

RAPPORT FINAL

ÉVALUATION DE LA CONNECTIVITÉ ÉCOLOGIQUE ET DE LA RÉSILIENCE DES MILIEUX BOISÉS DU TERRITOIRE DE LA VILLE DE NICOLET

Par

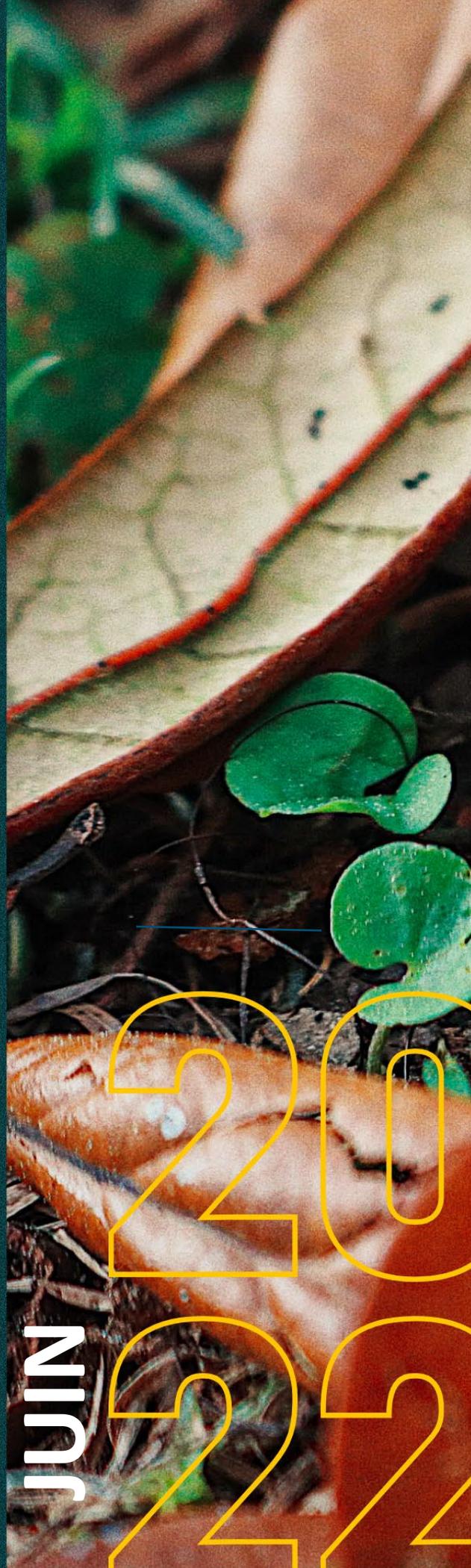
habitat

LA NATURE À L'ŒUVRE

Pour

nicolet

2022
JUIN



HABITAT

Habitat est une entreprise de solutions environnementales fondée en 2017 (d'abord connue sous le nom d'Eco2urb) et basée à Montréal. Elle propose des solutions fondées sur la nature pour alimenter et propulser la transition écologique de ses client·e·s, notamment dans un contexte de relance verte.

Habitat est née d'une mise en commun des expertises de trois laboratoires de pointe dans le domaine des sciences humaines et naturelles. À la tête de l'entreprise, on retrouve les professeurs Dupras, Gonzalez et Messier, tous reconnus à l'échelle internationale dans leurs domaines.

Au cours des quatre dernières années, Habitat a catalysé la transition écologique d'une clientèle diversifiée. L'équipe collabore avec de nombreuses universités, centres de recherche et organisations non gouvernementales afin de faciliter la mise en œuvre de travaux scientifiques reliés à l'écologie, la foresterie et l'aménagement du territoire. Elle propose des approches innovatrices et des stratégies environnementales à la fine pointe de la science.

L'équipe de consultants scientifiques d'Habitat vous encadre dans la gestion durable des écosystèmes, dans la conservation de la biodiversité et dans la prise en compte des services rendus par vos infrastructures naturelles, en appliquant la meilleure science disponible.

Notre mission est d'accélérer votre transition écologique à l'aide de solutions ancrées dans la nature et la science.

Équipe de réalisation

Analyse :	Kyle T. Martins, M. Sc. Tejasvi Hora, M. Sc. Noémie Lacroix, M. Sc.
Rédaction	Olivier Tanguy, M. Sc. Kyle T. Martins, M. Sc. Fanny Maure, Ph. D.
Édition et mise en page :	Fanny Maure, Ph. D. Julie Lebert
Coordination :	Véronique Dumais-Lalonde, M. Sc. Fanny Maure, Ph. D.
Direction scientifique :	Andrew Gonzalez, Ph. D. Christian Messier, Ph. D.

Citation suggérée :

Habitat (2022). Évaluation de la connectivité écologique et de la résilience des milieux boisés du territoire de la Ville de Nicolet. Pour la Ville de Nicolet. 43 p. + annexes.

Sommaire exécutif

La présente étude a été réalisée dans l'optique d'accompagner la Ville de Nicolet dans la constitution d'un corridor vert au sein de son territoire afin de contribuer au maintien de la biodiversité et de la connectivité des milieux boisés de façon durable. Pour y parvenir, nous avons réalisé une analyse de la connectivité écologique des milieux naturels du territoire Nicolétain, qui vise à évaluer la capacité de déplacement des espèces fauniques à l'intérieur de leur aire de répartition, et une analyse de la sensibilité des milieux boisés aux changements globaux (ex. vulnérabilité face aux climat, insectes, développement urbain).

Le projet a été réalisé à l'échelle de la municipalité, avec toutefois une attention particulière au secteur du Chemin Saint-Michel puisque c'est le secteur visé pour la constitution du corridor vert. Notre étude identifie les milieux naturels qui devraient être prioritaires à la conservation et nous ciblons huit zones d'intervention pour l'amélioration et la restauration du réseau écologique de milieux naturels qui traverse sur le territoire de la Ville de Nicolet.

Plusieurs résultats saillants découlent de cette étude :

- La municipalité de Nicolet occupe une place très importante dans le réseau des corridors écologiques de la région des Basses-Terres du Saint-Laurent, car elle permet de relier les grandes aires protégées du sud de Québec.
- Il existe un corridor de déplacement prioritaire pour la connectivité des espèces fauniques le long du secteur du Chemin Saint-Michel, reliant les grandes parcelles de forêt de la municipalité aux grands habitats riverains le long du lac Saint-Pierre.
- Les milieux boisés de la municipalité sont particulièrement vulnérables à la spongieuse asiatique et au longicorne asiatique, deux espèces exotiques susceptibles de s'établir au Québec. Ces espèces pourraient toucher respectivement 95,3 % et 71,3 % de la surface terrière du secteur du Chemin Saint-Michel.
- La sécheresse constitue la menace climatique la plus importante pour les milieux boisés du territoire et elle pourrait affecter 61,3% de la surface terrière du secteur du Chemin Saint-Michel.
- Les interventions recommandées incluent notamment la conservation et le reboisement de certains milieux afin de favoriser le déplacement des espèces à travers le territoire, d'augmenter la capacité des milieux boisés à faire face aux changements globaux et de maintenir l'approvisionnement en services rendus par les milieux naturels.

Les résultats du projet permettront de guider l'aménagement du territoire de façon durable et stratégique, en se basant sur la contribution des milieux boisés, notamment leur rôle dans la biodiversité et le déplacement des espèces fauniques, et leur résilience face aux changements globaux. L'établissement d'un corridor écologique dans le secteur du Chemin Saint-Michel permettra de pérenniser un corridor de déplacement des espèces fauniques d'importance pour la municipalité et la région.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	8
2. CARACTÉRISATION ÉCOLOGIQUE DU TERRITOIRE	11
3. LA CONNECTIVITÉ ÉCOLOGIQUE À TROIS ÉCHELLES SPATIALES.....	14
3.1 Connectivité écologique à l'échelle régionale des Basses-Terres du Saint-Laurent	14
3.1.1 Aperçu méthodologique	14
3.1.2 Résultats de la connectivité écologique régionale	15
3.2 Connectivité écologique à l'échelle municipale de la Ville de Nicolet	16
3.2.1 Aperçu méthodologique	16
3.2.2 Résultats de la connectivité écologique municipale	16
3.2.3 Agrandissement à l'échelle du secteur du Chemin Saint-Michel	19
4. ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ DES MILIEUX BOISÉS DE LA VILLE DE NICOLET.....	20
4.1 Évaluation de la diversité fonctionnelle des milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel	20
4.1.1 Composition des forêts de la Ville de Nicolet	20
4.1.2 Indice de diversité fonctionnelle	23
4.2 Vulnérabilités des milieux boisés face aux menaces biotiques et abiotiques	26
4.2.1 Identification des peuplements les plus vulnérables aux menaces biotiques et abiotiques prépondérantes	28
4.3 Susceptibilité au développement des milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel	30
5. MILIEUX À PRIORISER POUR LA CONSERVATION DANS LE SECTEUR DU CHEMIN SAINT-MICHEL.....	32
6. RECOMMANDATIONS POUR AMÉLIORER LA CONNECTIVITÉ LOCALE, LA BIODIVERSITÉ ET LA RÉSILIENCE DES MILIEUX NATURELS.....	34
7. CONCLUSION	39
8. LISTES DES ANNEXES	41
9. BIBLIOGRAPHIE	41

Liste des figures

Figure 1. Mise en contexte de la région d'étude.....	9
Figure 2. Cartographie des types d'occupation des sols du territoire de la Ville de Nicolet.....	12
Figure 3. Aires protégées comprises dans les limites administratives de la Ville de Nicolet	13
Figure 4. Sites prioritaires pour la conservation dans les Basses-Terres du Saint-Laurent selon Jobin et al. (2019)..	14
Figure 5. Corridors prioritaires de conservation pour la connectivité à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent..	15

Figure 6. Synthèse de l'analyse de connectivité nœud à nœud superposant les corridors de déplacement pour les cinq espèces sélectionnées.....	17
Figure 7. Synthèse des zones prioritaires pour la connectivité selon les analyses de l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire et la connectivité nœud à nœud et pour les cinq espèces fauniques sélectionnées.	18
Figure 8. Agrandissement de l'échelle de la région d'intérêt selon A) l'analyse de connectivité nœud à nœud superposant les corridors de déplacement pour les cinq espèces fauniques sélectionnées et B) les zones prioritaires pour la connectivité selon les analyses de l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire, et la connectivité nœud à nœud.	19
Figure 9. Cartographie des différents types de milieux boisés de la Ville de Nicolet.....	21
Figure 10. Cartographie de l'indice de diversité fonctionnelle des peuplements forestiers du secteur du Chemin Saint-Michel au sein de la Ville de Nicolet.....	24
Figure 11. Répartition des peuplements forestiers du secteur du Chemin Saint-Michel en fonction de leur niveau de vulnérabilité pour chacune des menaces biotiques jugées préoccupantes.	29
Figure 12. Répartition des peuplements forestiers en fonction de leur vulnérabilité aux menaces abiotiques préoccupantes pour le secteur du Chemin Saint-Michel.	30
Figure 13. Indice de susceptibilité au développement des milieux naturels du secteur du Chemin Saint-Michel.	31
Figure 14. Zones de conservations et de récréation proposées pour le secteur du Chemin Saint-Michel.....	32
Figure 15. Zones d'intervention potentielles pour les milieux naturels du secteur du Chemin Saint-Michel.	34

Liste des tableaux

Tableau 1 Superficie des types d'occupation des sols du territoire de la Ville de Nicolet et proportion occupée par chaque type de milieu à l'échelle de la Ville.....	11
Tableau 2. Synthèse des espèces arboricoles dominantes au sein de la Ville de Nicolet ou du secteur du Chemin Saint-Michel en fonction des surfaces terrières (% ST) qu'elles occupent par type de couvert forestier et pour l'ensemble du territoire.....	22
Tableau 3. Âge des peuplements forestiers à l'échelle de la municipalité ou du secteur du Chemin Saint-Michel...	23
Tableau 4. Groupes fonctionnels et proportion relative des milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel.	25
Tableau 5. Liste et description des 5 menaces biotiques retenues pour l'analyse de vulnérabilité et des dommages potentiels.....	26
Tableau 6. Synthèse des superficies touchées par chacune des menaces biotiques et abiotiques considérées préoccupantes pour la Ville de Nicolet et le secteur du Chemin Saint-Michel.	28
Tableau 7. Liste de recommandations selon le lieu d'intervention et les bénéfices attendus.	35

GLOSSAIRE

Centralité intermédiaire : indicateur utilisé pour mesurer le degré avec lequel une parcelle d'habitat pour une espèce faunique peut servir de lien entre d'autres milieux naturels et/ou parcelles d'habitat au sein du paysage. Plus la mesure de centralité intermédiaire est élevée, plus les parcelles d'habitat sont centrales, et donc importantes, dans le réseau de l'espèce étudiée.

Connectivité écologique : capacité de déplacement des espèces fauniques à l'intérieur de leur aire de répartition. Un paysage caractérisé par une connectivité écologique élevée favorise le déplacement des espèces.

Corridor de déplacement : zone de passage utilisée par la faune et la flore et qui relie différents milieux naturels.

Corridor écologique : espace géographique clairement défini qui est régi et géré à long terme afin de maintenir ou de rétablir une connectivité écologique efficace.

Diversité fonctionnelle : diversité au niveau des traits fonctionnels ou caractéristiques biologiques (ex. tolérance à la sécheresse, taille des semences, densité du bois) des espèces recensées sur un territoire donné.

Flux du courant : indicateur de la connectivité utilisé pour évaluer le potentiel de mouvement d'une espèce faunique à travers le territoire selon un modèle de circuit électrique.

Menace abiotique : menace venant du milieu et non des êtres vivants, comme les incendies, les précipitations ou la sécheresse.

Menace biotique : menace venant du monde vivant, comme les épidémies d'insectes ou les maladies exotiques.

Nœud à nœud : indicateur de la connectivité utilisé pour identifier les corridors de déplacement les plus probables entre différents « nœuds » spécifiques du territoire.

Parcelle d'habitat : territoire répondant aux besoins fondamentaux d'une espèce.

Qualité de l'habitat : indicateur utilisé pour évaluer si, et dans quelle mesure, un territoire répond aux besoins fondamentaux d'une espèce faunique.

Réseau écologique : ensemble d'éléments physiques et biologiques interconnectés. Le réseau écologique s'apparente aux liens nécessaires aux déplacements des espèces entre les habitats favorables dispersés à l'échelle de leur aire de répartition.

Résilience : capacité d'un milieu naturel à se remettre suite à une perturbation, de façon à maintenir les fonctions écologiques qu'il fournissait à son état initial.

Résistance du paysage : indicateur utilisé pour évaluer dans quelle mesure l'occupation des sols facilite ou empêche les déplacements d'une espèce.

Surface terrière : indicateur de densité et de volume des arbres. Plus précisément, elle correspond à la surface transversale du tronc d'un arbre prise à 1,3m du sol (soit à hauteur de poitrine).

Traits fonctionnels : caractéristiques biologiques des espèces animales et végétales qui dictent leurs réponses à différentes conditions environnementales. À titre d'exemple, la taille de semences et la densité du bois représentent des traits fonctionnels pour les arbres.

1. INTRODUCTION

Les milieux naturels qui nous entourent font face à un nombre croissant de menaces, et on parle aussi bien de menaces issues du milieu (c.-à-d. [menaces abiotiques](#), ex. incendies, précipitations, sécheresse) que de menaces venant du monde vivant (c.-à-d. [menaces biotiques](#), ex. épidémies d'insectes, maladies exotiques). D'après les prévisions climatiques pour 2021 (Ouranos 2021), il y aura par exemple une augmentation des sécheresses dans les prochaines décennies dans la région du Centre-du-Québec, en raison des températures estivales plus élevées et des niveaux de précipitation stables, causant ainsi une diminution de l'humidité dans les sols.

Par ailleurs, les cinquante dernières années ont été témoins de la dégradation et de la perte généralisée des milieux naturels du fait notamment de l'étalement urbain. La perte de ces milieux naturels prive la société des bienfaits et services qui leur sont naturellement associés (aussi appelés services écosystémiques), mais a aussi un impact important pour les espèces fauniques qui utilisent ces milieux à titre d'habitats ou de corridors de déplacement.

L'évaluation de la [connectivité écologique](#) d'un paysage renvoie à la capacité des organismes à se déplacer à l'intérieur de leur aire de répartition, et son maintien est un élément critique au maintien de la biodiversité dans les paysages. Plus les milieux restent connectés entre eux et forment un [réseau écologique](#) fort, plus les déplacements entre les habitats favorables des espèces sont favorisés. En outre, le mouvement d'organismes et de matériel génétique participe au maintien et à la création d'une diversité de processus écologiques essentiels à l'échelle du territoire (Ahern 2011; Gonzalez et al. 2011), tels que la régulation du climat (séquestration du carbone par les arbres), l'atténuation des inondations (réduction du ruissellement par les milieux naturels), la pollinisation ou la réduction de la pollution (captation des polluants atmosphériques par les végétaux). De nombreuses études soutiennent l'importance de maintenir et d'améliorer la connectivité écologique des milieux naturels pour la biodiversité, pour favoriser leur résilience face aux changements globaux (c.-à-d. leur capacité à se rétablir à la suite de perturbations) et ainsi continuer à bénéficier des services écosystémiques qu'ils fournissent (Mitchell et al. 2015; Gonzalez et al. 2017).

Dans le contexte actuel des changements globaux et de l'étalement urbain, la protection de vastes réseaux écologiques est une mesure à encourager. En plus d'inclure des zones d'habitat pour la biodiversité (Chase et al. 2020), de tels réseaux améliorent aussi la capacité de déplacement des espèces, et en particulier de celles dont les besoins en superficie d'habitat sont importants. Elle assure ainsi de maintenir les populations d'espèces résilientes à une échelle locale, mais aussi à une échelle régionale (Stewart et al. 2019).

Contexte et objectif de l'étude

Constituée majoritairement de terres agricoles, la Ville de Nicolet est consciente de l'importance de la conservation des milieux boisés sur son territoire, pour les services qu'ils rendent, mais aussi notamment pour leur rôle dans la biodiversité et le déplacement des espèces fauniques. C'est avec cette vision que la Ville de Nicolet souhaite planifier la constitution d'un « corridor vert » (ici après un « [corridor écologique](#) » selon les définitions de la Convention sur la Diversité Biologique (2020)) pour contribuer à la conservation de la biodiversité de la région et au maintien de la connectivité au sein de son territoire.

En novembre 2021, Habitat a été mandatée par la Ville de Nicolet pour brosser le portrait écologique des milieux naturels de la municipalité et évaluer leur connectivité et leur niveau de sensibilité. Sur la base de ces résultats, l'objectif était d'identifier les secteurs prioritaires à la conservation qui devraient ainsi être inclus

dans un corridor écologique. À cet effet, une attention particulière a été portée à une région d'intérêt plus locale, le secteur du Chemin Saint-Michel, pour évaluer la contribution et le rôle des milieux naturels dans le déplacement de la faune et la connectivité écologique au sein du territoire (figure 1). Les résultats de l'étude visent à fournir à la Ville les informations nécessaires pour décider la délimitation d'un tracé optimal pour un corridor écologique et informer les actions d'aménagement sur le territoire pour augmenter la résilience des milieux naturels aux changements globaux.

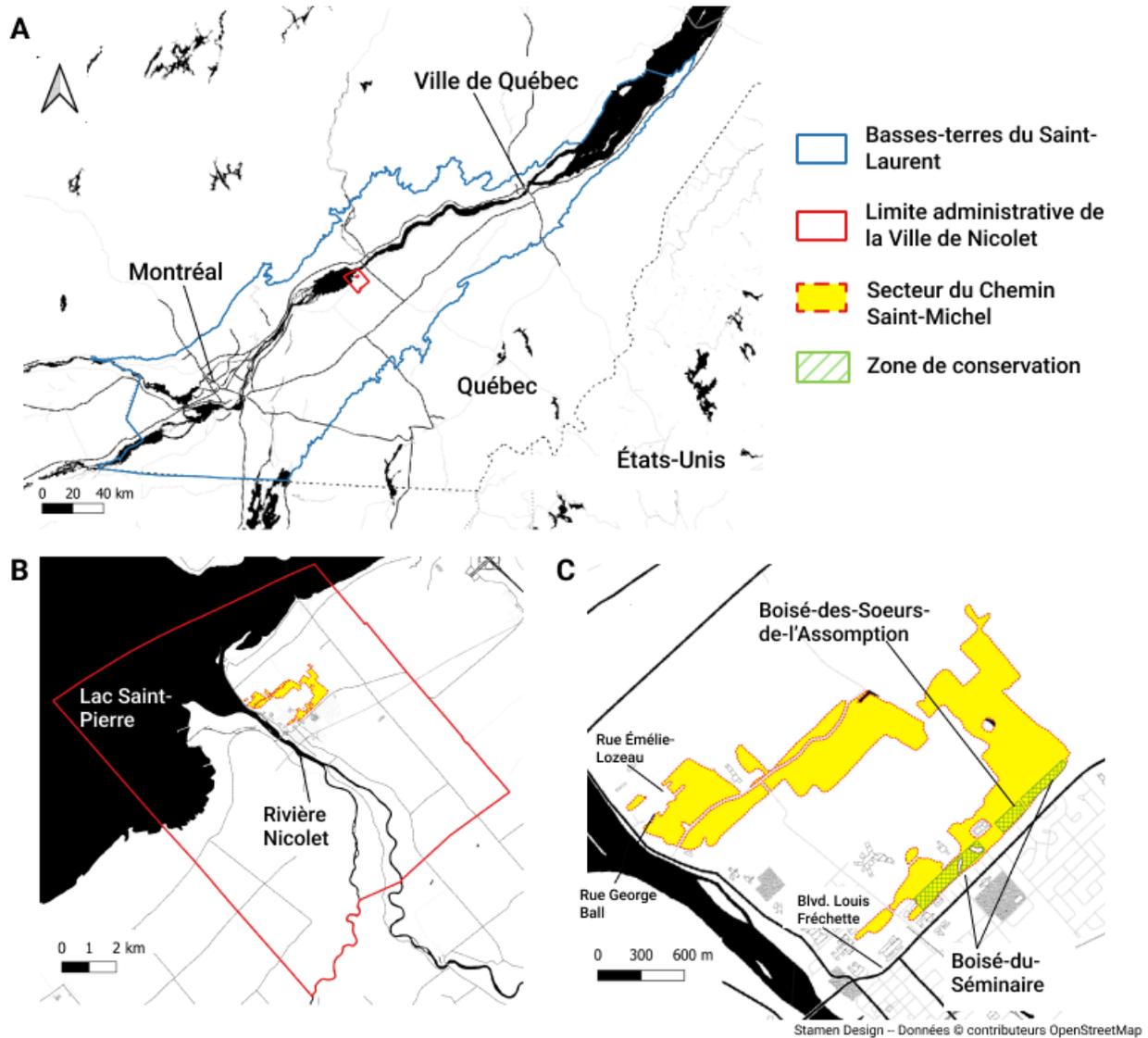


Figure 1. Mise en contexte de la région d'étude soit A) cartographie du secteur du Chemin Saint-Michel, B) cartographie de la Ville de Nicolet, C) localisation de la Ville de Nicolet à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Ce projet se compose de trois étapes principales dont les objectifs plus précis sont énumérés ci-dessous :

**Caractérisation
écologique de la
Ville de Nicolet**

- + Cartographier le territoire de façon géomatique, avec une attention particulière sur le secteur du Chemin Saint-Michel.

Analyses

- + Analyser la connectivité écologique du territoire de la Ville de Nicolet à l'échelle régionale et municipale, en fonction de la qualité et disposition spatiale des habitats pour cinq espèces :
 - La grande musaraigne (*Blarina brevicauda*)
 - La martre d'Amérique (*Martes americana*)
 - Le coyote (*Canis latrans*)
 - La salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*)
 - La grenouille des bois (*Rana sylvatica*).
- + Évaluer le niveau de sensibilité des milieux boisés du territoire de la Ville de Nicolet face aux changements globaux :
 - Analyses de [diversité fonctionnelle](#)
 - Analyse de vulnérabilité aux menaces biotiques et abiotiques
 - Analyse de susceptibilité au développement

**Priorisation et
recommandations**

- + Identifier et prioriser les corridors de déplacement critiques au maintien de la connectivité locale à l'échelle secteur du Chemin Saint-Michel.
- + Émettre des recommandations pour l'aménagement et la planification du territoire afin d'améliorer la connectivité écologique locale et régionale et assurer la résilience des milieux boisés.

2. CARACTÉRISATION ÉCOLOGIQUE DU TERRITOIRE

Nicolet est une ville rurale située dans la région administrative du Centre-du-Québec, dans la municipalité régionale de comté (MRC) de Nicolet-Yamaska dont elle est le chef-lieu. La Ville est principalement composée de grandes parcelles agricoles (tableau 1; figure 2). Les milieux naturels (arbustaies, milieux forestiers et milieux humides) représentent quant à eux environ un tiers (4 484 ha) des superficies de la ville tandis que les milieux anthropiques et routes occupent moins d'un dixième (1 007 ha) de la superficie totale du territoire.

Tableau 1 Superficie des types d'occupation des sols du territoire de la Ville de Nicolet et proportion occupée par chaque type de milieu à l'échelle de la Ville. Les milieux protégés sont représentés séparément en gris, car ils ne constituent pas une classe d'occupation des sols, mais plutôt un statut légal.

	SUPERFICIE (HECTARE)	POURCENTAGE DU TOTAL (%)
Agricole	5 073,93	39,27
Arbustaies	644,67	5,88
Forêt de conifères	136,60	1,06
Forêt de feuillus	1 152,80	8,92
Forêt mixte	668,32	5,17
Milieu anthropique	759,72	5,88
Milieu aquatique	2 351,50	18,20
Milieu humide	1 881,96	14,57
Routes et chemins	47,93	0,37
Routes mineures	198,97	1,54
Sols nus	4,53	0,04
Milieux protégés	2 298	17,77
Ville de Nicolet	12 919	100

Source des données : ECCC et MDDELCC 2018, MFFP 2021.

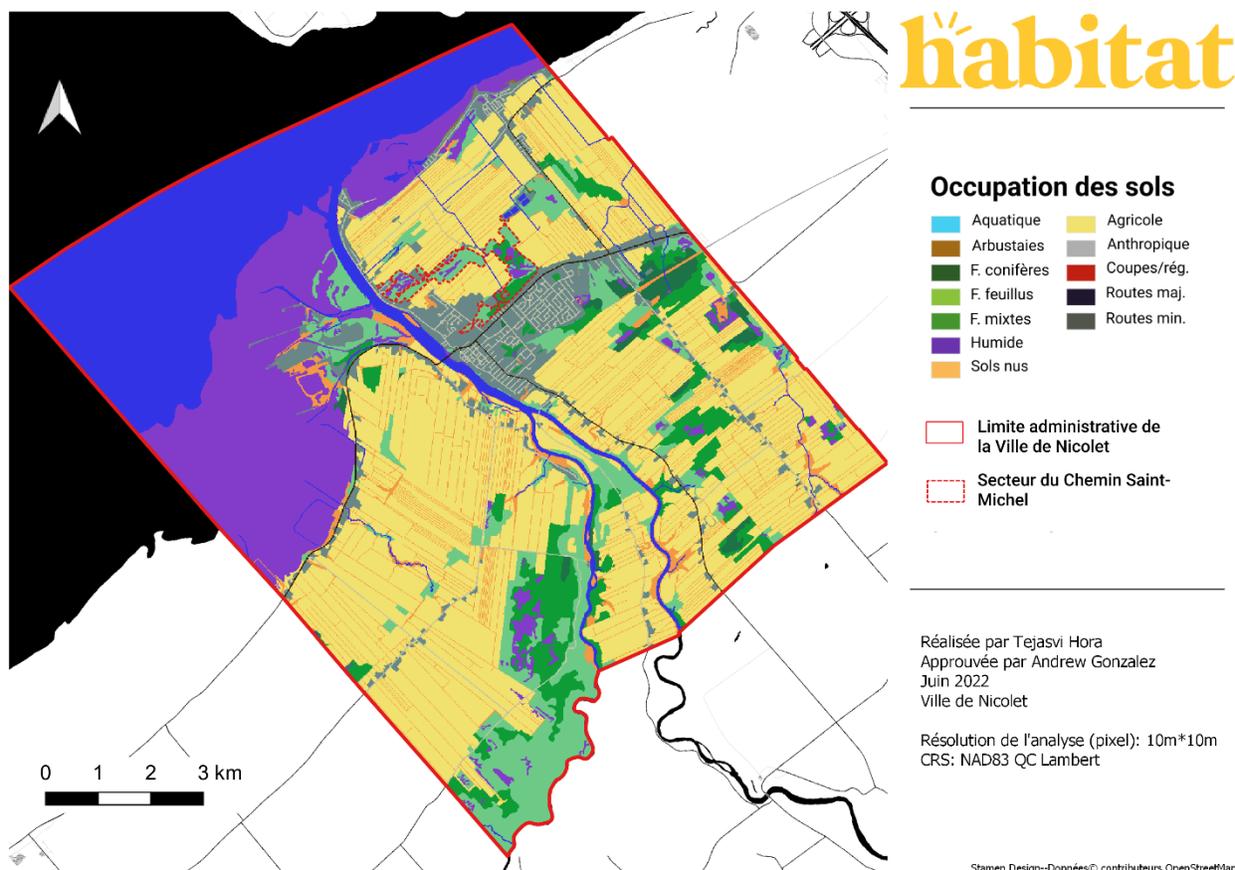


Figure 2. Cartographie des types d'occupation des sols du territoire de la Ville de Nicolet. Voir le tableau 1 pour les noms complets des types d'occupation des sols.

On note par ailleurs que certaines portions du territoire (2 298 ha, 18 % de la Ville de Nicolet) bénéficient d'un statut légal de protection (figure 3). La réserve mondiale de la biosphère du Lac-Saint-Pierre occupe ainsi une part importante du littoral ouest de la municipalité. Deux réserves naturelles sont également à mentionner puisqu'elles sont situées dans les limites du secteur du Chemin Saint-Michel, soit la réserve naturelle du Boisé-du-Séminaire (protection légale jusqu'en 2030) et la réserve naturelle du Boisé-des-Sœurs-de-l'Assomption (protection légale jusqu'en 2030). De plus, selon l'Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les Basses-Terres du Saint-Laurent (BTSL) (Jobin et al. 2019), document de référence pour identifier les sites où les besoins de conservation sont les plus criants à l'échelle des BSTL, la plupart des milieux naturels de la Ville (3 150 ha, 70 % des milieux naturels) sont identifiés comme des territoires prioritaires pour la conservation et les milieux naturels spécifiques au secteur du Chemin Saint-Michel sont pour leur part considérés comme d'importance (figure 4).

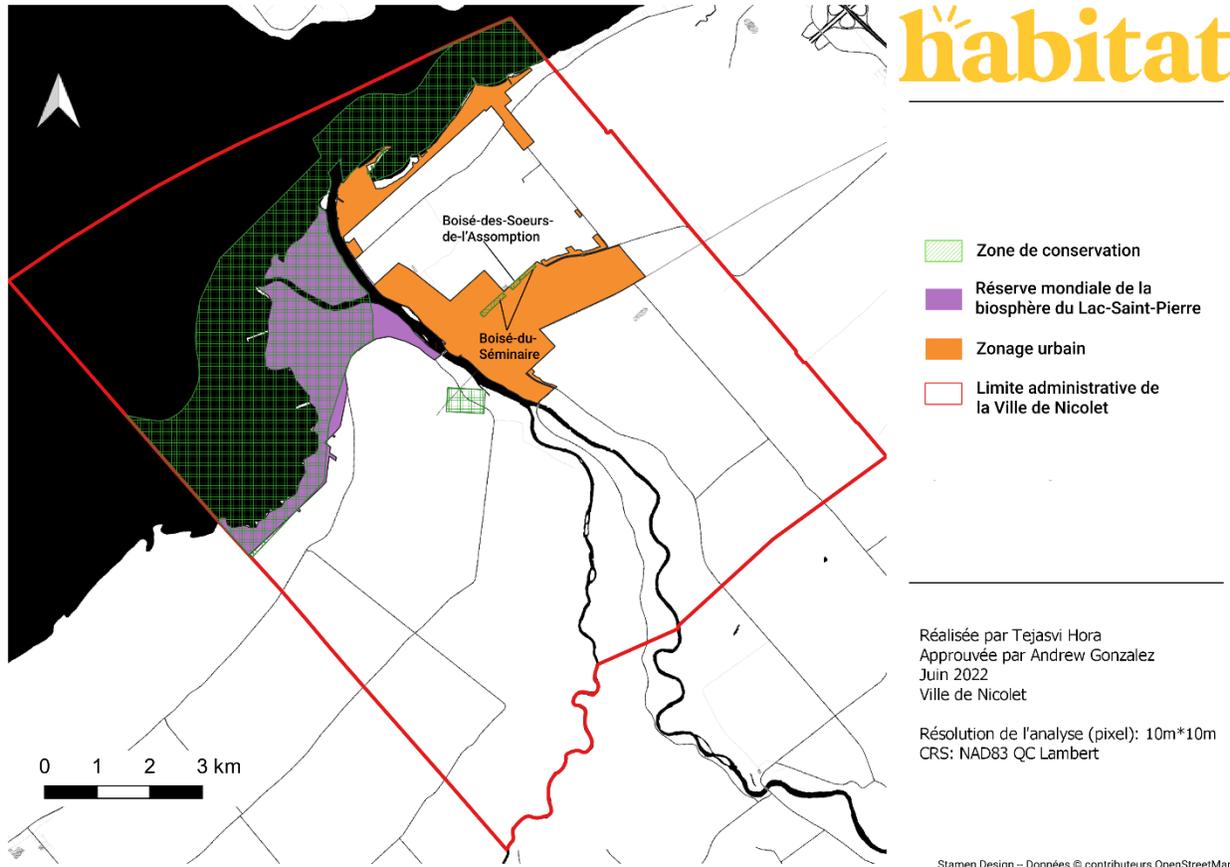


Figure 3. Aires protégées comprises dans les limites administratives de la Ville de Nicolet.

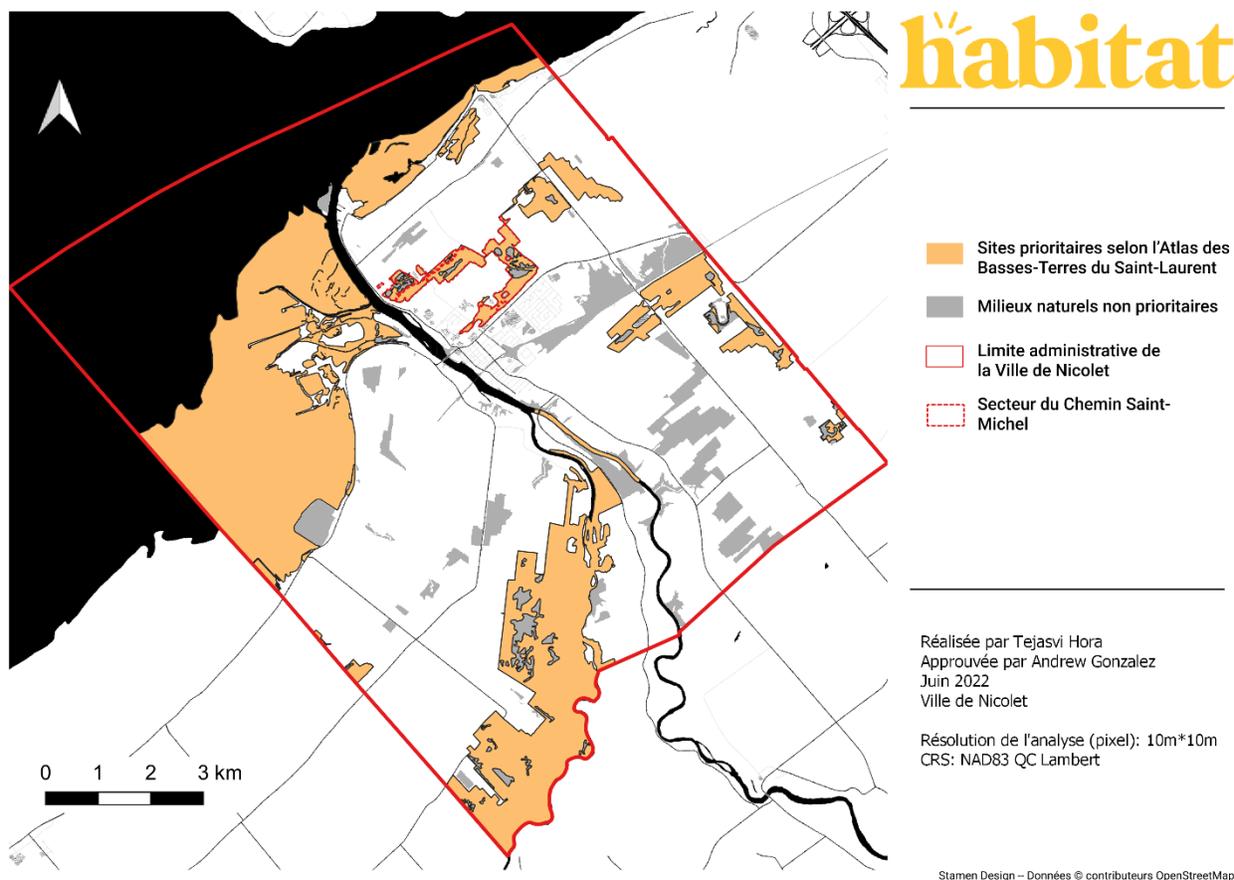


Figure 4. Sites prioritaires pour la conservation dans les Basses-Terres du Saint-Laurent selon Jobin et al. (2019).

3. LA CONNECTIVITÉ ÉCOLOGIQUE À TROIS ÉCHELLES SPATIALES

Lorsqu'il est question d'évaluer la connectivité d'un territoire, la notion d'échelle spatiale est importante. Pour cette raison la connectivité écologique a été étudiée à deux échelles spatiales, soit au niveau régional (les BTSL), et municipal (la Ville de Nicolet), avec une attention particulière pour le secteur du Chemin Saint-Michel.

3.1 Connectivité écologique à l'échelle régionale des Basses-Terres du Saint-Laurent

Au Québec, l'enjeu de maintien de la connectivité des paysages est particulièrement présent dans les BTSL puisque cette région, la plus peuplée du Québec, est fortement morcelée et les milieux naturels encore présents sont peu à peu convertis en milieux anthropiques (Dupras et al. 2016; Rayfield et al. 2019). Plusieurs études se penchent d'ailleurs sur l'évaluation de la connectivité écologique de ce territoire (Albert et al. 2017; Rayfield et al. 2018; Rayfield et al. 2019).

3.1.1 Aperçu méthodologique

Pour évaluer la connectivité écologique du territoire à l'étude avec une perspective régionale, les résultats ont été extraits de l'étude de Rayfield et al. (2019) qui classe la priorité de conservation des zones naturelles encore

existantes dans les BTSL. Cette étude se base sur des critères de qualité et de connectivité des habitats pour cinq espèces représentant bien la diversité régionale des besoins en habitats et déplacements, mais également la vulnérabilité à la fragmentation des habitats et aux changements climatiques (la grande musaraigne, la martre d'Amérique, la salamandre rayée, la grenouille des bois et l'ours noir¹).

3.1.2 Résultats de la connectivité écologique régionale

Les deux principales conclusions des travaux de Rayfield et al. (2019) qui s'appliquent au territoire d'étude proposent d'assurer la conservation des [parcelles d'habitat](#) située aux abords du Lac Saint-Pierre compte tenu de leur rôle déterminant en termes de connectivité des paysages. La position géographique de la Ville de Nicolet confère en effet à ses milieux naturels une importance capitale pour maintenir la connectivité écologique des paysages des BTSL (figure 5).

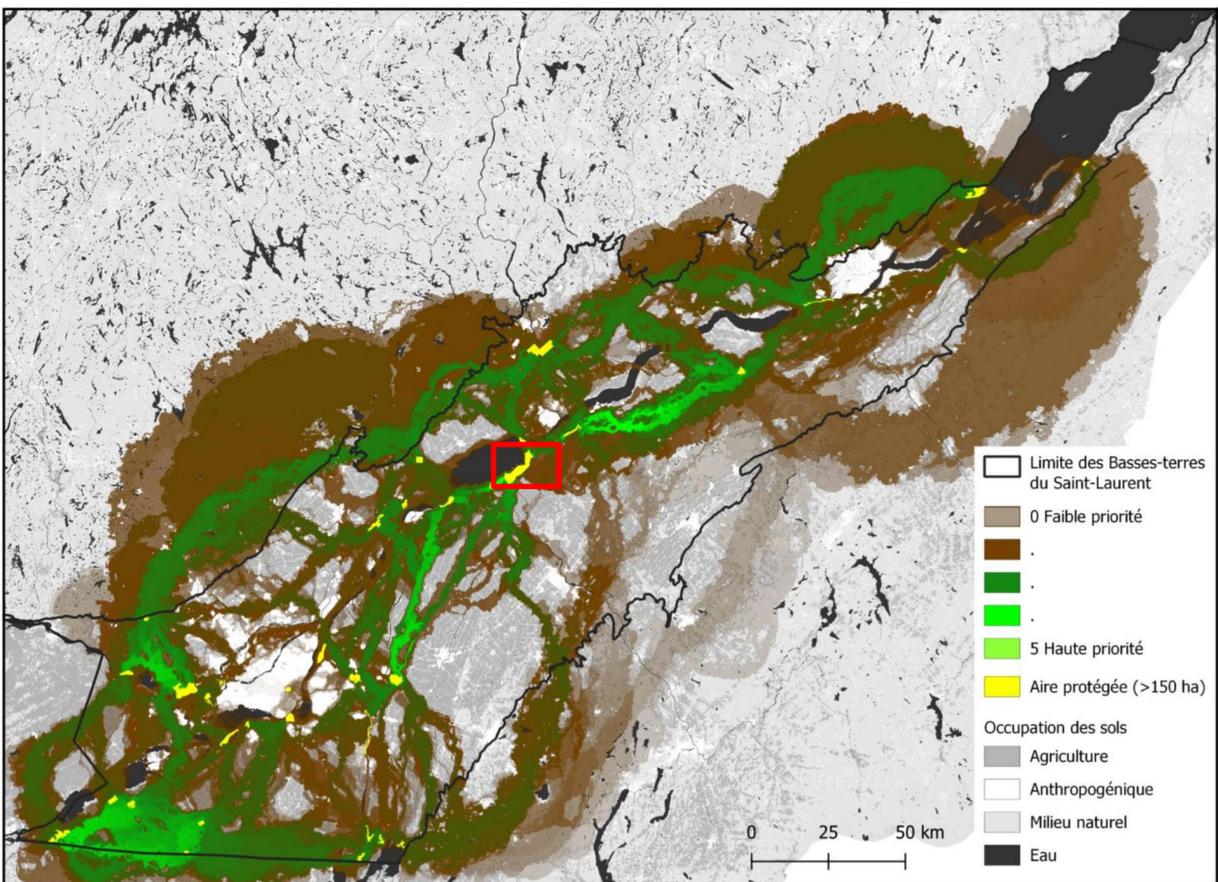


Figure 5. Corridors prioritaires de conservation pour la connectivité à l'échelle des Basses-Terres du Saint-Laurent. Tirée de Rayfield et al (2019). Un carré rouge est ajouté pour identifier l'emplacement de la Ville de Nicolet.

¹ Cette sélection est aussi dépendante des données disponibles.

3.2 Connectivité écologique à l'échelle municipale de la Ville de Nicolet

3.2.1 Aperçu méthodologique

À l'échelle municipale, la méthodologie adoptée pour l'identification des zones à conserver en priorité pour le maintien de la connectivité du territoire suit deux étapes. Le territoire à l'étude a d'abord été caractérisé selon différents types d'indicateurs permettant d'évaluer la connectivité du territoire (c.-à-d. l'indice de qualité des parcelles d'habitat (IQH), l'analyse de [flux du courant](#), la [centralité intermédiaire](#) des parcelles d'habitat et la [connectivité nœud à nœud](#)). Les résultats issus de ces différents indicateurs ont ensuite servi d'intrants à un algorithme de priorisation spatiale permettant d'identifier les milieux naturels contribuant le plus à la connectivité locale. Les espèces sélectionnées pour évaluer la connectivité du territoire à l'échelle municipale sont les mêmes espèces emblématiques qu'à l'échelle régionale, à l'exception de l'ours noir qui a été remplacé par le coyote puisque cette espèce est plus adaptée au contexte agricole. Les cinq espèces sont ainsi la grande musaraigne (*Blarina brevicauda*), la martre d'Amérique (*Martes americana*), le coyote (*Canis latrans*), la salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*) et la grenouille des bois (*Rana sylvatica*).

L'analyse de la connectivité nœud à nœud est particulièrement pertinente dans le contexte de ce mandat puisqu'elle permet d'identifier les corridors de déplacement qu'une espèce a le plus de probabilité d'emprunter pour circuler entre ses différentes parcelles d'habitats dans le réseau, aussi appelés nœuds. L'analyse se base uniquement sur les préférences en habitat de l'espèce (et non ses capacités de déplacement) et les résultats permettent d'estimer les corridors de déplacement probables d'un nœud à l'autre, ainsi que les obstacles qui interfèrent à ces déplacements (plus de détails méthodologiques à l'annexe A). Dans le cadre de cette étude, les nœuds ont été identifiés sur la base des sites prioritaires pour la conservation selon l'Atlas de conservation des BTSL (Jobin et al. 2019) (figure 4) et l'analyse visait ainsi à mettre en évidence les corridors de déplacement reliant spécifiquement ces sites d'importance pour la biodiversité.

3.2.2 Résultats de la connectivité écologique municipale

La figure 6 illustre les résultats obtenus pour l'analyse de connectivité nœud à nœud pour l'ensemble des 5 espèces sélectionnées (c.-à-d. que les corridors de déplacement individuels pour chacune des espèces ont été superposés). On y distingue les corridors de déplacement les plus probables d'un nœud à l'autre, ainsi que les milieux naturels le long de ces corridors qui facilitent le mouvement des espèces fauniques étudiées. Ceci étant dit, on constate que le territoire municipal est traversé par de nombreux corridors de déplacement (figure 6).

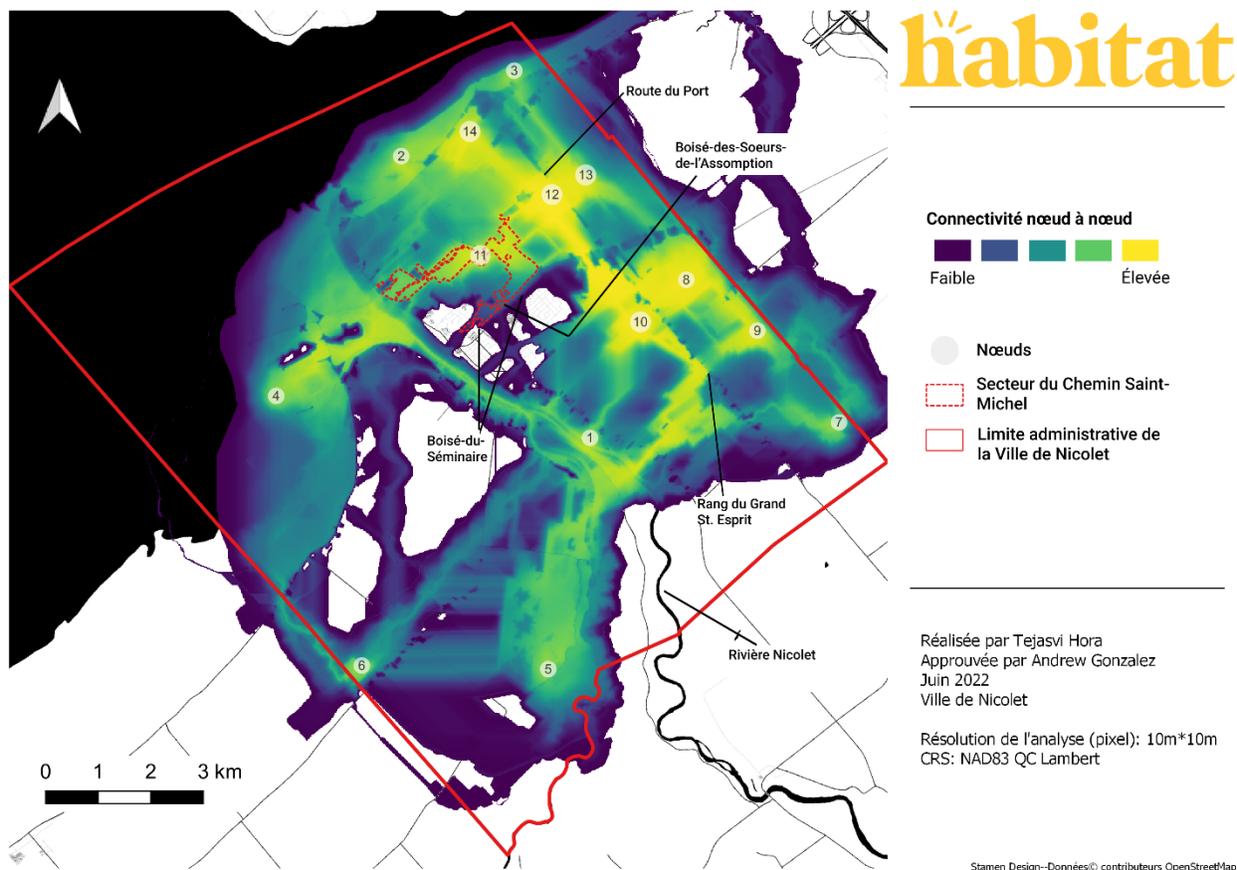


Figure 6. Synthèse de l’analyse de connectivité nœud à nœud superposant les corridors de déplacement pour les cinq espèces sélectionnées.

Parmi les corridors les plus notables, on note le littoral du Lac Saint-Pierre (du nœud 4 au nœud 3), la partie ouest bordant la rivière Saint Zéphirin, composée de peuplements forestiers et milieux humides (nœud 5), les berges de la rivière Nicolet (nœud 1) et les zones de part et d’autre des routes du Port et du Rang du Grand St Esprit (nœuds 10, 12 et 14). La partie nord du secteur du Chemin Saint-Michel est également une voie de déplacement privilégiée pour les espèces fauniques (nœud 11). Les résultats uniques à chacune des cinq espèces sont disponibles à l’annexe E.

Les résultats obtenus pour l’analyse de la connectivité écologique à l’échelle municipale (considérant l’ensemble des indicateurs et des espèces étudiées, détails aux annexes C à F) sont illustrés à la figure 7. La valeur de priorité correspond à l’importance des différents milieux naturels du territoire en termes de connectivité écologique pour les espèces fauniques étudiées. Les milieux naturels à faible valeur ne doivent toutefois pas être considérés comme des zones marginales puisqu’ils peuvent avoir d’autres vocations. Ils peuvent par exemple abriter une richesse végétale importante ou jouer un rôle important dans l’approvisionnement en services écosystémiques.

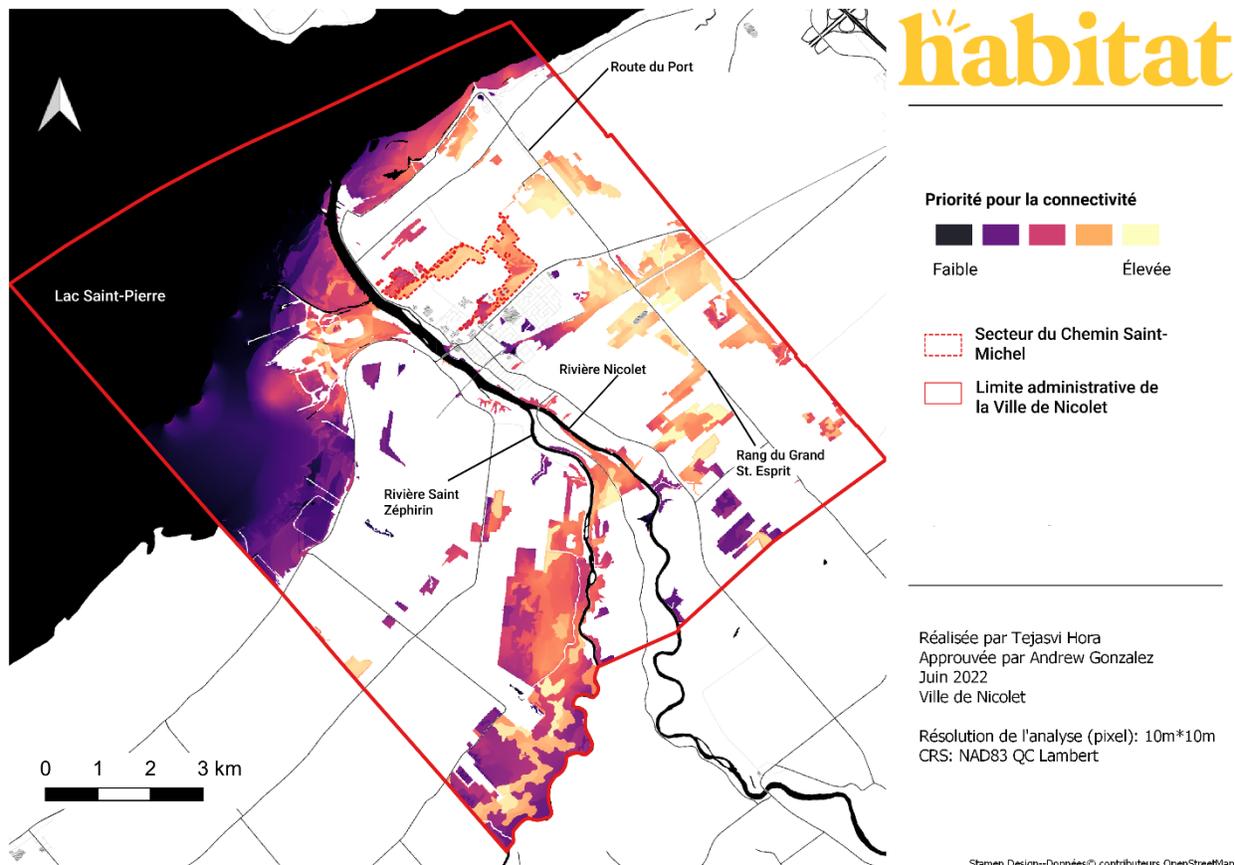


Figure 7. Synthèse des zones prioritaires pour la connectivité selon les analyses de l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire et la connectivité nœud à nœud et pour les cinq espèces fauniques sélectionnées.

À l'échelle de la municipalité, on observe une configuration en forme d'hameçon (ou point d'interrogation) des milieux naturels de haute importance pour la connectivité : depuis le sud, le long de la rivière Saint Zéphirin, en continuant vers le nord-est du territoire en longeant les routes du Port et du Rang du Grand Esprit, pour ensuite rejoindre les rives du Lac Saint-Pierre à travers les milieux boisés du secteur du Chemin de Saint-Michel. L'ensemble de ces zones constitue un corridor de déplacement important qui relie les principales parcelles d'habitat de la région d'étude. La disparition de ces milieux naturels serait dès lors des plus préjudiciables pour la faune et sa capacité de déplacement. Les milieux naturels de la réserve mondiale de la biosphère du Lac-Saint-Pierre reçoivent pour leur part une faible cote en termes de priorité pour la connectivité, car l'indice de qualité de l'habitat y est en général faible pour la plupart des espèces sélectionnées qui sont plus représentatives de la faune forestière (annexe C). Ces milieux naturels, principalement des milieux humides, jouent en revanche un rôle majeur dans l'amélioration de la qualité de l'eau du Lac Saint-Pierre, connue pour être relativement mauvaise à cause des activités agricoles régionales (ex. Hudon & Carignan 2008).

3.2.3 Agrandissement à l'échelle du secteur du Chemin Saint-Michel

Le secteur du Chemin Saint-Michel joue un rôle important dans la connectivité du paysage municipal, en fournissant un lien entre les habitats terrestres de la municipalité et le littoral du Lac Saint-Pierre. La conservation de ce secteur est donc importante afin de maintenir la connectivité du réseau écologique tant terrestre qu'aquatique. La figure 8 présente un agrandissement de cette zone pour les résultats issus de la connectivité nœud à nœud (figure 8A) et de la priorisation pour la connectivité (figure 8B).

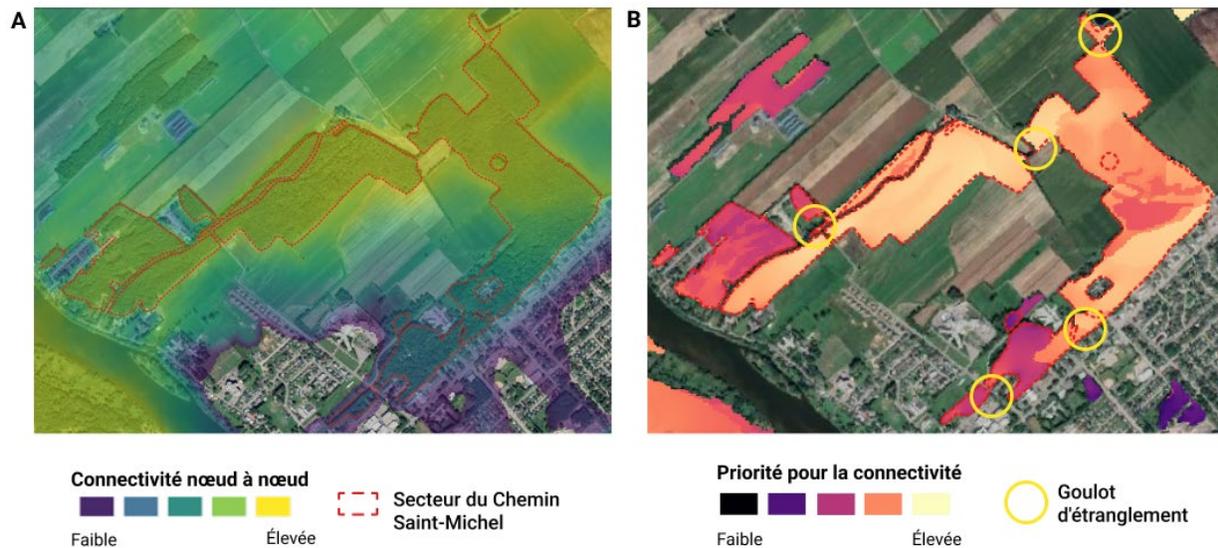


Figure 8. Agrandissement de l'échelle de la région d'intérêt selon A) l'analyse de connectivité nœud à nœud superposant les corridors de déplacement pour les cinq espèces fauniques sélectionnées et B) les zones prioritaires pour la connectivité selon les analyses de l'IQH, le flux du courant, la centralité intermédiaire, et la connectivité nœud à nœud.

Suite à l'analyse nœud à nœud (figure 8A), les portions au nord et à l'ouest du secteur du Chemin Saint-Michel se distinguent pour leur rôle dans le déplacement des espèces et permettent notamment de relier la réserve mondiale de la biosphère du Lac-Saint-Pierre (à l'ouest) aux milieux naturels du nord-est de la municipalité (ex. nœud 12, figure 7). La portion sud des milieux naturels du secteur du Chemin Saint-Michel est pour sa part un lien de connectivité moins marqué.

L'analyse de priorisation illustre la même tendance (figure 8 B) et les milieux naturels ayant reçu la plus haute priorité sont ceux localisés au nord et à l'ouest du secteur. Ces résultats soulignent le rôle de ces milieux boisés dans le déplacement des espèces fauniques à l'échelle locale, mais aussi à l'échelle régionale. Rappelons toutefois que les milieux naturels dont l'indice de priorité de conservation est faible remplissent d'autres fonctions que celles de corridors pour la connectivité des espèces fauniques.

Finalement, en s'appuyant sur la littérature scientifique (Jobin et al. 2013) qui recommande qu'un corridor de déplacement devrait avoir une largeur de 100 à 300 m sur au moins 75 % de la longueur du corridor, nous avons identifié tous les passages jugés trop étroits (< 200 m) pour le déplacement des espèces le long du secteur du Chemin Saint-Michel (cercles jaunes, figure 8B). Considérés comme des goulets d'étranglement, ces passages n'offrent en effet pas une largeur suffisante pour le déplacement des animaux étudiés, ce qui peut nuire à leur circulation au sein de leur aire de répartition.

4. ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ DES MILIEUX BOISÉS DE LA VILLE DE NICOLET

Les analyses de la sensibilité des milieux boisés du territoire reposent sur l'évaluation de leur résilience dans un contexte de changements globaux. La résilience est ici considérée comme la capacité de rétablissement et d'adaptation des milieux boisés à la suite d'une perturbation. Pour répondre à cet objectif, trois analyses complémentaires ont été réalisées :

- + Une analyse de la diversité fonctionnelle des milieux boisés à l'échelle de la municipalité et du secteur du Chemin Saint-Michel;
- + Une analyse de la vulnérabilité des espèces forestières face aux menaces biotiques et abiotiques préoccupantes à l'échelle de la municipalité et du secteur du Chemin Saint-Michel;
- + Une analyse de la susceptibilité des différents types de milieux naturels au développement

Selon de récentes études (ex. Aquilué et al. 2021), la [diversité](#) dite [fonctionnelle](#) est une approche qui permet d'augmenter la résilience d'une forêt. Cette approche repose sur la diversité des caractéristiques biologiques des arbres (ou traits fonctionnels) plutôt que le recensement du nombre d'espèces présentes. Plus un milieu boisé est composé d'un grand nombre d'espèces d'arbres aux caractéristiques biologiques distinctes, plus il sera résilient, car chacune des espèces aura une réponse distincte face aux perturbations.

L'analyse de vulnérabilité détermine pour sa part la superficie des milieux boisés qui serait impactée par de potentielles menaces biotiques et abiotiques. L'analyse se base sur les menaces jugées les plus préoccupantes pour le contexte de la Ville de Nicolet, se traduisant par des impacts potentiellement graves d'un point de vue économique et/ou écologique.

Finalement, en se basant sur la réglementation en vigueur (à l'échelle de la Ville de Nicolet) concernant la protection des milieux naturels, nous avons établi un indice de susceptibilité des différents types de milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel considérant leur niveau de protection et leur proximité aux milieux urbains actuels ou proposés.

4.1 Évaluation de la diversité fonctionnelle des milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel

4.1.1 Composition des forêts de la Ville de Nicolet

Selon l'inventaire écoforestier du Québec méridional (MFFP 2021), les peuplements forestiers de la Ville sont principalement des feuillus, représentant 9 % de la superficie totale de la Ville, suivi par des peuplements mixtes (5%) et des peuplements de conifères (1%) (tableau 1). La répartition spatiale des peuplements est pour sa part hétérogène bien que l'intégralité des peuplements mixtes et de conifères ne se localise pas aux abords du lac Saint-Pierre (figure 9).

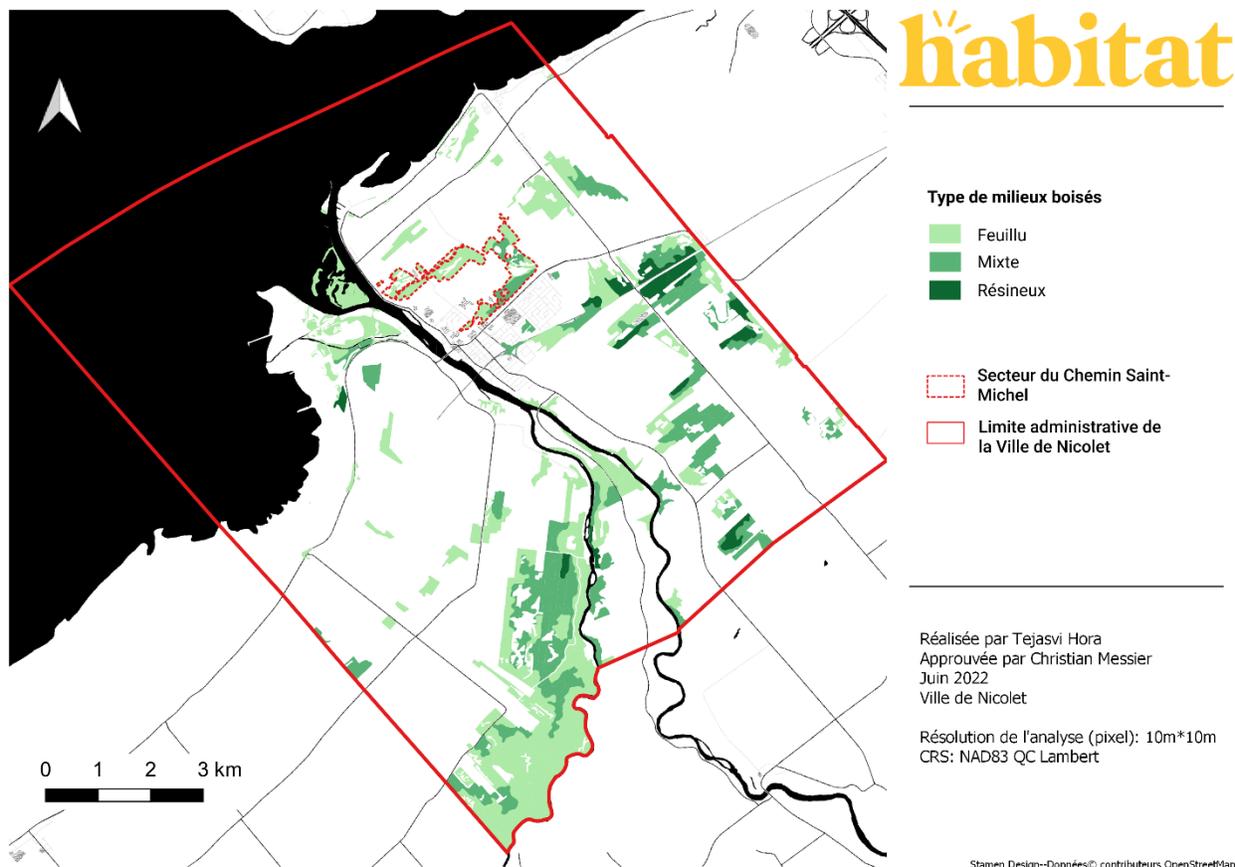


Figure 9. Cartographie des différents types de milieux boisés de la Ville de Nicolet.

Au niveau des espèces d'arbres, l'érable rouge est dominant en termes de [surface terrière](#) (ST), tant à l'échelle de la Ville que du secteur du Chemin Saint-Michel, alors que des espèces comme le sapin baumier ou le pin blanc sont peu présentes. Le tableau 2 ci-dessous présente le pourcentage occupé par les différentes espèces dominantes pour chaque type de couvert forestier. Ainsi, dans les peuplements feuillus et mixtes à l'échelle de la Ville, c'est l'érable rouge qui occupe la plus grande proportion avec respectivement 11,40 % et 22,32 % de la surface terrière totale. Cette tendance est similaire à l'échelle du secteur du Chemin Saint-Michel avec une surface terrière de 8,05 % dans les peuplements feuillus, et 28,73 % dans les peuplements mixtes. On note ainsi une faible diversité des espèces présentes tant pour la Ville que pour le secteur du Chemin Saint-Michel, ce qui implique une plus grande vulnérabilité des milieux boisés face à de potentielles perturbations.

Tableau 2. Synthèse des espèces arboricoles dominantes au sein de la Ville de Nicolet ou du secteur du Chemin Saint-Michel en fonction des surfaces terrières (% ST) qu'elles occupent par type de couvert forestier et pour l'ensemble du territoire.

NOM COMMUN	NOM LATIN	% ST – FEUILLUS	% ST – MIXTE	% ST- RÉSINEUX	% ST - TOTAL
VILLE DE NICOLET					
Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i>	1,65	2,44	0,15	4,25
Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i>	0,94	10,24	0,17	11,35
Érable rouge	<i>Acer rubrum</i>	11,40	22,32	0,68	34,40
Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i>	0,22	2,62	0,00	2,85
Peuplier à grandes dents	<i>Populus grandidentata</i>	0,48	1,79	0,07	2,35
Peuplier faux-tremble	<i>Populus tremuloides</i>	0,89	3,06	0,05	4,01
Pin blanc	<i>Pinus strobus</i>	1,18	0,83	0,44	2,45
Pruche du Canada	<i>Tsuga canadensis</i>	5,34	2,11	0,73	8,18
Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i>	5,73	1,76	1,10	8,59
Thuja occidental	<i>Thuja occidentalis</i>	1,86	1,71	0,63	4,20
Autres	-	4,63	9,69	3,05	17,37
SECTEUR DU CHEMIN SAINT-MICHEL					
Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i>	1,66	3,23	0,00	4,89
Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i>	1,13	18,19	0,00	19,32
Érable rouge	<i>Acer rubrum</i>	8,05	28,73	0,00	36,78
Frêne d'Amérique	<i>Fraxinus americana</i>	0,11	3,85	0,00	3,95
Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i>	0,28	5,07	0,00	5,35
Épinette blanche	<i>Picea glauca</i>	0,14	3,10	0,00	3,24
Pin blanc	<i>Pinus strobus</i>	0,45	1,46	0,00	1,91
Pruche du Canada	<i>Tsuga canadensis</i>	4,84	3,94	0,00	8,78
Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i>	1,72	1,49	0,00	3,21
Thuja occidental	<i>Thuja occidentalis</i>	0,40	1,85	0,00	2,25
Autres	-	2,51	7,80	0,00	10,31

En termes de maturité, les peuplements sont relativement jeunes puisque pour l'ensemble de la municipalité, leur âge n'excède pas 50 ans (tableau 3) et c'est dans le secteur du Chemin Saint-Michel, à proximité des habitations le long du boulevard Louis Fréchette et de la rue George Ball, que l'on recense certains des peuplements les plus âgés (30 et 50 ans). L'âge des peuplements influence notamment la qualité de l'habitat pour certaines espèces comme la martre d'Amérique qui affectionne les forêts matures. L'âge des milieux boisés contribue également à l'approvisionnement en services écosystémiques (ex. régulation des températures, amélioration de la qualité de l'air) qui profitent directement à la population locale. En général, plus les arbres sont âgés, plus ils fournissent de services.

Tableau 3. Âge des peuplements forestiers à l'échelle de la municipalité ou du secteur du Chemin Saint-Michel. La superficie des peuplements est indiquée en pourcentage selon la superficie totale des peuplements ou selon la superficie totale de la Ville.

ÂGE DES PEUPEMENTS	SUPERFICIE TOTALE DES PEUPEMENTS (%)	SUPERFICIE TOTALE À L'ÉCHELLE DE LA VILLE DE NICOLET (%)
VILLE DE NICOLET		
5 ans	7,00	1,70
10 ans	3,00	0,65
30 ans	51,00	11,00
50 ans	39,00	8,40
SECTEUR DU CHEMIN SAINT-MICHEL		
30 ans	36,00	0,41
50 ans	64,00	0,73

4.1.2 Indice de diversité fonctionnelle

L'évaluation de la diversité fonctionnelle d'un territoire (via le calcul de l'indice de diversité fonctionnelle) permet de déterminer si les caractéristiques biologiques des espèces d'arbres d'un territoire (ex. densité du bois, tolérance à la sécheresse) sont suffisamment diversifiées, partant du principe que ces caractéristiques déterminent la façon dont les espèces vont répondre et s'adapter aux conditions environnementales et aux perturbations. Une forêt composée d'espèces d'arbres fonctionnellement différentes, ayant des tolérances et vulnérabilités diversifiées, pourra mieux s'adapter au plus grand nombre de stress possible et sera donc plus résiliente face aux changements globaux.

Afin de procéder à l'évaluation de la diversité fonctionnelle, les espèces d'arbres ont été regroupées au sein de différents groupes (six) selon la similitude de leurs caractéristiques biologiques. L'indice de diversité fonctionnelle reflète la présence des différents groupes sur le territoire ainsi que leur abondance respective. Selon cette approche, une forêt ayant un indice de diversité fonctionnelle élevé est caractérisée par une répartition équitable des espèces recensées au sein des différents groupes. Comme la diversité fonctionnelle varie naturellement en fonction du type de couvert du peuplement (c.-à-d. entre des peuplements feuillus, résineux ou mixtes), le gradient de diversité fonctionnelle a été adapté à chacun des types de couverts en

fonction des données du territoire, de même que le seuil sous lequel un peuplement est considéré avoir une « faible » diversité fonctionnelle² (les détails méthodologiques pour le calcul de la diversité fonctionnelle sont fournis en annexe F).

La figure 10 illustre le niveau de diversité fonctionnelle obtenu pour les différents peuplements forestiers du secteur du Chemin Saint-Michel. La majorité des peuplements sont caractérisés par un niveau moyen de diversité mis à part les peuplements de l'ouest pour lesquels cet indice est faible indiquant une capacité limitée à faire face à différentes perturbations. L'ajout de nouvelles espèces arboricoles, basé sur la proportion de chaque groupe fonctionnel (tableau 4) est ainsi recommandé pour ces peuplements afin d'améliorer leur résilience et assurer leur pérennité.

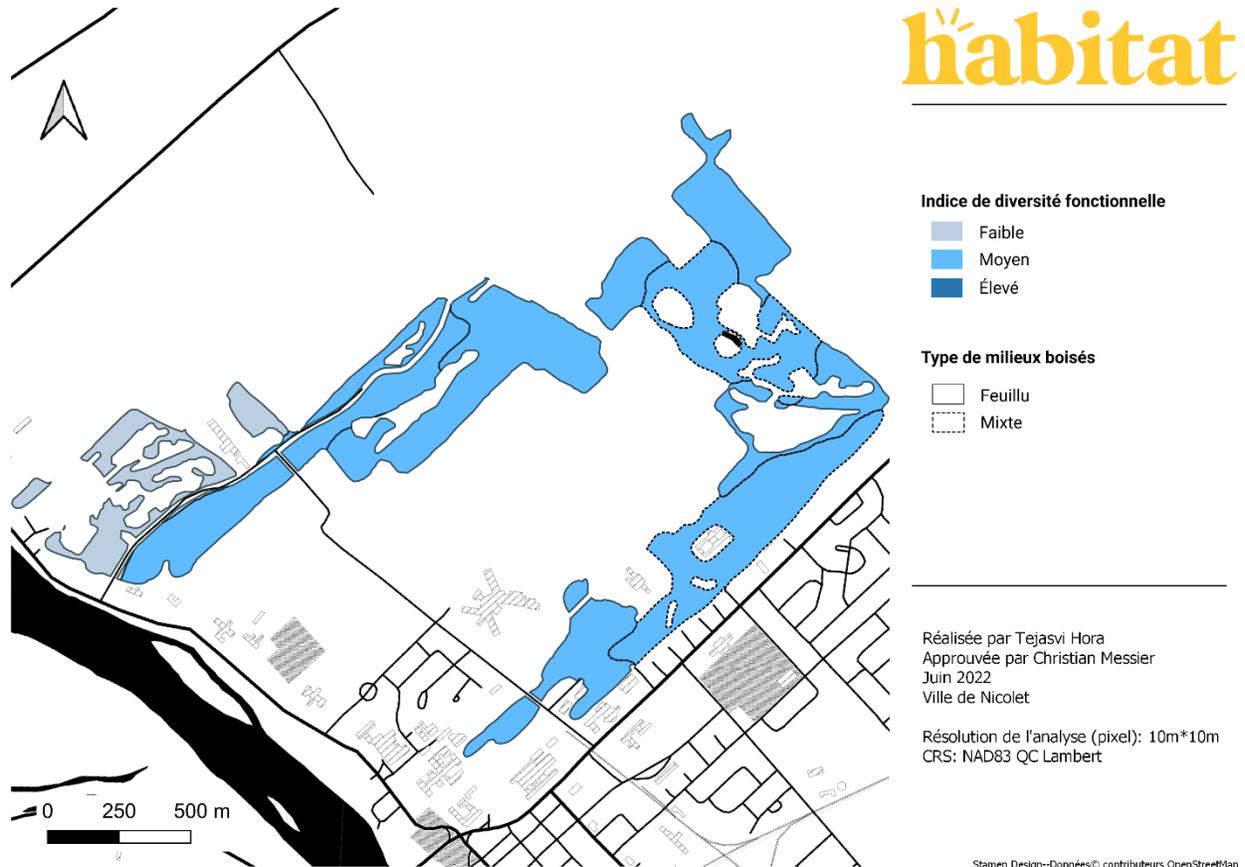


Figure 10. Cartographie de l'indice de diversité fonctionnelle des peuplements forestiers du secteur du Chemin Saint-Michel au sein de la Ville de Nicolet. Les indices ont été adaptés pour chaque type de couvert forestier (se référer à la figure 9 pour la cartographie des types de milieux boisés). Les peuplements faiblement diversifiés sont ceux ayant reçu un indice inférieur à la valeur de la médiane correspondant à leur composition tandis que les peuplements diversifiés sont ceux ayant reçu un indice supérieur à la valeur de la médiane.

² Pour caractériser le niveau de diversité fonctionnelle de chaque type de peuplement, nous nous sommes basés sur la médiane de l'indice de diversité correspondant à chacun des peuplements. Peuplement feuillu = 2,58 ; Peuplement mixte = 2,75 ; Peuplement résineux = 2,69. La valeur maximale de l'indice pour tous les peuplements (correspondant à une diversité optimale) est de 6.

L'indice de diversité fonctionnelle moyen voire faible des peuplements forestiers de ce secteur s'explique par une répartition non équilibrée des groupes fonctionnels comme détaillé au tableau 4. Les groupes fonctionnels 1 et 2 sont en effet surreprésentés au détriment des autres groupes. Dans l'optique d'améliorer la résilience des peuplements forestiers du secteur du Chemin Saint-Michel, il est suggéré de planter des espèces des groupes 3, 5, 6 et 4 dans une moindre mesure.

Tableau 4. Groupes fonctionnels et proportion relative des milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel. Une description des caractéristiques biologiques de chaque groupe fonctionnel est fournie, ainsi que des exemples d'arbres pour ces groupes.

GROUPE FONCTIONNEL	PROPORTION RELATIVE DU GROUPE FONCTIONNEL (%)		DESCRIPTION	EXEMPLE D'ESPÈCE
	Ville de Nicolet	Secteur du Chemin Saint-Michel		
1	56,11	65,84	Feuillu, tolérant à l'ombre, intolérance à la sécheresse ou à l'inondation, dispersion par le vent	<i>Acer rubrum</i> , <i>Acer saccharum</i> , <i>Betula alleghaniensis</i> , <i>Fraxinus americana</i> , <i>Fraxinus nigra</i> , <i>Ostrya virginiana</i> , <i>Tilia americana</i> , <i>Ulmus americana</i>
2	28,80	21,62	Conifère, tolérance à l'ombre, intolérance à la sécheresse ou à l'inondation, dispersion par le vent	<i>Abies balsamea</i> , <i>Picea glauca</i> , <i>Picea mariana</i> , <i>Picea rubens</i> , <i>Pinus strobus</i> , <i>Thuja occidentalis</i> , <i>Tsuga canadensis</i>
3	4,54	6,68	Feuillu, tolérant à l'ombre, tolérance à la sécheresse moyenne, intolérance à l'inondation, dispersion par les animaux	<i>Fagus grandifolia</i> , <i>Prunus cerasus</i> , <i>Prunus serotina</i>
4	7,71	3,47	Feuillu, intolérance à l'ombre, intolérance à la sécheresse, dispersion par le vent	<i>Betula papyrifera</i> , <i>Populus balsamifera</i> , <i>Populus grandidentata</i> , <i>Populus tremuloides</i>
5	1,13	2,24	Feuillu, tolérant à l'ombre moyenne, tolérance à la sécheresse, dispersion par les animaux	<i>Carya ovata</i> , <i>Crataegus canadensis</i> , <i>Morus rubra</i> , <i>Quercus palustris</i> , <i>Quercus rubra</i>
6	1,68	0,13	Conifère, tolérance à l'ombre et ombre moyenne, tolérance à la sécheresse, dispersion par le vent	<i>Larix laricina</i> , <i>Larix leptolepis</i> , <i>Pinus banksiana</i> , <i>Pinus resinosa</i>

4.2 Vulnérabilités des milieux boisés face aux menaces biotiques et abiotiques

L'analyse de vulnérabilité aux menaces biotiques (c.-à-d. insectes et pathogènes) se base sur les cinq menaces biotiques suivantes, aussi décrites dans le tableau 5 :

- La spongieuse asiatique
- Le longicorne asiatique
- Le puceron lanigère de la pruche
- La maladie corticale du hêtre
- L'arpenreuse tardive

La sélection des menaces se base sur les travaux de Lovett et al. (2016) et Brandt et al. (2017) et aussi, car elles ont été jugées les plus préoccupantes pour le territoire Nicolétain, selon leur présence actuelle ou attendue dans les prochaines décennies et en fonction des impacts potentiels sur les espèces d'arbres typiques au Québec.

Tableau 5. Liste et description des 5 menaces biotiques retenues pour l'analyse de vulnérabilité et des dommages potentiels³.

NOM COMMUN	NOM LATIN	DESCRIPTION	PRÉSENCE AU QUÉBEC
Spongieuse asiatique	<i>Lymantria dispar asiatica</i>	<p>Manifestation: Insecte défoliateur qui se nourrit des feuilles des espèces-hôtes (RNC 2015).</p> <p>Hôtes: Plus de 600 espèces de feuillus et de conifères, y compris le chêne, le bouleau, le peuplier et l'érable.</p> <p>Impacts: Plus menaçante que la spongieuse européenne, elle se disperse sur de plus grandes distances et à davantage d'espèces hôtes. La défoliation répétée ou combinée à d'autres facteurs de stress peut entraîner la mort.</p>	Pas établie
Longicorne asiatique	<i>Anoplophora glabripennis</i>	<p>Manifestation: Insecte qui attaque le bois et l'écorce des arbres infestés, affectant le mécanisme de transport de la sève (RNC 2015).</p> <p>Hôtes: Plusieurs espèces d'arbres dont les érables en particulier, les bouleaux, les peupliers et d'autres feuillus.</p> <p>Impacts: Provoque la mort des arbres affectés. Pourrait entraîner des dégâts majeurs dans les érablières et les peuplements de feuillus.</p>	Pas établi, mais éradiquée après éclosion en Ontario
Puceron lanigère de la pruche	<i>Adelges tsugae</i>	<p>Manifestation: Insecte défoliateur qui se nourrit des aiguilles et bourgeons de pruches (RNC 2015). On le repère à la présence de sacs « laineux » blancs, visibles à la base des</p>	Pas établi mais présence en Ontario et dans les états

³ Ces menaces ont été choisies en concertation avec Christian Messier.

NOM COMMUN	NOM LATIN	DESCRIPTION	PRÉSENCE AU QUÉBEC
		<p>aiguilles de pruche sur les jeunes rameaux, surtout au printemps.</p> <p>Hôtes: Pruche du Canada</p> <p>Impacts: Défoliation des arbres pouvant causer la mort 4 à 15 après le début de l'infestation.</p>	frontaliers américains
Maladie corticale du hêtre	<i>Cryptococcus fagisuga</i> + <i>Neonectria coccinea</i> var. <i>faginata</i>	<p>Manifestation: L'insecte <i>Cryptococcus fagisuga</i> Lindinger s'attaque aux hêtres (<i>Fagus</i>) créant des blessures qui peuvent être infectées par le champignon <i>Neonectria coccinea</i> var. <i>faginata</i>.</p> <p>Hôtes: Hêtre à grandes feuilles</p> <p>Impacts: Entraîne i) une diminution de la diversité structurelle via le rajeunissement du peuplement causé par la mort des hêtres matures, ii) une diminution de la diversité spécifique causée par le drageonnement du hêtre qui empêche la régénération d'autres espèces, et iii) la diminution de sources d'alimentation pour des espèces telles que l'ours noir ou le tamia rayé, qui se nourrissent des fruits.</p> <p>Mortalité élevée.</p>	Déjà établie
Arpenteuse tardive	<i>Operophtera brumata</i>	<p>Manifestation: Insecte défoliateur qui dépose ses œufs le long du tronc, dans le lichen ou les crevasses de l'écorce. Des trous de petite taille dans les feuilles peuvent laisser soupçonner la présence de jeunes larves, mais l'observation des chenilles de couleur vert clair et qui se déplacent en arquant le dos comme le font toutes les arpenteuses est quasi nécessaire pour confirmer le diagnostic (RNC 2015).</p> <p>Hôtes: Plusieurs feuillus et en particulier les chênes et les pommiers.</p> <p>Impacts: Défoliation des arbres. Après quatre ans de défoliation consécutive, les arbres peuvent mourir.</p>	Pas établie

L'analyse de vulnérabilité aux menaces abiotiques (c.-à-d. menaces liées au climat) se base pour sa part sur les 5 menaces suivantes⁴ :

- Les écarts de température
- Les inondations
- Les sécheresses
- Les vents
- Le verglas

⁴ Basé sur les travaux de Matthews et al. (2011). Les détails sont fournis à l'annexe F.

Les sections suivantes s'intéressent ainsi à la répartition et à l'impact possible pouvant être causé par ces dix menaces à l'échelle de la Ville de Nicolet.

4.2.1 Identification des peuplements les plus vulnérables aux menaces biotiques et abiotiques prépondérantes

Le tableau 6 synthétise les résultats de l'analyse de vulnérabilité à l'échelle des peuplements de la Ville de Nicolet ou pour le secteur du Chemin Saint-Michel pour les menaces biotiques et abiotiques considérées comme les plus préoccupantes pour le territoire.

Tableau 6. Synthèse des superficies touchées par chacune des menaces biotiques et abiotiques considérées préoccupantes pour la Ville de Nicolet et le secteur du Chemin Saint-Michel, selon le degré d'impact potentiel, présenté en surface terrière (ST) (m²) et en pourcentage de la superficie des peuplements (%).

	VILLE DE NICOLET		SECTEUR DU CHEMIN SAINT-MICHEL	
	ST affectée (m ²)	ST affectée (%)	ST affectée (m ²)	ST affectée (%)
Menaces biotiques				
Spongieuse asiatique	46 233,74	94,41	2 851,39	95,18
Longicorne asiatique	31 316,52	63,95	2 099,55	70,08
Puceron lanigère de la pruche	4 455,86	9,10	307,54	10,27
Maladie corticale du hêtre	1 662,32	3,39	159,59	5,33
Arpenteuse tardive	24 431,08	49,89	1 768,82	59,04
Menaces abiotiques				
Écarts de température	7 940,54	16,21	321,76	10,74
Inondations	8 528,19	17,41	742,61	24,79
Sécheresses	33 258,36	67,91	1 782,04	59,49
Vents	12 208,72	24,93	522,86	17,45
Verglas	5 904,71	12,06	204,58	6,83

Compte tenu de la composition des peuplements forestiers de la Ville de Nicolet, les menaces biotiques sont plus préoccupantes que les menaces abiotiques à l'échelle de la Ville et du secteur du Chemin Saint-Michel.

La spongieuse asiatique, un insecte défoliateur originaire d'Asie se nourrissant d'une large gamme d'espèces feuillus, pourrait par exemple avoir un impact conséquent puisque 95 % de la surface terrière de la Ville est à risque. Le longicorne asiatique, insecte qui s'attaque principalement aux érables, est une autre menace biotique importante puisqu'environ deux tiers des peuplements forestiers de la Ville pourraient être ciblés.

Comme on l'observe à la figure 11, le peuplement à l'ouest du secteur du Chemin Saint-Michel demeure le plus vulnérable puisqu'il est sensible à plusieurs menaces biotiques.

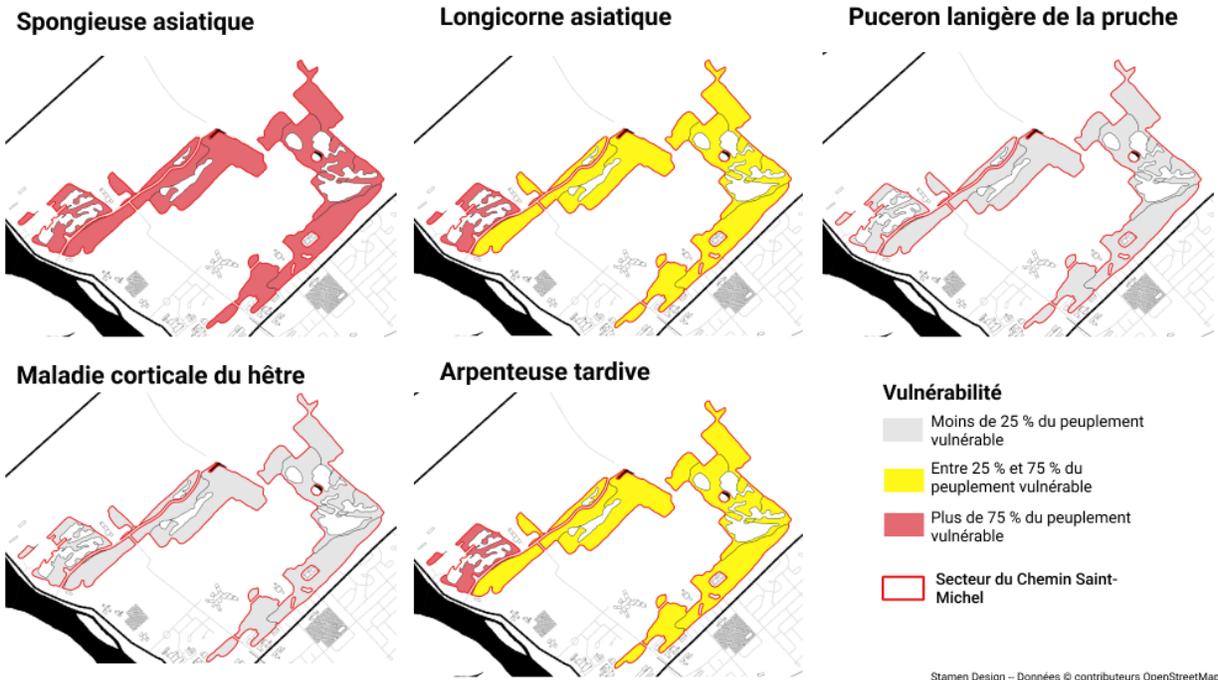


Figure 11. Répartition des peuplements forestiers du secteur du Chemin Saint-Michel en fonction de leur niveau de vulnérabilité (selon le pourcentage (%) de la surface terrière potentiellement affectée dans chaque peuplement) pour chacune des menaces biotiques jugées préoccupantes pour le secteur du Chemin Saint-Michel. Les peuplements affectés à moins de 25 % de leur surface terrière sont considérés peu vulnérables (gris), ceux affectés de 25 à 75 % de leur surface terrière sont considérés pouvoir subir des impacts modérés (jaune) et ceux affectés à plus de 75 % de leur surface terrière sont considérés pouvoir subir des impacts élevés (rouge).

Concernant les menaces abiotiques, les impacts potentiels sont relativement peu élevés pour les milieux boisés de la Ville et le secteur du Chemin Saint-Michel (tableau 6). Comme l'illustre la figure 12, ce sont surtout les épisodes de sécheresse qui sont le plus à craindre avec environ 68 % des peuplements du secteur du Chemin Saint-Michel qui pourraient ainsi être affectés. Certains peuplements sont également sensibles à plusieurs perturbations comme c'est le cas du peuplement abritant les Boisés-du-Séminaire et Des-Sœurs-de-l'Assomption. Dans ce cas précis, l'accumulation de menaces accentue le risque de dépérissement du peuplement.

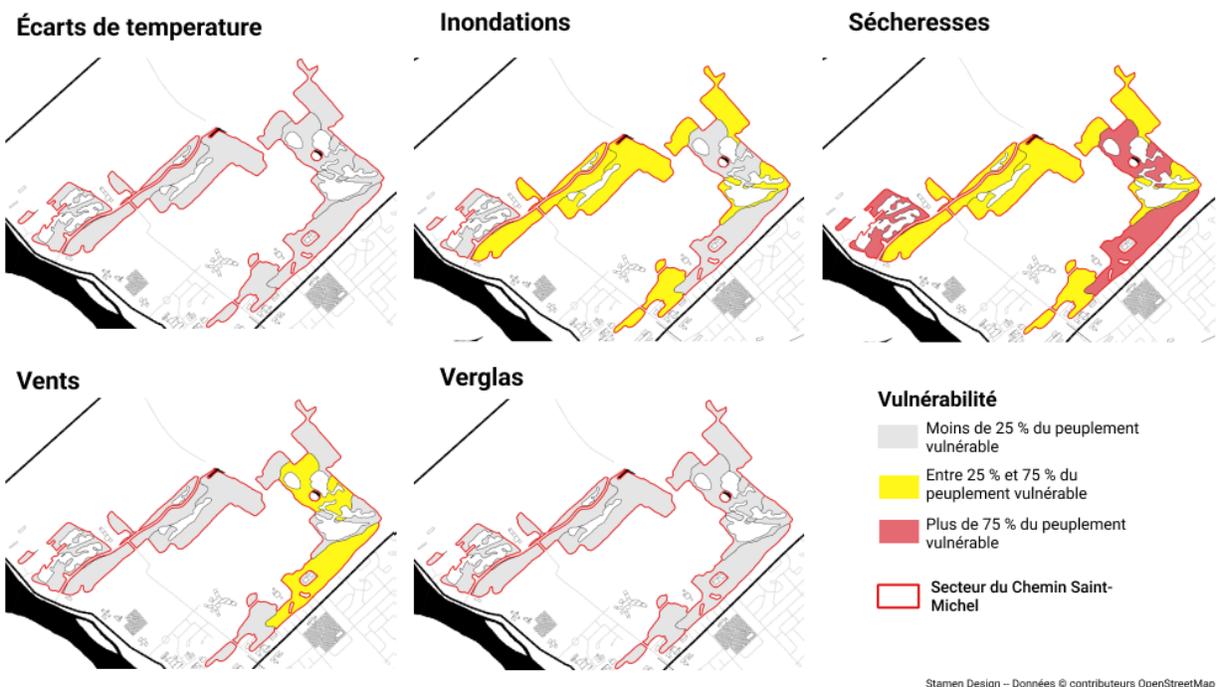


Figure 12. Répartition des peuplements forestiers en fonction de leur vulnérabilité (selon le pourcentage (%) de la surface terrière potentiellement affectée dans chaque peuplement) aux menaces abiotiques préoccupantes pour le secteur du Chemin Saint-Michel. Les peuplements affectés à moins de 25 % de leur surface terrière sont considérés peu vulnérables (gris), ceux affectés de 25 à 75 % de leur surface terrière sont considérés pouvoir subir des impacts modérés (jaune) et ceux affectés à plus de 75 % de leur surface terrière sont considérés pouvoir subir des impacts élevés (rouge).

Finalement, beaucoup d’incertitude plane quant aux conditions climatiques futures et menaces biotiques et abiotiques potentielles. De manière générale, les changements climatiques pourraient avoir des incidences sur la phénologie des insectes et les interactions trophiques entre les arbres hôtes, les insectes et leurs ennemis naturels (Pureswaran et al., 2015). Il existe par exemple des risques de désynchronisation des réponses des populations, qu’il s’agisse d’un lien proies/prédateurs, hôtes/parasites ou d’espèces mutualistes (Bellard et al., 2012). Des facteurs de stress biotique et abiotique pourraient également entrer en interaction, comme c’est le cas de la sécheresse et de la maladie corticale du hêtre, menaçant davantage les milieux boisés (McCullough et al. 2005). Dans ces conditions, la stratégie d’augmentation de la diversité fonctionnelle des milieux boisés est une solution à privilégier pour faire face aux incertitudes futures.

4.3 Susceptibilité au développement des milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel

L’étalement urbain est une cause majeure de disparition et de dégradation des milieux naturels dans les BTSL (Dupras et al. 2016). Le calcul de susceptibilité au développement permet d’évaluer les zones les plus sensibles aux pressions anthropiques, c’est-à-dire les plus à risque d’être converties en milieu urbain, en fonction de leur niveau de protection et de leur proximité aux milieux urbains actuels ou proposés. La figure 13 présente les niveaux de susceptibilité au développement obtenus pour les milieux boisés du secteur du Chemin Saint-Michel (les détails pour le calcul de l’indice sont annexe G)

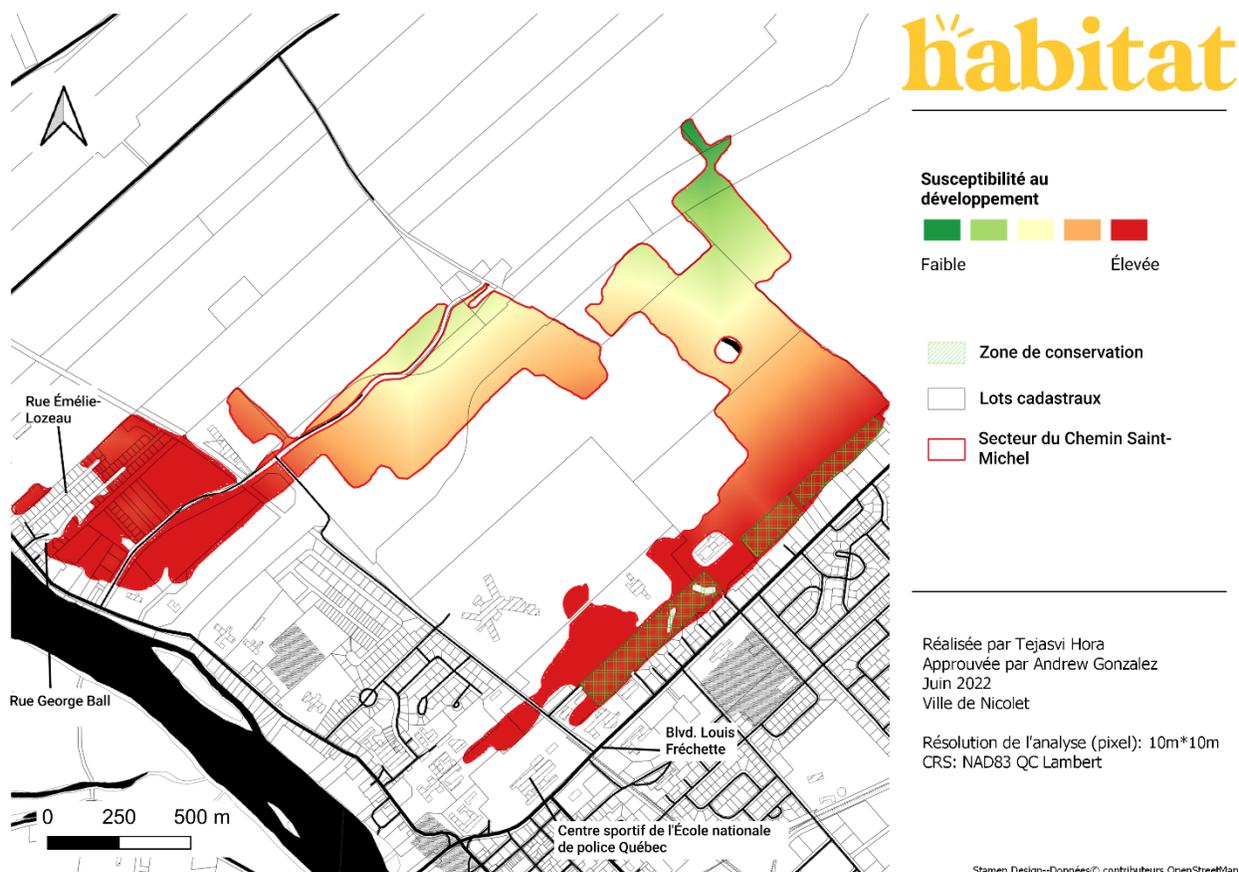


Figure 13. Indice de susceptibilité au développement des milieux naturels du secteur du Chemin Saint-Michel.

Selon les analyses, les milieux boisés les plus à risque d'être éliminés sont ceux à proximité directe des lots cadastraux déjà bâtis. À l'ouest du secteur du Chemin Saint-Michel, les milieux contigus aux rues Émérie-Lozeau et George Ball sont par exemple fortement susceptibles au développement. Au sud-est, parallèlement au boulevard Louis Fréchette, les milieux le sont également. La prolongation du statut de conservation des Boisés-du-Séminaire et Des-Sœurs-de-l'Assomption au-delà de l'année 2030 est ainsi suggérée pour éviter le potentiel développement immobilier du secteur. Enfin, le milieu boisé le plus au sud du secteur du Chemin Saint-Michel, soit celui à proximité du centre sportif de l'École nationale de police Québec, présente un risque élevé d'être remplacé par du bâti. Sa position au cœur de la municipalité lui accorde pourtant un précieux rôle pour la fourniture de services écosystémiques dont la population locale bénéficie directement. Ce milieu permet en outre d'améliorer la qualité de l'air et il constitue un important îlot de fraîcheur entre le terrain de soccer municipal et les surfaces très minéralisées entourant le centre sportif.

5. MILIEUX À PRIORISER POUR LA CONSERVATION DANS LE SECTEUR DU CHEMIN SAINT-MICHEL

Sur la base de l'ensemble des analyses réalisées (c.-à-d. l'analyse territoriale, les analyses de connectivité et les analyses du niveau de sensibilité des peuplements forestiers), nous avons réalisé une analyse de priorisation multicritère dans le but d'identifier les corridors de déplacement critiques au maintien de la connectivité locale et qu'il faudrait donc conserver en priorité. L'analyse de priorisation suggère ainsi des zones à haute valeur de conservation sur lesquelles devrait se baser le tracé du corridor écologique du secteur du Chemin Saint-Michel.

Les milieux naturels au nord et à l'ouest du secteur du Chemin Saint-Michel (figure 14, vert clair) peuvent être considérés comme essentiels à la connectivité et nous recommandons que cette section fasse partie intégrante du corridor écologique planifié par la Ville. Au sud, sud-est les milieux naturels s'apparentent davantage à une utilisation récréative et culturelle et nous proposons d'y maintenir une zone à vocation récréative (figure 14, en vert foncé)⁵.

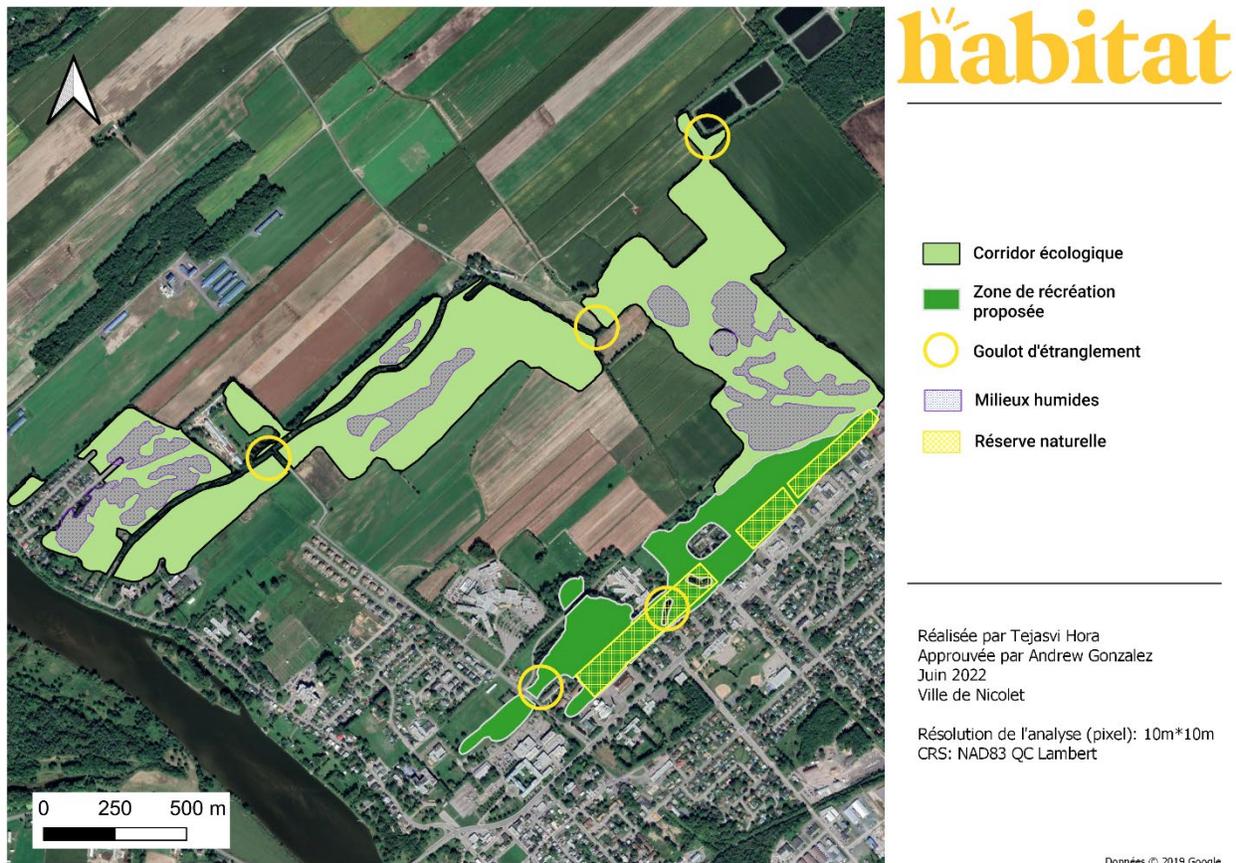


Figure 14. Zones de conservations et de récréation proposées pour le secteur du Chemin Saint-Michel. La zone de conservation proposée et les milieux humides constituant forment la base du tracé du corridor écologique qui devrait être créé dans ce secteur de la Ville.

⁵ La délimitation entre ces deux zones reprend les limites des peuplements forestiers de l'inventaire écoforestier du Québec méridionale

La zone nord, d'ouest en est, constitue une aire de déplacement importante pour les espèces fauniques pour diverses raisons. Premièrement, cette zone renferme les peuplements parmi les plus matures du territoire et plusieurs milieux humides y sont aussi répertoriés. La zone fait également office de lien à l'ouest avec les milieux aquatiques (embouchure de la rivière Nicolet et Lac Saint-Pierre). Enfin, la proximité à la Réserve mondiale de la biodiversité du Lac-Saint-Pierre, à l'ouest du corridor, offre également de grandes superficies préservées pour la faune locale. Il est proposé de limiter l'accès des milieux naturels de cette zone au grand public et d'éviter le morcellement de ces milieux naturels afin de maintenir l'intégrité écologique des milieux boisés et humides, et soutenir la conservation des espèces fauniques qui s'y trouvent.

On note en revanche certains enjeux pour le maintien de ce corridor. Le corridor est relativement sensible à la pression anthropique, surtout à l'ouest à la hauteur des rues Émélie-Lozeau et George Ball, empêchant une franche connexion du corridor avec les milieux aquatiques et la réserve de biodiversité du Lac-Saint-Pierre. Le corridor mériterait également d'être élargi à certains endroits actuellement considérés comme des goulots d'étranglement (figure 14). Il est aussi suggéré d'encourager des pratiques qui soient bénéfiques pour la faune dans les milieux agricoles adjacents aux boisés, telles que l'agroforesterie, l'implantation de haies brise-vent et l'agriculture biologique.

La zone sud, sud-est présente une vocation davantage récréotouristique et culturelle. Son potentiel de connectivité est en effet plus faible que la zone nord, car il existe une plus grande proximité au milieu urbain et il y a un manque de lien à des milieux naturels au sud de la zone. En parallèle, les réserves naturelles du Boisé-du-Séminaire et du Boisé-des-Sœurs-de-l'Assomption, composés de trois blocs forestiers parcourus de sentiers, sont des zones accessibles et appréciées par la population. Un vieux pin blanc de plus de 200 ans fait notamment parti de cette zone de conservation et il est répertorié comme un des 38 arbres notables du Québec (Forêt Conservation 1994).

6. RECOMMANDATIONS POUR AMÉLIORER LA CONNECTIVITÉ LOCALE, LA BIODIVERSITÉ ET LA RÉSILIENCE DES MILIEUX NATURELS

Selon les analyses précédemment réalisées, un ensemble de 10 recommandations est suggéré afin d'améliorer la connectivité du territoire au profit de la biodiversité et assurer la résilience des milieux naturels. Ces recommandations identifient les interventions critiques à réaliser (figure 15) dans le but de pérenniser l'état, l'intégrité et le fonctionnement des milieux naturels dans le secteur du Chemin Saint-Michel et de renforcer les espaces alentours qui pourraient contribuer au corridor écologique proposé. Nous recommandons des actions de protection des milieux naturels en place, de restauration des lieux critiques pour assurer l'intégrité d'un corridor écologique et la diversification des espèces des peuplements forestiers afin de les protéger contre les changements globaux. Chaque ligne du tableau 7 propose ainsi un lieu d'intervention, une action à réaliser et indique les bénéfices attendus.

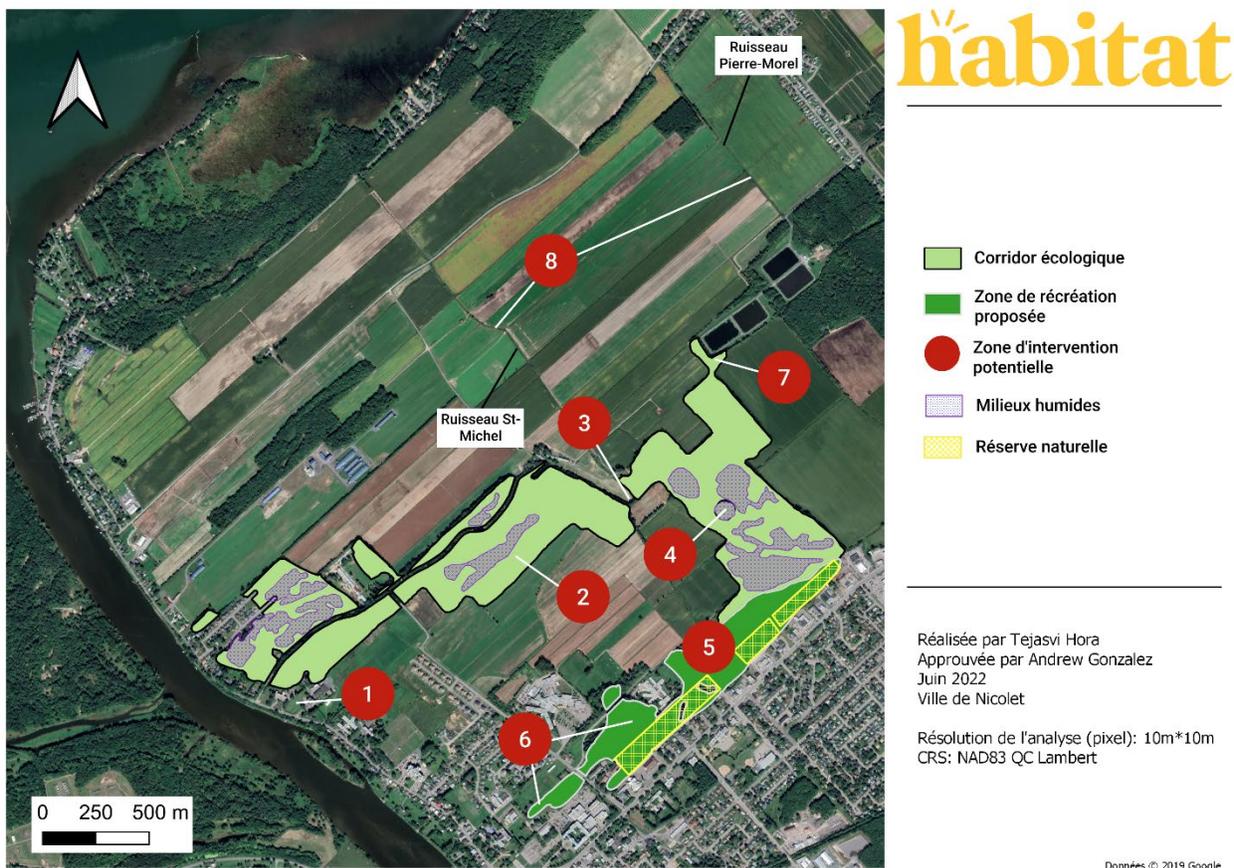


Figure 15. Zones d'intervention potentielles pour les milieux naturels du secteur du Chemin Saint-Michel. La zone de conservation proposée et les milieux humides constitutants (vert clair, mauve) forment la base du tracé du corridor écologique qui devrait être créé dans ce secteur de la Ville.

Tableau 7. Liste de recommandations selon le lieu d'intervention (localisé à la figure 15) et les bénéfices attendus.

ZONE D'INTERVENTION	ACTION À ENTREPRENDRE	BÉNÉFICES ATTENDUS
1	Boiser les terrains vacants (lots cadastres 5 046 206, 5 045 685, 5 045 687 et avoisinants) et, s'ils n'existent pas déjà, ajouter des ponceaux de déplacement sous la rue Saint Jean-Baptiste pour rétablir la connectivité entre le secteur du Chemin Saint-Michel et la rive de la rivière Nicolet.	Amélioration de la connectivité locale.
1 et 2	Planter des arbres des groupes fonctionnels 3, 5, 6 et 4 dans une moindre mesure (voir tableau 4 pour les espèces à favoriser). Les espèces d'arbres choisies doivent être indigènes.	Amélioration de la résilience des peuplements forestiers.
3	Planter des arbres pour élargir le corridor afin qu'il mesure au moins 200 mètres de large. Planter des espèces des groupes fonctionnels 3, 5, 6 et 4 dans une moindre mesure (voir tableau 4). Les espèces d'arbres choisies doivent être indigènes.	Amélioration de la connectivité locale et de la résilience des peuplements forestiers.
3	À la suite de l'élargissement du corridor, installer un/des dispositif (s) pour photographier le déplacement des animaux et ainsi recueillir des données sur l'utilisation du passage par les espèces fauniques.	Capacité à faire un suivi dans le temps et évaluer l'utilisation du corridor par la faune.
4	Assurer la protection des milieux humides et leurs alentours dans un rayon minimal de 20 mètres (LégisQuébec 2018).	Maintien de la qualité de l'habitat pour les espèces fauniques.
5	Étendre le statut légal de protection des Réserves du Boisé-du-Séminaire et Boisé-des-Sœurs-de-l'Assomption au-delà de l'année 2030.	Maintien de milieux naturels en l'état et le plus boisé possible pour la conservation et le récréotourisme (aspect socio-culturel des sites). Éviter d'y établir des activités qui pourraient nuire à l'intégrité des milieux naturels (ex. sentiers de moto cross) Maintien d'un ensemble de services écosystémiques associés à la végétation. L'amélioration de la qualité de l'air et la régulation des températures sont des contributions essentielles de ces milieux considérant leur situation géographique.

ZONE D'INTERVENTION	ACTION À ENTREPRENDRE	BÉNÉFICES ATTENDUS
5	<p>Élagage des arbres (notamment les pruches du Canada et les sapins baumiers) pour atténuer le risque lié aux vents violents.</p> <p>Dans le cas de plantation d'arbres, choisir des essences des groupes fonctionnels 5 et 6 pour résister à la sécheresse. Les espèces d'arbres choisies doivent être indigènes.</p>	Amélioration de la résilience des peuplements forestiers.
6	Conserver le peuplement forestier et éviter sa conversion en milieu anthropique.	<p>Maintien de la connectivité locale.</p> <p>Maintien d'un ensemble de services écosystémiques directement bénéfiques aux résidents alentour.</p> <p>L'amélioration de la qualité de l'air et la régulation des températures sont les deux principales externalités considérant la situation géographique du peuplement.</p>
7	Acquisition des parcelles avoisinantes par la municipalité ou un organisme de conservation et boisement de celles-ci pour rétablir des corridors de déplacement entre les îlots boisés.	Amélioration de la connectivité locale.
8	Élargir la bande riveraine le long des ruisseaux Saint-Michel et Pierre-Morel et y planter des végétaux (arbres et herbacées) afin de créer un corridor de déplacement entre le secteur du Chemin Saint-Michel et le Lac Saint-Pierre.	<p>Amélioration de la connectivité locale. Ce corridor permettrait de connecter les milieux humides à l'ouest de l'embouchure de la rivière Nicolet avec ceux à l'est, en passant par le secteur du Chemin Saint-Michel.</p> <p>Amélioration d'un ensemble de services écosystémiques associés à la végétation (amélioration de qualité de l'eau (moins de sédiments et de nutriments) liée à la captation de ces éléments par la végétation; stockage et séquestration du carbone; pollinisation).</p>
Corridor écologique	<p>Activités permises⁶:</p> <p>«...La réalisation d'activités scientifiques et éducatives, la réalisation d'aménagements ayant comme but d'améliorer et de mettre en valeur la flore, la faune et leur habitat... »</p>	Amélioration de la connectivité écologique locale et de la qualité de l'habitat.

⁶ Les activités permises et prohibées sont issues de la *Loi sur la conservation du patrimoine naturel (L.R.Q., c. C-61.01)*

ZONE D'INTERVENTION	ACTION À ENTREPRENDRE	BÉNÉFICES ATTENDUS
	<p>Nous proposons en plus que les activités de marche, de ski de fond, de raquettes soient autorisées dans les sentiers préexistants.</p> <p>Activités prohibées⁷ :</p> <p>«...La récolte; la cueillette; le fauchage; la destruction ou la coupe de la végétation en place, incluant le bois, les petits fruits et les champignons; l'allumage de feux; les travaux de remplissage, de creusage, de drainage et d'assèchement; l'extraction de matières minérales ou organiques ou autres travaux de modification du sol; le dépôt de déchets ou autres matériaux ou produits dangereux; l'érection, l'installation ou la construction d'infrastructures, de bâtiments, de roulottes, de tentes-roulottes ou de tout autre type d'habitation, de dépendance ou de bâtiment; l'aménagement de nouveaux sentiers; la circulation en véhicule motorisé ou en vélo; la plantation ou l'introduction de végétaux ou d'animaux non indigènes; l'alimentation de la faune; l'utilisation d'armes à feu; la chasse, la pêche et le piégeage...»</p> <p>Nous proposons en plus d'interdire la présence de chien, la circulation dans et aux abords des milieux humides; de limiter les nuisances sonores; de limiter le trafic sur le Chemin Saint-Michel à la circulation locale; de démarquer clairement les limites de vitesse sur ce chemin; de maintenir les chemins de terre en état non pavé et d'installer la signalisation de croisement d'animaux.</p> <p>Toutes modifications à l'accès du territoire devraient tenir en compte les règlements en vigueur relatifs aux droits de propriété privée, les règlements administratifs et provinciaux, ainsi que des inventaires biologiques récents des espèces à statut et des attributs biologiques d'intérêts pour la conservation de la biodiversité (par ex. la présence de milieux humides).</p>	

⁷ Idem note 6.

ZONE D'INTERVENTION	ACTION À ENTREPRENDRE	BÉNÉFICES ATTENDUS
<p>Zone de récréation proposée</p>	<p>En ce qui concerne les aires actuellement protégées dans la zone de récréation proposée (le Boisé-du-Séminaire et la réserve naturelle du Boisé-des-Sœurs-de-l'Assomption), les activités permises et prohibées sont dictées selon les règlements déjà en vigueur.</p> <p>En ce qui concerne les aires non protégées de la zone de récréation proposée, nous proposons l'entretien du couvert forestier et la restauration de l'intégrité écologique des milieux boisés, tout en encourageant l'accès au public du territoire lorsque possible.</p> <p>Toutes modifications à l'accès du territoire devraient tenir en compte les règlements en vigueur relatifs aux droits de propriété privée, les règlements administratifs et provinciaux, ainsi que des inventaires biologiques récents des espèces à statut et des attributs biologiques d'intérêts pour la conservation de la biodiversité (par ex. la présence de milieux humides).</p>	<p>Maintien de milieux naturels en l'état et des services écosystémiques associés.</p>

7. CONCLUSION

Consciente de sa position géographique dans un réseau de corridors écologiques important au déplacement de la faune, la Ville de Nicolet souhaite planifier l'aménagement de son territoire de façon informée et stratégique et créer un corridor écologique dans le secteur du Chemin Saint-Michel pour y conserver les milieux naturels d'importance. Afin d'accompagner la Ville dans ce processus, Habitat a réalisé des analyses de connectivité écologique des milieux naturels et de sensibilité des milieux boisés aux changements globaux (ex. climat, insectes, développement urbain) pour finalement déterminer les milieux naturels prioritaires à la conservation. Plusieurs points saillants ressortent de l'étude.

- **Nicolet, carrefour pour la biodiversité**

La situation géographique de la Ville de Nicolet octroie à l'ensemble de son territoire un rôle considérable en matière de connectivité pour les espèces fauniques à l'échelle des BTSL. À l'échelle de la municipalité, un ensemble de corridors de déplacement ont été identifiés. Au sein du secteur du Chemin Saint-Michel, la partie nord et nord-ouest est considérée comme un corridor de déplacement important entre les milieux naturels de la municipalité et la Réserve mondiale de la biosphère du Lac-Saint-Pierre et devrait ainsi faire partie intégrante du corridor écologique. Il demeure par ailleurs important de reboiser les terrains vacants à l'ouest du secteur du Chemin Saint-Michel et d'ajouter des ponceaux sous la rue Saint-Jean-Baptiste afin d'assurer une bonne connectivité entre l'ouest et l'est du territoire.

- **Le secteur du Chemin Saint-Michel, une zone aux vocations multiples à protéger**

À l'échelle du secteur du Chemin Saint-Michel, l'étude montre que certains milieux naturels ont un plus grand rôle en termes de connectivité. La section nord, nord-ouest contribue ainsi au déplacement des espèces fauniques et il est recommandé d'élargir certains passages actuellement perçus comme des goulots d'étranglement pour la faune. La section sud, sud-est ne joue pas un rôle aussi grand pour la connectivité, mais elle a un potentiel socio-culturel non négligeable et offre d'ailleurs un ensemble de bienfaits à la population locale.

- **Une opportunité pour augmenter la résilience des forêts municipales**

Les milieux naturels font partie intégrante de la solution dans la lutte contre les changements climatiques. Le faible étalement urbain de la municipalité et la présence d'une diversité de milieux naturels (milieux humides et peuplements forestiers) sont en outre des éléments positifs à souligner. Il est donc essentiel d'en assurer la pérennité. Selon l'étude, les perturbations biotiques, notamment la spongieuse asiatique et le longicorne asiatique, sont les principales menaces qui pourraient affecter les peuplements forestiers. Si les forêts sont naturellement capables de s'adapter à des conditions climatiques variables et aux insectes, c'est la vitesse actuelle des changements qui fait craindre leur dépérissement. Dans ces conditions, l'analyse de la diversité fonctionnelle des peuplements forestiers réalisée a permis d'identifier les groupes fonctionnels manquants et il est dorénavant possible de savoir les espèces forestières à planter afin d'augmenter la résilience générale du territoire.

Pour conclure, le territoire Nicolétain se trouve au cœur d'un réseau écologique d'importance tant à l'échelle régionale que locale. L'établissement d'un corridor écologique dans le secteur du Chemin Saint-Michel permettra de pérenniser un corridor de déplacement important qui relie les milieux naturels terrestres aux milieux aquatiques. En effet, les parcelles d'habitat restantes dans la municipalité de Nicolet sont peu nombreuses malgré leur rôle majeur pour le maintien de la biodiversité locale. La préservation des milieux naturels alentour n'en demeure pas moins importante puisqu'ils rendent de nombreux autres services aux citoyens et citoyennes et contribuent notamment à leur bien-être et à leur santé.

Les résultats du projet permettront de guider l'aménagement du territoire de façon durable et stratégique, en se basant sur la contribution des milieux boisés, notamment leur rôle dans la biodiversité et le déplacement des espèces fauniques, et leur résilience face aux changements globaux.

8. LISTES DES ANNEXES

Annexe A : Méthodologie pour l'analyse de connectivité et de priorisation des corridors de déplacement

Annexe B : Tableaux des valeurs d'IQH, de résistance et des modificateurs spatiaux

Annexe C : Cartes de l'IQH, des parcelles d'habitat et de la résistance du territoire

Annexe D : Importance des parcelles d'habitat au sein du réseau par l'analyse de centralité intermédiaire

Annexe E : Évaluation du flux du courant et de la connectivité nœud à nœud pour la Ville de Nicolet

Annexe F : Évaluation de la résilience des milieux boisés de la Ville de Nicolet

Annexe G : Évaluation de la susceptibilité au développement du secteur du Chemin Saint-Michel

9. BIBLIOGRAPHIE

Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–343. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021>

Albert, C. H., Rayfield, B., Dumitru, M., & Gonzalez, A. (2017). Applying network theory to prioritize multispecies habitat networks that are robust to climate and land-use change. *Conservation Biology*, 31(6), 1383–1396. <https://doi.org/10.1111/cobi.12943>

Aquilué, N., Messier, C., Martins, K.T., Dumais-Lalonde, V & Mina, M. (2021). A simple-to-use management approach to boost adaptive capacity of forests to global uncertainty. *Forest Ecology and Management*, 481. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118692>.

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, Vol.15, No.4, 365-377p.

Brandt, L. A., Derby Lewis, A., Scott, L., Darling, L., Fahey, R. T., Iverson, L., Nowak, D. J., Bodine, A. R., Bell, A., Still, S., Butler, P. R., Dierich, A., Handler, S. D., Janowiak, M. K., Matthews, S. N., Miesbauer, J. W., Peters, M., Prasad, A., Shannon, P. D., Stotz, D. & Swanston, C. W. (2017). Chicago Wilderness region urban forest vulnerability assessment and synthesis: a report from the Urban Forestry Climate Change Response Framework Chicago Wilderness pilot project. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-168>

Chase, J. M., Jeliaskov, A., Ladouceur, E., & Viana, D. S. (2020). Biodiversity conservation through the lens of metacommunity ecology. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1469, Issue 1, pp. 86–104). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/nyas.14378>

ECCC et MDDELCC. (2018). Cartographie de l'occupation du sol des Basses-terres du Saint-Laurent, circa 2014. Environnement et Changement climatique Canada et Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Plan d'action Saint-Laurent, Québec, 49 p.

Forêt Conservation. (1994). Répertoire des arbres remarquables du Québec. *Revue Forêt Conservation* 38p.

Gonzalez, A., Rayfield, B., & Lindo, Z. (2011). The disentangled bank: How loss of habitat fragments and disassembles ecological networks. *American Journal of Botany*, 98(3), 503–516. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000424>

- Gonzalez, A., Thompson, P., & Loreau, M. (2017). Spatial ecological networks: planning for sustainability in the long-term. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 29, pp. 187–197). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.03.012>
- Hudon, C., & Carignan, R. (2008). Cumulative impacts of hydrology and human activities on water quality in the St. Lawrence River (Lake Saint-Pierre, Quebec, Canada). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(6), 1165-1180.
- Jobin, B., Gratton, L., Côté, M.J., Pfister, O., Lachance, D., Mingelbier, M., et al. (2019). Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les Basses-terres du Saint-Laurent - Rapport méthodologique version 2, incluant la région de l'Outaouais. Environnement et Changement climatique Canada, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Plan d'action Saint-Laurent, Québec, QC, 170 p.
- Jobin B., Langevin, R., Allard, M., Labrecque, S., Dauphin, D., Benoit, M., Aquin, P. (2013). Évaluation d'une approche d'analyse du paysage pour planifier la conservation des habitats des oiseaux migrateurs et des espèces en péril dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes : étude de cas au lac Saint-Pierre. Série de rapports techniques no 527. Environnement Canada, Service canadien de la faune, région du Québec, Québec. 74 p. et annexes.
- LégisQuébec. (2022). c-61.01 - Loi sur la conservation du patrimoine naturel. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/C-61.01>
- LégisQuébec. (2018). a-18.1, r. 7 - Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/A-18.1,%20r.%207#:~:text=1.,-SECTION%20II&text=2.,adjacents%20%C3%A0%20l'%C3%A9cotone%20riverain>.
- Lovett, G. M., Weiss, M., Liebhold, A. M., Holmes, T. P., Leung, B., Lambert, K. F., Orwig, D. A., Campbell, F. T., Rosenthal, J., McCullough, D. G., Wildova, R., Ayres, M. P., Canham, C. D., Foster, D. R., LaDeau, S. L., & Weldy, T. (2016). Nonnative forest insects and pathogens in the United States: Impacts and policy options. *Ecological Applications*, 26(5). <https://doi.org/10.1890/15-1176>
- Matthews, S.N., Iverson, L.R., Prasad, A.M., Peters, M.P., Rodewald, P.G. (2011). Modifying climate change habitat models using tree species-specific assessments of model uncertainty and life history-factors. *Forest Ecology and Management*, 262(8): 1460- 1472.
- McCullough, D.G., Heyd R.L. & O'Brien, J.G. (2005). Biology and management of beech bark disease : Michigan's newest exotic forest pest. Michigan State University Extension, bulletin E-2746.
- MFFP. (2021). IEQM: Carte écoforestière à jour. Ministère des forêts de la faune et des Parcs. <https://www.donneesquebec.ca/>
- Mitchell, M. G., Bennett, E. M., Gonzalez, A., Lechowicz, M. J., Rhemtulla, J. M., Cardille, J. A., ... & Dancose, K. (2015). The Montérégie Connection: linking landscapes, biodiversity, and ecosystem services to improve decision making. *Ecology and Society*, 20(4). <http://www.jstor.org/stable/26270281>
- Ouranos. (2021). Portrait climatique: Mauricie. <https://www.ouranos.ca/climate-portraits/#/regions/25>
- Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M., Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62(February). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127157>

Pureswaran, D., De Grandpré, L., Paré, D., Taylor, A., Barrette, M., Morin, H., ... & Kneeshaw, D. (2015). Climate-induced changes in host tree–insect phenology may drive ecological state-shift in boreal forests. *Ecology*, 96(6), 1480-1491p.

Rayfield, B., Dumitru, M., Pelletier, D., Laroque, G., Albert, C., Daniel, C. J., & Gonzalez, A. (2018). Une évaluation de la connectivité écologique pour les Basses-terres du Saint-Laurent. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Gouvernement du Québec.

Rayfield, B., Larocque, G., Daniel, C. J. & Gonzalez, A. (2019). Une priorisation pour la conservation des milieux naturels des Basses-terres du Saint-Laurent en fonction de leur importance pour la connectivité. Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec (Québec)

Ressources naturelles Canada (RNC). (2015). Trees, insects and diseases of Canada's forests. <https://tidcf.nrcan.gc.ca/en/> Consulté le 14 mars 2022

Convention sur la Diversité Biologique. (2020). Update of the Zero Draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework.

Stewart, F. E. C., Darlington, S., Volpe, J. P., McAdie, M., & Fisher, J. T. (2019). Corridors best facilitate functional connectivity across a protected area network. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47067-x>



www.habitat-nature.com

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

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