
| utr_6251_2019 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 222.22 | 0.00 | 0.00 | 3 | 72 | 71 |
| utr_6251_2020 | RS | 0.99 | 0.30 | 0.52 | 0.20 | 0.43 | 0.58 | 66 | 45 | 64 |
| utr_6251_2021 | RS | 0.19 | 0.19 | 0.00 | 0.08 | 0.37 | 0.00 | 83 | 51 | 71 |
| utr_6251_2022 | RS | 0.08 | 0.13 | 1.00 | 0.02 | 0.20 | 1.19 | 98 | 66 | 11 |
| utr_6251_2023 | RS | 0.45 | 0.18 | 0.86 | 0.07 | 0.26 | 0.96 | 88 | 62 | 46 |
| utr_6251_2024 | RS | 0.09 | 0.13 | 1.00 | 0.01 | 0.14 | 1.08 | 102 | 70 | 20 |
| utr_6251_2025 | RS | 0.58 | 0.38 | 0.81 | 0.10 | 0.66 | 0.92 | 81 | 31 | 47 |
| utr_6251_2026 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.03 | 0.00 | 0.00 | 28 | 72 | 71 |
| utr_6251_2027 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 26.11 | 0.00 | 0.00 | 14 | 72 | 71 |
| utr_6251_2028 | RS | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 91 | 72 | 71 |
| utr_6251_2029 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 36.50 | 0.00 | 0.00 | 12 | 72 | 71 |
| utr_6251_2030 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 7.18 | 0.00 | 0.00 | 23 | 72 | 71 |
| utr_6251_2031 | RS | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 106 | 72 | 71 |
| utr_6251_2032 | RS | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 104 | 72 | 71 |

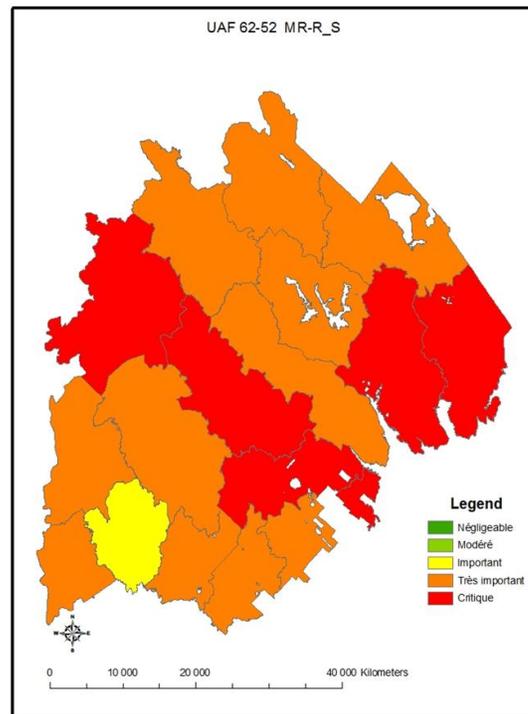
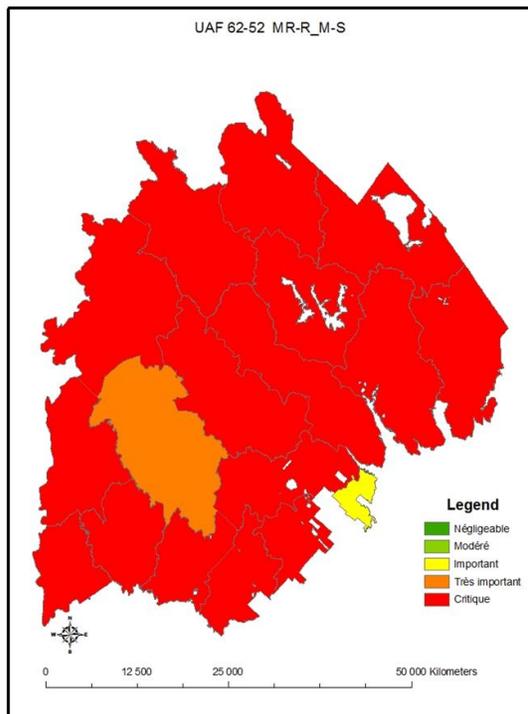
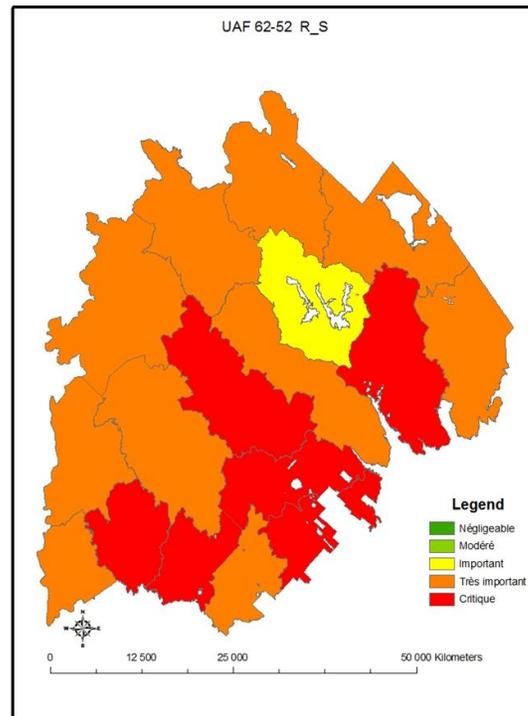
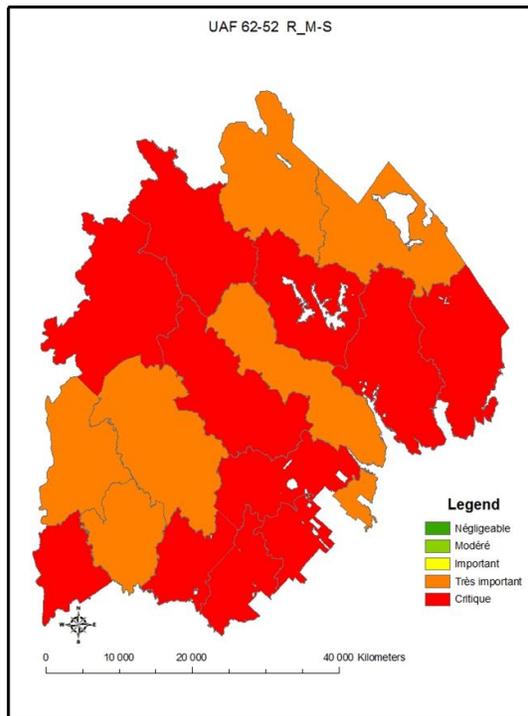
| | | | | | | | | | | |
|---------------|----|--------|------|------|---------|------|------|-----|----|----|
| utr_6251_2034 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 10.30 | 0.00 | 0.00 | 21 | 72 | 71 |
| utr_6251_2035 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 10.72 | 0.00 | 0.00 | 20 | 72 | 71 |
| utr_6251_2036 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 32 | 3 | 33 |
| utr_6251_2033 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 2500.00 | 1.00 | 1.00 | 1 | 3 | 33 |
| utr_6252_1014 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 4.38 | 0.00 | 0.00 | 29 | 72 | 71 |
| utr_6252_1015 | RS | 0.08 | 0.14 | 1.00 | 0.01 | 0.14 | 1.10 | 101 | 69 | 16 |
| utr_6252_1017 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 13.05 | 0.00 | 0.00 | 18 | 72 | 71 |
| utr_6252_1018 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 24.51 | 0.00 | 0.00 | 15 | 72 | 71 |
| utr_6252_2001 | RS | 2.63 | 0.31 | 0.56 | 0.12 | 0.29 | 0.67 | 80 | 59 | 63 |
| utr_6252_2002 | RS | 2.51 | 0.32 | 0.69 | 0.12 | 0.32 | 0.77 | 78 | 55 | 56 |
| utr_6252_2003 | RS | 1.08 | 0.08 | 0.75 | 0.08 | 0.13 | 0.98 | 85 | 71 | 44 |
| utr_6252_2004 | RS | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 105 | 72 | 71 |
| utr_6252_2005 | RS | 1.02 | 0.33 | 0.64 | 0.07 | 0.33 | 0.71 | 86 | 54 | 61 |
| utr_6252_2006 | RS | 0.51 | 0.44 | 0.75 | 0.03 | 0.40 | 0.82 | 95 | 48 | 53 |
| utr_6252_2007 | RS | 0.45 | 0.28 | 0.50 | 0.02 | 0.18 | 0.53 | 97 | 67 | 66 |
| utr_6252_2008 | RS | 1.12 | 0.20 | 0.68 | 0.06 | 0.16 | 0.75 | 89 | 68 | 58 |
| utr_6252_2009 | RS | 0.34 | 0.22 | 1.00 | 0.02 | 0.29 | 1.21 | 96 | 60 | 10 |
| utr_6252_2010 | RS | 0.71 | 0.34 | 0.44 | 0.03 | 0.25 | 0.48 | 93 | 64 | 67 |
| utr_6252_2011 | RS | 0.08 | 0.40 | 0.50 | 0.00 | 0.49 | 0.56 | 103 | 40 | 65 |
| utr_6252_2012 | RS | 0.28 | 0.75 | 0.83 | 0.01 | 0.59 | 0.90 | 100 | 35 | 49 |
| utr_6252_2013 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.53 | 0.00 | 0.00 | 27 | 72 | 71 |
| utr_6252_2016 | RS | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.84 | 0.00 | 0.00 | 24 | 72 | 71 |
| utr_6452_1001 | RS | 1.77 | 0.22 | 0.34 | 0.17 | 0.54 | 0.45 | 71 | 38 | 68 |
| utr_6452_1002 | RS | 2.73 | 0.29 | 0.93 | 0.19 | 0.30 | 1.02 | 69 | 58 | 31 |
| utr_6452_1003 | RS | 1.22 | 0.13 | 1.00 | 0.23 | 0.48 | 1.24 | 61 | 41 | 7 |
| utr_6452_1004 | RS | 6.23 | 0.69 | 0.92 | 0.36 | 0.78 | 1.02 | 41 | 21 | 32 |
| utr_6452_1005 | RS | 1.74 | 0.24 | 0.74 | 0.14 | 0.66 | 1.03 | 75 | 32 | 26 |
| utr_6452_1006 | RS | 5.02 | 0.39 | 0.92 | 0.22 | 0.47 | 0.99 | 63 | 42 | 42 |
| utr_6452_1007 | RS | 2.49 | 0.25 | 0.46 | 0.35 | 0.78 | 0.73 | 42 | 20 | 60 |
| utr_6452_1008 | RS | 3.14 | 0.37 | 0.80 | 0.24 | 0.84 | 1.03 | 57 | 18 | 27 |
| utr_6452_1009 | RS | 2.89 | 0.32 | 0.84 | 0.18 | 0.57 | 1.03 | 70 | 36 | 28 |
| utr_6452_1010 | RS | 1.50 | 0.26 | 0.45 | 0.16 | 0.97 | 0.76 | 73 | 13 | 57 |
| utr_6452_1011 | RS | 2.98 | 0.28 | 0.72 | 0.23 | 0.70 | 1.10 | 62 | 28 | 17 |
| utr_6452_1012 | RS | 1.65 | 0.23 | 0.45 | 0.23 | 1.00 | 0.69 | 59 | 2 | 62 |
| utr_6452_1013 | RS | 3.27 | 0.26 | 0.72 | 0.31 | 0.68 | 1.04 | 47 | 30 | 25 |
| utr_6452_1014 | RS | 5.25 | 0.38 | 0.81 | 0.44 | 0.98 | 1.08 | 40 | 12 | 18 |
| utr_6452_1015 | RS | 1.17 | 0.09 | 0.70 | 0.24 | 0.38 | 1.08 | 58 | 50 | 21 |
| utr_6452_1016 | RS | 2.79 | 0.32 | 0.90 | 0.32 | 0.65 | 1.15 | 44 | 34 | 13 |
| utr_6452_1017 | RS | 1.38 | 0.14 | 0.94 | 0.25 | 0.35 | 1.22 | 55 | 52 | 8 |
| utr_6452_1018 | RS | 1.46 | 0.10 | 0.85 | 0.29 | 0.34 | 1.29 | 49 | 53 | 5 |
| utr_6452_1019 | RS | 2.22 | 0.34 | 0.95 | 0.31 | 0.77 | 0.97 | 46 | 22 | 45 |
| utr_6452_1020 | RS | 2.09 | 0.34 | 0.79 | 0.29 | 0.56 | 0.87 | 50 | 37 | 50 |
| utr_6452_1021 | RS | 1.94 | 0.37 | 0.73 | 0.27 | 0.41 | 0.78 | 53 | 47 | 55 |

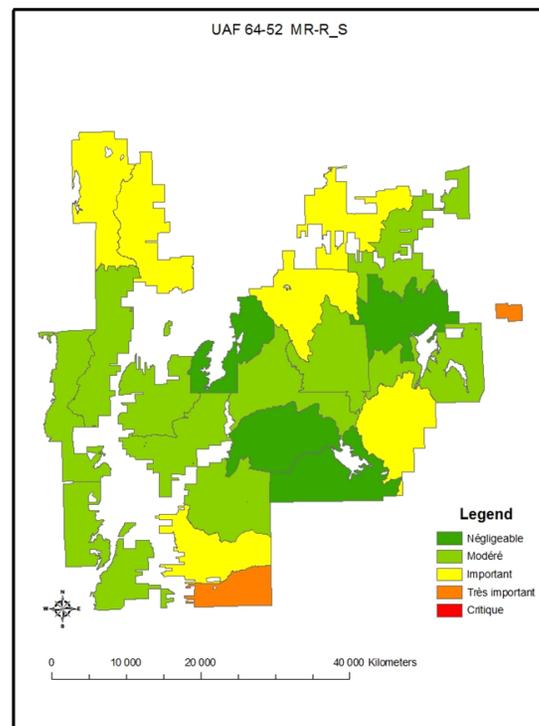
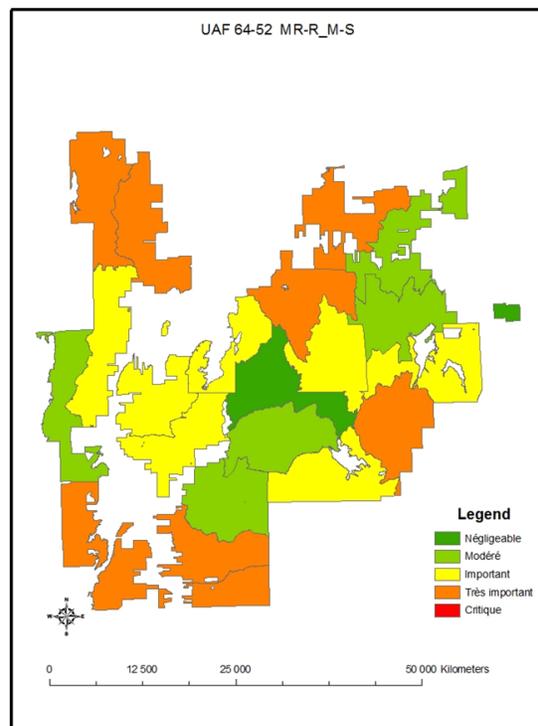
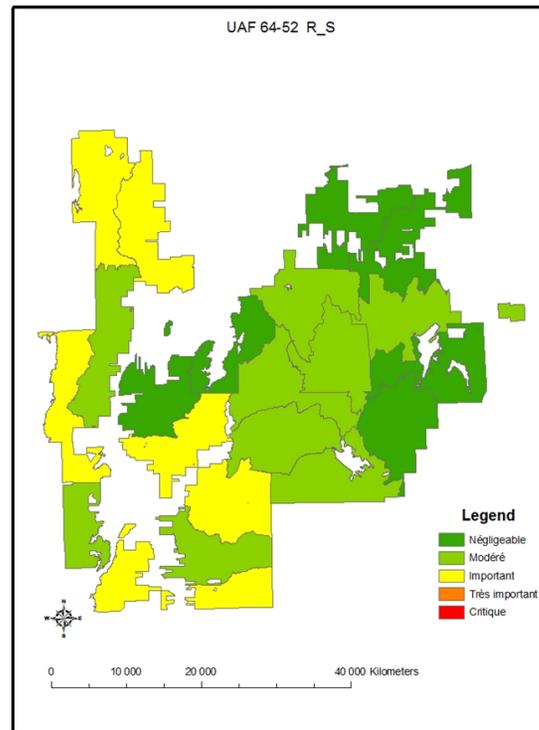
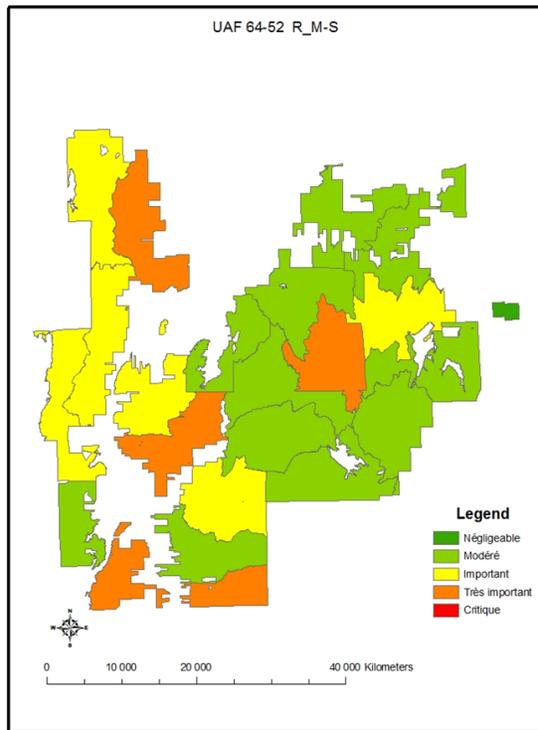
| | | | | | | | | | | |
|---------------|----|------|------|------|------|------|------|----|----|----|
| utr_6452_1022 | RS | 3.80 | 0.42 | 0.73 | 0.46 | 0.72 | 1.05 | 38 | 24 | 24 |
| utr_6452_1023 | RS | 1.29 | 0.14 | 0.81 | 0.33 | 0.50 | 1.13 | 43 | 39 | 14 |

Annexe 5. Représentation cartographique de l'importance de la problématique de connectivité dans chacune des UTRs par UAF et par type d'habitat.









Annexe 6. Liens entre les classes d'habitat utilisées pour attribuer le coût de friction des peuplements forestiers (Tableau 5) et les codes d'appellation cartographique identifiant les peuplements dans l'inventaire écoforestier.

A) Lien entre les groupes d'essences et les sous-types de composition

FI : ALF, BB, BB1, BBBB, BBPE, BPBJ, BPBP, BPEO, BPER, BPES, BPFN, BPFO, BPFT, BPFX, BPPE, FH, FHBJ, FHEA, FHEO, FHER, FHFH, FHFI, FHFN, FHFO, FHFT, FHFH, FHPE, FI, FIBB, FIBJ, FIBP, FIEO, FIER, FIES, FIFH, FIFI, FIFN, FIFO, FIFT, FIFX, FIPE, FNBJ, FNC, FNFH, FNFI, FNFN, FNFO, FNFT, FNFX, FNPE, FOBJ, FOEO, FOFH, FOFN, FOFO, FOFT, FOPE, FXBP, FXPE, PE, PE1, PEBB, PEBJ, PEBP, PEEO, PEER, PEES, PEFH, PEFI, PEFN, PEFO, PEFT, PEFX, PEPD, PEPE;

FT : BJ, BBJ, BJBP, BJEO, BJER, BJES, BJFH, BJFI, BJFO, BJFT, BJFX, BJHG, BJPE, CHR, CR, CRBJ, CRCR, CREO, CRER, CRES, CRFT, CRPE, EO, EOBJ, EOBP, EOER, EOEO, EOES, EOFH, EOFI, EOFN, EOFO, EOFT, EOFX, EOHG, EOPE, ER, ERBB, ERBJ, ERBP, ERER, ERES, ERFH, ERFI, ERFN, ERFT, ERFH, ERHG, ERPE, ESBG, ESBJ, ESBP, ESCR, ESEO, ESER, ESES, ESFH, ESFI, ESFN, ESFT, ESFX, ESHG, ESPD, ESPE, FT, FTBJ, FTBP, FTCH, FTEO, FTER, FTES, FTFH, FTFI, FTFN, FTFT, FTFX, FTHG, FTPD, FTPE, FXBJ, FXER, FXES, FXFI, FXFN, FXFT, FXFX, FZ, HGBJ, HGER, HGES, HGFT, HGFX, HGHG;

MFI : ALM, BB1E, BB1PB, BB1PG, BB1R, BB1S, BBBBE, BBBBPPB, BBBBPG, BBBBR, BBBBS, BBEPN, BBPB, BBPEE, BBPEPB, BBPEPG, BBPER, BBPES, BBPG, BBPIG, BBR, BBS, BPBJEP, BPBJPU, BPBJRX, BPBJSB, BPBJSE, BPBJTO, BPBPBEB, BPBPBEP, BPBPBPB, BPBPBU, BPBPBRX, BPBPBPSB, BPBPBSE, BPBPBTO, BPEB, BPEOEB, BPEOEP, BPEOPB, BPEOPR, BPEOPU, BPEORX, BPEOSB, BPEOSE, BPEOTO, BPEREB, BPEREP, BPERPU, BPERRX, BPERSB, BPERSE, BPESPU, BPESB, BPEU, BPFHRX, BPFHSB, BPFNEB, BPFNRX, BPFNSB, BPFTEP, BPFTPB, BPFTPU, BPFTRX, BPFTSB, BPFTSE, BPFXEP, BPFXPU, BPFXRX, BPFXSB, BPFXTO, BPPEEB, BPPEEP, BPPEPB, BPPEPU, BPPERX, BPPEB, BPPESE, BPPETO, FEPH, FEPL, FEPN, FEPO, FHBJR, FHBJSB, FHBJSE, FHBJTO, FHBPRX, FHEORX, FHEOSB, FHEOTO, FHFHEP, FHFHRX, FHFHSB, FHFHTO, FHFIRX, FHFISB, FHFNRX, FHFNTO, FHFORX, FHFOSB, FHFOTO, FHFTRX, FHFTTO, FHFXX, FHFXXSB, FHPERX, FHPESB, FHPETO, FHR, FIBBE, FIBBR, FIBBS, FIBJEB, FIBJPB, FIBJPU, FIBJR, FIBJSB, FIBJSE, FIBJTO, FIBPEP, FIBPPB, FIBPRX, FIBPSB, FIBPSE, FIBPTO, FIEN, FIEOEB, FIEOEP, FIEOPB, FIEOPU, FIEORX, FIEOSB, FIEOSE, FIEOTO, FIEPN, FIEREP, FIERPB, FIERPU, FIERRX, FIERSB, FIERSE, FIERTO, FIESRX, FIESSB, FIEV, FIFASB, FIFHRX, FIFHSB, FIFHTO, FIFIEN, FIFIPB, FIFISB, FIFNRX, FIFNSB, FIFORX, FIFOSB, FIFOTO, FIFTEB, FIFTEP, FIFTPB, FIFTPU, FIFTRX, FIFTSB, FIFTESE, FIFTTTO, FIFXRX, FIFXSB, FIFXSE, FIPB, FIPEE, FIPEEP, FIPEPB, FIPEPG, FIPER, FIPERX, FIPES, FIPESB, FIPSE, FIPG, FIR, FIS, FNEB, FNFHRX, FNFIRX, FNFISB, FNFNEN, FNFNEP, FNFNRX, FNFNSB, FNFXX, FNFXXSB, FOBJRX, FOBJSB, FOBJTO, FOBJPRX, FOEORX, FOEOSB, FOEOTO, FOFHRX, FOFHSB, FOFHTO, FOFIRX, FOFISB, FOFITO, FOFORX, FOFOSB, FOFOTO, FOFXRX, FOPERX, FOPESB, FOPETO, FPIG, FXBPSB, FXEB, FXEN, FXEU, FXEV, FXFHRX, FXFIRX, FXFISB, FXFNRX, FXFNNSB, FXFTRX, FXFTSB, FXFXEP, FXFXRX, FXFXSB, FXPB, FXPESB, FXPG, FXRZ, FZRZ, PE1E, PE1PB, PE1PG, PE1R, PE1S, PEBBE, PEBBPPB, PEBBPG, PEBBR, PEBBS, PEBJEB, PEBJEP, PEBJPB, PEBJR, PEBJSB, PEBJSE, PEBJTO, PEBPEB, PEBPEP, PEBPPB, PEBPPU, PEBPRX, PEBPSB, PEBPSE, PEBPTO, PEE, PEEB, PEEN, PEEOEB, PEEOEP, PEEOPB, PEEOPU, PEEORX, PEEOSB, PEEOSE, PEEOTO, PEEPN, PEEREB, PEERPB, PEERPR, PEERPU, PEERRX, PEERSB, PEERSE, PEESEP, PEESPB, PEESPU, PEESRX, PEESB, PEEU, PEEV, PEFHPB, PEFHPU, PEFHRX, PEFHSB, PEFHSE, PEFHTO, PEFISB, PEFNRX, PEFNSB, PEFOEP, PEFORX, PEFOSB, PEFOTO, PEFTEB, PEFTEP, PEFTPB,

SBPB, SBPR, SBPU, SBRX, SBSB, SBTO, SC, SE, SEEP, SEML, SEPB, SEPU, SERX, SESE, SETO, SME, SPB, SPG, SS;

RM : CC, CE, CME, CPB, CS, PB, PBE, PBEB, PBEP, PBEV, PBPB, PBPG, PBPR, PBPU, PBRX, PBS, PBSB, PBTO, PIB, PIG, PIGEPL, PIGEPN, PIR, PIREPL, PIS, PR, PREP, PRPB, PRPG, PRPR, PRPU, PRRX, PRS, PRSB, PUEP, PUPB, PUPR, PUPU, PURX, PUSB, PUSE, PUTO, RC, RPB, RPR, RXPB, RXPR, RXPU, TOEB, TOEN, TOEP, TOML, TOPB, TOPU, TORX, TOSB, TOSE, TOTO

B) Lien entre la classe d'âge et le stade

J : 10, 30, 1090, 3030, 3050, 3070;

M : 50, 70, 3090, 5010, 5030, 5050, 5070, 5090, 7010, 7030, 7050, 7070, 7090, 30120, 50120, 70120, JIN, JIR;

V : 90, 120, 9010, 9030, 9050, 9070, 9090, 12010, 12012, 12030, 12050, 12070, 12090, 90120, VIN, VIR

C) perturbations partielles considérées

CJ, CPM, CPF, CPC, CP, CJT, RRR, CJG, CPS, CEA, CE, CDL, CB, CAM, CA, CJP, EPC, DEG, RRP, DRM, EC, ECE, ECL, RRG, CTR, RR, CPI, EPR, ESI, RBV, ENR, EL, DP, BRP, CHP

Annexe 7. Description des affectations pour les zones de protection avec et sans prélèvement de la matière ligneuse.

| Protection | Affectations_Description | Sup_Ha |
|-------------------------------|--|--------|
| Avec prélèvement | Aire de concentration d'oiseaux aquatiques | 63 |
| | Aire de confinement du cerf de Virginie | 76795 |
| | Extension d'aire de confinement du cerf de Virginie | 33246 |
| | Forêt expérimentale | 277 |
| | Habitat du rat musqué | 35 |
| | Héronnière | 48 |
| | Parc régional | 30676 |
| | Parcelle de vérification | 23 |
| | Plan d'eau 30 m | 4 |
| | Plan d'eau 60 m | 6 |
| | Prise d'eau | 223 |
| | RÚseau dense de randonnées diverses | 5503 |
| | Secteur archéologique | 503 |
| | Site de récréation et de plein air | 40 |
| | Site faunique d'intérêt | 81753 |
| Zone forestière et récréative | 227 | |
| Sans prélèvement | Habitat d'espèces Fauniques menacées ou vulnérables | 2891 |
| | Habitat d'espèces floristiques menacées ou vulnérables | 951 |
| | Projet d'EFE sur forêt publique | 648 |
| | Projet de refuge biologique sur réserve forestière | 109 |
| | Projet de réserve de biodiversité | 2320 |
| | Projet de réserve écologique | 14 |
| | Zone de conservation | 2634 |

Annexe 8. Sévérité estimée de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette en fonction des caractéristiques de composition d'âge de densité et des sites sur lesquels pousse le peuplement.

| Caractéristiques forestières | | | Caractéristiques des stations | | | |
|------------------------------|--------------|---------|-------------------------------|---------|----------|-------------------------------|
| Essence | Classe d'âge | Densité | Mésique | Xérique | Hydrique | Drainage oblique ³ |
| Sapin baumier | 50 ans + | AB | 70 | 95 | 80 | 40 |
| | | CD | 60 | 95 | 70 | 30 |
| | 30 ans | AB | 50 | 95 | 60 | 30 |
| | | CD | 40 | 95 | 50 | 20 |
| Épinette blanche | 70 ans + | AB | 30 | 60 | 50 | 20 |
| | | CD | 25 | 60 | 40 | 5 |
| | 50 ans | AB | 25 | 60 | 30 | 15 |
| | | CD | 20 | 60 | 30 | 5 |
| | 30 ans | AB | 20 | 50 | 25 | 10 |
| | | CD | 15 | 50 | 20 | 0 |

Annexe 9. Classe de productivité attribuée aux différents types écologiques en fonction de la région écologique. Basé sur le Guide des stations sylvicoles du MRN.

| Région écologique | Groupe* | Sous-groupe* | Type écologique | Classe de productivité |
|--------------------|---------|--------------|--|------------------------|
| 3b, 3c, 4c | 1 | 1a | MS22, MS23 | élevé |
| 3b, 3c, 4b, 4c | 1 | 1c | MS21 | élevé |
| 4b, 4c | 1 | 2 | RS26, RS22M, RS24, RS25, RS25S | modéré |
| 4b, 4c | 1 | 3 | RE21, RE22, RE24, RE25, RE26 | faible |
| 3b, 3c, 4c | 1 | 4 | MS20, RS20 | faible |
| 3b, 3c, 4c | 1 | 5 | RE20 | faible |
| 2a, 3b, 3c, 4b, 4c | 1 | 6 | RE37, RE38, RE39, RS37, RS38, RS39 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4b, 4c | 2 | 2_1 | FE22, FE32 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 2 | 2_2 | FE25, FE35 | élevé |
| 3b, 3c | 2 | 2_3 | FE32H | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 2 | 2_4 | FE20, FE30 | faible |
| 2a, 3b, 3c, 4b, 4c | 3 | 3_1 | MJ12, MJ13, MJ14, MJ15, MJ22, MJ24, MJ25 | élevé |
| 2a, 3c, 4b, 4c | 3 | 3_2 | MJ11, MJ21 | modéré |
| 2a, 3c, 4b, 4c | 3 | 3_3 | MJ10, MJ20 | faible |
| 2a, 3b, 3c | 3 | 3_4 | FO14, FO16, FO18, MF14, MF15, MF16, MF18, MJ16, MJ18, MJ26, MJ28 | élevé |
| 3b | 3 | 3_5 | MJ10, MJ11, MJ20, MJ21 | faible |
| 3b | 3 | 3_6 | MJ12, MJ22 | modéré |
| 2a, 3b, 3c | 4 | 4_0 | FC10, FE60 | faible |
| 2a, 3b, 3c | 4 | 4_2 | FC12, FE61, FE62 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 6 | 6_1 | RP10 | faible |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 6 | 6_2 | RP11 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 6 | 6_3 | RP12 | modéré |
| 2a, 3b, 3c | 6 | 6_4 | RP14, RP15 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 7 | 7_0 | RS10 | faible |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 7 | 7_M-SH | RS11, RS12, RS13, RS14, RS15, RS16 | faible |
| 2a, 3b, 3c, 4c | 7 | 7_SH | RS18, RC38 | modéré |
| 2a, 3b, 3c | 8 | 8_0 | FE50 | faible |
| 2a, 3b, 3c | 8 | 8_2 | FE51, FE52 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4c | x | x1 | FE30, LA20, MS10, MS20, RB10, RE10, RS50, RT10 | faible |
| 2a, 3b, 3c, 4b, 4c | x | x2 | FE12, FE21, FE31, FE32H, FE33, LA22, MJ13, MJ23, MS11, MS12, MS23F, MS61, RB11, RB12, RB13, RE11, RE12, RE21, RE22, RS21, RS22, RS23, RS51, RS52, RS53, RT11, RT12, RT13 | modéré |

| | | | | |
|--------------------|---|----|---|--------|
| 2a, 3b, 3c, 4b, 4c | x | x3 | FE24, FE34, FE36, MJ14, MJ15, MJ24, MJ25, MJ26, MS15, MS24, MS25, MS26, RB14, RB15, RB16, RE15, RE24, RE25, RE25S, RS24, RS25, RS54, RS55, RS56, RT15 | modéré |
| 2a, 3b, 3c, 4b, 4c | x | x4 | MA18R, TO18, TOB9L, TOB9U, TOF8A, TOF8U | faible |

* Fait référence aux groupes et sous-groupes de végétation potentielle du Guides des stations sylvicoles du MRNF (2012)