OURANOS

UQO
DÉPARTEMENT DES SCIENCES NATURELLES

Communauté métropolitaine de Québec



La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent

Rapport final

Septembre 2019

Équipe de réalisation:

Sylvia Wood[1], Jérôme Dupras[1], Caroline Bergevin[1], Charlène Kermagoret[1]

[1] Institut des sciences de la forêt tempérée, Université du Québec en Outaouais

Remerciements:

Les auteurs tiennent à remercier Marianne Thibault de la Communauté métropolitaine de Québec, ainsi que Laurent Da Silva et Caroline Simard d'Ouranos. Nous remercions aussi les participants qui ont pris part aux ateliers de travail, en particulier : Pierre Asselin et Isabelle Peltier de la Ville de Lévis, Annie Caron et Julie Deslandes de la Ville de Québec, Jean-François Guillot de la MRC de La Côte-de-Beaupré, Simon Lemieux de la MRC de L'Île-d'Orléans, Nicolas Talbot de la MRC de La Jacques-Cartier, Catherine Bergeron de la MRC de Bellechasse et Carole Beauregard de la CMQ.

Titre du projet : La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent

Citation suggérée : Wood, S.L.R., Dupras, J., Bergevin, C., Kermagoret, C. (2019), *La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent.* Ouranos. 75 p.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont la responsabilité des auteurs. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.

Sommaire exécutif

Trop souvent, les avantages générés par les écosystèmes ne sont pas pris en compte dans les mécanismes de prise de décision de développement et d'aménagement du territoire. En les omettant, leur contribution au bien-être de la société est donc largement sous-estimée, voire négligée, menant à des décisions sous-optimales pour les collectivités. En appliquant une approche de comptabilisation du capital naturel aux écosystèmes de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) et du territoire de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent (TCRQ), nous visons à fournir aux planificateurs et aux décideurs publics des estimations fiables de la valeur que ces écosystèmes apportent à la société et à l'économie. Ce n'est que lorsque tous les coûts et bénéfices d'un projet sont pris en compte que des décisions durables et éclairées en matière de développement du territoire peuvent être prises.

Afin de représenter la contribution de la nature au bien-être des habitants de la CMQ et de la TCRQ, nous utilisons le concept de services écosystémiques, soit les bénéfices fournis par la nature et affectant de façon positive la qualité de vie des citoyens. Dans le cadre de cette étude, nous avons évalué 15 services écosystémiques, couvrant notamment les services de régulation du climat par le stockage du carbone, d'approvisionnement en eau, de prévention des inondations, de pollinisation, d'esthétisme des paysages et de récréotourisme. La méthodologie employée combine les analyses spatiales et économiques afin de mesurer la contribution écologique et économique de ces 15 services. Deux points de vue économiques sont mobilisés dans cette étude, celui du flux annuel, où l'on mesure les bénéfices apportés chaque année à la population pour 14 des 15 services, et celui du stock, où l'on considère une perspective de long terme des bénéfices des écosystèmes le stockage de carbone.

L'analyse du flux de services écosystémiques suggère que la valeur du capital naturel de la CMQ et de la TCRQ génère un total de plus de 1,1 milliard de dollars de bénéfices annuels. Cette valeur est principalement expliquée par les services d'habitat pour la biodiversité, d'approvisionnement en eau, de prévention des inondations, de traitement des polluants et de production agricole. En ce qui concerne le stockage du carbone, une analyse de l'ensemble des écosystèmes montre que ceux-ci ont accumulé au cours des derniers siècles pas moins de 124 millions de tonnes (Mt) de carbone, ce qui correspond à des bénéfices économiques de l'ordre de 18,8 G$.

Les rencontres avec des professionnels de l'aménagement du territoire à l'échelle régionale ont permis de documenter le potentiel d'utilisation du concept de services écosystémiques dans la planification territoriale. Selon les professionnels sollicités, les services les plus importants à considérer dans la planification territoriale sont l'approvisionnement en eau, les activités récréotouristiques, la qualité de l'eau et la production agricole. Les professionnels ont aussi souligné la valeur du concept de services écosystémiques pour accomplir les objectifs suivants : 1) avoir une vision prospective et planifier ; 2) établir un diagnostic sur la qualité de l'environnement; et 3) sensibiliser et éduquer à l'environnement. Les discussions avec les parties prenantes ont également permis d'identifié 25 programmes ou politiques existants qui pourraient servir d'outils pouvant être utilisés dès maintenant pour favoriser le maintien ou l'amélioration de l'environnement via le cadre des services des écosystèmes.

Table des matières

Sommaire exécutif **iii**
1. Introduction **1**
2. Les milieux naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale sur la gestion intégrée du Saint-Laurent **3**
2.1. Description socioéconomique de la zone d'étude *5*
2.2. Perspectives sur l'aménagement du territoire *6*
3. Méthodologie **8**
3.1. Sélection des services écosystémiques *8*
3.2. Analyse spatiale *10*
3.3. Analyse économique *13*
4. Résultats **16**
4.1. Analyse cartographique de l'utilisation des sols *16*
4.2. Les flux et les stocks de services écosystémiques *17*
4.3. Les forêts et boisés *19*
4.3.1. Production forestière 20
4.3.2. Approvisionnement en eau 20
4.3.3. Régulation du climat 21
4.3.4. Amélioration de la qualité de l'air 22
4.3.5. Contrôle biologique 23
4.3.6. Contrôle de l'érosion 23
4.3.7. Prévention des inondations 23
4.3.8. Traitement des polluants 23
4.3.9. Cycles des nutriments 24
4.3.10. Habitats favorisant la biodiversité 24
4.3.11. Récréotourisme 25
4.3.12. Valeur totale pour les écosystèmes forestiers 25
4.4. Les milieux humides *27*
4.4.1. Approvisionnement en eau 28
4.4.2. Régulation du climat 28
4.4.3. Contrôle de l'érosion 29
4.4.4. Prévention des inondations 29
4.4.5. Traitement des polluants 29
4.4.6. Habitats favorisant la biodiversité 29
4.4.7. Valeur totale pour les milieux humides 30
4.5. Milieux agricoles *31*
4.5.1. Production agricole 32
4.5.2. Contrôle de l'érosion 34
4.5.3. Cycles des nutriments 34
4.5.4. Pollinisation 34
4.5.5. Récréotourisme 36
4.5.6. Esthétisme du paysage 37

4.5.7. Valeur totale pour les milieux agricoles 37
4.6. Friches *38*
4.6.1. Régulation du climat 39
4.6.2. Contrôle biologique 39
4.6.3. Contrôle de l'érosion 39
4.6.4. Cycles des nutriments 40
4.6.5. Habitat favorisant la biodiversité 40
4.6.6. Esthétisme du paysage 40
4.6.7. Valeur totale pour les friches 40
4.7. Milieux aquatiques *41*
4.7.1. Traitement des polluants 42
4.7.2. Habitat favorisant la biodiversité 43
4.7.3. Récréotourisme 43
4.7.4. Esthétisme du paysage 43
4.7.5. Valeur totale pour les milieux aquatiques 43
4.8. Les stocks de services écosystémiques : le stockage de carbone *44*
4.9. La valeur totale des écosystèmes de la CMQ et de la TCRQ *45*
4.9.1. Résultats par secteurs (MRC) 55
5. Recommandations relatives à l'aménagement du territoire **58**
5.1. Motivation et méthodologie du triage et de l'AFOM *58*
5.2. Résultats du triage *59*
5.2.1. Pertinence et portée d'une évaluation des services écosystémiques 59
5.3. Résultats de l'AFOM *61*
5.3.1. Politiques et mécanismes de gouvernance permettant l'intégration des services écosystémiques 61
5.3.2. Avantages et inconvénients de l'évaluation des services écosystémiques pour le territoire d'étude 62
5.3.3. Opportunités et obstacles à l'utilisation du concept dans le contexte territorial actuel 63
6. Conclusion **64**
7. Références **66**

Liste des figures

Figure 1. Carte des territoires inclus dans l'analyse du capital naturel de la CMQ et de la Table de concertation régionale sur la gestion intégrée du Saint-Laurent - Zone du Québec (TCRQ).. 3

Figure 2. Carte des bassins versants principaux dans la CMQ.... 4

Figure 3. Cadre méthodologique retenu pour l'évaluation économique des services écosystémiques 8

Figure 4. Diagramme conceptuel de la quantification des services écosystémiques (adapté de Haines-Young et Potshin, 2010) 11

Figure 5. Répartition spatiale des écosystèmes sur le territoire d'étude selon les zones urbaines et rurales délimite par le recensement de Statistique Canada en 2016 16

Figure 6. Illustration de la répartition de l'approvisionnement des services estimé avec le logiciel InVEST pour (a) la séquestration de carbone, et (b) le contrôle de l'érosion dans les écosystèmes en amont d'une prise d'eau.... 19

Figure 7. Répartition des forêts, des boisés et des coupes forestières sur le territoire à l'étude.... 20

Figure 8. Évolution de la quantité de carbone par unité d'aménagement et par écosystème, en absence d'interventions sylvicoles.... 22

Figure 9. Répartition spatiale de la valeur économique des forêts et boisés sur le territoire d'étude 27

Figure 10. Répartition des milieux humides sur le territoire d'étude 28

Figure 11. Répartition spatiale de la valeur économique des milieux humides du territoire d'étude. 31

Figure 12. Répartition des cultures agricoles sur le territoire d'étude.... 32

Figure 13. Niveau de pollinisation réalisée dans les fermes du territoire d'étude.... 36

Figure 14. Répartition spatiale de la valeur économique des milieux agricoles dans le territoire d'étude 38

Figure 15. Répartition des friches et des arbustes sur le territoire d'étude.... 39

Figure 16. Répartition spatiale de la valeur économique des friches dans le territoire d'étude 41

Figure 17. Répartition du réseau hydrologique du territoire d'étude.... 42

Figure 18. A-N. Répartition de la valeur totale annuelle de 13 des 15 services écosystémiques sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ en dollars de 2017.... 53

Figure 19. Répartition de la valeur totale par hectare des 13 services écosystémiques évalués 57

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des services écosystémiques évalués sur le territoire d'étude 9

Tableau 2. Liste de données utilisées pour la caractérisation du territoire et la modélisation de cinq services écosystémiques avec la boîte à outils InVEST 12

Tableau 3. Liste des données utilisées pour le calcul de la valeur des services écosystémiques..... 14

Tableau 4. Analyse de la couverture des sols du territoire d'étude (2015)..... 17

Tableau 5. Valeurs constituant la réduction des polluants aériens par les forêts et boisés 22

Tableau 6. Valeurs marchandes provenant des activités récréotouristiques dans le territoire d'étude 25

Tableau 7. Valeurs des services écosystémiques fournis par les forêts et boisés du territoire d'étude 26

Tableau 8. Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux humides 30

Tableau 9. Valeur de la production agricole dans le territoire d'étude..... 33

Tableau 10. Valeur de la production de sirop d'érable sur le territoire de la CMQ pour l'année 2017 34

Tableau 11. Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux agricoles du territoire d'étude 37

Tableau 12. Valeurs des services écosystémiques produits par les friches..... 41

Tableau 13. Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux aquatiques du territoire d'étude 43

Tableau 14. La répartition du stockage de carbone selon les types de forêts 44

Tableau 15. Le stockage de carbone dans les écosystèmes principaux de la CMQ et le TCRQ..... 45

Tableau 16. Valeur totale des services écosystémiques (SE) fournis dans chaque écosystème étudié (M$/an)..... 54

Tableau 17. Valeur totale des services écosystémiques (SE) fournis par MRC (M$/an) 56

Tableau 18. Répartition des réponses des répondants – Utilité de l'évaluation économique des SE . 59

Tableau 19. Résultat du triage des services écosystémiques..... 60

Tableau 20. Politiques et programmes pouvant intégrer le concept de services écosystémiques..... 62

1. Introduction

La conservation et la restauration des écosystèmes naturels dans les régions urbaines du Québec sont des enjeux importants. Les arbitrages notables entre diverses utilisations des terres, telles la conservation, l'agriculture, le développement résidentiel et industriel, le développement des infrastructures routières et les activités récréatives créent des pressions importantes sur la biodiversité et les écosystèmes. Une étude récente de Nazarnia et al. (2016) montre que sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), l'accélération du phénomène d'expansion urbaine est aujourd'hui neuf fois supérieure à ce qu'il était au début des années 1970. Il est prouvé que la perte accélérée de milieux naturels et agricoles due à l'expansion urbaine a de forts impacts sur la biodiversité, la santé publique et la qualité de vie en général des citoyens (Dupras et al. 2016). En termes économiques, Dupras et Alam (2015) ont notamment calculé que la perte de milieux naturels dans la région de Montréal coûte 235 millions de dollars par année en raison de la réduction des services écosystémiques. À l'heure actuelle, outre les pressions liées au changement d'usage des terres, la biodiversité et les écosystèmes en milieux urbains font face à des pressions cumulatives importantes ; pensons notamment aux effets déjà ressentis des changements climatiques, des espèces invasives comme l'agrile du frêne ou à la pollution systémique de certains milieux.

Une façon d'illustrer l'importance de la biodiversité et des écosystèmes pour les communautés passe par le concept de services écosystémiques, soit l'ensemble des biens et services que produit la nature et qui bénéficient aux êtres humains. Une des tendances de fond que l'on remarque ces dernières années est l'évaluation économique de ces services écosystémiques, l'objectif étant d'élargir le cadre des analyses économiques pour représenter la contribution de la nature au bien-être humain. Ceci peut être fait dans un but de sensibilisation, de création de nouveaux marchés, tels que les marchés du carbone, ou d'amélioration des processus de prise de décisions relatifs à l'aménagement du territoire.

Quelques publications phares ont aidé à populariser cette approche à l'échelle internationale, par exemple celles de Costanza et al. (1997) qui, les premiers, évaluèrent la valeur des écosystèmes à l'échelle du globe, de Daily (1997), qui popularisa le terme à l'extérieur des milieux académiques, et de *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB 2010), une initiative transnationale visant à outiller diverses parties prenantes par le développement de bases de données et d'études de cas sur la valeur économique de la nature.

Au Québec, de nombreuses études ont été entreprises en ce sens, que ce soit au niveau de l'évaluation économique de la Ceinture verte de Montréal (Dupras et al. 2015*b*), de la Trame bleue du Grand Montréal (Poder et al. 2016), du Lac St-Pierre (He et al. 2017), de l'ensemble des milieux humides du sud du Québec (He et al. 2017) ou de la pratique de l'agroforesterie (Alam et al. 2014). En ce qui concerne les forêts urbaines et de la valeur des arbres de rue, de nombreuses initiatives ont également été réalisées. Celles de TD Economics (2014*a*, 2014*b*), ont chiffré l'approvisionnement des flux annuels de services écosystémiques des arbres urbains dans les villes de Vancouver, Toronto, Montréal et Halifax à plus que 360 M $ par année en 2014 pour ces quatre villes. Plus spécifiquement, ces études ont évalué que la canopée urbaine de Vancouver contribue à hauteur de 225 M$/an, alors que celles de Toronto, Montréal et Halifax à 80 M$/an, 25 M$/an et 30M$/an respectivement.

Dans cette perspective, la CMQ, membre du consortium Ouranos, a mandaté l'organisation pour mener un projet de recherche de nature économique sur la valeur du capital naturel des différents écosystèmes présents sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ. Cette étude présente donc une évaluation de la valeur de la biodiversité et des écosystèmes de la CMQ et de la TCRQ. La démarche générale du projet combine l'analyse cartographique et l'analyse économique. Elle permet premièrement de mesurer la valeur du capital naturel (p. ex. les forêts et boisés, milieux humides, friches, agroécosystèmes, milieux aquatiques) par le truchement des services écosystémiques qu'ils génèrent (p. ex. régulation du climat, prévention d'inondations, contrôle de l'érosion, pollinisation ou récréotourisme). Une seconde étape cherche à identifier quels sont les services écosystémiques qui ont le plus de potentiel pour intégrer l'action publique dans la région.

Ces résultats permettront de reconnaître l'ensemble des services qui sont rendus par le capital naturel, ainsi que de comprendre leur importance en termes de services publics et de qualité de vie citoyenne. La quantification économique de ces services permettra ensuite de fournir de nouveaux indicateurs pour l'aménagement du territoire. En effet, ces mesures monétaires pourront être utilisées dans les processus types de prise de décisions, telles que les analyses coûts-avantages. À l'instar d'autres villes du Québec et du Canada, ces indicateurs pourront être utilisés pour une réflexion sur la mise sur pied de nouveaux programmes et incitatifs pour la protection du patrimoine naturel en zone urbaine dans un contexte de changements globaux. Finalement, les résultats permettront d'alimenter la planification de la Trame verte et bleue métropolitaine.

2. Les milieux naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale sur la gestion intégrée du Saint-Laurent

Le territoire de la CMQ couvre au total 3 340 km^2 et comprend 28 municipalités situées dans cinq municipalités régionales de comté (MRC), soit celle de la Ville de Lévis, l'Agglomération de Québec et les MRC de La Côte-de-Beaupré, de L'Île-d'Orléans et de La-Jacques-Cartier. Afin de considérer également le territoire couvert par la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent – Zone de Québec (TCRQ), cette étude inclut également trois municipalités situées sur la rive sud du Saint-Laurent dans la MRC de Bellechasse. Il s'agit de Beaumont, Saint-Michel-de-Bellechasse et Saint-Vallier (Figure 1). D'un point de vue régional, le territoire d'étude recoupe en partie les régions administratives de Chaudière-Appalaches et de la Capitale-Nationale.

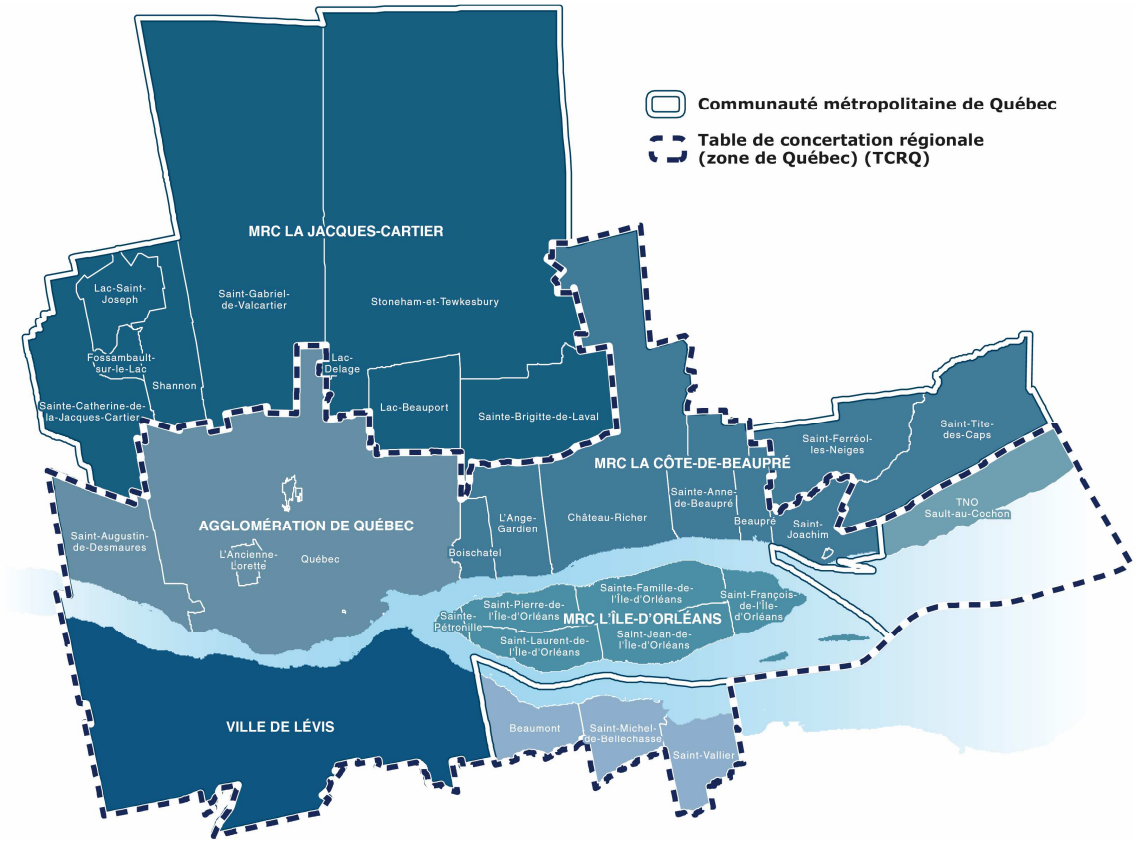


Figure 1. Carte des territoires inclus dans l'analyse du capital naturel de la CMQ et de la Table de concertation régionale sur la gestion intégrée du Saint-Laurent - Zone du Québec (TCRQ)

À l'intérieur de ses limites, le territoire à l'étude comprend des paysages naturels riches et complexes. Il couvre les deux côtés du fleuve Saint-Laurent, des sections de dix principaux bassins versants (Figure

2) et s'étend sur deux biomes naturels : les Laurentides méridionales au nord et les basses terres du Saint-Laurent au sud (MELCC 2018). Cette unicité se reflète dans la diversité des types de paysages, de l'utilisation des terres et de la biodiversité que l'on retrouve sur le territoire d'étude. Les montagnes laurentiennes qui caractérisent la partie nord du territoire d'étude forment la partie sud du Bouclier canadien, l'une des plus anciennes formations rocheuses au monde. Cette formation, issue de l'ère précambrienne, a été façonnée par de multiples glaciations qui ont transformé les montagnes en leur forme actuelle. Composés de roches ignées exposées, les secteurs des MRC de la Jacques-Cartier et de la Côte-de-Beaupré sont généralement recouverts d'une fine couche de sol et forment une zone de transition entre les forêts de feuillus au sud et les forêts de conifères plus mixtes au nord. Ces écosystèmes forestiers constituent un habitat important pour de nombreuses espèces, y compris les grands mammifères tels que l'orignal, le cerf de Virginie et l'ours noir, ainsi que pour de nombreuses espèces d'oiseaux, de reptiles et de petits mammifères. Ils sont également des régulateurs importants du climat et de l'approvisionnement en eau. En raison de la topographie montagneuse, ce secteur reçoit les plus hauts niveaux de précipitations annuelles du territoire d'étude, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 1 300-1 440 mm (pour les années 2000 à 2015) (Ministère des Ressources Naturelles Canada 2015). Ces précipitations contribuent à l'hydrographie des nombreux lacs et rivières de la rive nord du territoire d'étude, constituée de trois grands lacs d'importance régionale: le lac Saint-Charles, le lac Saint-Joseph et le lac Beauport, ainsi que de 4 rivières principales : la Jacques-Cartier, la Montmorency, la Saint-Charles et la Sainte-Anne, qui transportent les eaux du sud des Laurentides et se jettent dans le fleuve Saint-Laurent.

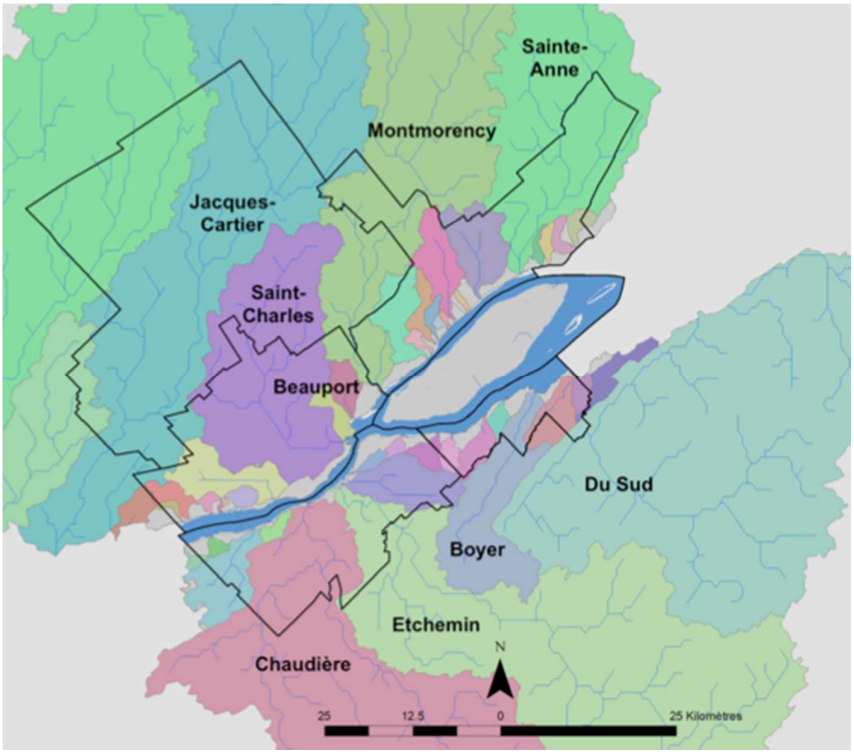


Figure 2. Carte des bassins versants principaux dans la CMQ

Sur la rive sud du territoire d'étude, les basses terres du Saint-Laurent se sont formées au cours de la dernière période glaciaire, suite au retrait des glaciers et à la formation de la mer de Champlain. Elles

se caractérisent par un paysage bas et plat avec de profonds dépôts de sol fertile, ce qui en fait l'une des régions agricoles les plus importantes et les plus productives du Canada. À l'origine, ce paysage était recouvert d'une forêt mixte de feuillus dominée par des érables. Aujourd'hui, la plus grande partie de cette forêt a été défrichée pour l'agriculture alors que les zones forestières qui demeurent se situent dans les zones humides et leurs alentours. Historiquement, les terres agricoles étaient consacrées à la gestion extensive des pâturages, des prairies et des cultures pérennes, ainsi que du blé et de l'avoine (Statistique Canada 2001). Cependant, de plus en plus d'agriculteurs remplacent ces cultures et pâturages par des cultures de maïs et de soja, ce qui modifie le caractère de ces paysages agropastoraux (Statistique Canada 2016) et leur impact sur la biodiversité et les écosystèmes hydrologiques. Les secteurs de Lévis et de la MRC de Bellechasse se situent à l'embouchure de trois grandes rivières qui coulent vers le nord dans le fleuve Saint-Laurent : la Chaudière et l'Etchemin qui drainent les grands bassins versants agricoles, ainsi que la plus petite rivière Boyer. Au cours des dernières décennies, la qualité de l'eau dans ces rivières a diminué (Patoine 2017), en partie à cause de l'intensification des pratiques agricoles dans ces bassins versants.

Les complexes de zones humides sont des éléments écologiques importants à la fois sur les rives sud et nord, occupant au total 8,8 % du territoire d'étude. Ces écosystèmes se trouvent principalement à Lévis et à l'île d'Orléans, où ils occupent respectivement 22 % et 11 % de ces secteurs (Conservation de la Nature 2015). Ils sont importants pour contrôler les niveaux d'eau, réguler le climat et soutenir la biodiversité. Les zones humides sont des habitats importants pour de nombreuses espèces menacées et migratrices, en particulier le long des rives du Saint-Laurent, où plus de 270 observations d'espèces menacées ainsi qu'une importante population d'oies des neiges ont été enregistrées (Conservation de la Nature 2015). Afin de protéger et de mettre en valeur les nombreux écosystèmes, plusieurs parcs nationaux, réserves de biosphère et zones protégées couvrant plus de 32 000 ha (12 %) du territoire ont été mis en place (Conservation de la Nature 2015). Ceux-ci sont essentiels pour protéger les espèces emblématiques et menacées, pour préserver la fonction écologique du territoire et pour offrir des possibilités de loisirs et de tourisme en plein air.

Dans cette étude, nous évaluons la contribution et la valeur du capital naturel des cinq écosystèmes dominants suivants : forêts et boisés, milieux humides, milieux agricoles, friches et écosystèmes aquatiques répartis sur le territoire. Nous distinguons leur contribution entre les zones rurales et les zones urbaines (celles-ci délimitées selon les définitions de Statistique Canada du recensement de 2016 (Statistique Canada 2017*a*)), dans la mesure où la plus grande demande pour de nombreux services se situe dans les centres urbains.

2.1. Description socioéconomique de la zone d'étude

Le territoire d'étude comprend le territoire de la CMQ et des trois municipalités de Bellechasse riveraines au fleuve, sur la rive sud. La CMQ comprend la capitale du Québec, la Ville de Québec, la deuxième plus grande ville de la province. En 2016, la CMQ comptait une population totale de 791 892 habitants, dont 72 % habitaient l'agglomération de Québec (CMQ 2018). La CMQ est une région métropolitaine dynamique qui attire sans cesse de nouveaux résidents de la province et du monde entier. On prévoit d'ailleurs que la population augmentera de 9 à 12 % pour atteindre près de 900 000 personnes d'ici 2031, en grande partie grâce à l'immigration locale et internationale (ISQ 2014). Cependant, à l'instar d'autres régions du Québec et du Canada, la CMQ est confrontée au défi du

vieillissement de la population et de la main-d'œuvre. Depuis 2001, la taille de la population âgée de moins de 15 ans est restée stable à environ 15 %, mais la proportion de la population âgée de plus de 65 ans est passée de 14,5 % en 2001 à 19,3 % en 2016 (CMQ 2018). D'ici 2036, on s'attend à ce que la population de plus de 65 ans atteigne 37 %, la cohorte en âge de travailler (20 à 64 ans) ne représentant que 54 % de la population (ISQ 2014).

En 2016, 431 960 personnes occupaient un emploi actif au sein de la CMQ (CMQ, 2018). Le taux de chômage étant resté stable autour de 4,6% depuis 2006 (CMQ 2018), un chiffre légèrement inférieur à la moyenne provinciale de 5,4 %, et à la moyenne canadienne de 5,8 % pour l'année 2018 (Statistique Canada 2019). L'économie est fortement axée sur les services de base qui représentent 88,6 % du PIB (ISQ 2017), dont l'administration publique (13,4 %), les secteurs de la santé et des services sociaux (14,6 %) et le commerce de détail (12,7 %) étaient les principaux employeurs du CMQ en 2016, tandis que les entreprises de transformation secondaire employaient un peu plus de 10 % de la main-d'œuvre et les secteurs primaires de l'agriculture et des industries environ 1 % de la force de travail (CMQ 2018).

La MRC Bellechasse, dont les trois municipalités de la Table de concertation régionale du bas Saint-Laurent (Beaumont, Saint-Michel-de-Bellechasse et Saint-Vallier) font partie, est localisée dans la région administrative de Chaudière-Appalaches. En 2011, la population de la MRC Bellechasse comptait 35 318 personnes, dont 2 420 à Beaumont, 1 819 à Saint-Michel et 1 046 à Saint-Vallier (MRC de Bellechasse 2015). L'âge médian de la population de la MRC Bellechasse (44,8 ans) se situe au-dessus des moyennes régionales (43,1 ans) et provinciales (41,4 ans). Malgré cela, d'ici 2026, la MRC prévoit une croissance de la population à 43 621 personnes (Plan stratégique de développement de la MRC Bellechasse 2015) marquée par une augmentation notable de 23,8 % à Beaumont et 15,9 % à Saint-Michel, et une légère diminution de -1,1 % à Saint-Vallier.

Selon le Plan stratégique de développement de la MRC Bellechasse 2015-2019 (MRC de Bellechasse 2015), en 2011 il y avait un total de 14 790 travailleurs âgés de 25 à 64 ans. Par ailleurs, depuis 2006, la MRC Bellechasse a connu une diminution de son taux de chômage de 4,1 % à 3,5 % en 2011. La plupart de la population en emploi était engagée dans le secteur tertiaire (53,9 %) essentiellement dans le commerce de détail, le transport et l'entreposage, de même que dans le secteur primaire (31,8 %), principalement dans la production agricole et la foresterie. Seulement 14,3 % des travailleurs occupaient le secteur secondaire de transformation de matières primaires.

2.2. Perspectives sur l'aménagement du territoire

À l'heure actuelle, le territoire à l'étude fait face à un nombre croissant de défis relatifs à la gestion de sa biodiversité et de ses écosystèmes. Les pressions des changements globaux se cristallisent à l'échelle locale et demandent une réponse des pouvoirs publics, notamment sur les questions de changements climatiques, de l'apparition d'espèces invasives et de la transformation des milieux naturels. Dans le dernier cas, l'ampleur et le rythme du développement urbain se sont accélérés au cours des cinquante dernières années, particulièrement autour de la Ville de Québec (Nazarnia et al. 2016). Ceci a entraîné la conversion des forêts et des milieux humides, et la perte de terres agricoles productives pour construire des zones résidentielles et industrielles.

En termes de changements climatiques, ceux-ci devraient entraîner une plus grande variation et une plus grande intensité des précipitations, tout comme une hausse des vagues de chaleur (Logan, 2016). De nombreux ravageurs menacent également l'intégrité écologique et le fonctionnement des écosystèmes. L'exemple le plus récent est l'agrile du frêne, un insecte envahissant venu d'Asie, apparu sur le territoire d'étude récemment et qui décimera vraisemblablement la population de frênes non traités au cours des prochaines années. Ceci entraînera une perte importante de la canopée urbaine, laquelle offre de nombreux services écosystémiques tels que le contrôle des eaux de ruissellement, l'amélioration de la qualité de l'air et la lutte contre les effets néfastes des îlots de chaleur (Logan 2016).

En réponse à ces défis, la CMQ a entrepris une série d'activités de recherche et de consultation pour mieux comprendre la dynamique du territoire et, en concertation avec les municipalités sises sur le territoire, a élaboré des plans d'action stratégiques harmonisés pour le développement régional et la gestion des ressources. Le plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD) constitue la pierre angulaire de cette stratégie d'orientation du développement de la CMQ pour l'horizon 2012-2031 (CMQ, 2012). Au cœur de ce plan (i.e. stratégies 7 et 12), le PMAD reconnaît l'importance des ressources naturelles et agricoles sur son territoire, et de leur gestion de manière à assurer leur pérennité. Il reconnaît l'importance de la valeur des paysages historiques et patrimoniaux (i.e. stratégies 8 et 9), ainsi que l'enjeu croissant de l'expansion urbaine (i.e. stratégie 11). De plus, le PMAD est harmonisé avec les plans de développement de la zone agricole (PDZA) par la stratégie 7, qui vise à mettre l'agriculture au cœur de la qualité de vie de ses résidents. La stratégie 8 encadre quant à elle le déploiement d'une trame verte et bleue sur le territoire de la CMQ pour protéger la qualité des habitats naturels importants, des espaces patrimoniaux et des sites d'intérêt pour le récréotourisme.

La Table de concertation régionale de la zone de Québec (TCRQ) est une des douze tables de concertation régionales (TCR) établies pour la mise en œuvre de la Gestion intégrée du Saint-Laurent (GISL). Ces organismes sont des entités permanentes et autonomes chargées de rallier tous les intervenants concernés autour d'un plan de gestion intégré régional. Leurs mandats incluent l'élaboration, la coordination de la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation du plan de gestion intégrée régional (PGIR) pour les ressources d'eau. La TCRQ, sous la coordination de la CMQ, a créé un plan d'action en 2017 visant notamment à améliorer la qualité de l'eau du fleuve et l'accès public aux milieux naturels aux abords du Fleuve (TCRQ, 2017). Au cœur de ce plan d'action se trouve la notion de services écosystémiques qui permet d'orienter les priorités d'action vers la mise en valeur des écosystèmes sur le territoire.

Au-delà du PMAD et du PGIR, des politiques et lois nationales encadrent également l'aménagement du territoire de la CMQ et de la TCRQ. La politique nationale de l'eau (2002) établit que l'eau constitue un élément essentiel du patrimoine collectif des Québécois(es), encadre la protection des sources d'eau et encourage une gestion intégrée par bassins versants dans une perspective de développement durable. Tout récemment, le Gouvernement du Québec a lancé la nouvelle Stratégie québécoise sur l'eau (2018-2030) qui prend le relais de la Politique nationale pour guider le développement des ressources aquatiques. De plus, la Loi 132 sur la conservation des milieux humides et hydriques est entrée en vigueur en 2018 pour encadrer la gestion de ces écosystèmes. Cette loi pose le principe d'aucune perte nette des écosystèmes à travers un processus formalisé pour la restauration ou la création de nouveaux milieux humides et hydriques pour compenser les pertes inévitables.

3. Méthodologie

La méthodologie de cette étude est inspirée de celle développée par Troy et Wilson (2006) pour la cartographie et l'évaluation économique des services écosystémiques. Celle-ci fut notamment reprise pour les études du capital naturel du Grand Montréal (Dupras et al. 2015*a*) et de la région Ottawa-Gatineau (Dupras et al. 2016). Cette approche repose sur une suite de cinq étapes, ici adaptées au contexte de la CMQ. Ces cinq étapes sont : 1) la définition de la zone à l'étude et le portrait socio-économique de la région, 2) la classification et la cartographie de l'usage du sol et le calcul des flux de services écosystémiques, 3) l'évaluation économique des services écosystémiques, 4) le calcul de la valeur totale des services écosystémiques et leur classification par couverture du sol, et 5) l'analyse spatiale de la valeur des services écosystémiques en fonction des caractéristiques géographiques de la zone étudiée (Figure 3). Les prochaines sous-sections présentent en détail les étapes 2 et 3 de la démarche qui représente le coeur de l'analyse.

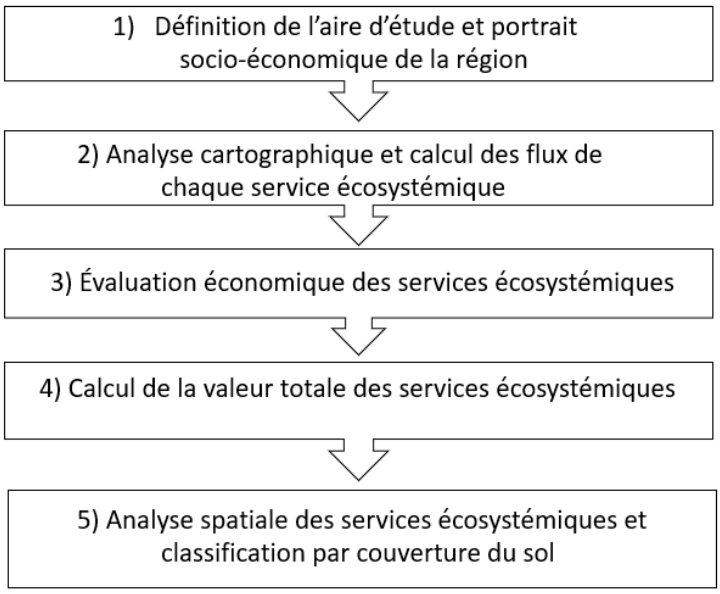


Figure 3. Cadre méthodologique retenu pour l'évaluation économique des services écosystémiques

3.1. Sélection des services écosystémiques

Une analyse préliminaire de trois systèmes de classification des services écosystémiques nous a permis d'identifier les services propices à une évaluation en milieu urbain et périurbain, soit celles du *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA 2005), de *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB 2010) et de *The Common International Classification of Ecosystem Services* (European Environmental Agency, 2018). Deux études locales, menées dans les régions métropolitaines de Montréal et d'Ottawa/Gatineau et présentant des contextes socioécologiques similaires à la CMQ et à la TCRQ, ont aussi été utilisées pour réaliser la sélection des services écosystémiques (Dupras et al. 2015*a*, 2016).

Après une lecture transversale de ces sources, combinée à l'analyse des données utilisées pour cette étude, 15 services écosystémiques ont été sélectionnés pour une évaluation économique sur le territoire de la CMQ et la TCRQ (Tableau 1). Les services écosystémiques peuvent être classés en trois principaux types de services : 1) services d'approvisionnement, fournissant aux populations locales des biens directement consommables ou échangeables sur les marchés économiques; 2) services de régulation et de soutien, basés sur des processus écologiques offrant des services bénéfiques pour la société, et 3) les services culturels qui englobent le large éventail des avantages esthétiques, culturels, spirituels, récréatifs et patrimoniaux que les personnes tirent de la nature (MEA 2005).

Tableau 1. Liste des services écosystémiques évalués sur le territoire d'étude

Classe de services	Service	Définition	Bénéfices
Approvision-nement	Production agricole	La production et la récolte de produits végétaux comestibles sur les terres agricoles	L'approvisionnement en nourriture pour l'alimentation humaine
	Production forestière ligneuse et non ligneuse	L'approvisionnement de produits provenant des écosystèmes forestiers	L'approvisionnement en bois et en produits acéricoles pour la construction et l'alimentation
	Approvision-nement en eau	Approvisionnement en eau des communautés	L'approvisionnement en eau pour répondre aux besoins humains
Régulation et de soutien	Régulation du climat	La séquestration du carbone organique par la végétation arborée Le stockage du carbone organique dans la biomasse végétale et du sol	Lutte aux changements climatiques, réduction des dommages dus aux conditions météorologiques extrêmes
	Qualité de l'air	Élimination des polluants atmosphériques nocifs par dépôt et absorption par les plantes	Amélioration de la qualité de l'air; réduction de l'impact sur la santé respiratoire
	Contrôle biologique	Réduction des espèces envahissantes et nocives	Réduction de l'impact des espèces nocives pour les communautés indigènes, la santé et l'agriculture
	Contrôle de l'érosion	La quantité de sédiments retenus par la végétation qui serait autrement emportée par les précipitations sur un sol nu	Amélioration de la qualité de l'eau; réduction du taux de sédimentation; qualité d'entretien du sol
	Prévention des inondations	La régulation des dépits d'eau par la végétation	Réduction de la fréquence et sévérité des inondations; réduction en dommages associés
	Traitement des polluants	Le coût de traitement de l'azote et du phosphore capturés par la végétation pénétrant dans l'écosystème aquatique	Amélioration de la qualité de l'eau; réduction de l'eutrophisation des masses d'eau
	Cycle des nutriments	Le processus de décomposition, de minéralisation ou de fixation des nutriments dans le sol et leur apport aux plantes	Amélioration de la fertilité du sol et de la croissance des plantes
	Habitats favorisant la biodiversité	La protection ou la création d'un habitat pour les espèces fauniques et floristiques	Fonctions écologiques continues ou sont améliorées; possibilités d'observation de la faune
	Pollinisation	L'augmentation de la production agricole résultant de la pollinisation	Augmentation de la production de fruits et légumes, qualitative et quantitative
Culturels	Récréotourisme	Possibilités de loisirs, de tourisme ou d'activités de plein air dans la nature	Amélioration de la santé; sentiment de bien-être; spiritualité
	Esthétisme du paysage	Appréciation du paysage	Visualisation et appréciation du paysage; inspiration pour l'art

3.2. Analyse spatiale

Pour un certain nombre de services écosystémiques sélectionnés, des modèles spatialement explicites de la boîte à outils InVEST[1] (évaluation intégrée des services écosystémiques et des arbitrages) ont été utilisés pour estimer le stockage et les flux annuels de services. Le **stockage** fait référence à la quantité totale d'un bien ou service d'un écosystème, tandis que le **flux** se réfère au montant d'un service fourni dans le temps, et dans ce cas, sur une base annuelle. Le logiciel inVEST a été appliqué aux bassins versants du territoire d'étude pour évaluer la fourniture et la valeur économique de cinq services écosystémiques fournis aux populations locales. Les dix autres services écosystémiques ont été évalués en vertu de la superficie occupée par les écosystèmes générant ces services. Pour les quantifier, trois méthodes de quantification économiques ont été utilisées. Elles sont décrites à la section 3.3.

Les modèles utilisés s'appuient sur des équations de fonction de production pour simuler des processus physiques et biophysiques à travers les paysages (Tallis et al. 2013, Sharp et al. 2018), et les traduire en fourniture de services écosystémiques aux populations locales selon l'approche conceptuelle de Haines-Young et Potshin (2010). Ces outils intègrent des données sur la topographie, le climat, les types de sols, la couverture terrestre et la gestion des terres pour estimer où et à quel niveau un service est produit dans un paysage. En prenant en compte les connexions en amont et en aval des bassins versants, ainsi que l'interaction entre les différents types de couvertures terrestres, ces modèles spatialement explicites permettent une compréhension plus détaillée des processus complexes qui conduisent à la production de services écosystémiques. Nous utilisons ces modèles pour estimer les cinq services suivants : le stockage et la séquestration du carbone, l'approvisionnement en eau, le contrôle de l'érosion, ainsi que les rendements agricoles dus aux services de pollinisation pour 70 classes d'utilisation des sols. L'ensemble de ces catégories d'utilisation du sol ont été regroupées en 16 classes d'utilisations des sols pour faciliter la présentation dans les cartes qui suivent.

[1] https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/

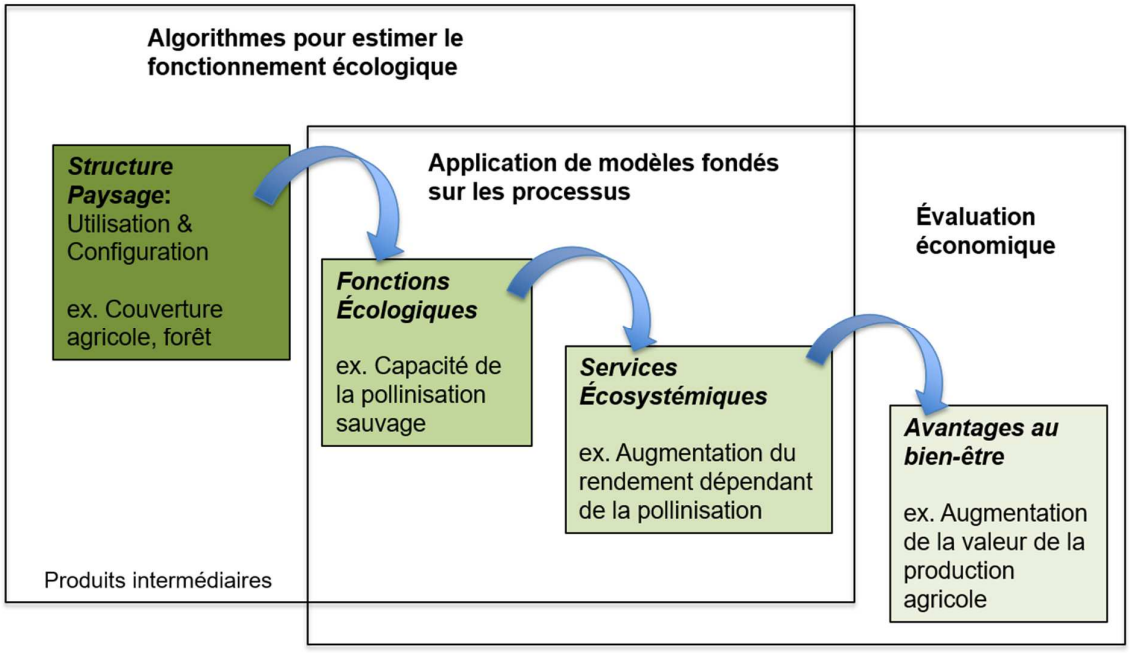


Figure 4. Diagramme conceptuel de la quantification des services écosystémiques (adapté de Haines-Young et Potshin, 2010)

Ces modèles s'appuient sur de grandes quantités de données pour évaluer avec précision la fourniture de services écosystémiques (Tableau 2). Pour ce faire, nous avons utilisé la carte d'utilisation des sols du MELCC (Bissonnette et Lavoie 2015) qui possède une résolution de 30 mètres comme base de la modélisation des services écosystémiques. Dans cet ensemble de données, nous détaillons davantage la localisation des zones humides (Canards Illimités Canada et al. 2014) et des friches (communication personnelle, CMQ). Nous complétons également les classes d'utilisation des terres urbaines grâce au jeu de données sur l'utilisation des sols du PACES (communication personnelle, CMQ).

Nos modèles de services hydriques (c.-à-d. approvisionnement en eau et contrôle de l'érosion) ont été combinés aux données des caractéristiques des sols du Pedo-Paysage Canada (2010) et de la base de données mondiale harmonisée sur les sols (Hengl et al. 2017), sur la fraction d'eau disponible aux plantes et la profondeur de la zone d'enracinement avec les taux d'épandage recommandés par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ 2016), ainsi que les valeurs annualisées des coefficients de récolte (K_c) de la FAO (1998). Nous avons utilisé des données climatiques sur les précipitations annuelles moyennes de Worldclim.org (Fick et Hijmans 2017), la couche d'érosivité globale ERDAS (Panagos et al. 2017) et la base de données mondiale CGIAR-CSI pour l'évapotranspiration potentielle (Zomer et al. 2007, 2008).

Pour calculer les valeurs de stockage total du carbone sur le territoire, nous avons combiné les données sur le carbone en surface et dans le sol. Les estimations du carbone des forêts en surface ont été calculées à partir des valeurs du Système d'information écoforestière du MFFP (2015), de la base de données mondiale sur la densité du bois (Zanne et al. 2009) et des équations allométriques spécifiques aux espèces d'arbres du Canada (Lambert 2005). Les estimations pour les autres types de couvertures ainsi que les ratios de biomasse racines étaient basés sur les valeurs de l'évaluation du

GIEC de Ruesch et Biggs (2008). Nous avons utilisé les données de stockage de carbone dans le sol provenant de la base de données mondiale harmonisée sur les sols (Hengl et al. 2017). À la différence des études de ce type réalisées à Montréal et Ottawa/Gatineau qui ont évalué seulement le carbone stocké dans les arbres, la présente quantification intègre également le stockage de carbone dans le premier mètre de sol. Cela explique l'obtention de valeurs supérieures à celles estimées dans ces autres études.

Tableau 2. Liste de données utilisées pour la caractérisation du territoire et la modélisation de cinq services écosystémiques avec la boîte à outils InVEST

Application	Données	Nature des données	Sources
Caractérisation du territoire	• Cartes utilisation des sols	Spatiale (30m)	Bissonnette et Lavoie (2015)
	• Cartes des milieux humides	Spatiale (vectorielle)	Canards illimités Canada et al. (2014)
	• Cartes des friches	Spatiale (30m)	CMQ (communication personnelle)
	• Données numériques de terrain	Spatiale (20m)	Ministère des Ressources Naturelles Canada (2015)
Approvision-nement en eau et contrôle de l'érosion	• Précipitations annuelles moyennes	Spatiale (1km)	Fick et Hijmans (2017)
	• Erosivité des précipitations	Spatiale (1km)	Panagos et al. (2017)
	• Évapotranspiration potentielle	Spatiale (1 km)	Zomer et al. (2007, 2008)
	• Réseau hydrographique	Spatiale (vectorielle)	Ressources Naturelles Canada (2018)
	• Caractéristiques des sols	Spatiale (vectorielle)	Pedo-Paysage Canada (2010)
	• Bassins versants	Spatiale (vectorielle)	Lehner et al. (2013)
	• Fraction d'eau disponible aux plantes	Spatiale (450m)	Hengl et al. (2017)
	• Profondeur de la zone d'enracinement	Spatiale (450m)	Hengl et al. (2017)
	• Guide de référence des fertilisants	Tableaux	CRAAQ (2016)
	• Coefficients de récolte (K_c)	Tableaux	FAO (1998)
Stockage et séquestration du carbone	• Système d'information écoforestière	Spatiale (vectorielle)	MFFP (2015)
	• Densité du bois	Tableaux	Zanne et al. (2009)
	• Équations allométriques	Équations	Lambert (2005)
	• Ratios de biomasse racines : tiges	Équations	Ruesch et Biggs (2008).
	• Carbone du sol	Spatiale (450m)	Hengl et al. (2017)
Rendements agricoles (Pollinisation)	• Listes d'espèces	Tableaux	Normandin et al. (2017)
	• Distance de vol	Équation	Greenleaf et al. (2007)
	• Guide d'identification et de gestion des pollinisateurs et des plantes mellifères	Livre	CRAAQ (2014)
	• Schémas de plantation des cultures assurées	Spatial (vectorielle)	FADQ (2015a)
	• Rendements moyens par culture pour la région	Tableaux	FADQ (2015b), Samson (2007), Clement (2010), Lajeunesse et Pilote (2016), MAAARO (2017)

Enfin, pour estimer les avantages des rendements des cultures dus à la fréquentation par les espèces de pollinisateurs sauvages, nous avons utilisé la liste des espèces présentes, leur abondance relative et les caractéristiques spécifiques à l'espèce fournies par Normandin et al. (2017) et Greenleaf et al. (2007). Ces références permettent d'identifier les pollinisateurs communs dans la région et estimer leurs distances de vol. Ces données ont été couplées avec les descriptions du Guide d'identification et de gestion des pollinisateurs et des plantes mellifères (CRAAQ 2014) pour caractériser les préférences locales en matière de recherche de nourriture et de nidification pour chaque espèce. Nous avons combiné des données sur les pollinisateurs avec des informations sur les schémas de plantation des cultures sur le territoire d'étude (FADQ 2015a) et les niveaux de dépendance des cultures à la pollinisation de Klein et al. (2007) pour prédire la proportion de rendement des cultures résultant de

la visite des pollinisateurs dans chacun des champs. Nous avons utilisé les rendements moyens des cultures de référence de la FADQ (2015b) ainsi que d'autres sources régionales (Samson 2007, Clement 2010, Lajeunesse et Pilote 2016, MAAARO 2017) pour estimer la production agricole totale résultant des services de pollinisation.

En ce qui a trait aux autres services écosystémiques, les résultats de l'analyse cartographique de caractérisation du territoire d'étude ont été utilisés pour estimer les flux de services en fonction de la provision de services issus de la littérature scientifique sur le sujet.

3.3. Analyse économique

Les méthodologies d'estimation des valeurs de flux de services écosystémiques qui ont été utilisées dans cette étude sont les méthodes de prix de marché, de coût de remplacement et de transfert de bénéfices. Elles ont été choisies en fonction de la disponibilité des données dans la littérature scientifique ainsi que dans les bases de données sur le territoire d'étude.

La méthodologie des **prix de marché** estime la valeur de ce que les consommateurs sont prêts à payer pour profiter du service produit ou encore les coûts que les consommateurs sont prêts à payer pour éviter une situation de perte de services lorsque les écosystèmes se voient détériorés (Dupras et Revéret 2015). Le recours à cette méthode nécessite l'existence de marchés réels pour les biens et services évalués. Ainsi, elle a été utilisée pour estimer la valeur de la production agricole et acéricole, la production ligneuse et les activités récréotouristiques.

Pour la production agricole, nous avons recueilli et analysé les données disponibles dans les bases de données du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) pour obtenir la rente réelle découlant de la production, de la récolte et de la vente de biens alimentaires récoltés sur le territoire du Québec en 2015, et ce, en tonnes par hectare et par année pour chacune des récoltes exploitées sur le territoire d'étude selon les données disponibles de la Financière Agricole du Québec (FADQ) entre 2015 et 2017.

Pour la production ligneuse, le calcul de la valeur économique se base sur les données issues du rapport annuel du Syndicat des producteurs privés de Québec qui estime la vente de bois aux usines (SPFRQ 2017). Pour la production non ligneuse, l'évaluation de la valeur économique des produits acéricoles se base sur les données du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) sur le nombre d'entailles par MRC et leur production moyenne en 2017. Ces données ont été couplées avec les données de la Fédération des producteurs acéricoles du Québec sur le prix moyen du sirop d'érable en 2017 (FPAQ 2017).

Pour le récréotourisme, le calcul de la valeur économique se fonde sur deux sources de données publiées dans le rapport annuel de la SÉPAQ en 2017, où est estimé le nombre de journées-visite par parc pour l'année 2015-2016, ainsi que la marge de profit pour 2017 concernant les établissements de la SÉPAQ faisant partie du territoire de la CMQ. Également, la valeur des services récréotouristiques dans les milieux agricoles a été estimée grâce aux revenus procurés par la vente des activités d'agrotourisme dans la région de la CMQ.

La méthode des **coûts de remplacement** se réfère aux coûts liés à la mise en place d'une alternative de construction humaine capable de générer les mêmes flux de services que le milieu naturel, dans un contexte où ce milieu naturel serait érodé ou perdu (Brulotte et al. 1995). Les services de séquestration de carbone et de contrôle de l'érosion ont été estimés par cette méthode.

Pour les services de séquestration de carbone, nous avons relevé la valeur du coût social du carbone de 2016 calculé par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC 2016). Cette valeur est exprimée en termes de coût par tonne de dioxyde de carbone émise. Nous avons alors ajusté cette valeur en dollars de 2017 et l'avons multipliée en fonction des flux annuels de service de séquestration et de stockage de carbone obtenu par l'estimation du logiciel InVEST lors de l'étape de l'analyse spatiale.

Tableau 3. Liste des données et méthodes utilisées pour le calcul de la valeur des services écosystémiques

Service écosystémique	Données	Méthode	Sources
Production agricole			
➢ Produits alimentaires	Rendements moyens par culture pour la région	Prix de marché (Revenus annuels)	CRAAQ (2017), FADQ (2015), FADQ (2016), FADQ (2017) Samson (2007), Clement (2010), Lajeunesse et Pilote (2016), MAAARO (2017)
Production Forestière			
➢ Produits ligneux	Production du bois Prix moyen à l'usine	Prix de marché (ventes annuelles)	(SPFRQ 2015)
➢ Produits non-ligneux (acéricoles)	Nombre et production par entaille Prix moyen par lb	Prix de marché (ventes annuelles)	MAPAQ (2017), FPAQ (2017)
Approvisionnement en eau	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al. 2015*a* ; Dupras et al. 2016
Regulation du climat	Coûts sociaux du carbone	Coûts de remplacement	ECCC (2016)
Qualité de l'air	Valeur de la réduction des polluants aériens par les forêts	Transfert de bénéfices	Hirabayashi (2014)
Contrôle biologique	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al. (2016)
Contrôle de l'érosion	Coûts de traitement liés aux changements de l'utilisation des terres	Coûts de remplacement	Fox et Dickson (1990)
Préventions des inondations	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al. 2015*a* ; Dupras et al.2016
Traitement des polluants	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al.2015*a* ; Dupras et al.2016
Cycles des nutriments	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al. 2016
Habitats favorisant la biodiversité	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al.2015*a* ; Dupras et al.2016
Pollinisation	Compris en production agricole	NA	NA
Récréotourisme			
➢ Agrotourisme	Visites et ventes moyennes annuelles par entreprise agrotouristique	Prix de marché (ventes annuelles)	MAPAQ (2017), Lemay stratégie (2016)
	Prix de droits d'entrée Visiteurs par année	Prix de marché	SÉPAQ (2017, 2018)

Service écosystémique	Données	Méthode	Sources
➢ Milieux forestiers et aquatiques	Limites des parcs	(ventes annuelles)	MERN (2017)
Esthétisme du paysage	Valeur par hectare	Transfert de bénéfices	Dupras et al. 2018

Pour les services de contrôle de l'érosion, le calcul de la valeur économique a été basé sur le coût de traitement des sédiments retenus dans les cours d'eau du territoire d'étude. Nous avons extrait la valeur d'une étude exposant les coûts de traitement liés aux changements de l'utilisation des terres dans le bassin versant de la Grande River au sud de l'Ontario (Fox and Dickson 1990). Nous avons ensuite ajusté la valeur économique pour l'année 2017 en calculant la valeur de l'inflation de 1990 à 2017.

Finalement, le **transfert de bénéfices** consiste à traiter des données secondaires, issues d'études publiées dans la littérature grise ou scientifique et à les appliquer au site ciblé (Dupras et Revéret 2015). Une recherche a été menée dans les bases de données recensant plusieurs études sur la valeur économique des services écosystémiques (p. ex. EVRI, TEV database). La sélection des études sources s'est faite selon des critères écologiques et socioéconomiques. Le transfert de la valeur commande un ajustement selon la parité de pouvoir d'achat entre le site source et le site cible, suivi d'une correction à l'inflation. Au-delà des études individuelles recensées, une base de données créée pour les études des services écosystémiques d'Ottawa-Gatineau (Dupras et al. 2016) a été utilisée. Cette méthode a été employée pour les services de l'approvisionnement de l'eau, du traitement des polluants, de la qualité de l'air, du maintien des habitats favorisant la biodiversité, du cycle des nutriments, et de l'esthétisme du paysage.

Le Tableau 3 présente la synthèse des données, méthodes et sources utilisées pour l'analyse économique.

4. Résultats

4.1. Analyse cartographique de l'utilisation des sols

La Figure 5 présente l'analyse de la couverture des sols du territoire d'étude. Au total, la CMQ et les trois municipalités riveraines de la MRC de Bellechasse couvrent près de 380 000 hectares, incluant les milieux aquatiques. Au centre de ce territoire se trouvent les grands centres urbains – les villes de Québec et de Lévis. En y ajoutant les autres municipalités, la zone urbaine, délimitées selon les définitions de Statistique Canada du recensement de 2016 (une zone urbaine est définie par une population d'au moins 1000 personnes et une densité d'au moins 400 individus par kilomètre carré, Statistique Canada 2016), recouvre environ 11 % de la superficie. Les milieux agricoles couvrent quant à eux 7,6 % du territoire et se trouvent principalement près des berges du fleuve et sur l'île d'Orléans qui font partie du biome des basses terres du Saint-Laurent où les sols sont profonds et très fertiles (MELCC 2018). En raison de leur constitution et fonction écologiques plutôt similaires, les friches ont été regroupées avec les zones arbustives, les prairies et pâturages dans une catégorie d'écosystème dominée par la végétation basse et qui recouvre 9,5 % du territoire. En général, les friches se trouvent sur les terres agricoles abandonnées, au sommet des montagnes et en dessous des lignes de transmission d'électricité.

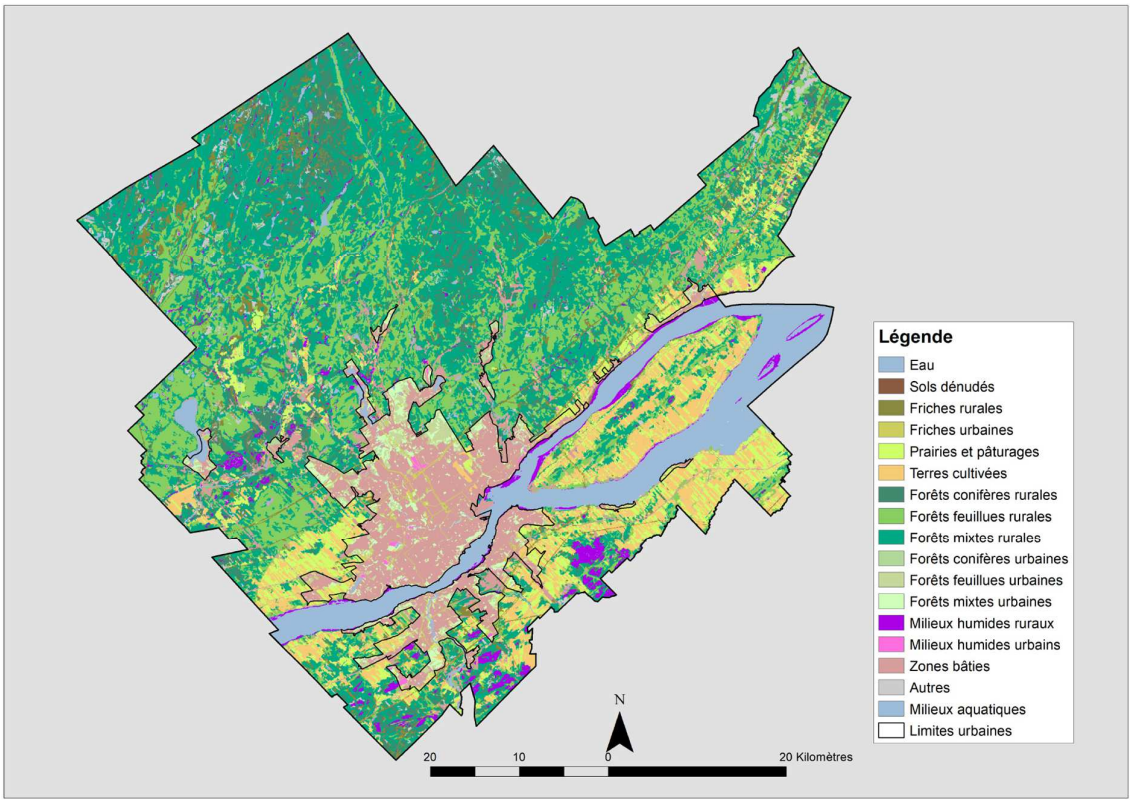


Figure 5. Répartition spatiale des écosystèmes sur le territoire d'étude selon les zones urbaines et rurales délimitées par le recensement de Statistique Canada en 2016

Au nord de la CMQ, on retrouve une vaste étendue de forêts qui recoupe les montagnes laurentiennes. Du sud au nord, on note une transition des forêts feuillues (19,2 %) à des forêts mixtes (28,1 %), vers des forêts dominées par les conifères (6,5 %) qui sont à la limite sud de la forêt boréale. Les milieux humides (8,8 %) jouent aussi un rôle important dans le paysage. De nombreux milieux humides sont dispersés en tourbières boisées dans la région montagneuse du nord et en marais aux abords du fleuve. Les grands complexes ouverts de milieux humides se retrouvent à la frontière des grandes villes (p. ex. Grande plée Bleue, Marais du Nord), influençant la structure des zones urbaines. Finalement, ce paysage est traversé par plusieurs rivières et petits lacs. De ces écosystèmes aquatiques, le fleuve Saint-Laurent est sans contredit l'élément dominant, coupant le territoire en deux et donnant son caractère unique au territoire d'étude.

Tableau 4. Analyse de la couverture des sols du territoire d'étude (2015)

Classes de couverture de sols	Superficie (ha)			
	Zone rurale	Zone urbaine	Total	%
Forêt conifère	24 235	465	24 700	6,4
Forêt mixte	101 837	5 026	106 863	27,8
Forêt feuillue	68 867	4 112	72 979	19,0
Milieux humides ouverts	7 939	611	8 550	2,2
Milieux humides fermés	22 940	2 012	24 952	6,6
Milieux agricoles	27 463	1 490	28 953	7,6
Prairies et pâturages	20 805	1 223	22 028	5,7
Friches et arbustes	15 441	2 350	17 792	4,6
Milieux aquatiques	34 314	1 381	35 695	9,3
Milieux urbains	12 675	28 841	41 516	10,8
Total	**336 516**	**47 511**	**384 028**	**100**

4.2. Les flux et les stocks de services écosystémiques

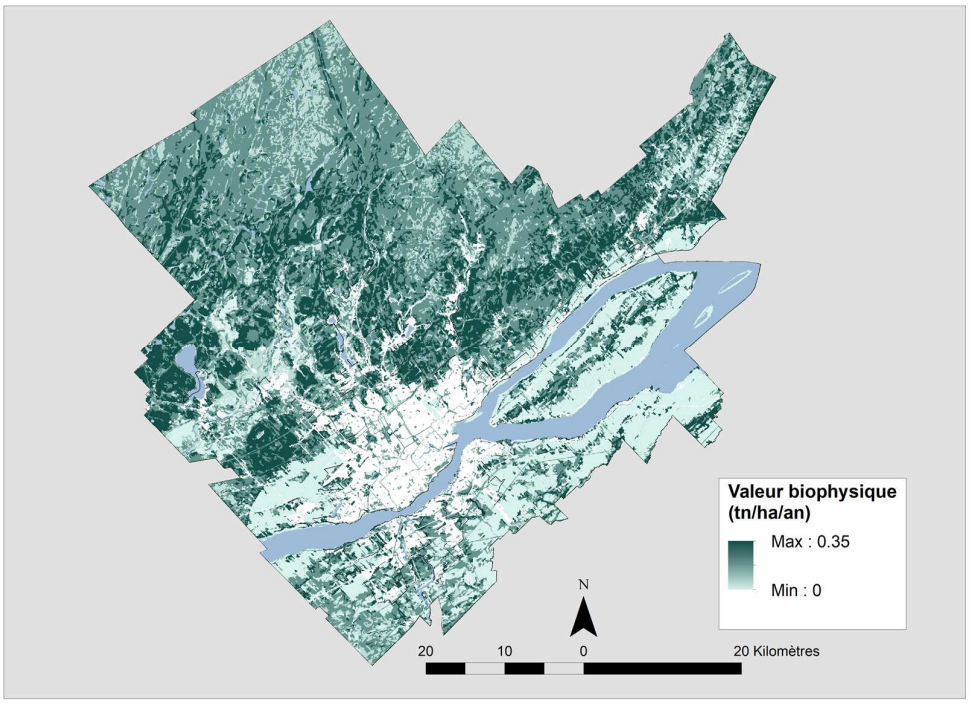
Le logiciel InVEST a été utilisé pour estimer la production des cinq services écosystémiques illustrés à la Figure 6 : stockage de carbone, séquestration du carbone, approvisionnement en eau, contrôle des sédiments et pollinisation. La séquestration du carbone est le processus par lequel le carbone dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) est incorporé dans la biomasse d'une plante durant le processus de photosynthèse. Une fois séquestré, le carbone devient parti d'un stock de carbone dans la végétation et les sols qui peut être libéré de nouveau lors de la décomposition. En termes de services écosystémiques, nous valorisons à la fois la diminution du carbone dans l'atmosphère chaque année par la séquestration (flux) et aussi la valeur des impacts négatifs évités qu'aurait générés le relâchement du carbone stocké dans les écosystèmes.

La comptabilisation de ces deux phénomènes permet donc d'avoir une idée de la valeur de l'accumulation du carbone dans la biomasse actuelle (qui correspond à la somme de la séquestration historique) de même que de la contribution additionnelle liée à la séquestration future par les arbres. Pour réduire la confusion en lien avec la valorisation de ces deux services, nous reportons les valeurs du stockage de carbone séparément dans la section 4.8.

Les estimations dérivées du logiciel InVEST sont les résultats de fonctions spatialement explicites, qui prennent en compte le lieu où se trouve une couverture de sol particulière, de sorte que les valeurs

varient au sein des mêmes écosystèmes, en fonction de l'emplacement et des utilisations des terres environnantes. Par exemple, les valeurs de pollinisation dépendent du type de culture, ainsi que de la distance qui la sépare de la parcelle d'habitat la plus proche et de la source de ressources florales la plus proche. Pour les dix autres services écosystémiques évalués dans ce rapport, nous nous basons sur des estimations uniques de la valeur économique par utilisation du sol ou par écosystème appliquées sur le territoire d'étude, bien que nous différenciions selon que ces écosystèmes se trouvent dans des zones urbaines ou rurales du paysage.

A



B

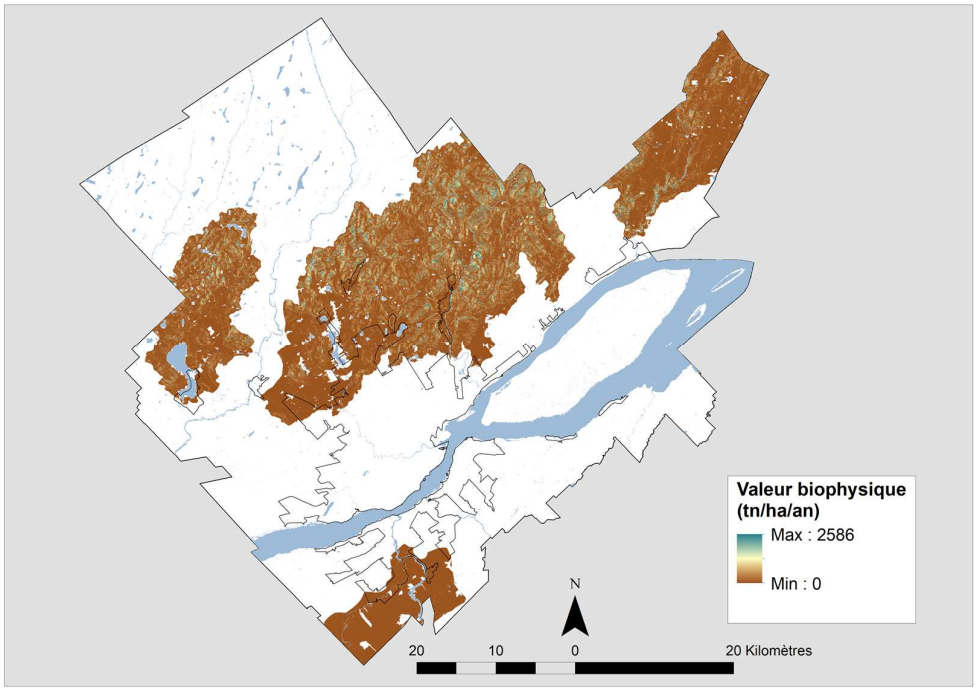


Figure 6. Illustration de la répartition de l'approvisionnement des services estimé avec le logiciel InVEST pour (a) la séquestration de carbone, et (b) le contrôle de l'érosion dans les écosystèmes en amont d'une prise d'eau.

Les services écosystémiques peuvent être classés en stocks et en flux de services. Les flux de services écosystémiques sont les avantages générés par les écosystèmes qui profitent aux populations et mesurés sur une période d'un an. Par exemple, la consommation annuelle d'eau, la consommation d'aliments agricoles, le bois utilisé dans la construction ou la prévention de problèmes de santé. En revanche, on peut penser aux stocks de services écosystémiques comme à la quantité de services disponibles dans un écosystème à un moment donné, tels que la biomasse dans les arbres, la taille des populations de poissons et d'animaux d'élevage ou la quantité de carbone stockée dans les sols. Ces stocks peuvent être exploités, ce qui les convertit en un flux de bénéfices (par exemple, la récolte de bois ou la pêche), mais ce faisant, nous réduisons la valeur de ce stock. Les stocks sont reconstitués par des processus naturels de croissance et de reproduction, mais dans certains cas, le processus est très lent. Par exemple, il faudra peut-être des années, voire des décennies, pour remplacer un poisson adulte récolté, 50 à 100 ans pour régénérer un peuplement d'arbres matures et plus de 1 000 ans pour reconstituer le carbone dans les sols. La surexploitation peut donc avoir un impact négatif sur la valeur permanente de ces stocks et sur sa capacité à fournir à long terme des avantages en termes de services écosystémiques à la population. Dans les sections 4.3 à 4.7, nous évaluons d'abord le flux des avantages des écosystèmes pour les services écosystémiques, et dans la section 4.8, nous évaluons le stock de carbone permanent qui, s'il était capturé, se reconstituerait au cours de décennies ou de millénaires, dans chaque écosystème.

4.3. Les forêts et boisés

Les forêts et boisés fournissent plusieurs bénéfices aux communautés. Les forêts sont la couverture dominante du territoire d'étude, occupant 53,2 % de la superficie, et la plupart se trouvent dans les MRC de La Jacques-Cartier et de La Côte-de-Beaupré (Figure 7). Étant à la limite sud de la forêt boréale, la couverture forestière du territoire d'étude est répartie entre les forêts de résineux (12,1 %), mixte (52,2 %), ainsi que de feuillus (35,7 %). Dans la région nord, caractérisée par la présence d'une vaste couverture forestière, le récréotourisme dans les parcs voués à la conservation et aux activités de plein air est recherché et constitue une source de revenus importante. Sur la rive sud, les pressions de l'agriculture et de l'expansion urbaine font qu'il reste aujourd'hui une plus faible proportion de couverture forestière. La majorité des forêts qui persistent dans les MRC de Lévis et de Bellechasse se retrouvent près de ou dans les milieux humides. Ces forêts en tourbière sont traitées dans la section 4.4 (milieux humides).

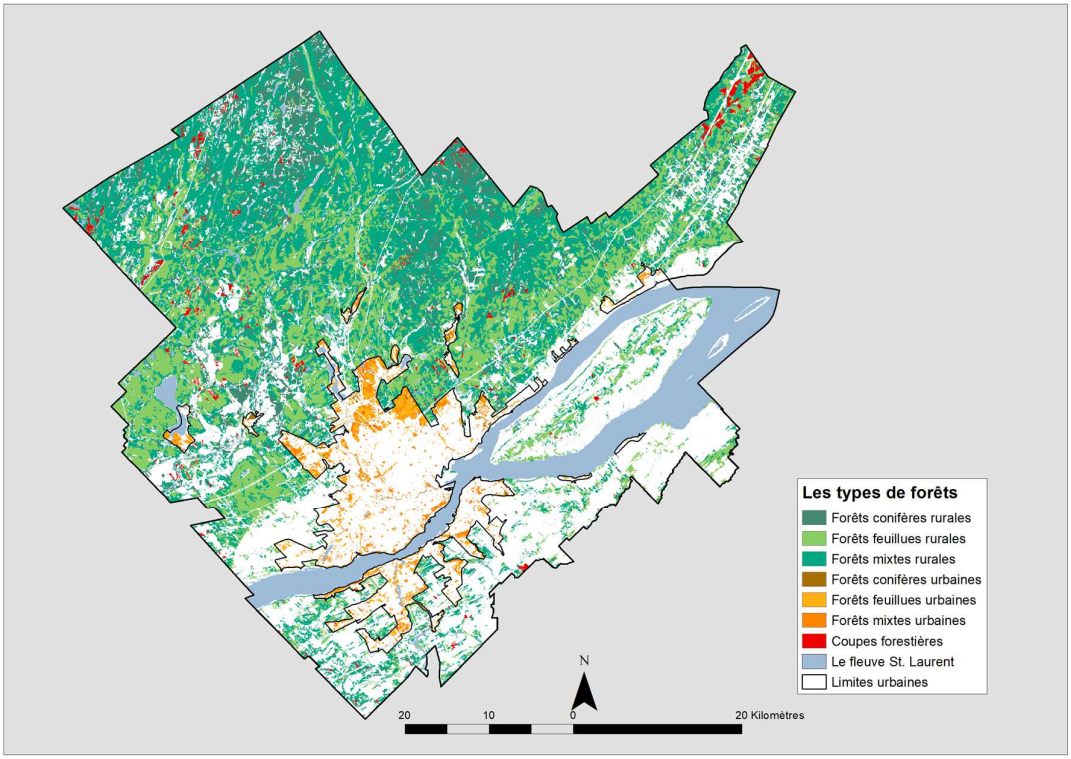


Figure 7. Répartition des forêts, des boisés et des coupes forestières sur le territoire à l'étude

4.3.1. Production forestière

Dans le territoire d'étude, la grande partie des coupes forestières a lieu sur des terres privées. En nous basant sur les données du SIEF, représentées dans notre carte d'utilisation du territoire (Figure 5), nous estimons à 2 428 ha les forêts récemment coupées (Figure 7) sur le territoire d'étude. Au cours de l'année 2017, environ 282 100 m^3 de produit ligneux ont été extraits des forêts privées pour une valeur approximative de 10,7M$, basé sur une moyenne de 38$/$m^3$. Ce montant correspond à la valeur totale reçue aux usines dans la région de la Capitale nationale (SPFRQ 2017), une région plus large que le territoire à l'étude. En nous basant sur la localisation des coupes historiques dans la carte d'utilisation des sols, nous estimons que 47 % des coupes dans le secteur rive nord et 57 % de celles de la rive sud ont eu lieu au sein du territoire d'étude. En appliquant cette répartition de coupes historiques aux données de 2017, **nous estimons que 132 000 m^3 de produit ligneux ont été extraits des forêts du territoire d'étude pour une valeur de 5.1M$/an**. Notons que ces résultats n'incluent pas les trois municipalités de Bellechasse pour cause de manque de données.

4.3.2. Approvisionnement en eau

Les écosystèmes forestiers sont importants pour l'approvisionnement et la régulation du débit d'eau. En moyenne, les résidents du Québec consomment 400 litres par personne par jour, ce qui équivaut à 146 m^3 par année à des fins domestiques, et jusqu'à 800 litres par personne par jour, ce qui équivaut à 292 m^3 par année pour les utilisations industrielles (MELCC 2018). Avec une population de près de 800 000 habitants en 2018, la CMQ présente une consommation de 235M m^3/année de ressources en eau de surface et souterraine. Outre la prise d'eau, la stabilisation des niveaux d'eau permet aussi de

fournir des habitats à la biodiversité, ainsi que des possibilités de loisirs. Au cours des dernières années, les habitants de la CMQ ont également connu des pénuries d'eau pendant les périodes sèches et des niveaux bas du lac Saint-Charles, une prise d'eau importante pour 300 000 résidents de la Ville de Québec.

Nous estimons l'approvisionnement en eau des écosystèmes comme le bilan entre la quantité d'eau provenant des précipitations annuelles moyennes moins l'infiltration des eaux dans les sols, l'eau absorbée par les plantes et l'eau évaporée directement à la surface du sol. Au total, plus de 2,42G m^3 d'eau douce par année proviennent des écosystèmes forestiers du territoire d'étude, avec 2,2G m^3 par année provenant des forêts rurales et 91,4M m^3 par année provenant des forêts urbaines, alimentant ainsi les nombreux lacs et les rivières fournissant l'eau potable. Les forêts des bassins versants de la rivière Jacques-Cartier et la rivière Saint-Charles sur la rive nord recevaient la plus grande quantité de précipitations annuelles (environ 1 600 millimètres par année) et apportent la majorité des eaux douces dans le territoire d'étude.

En nous basant sur les données des études des Ceintures vertes de Montréal (Dupras et al. 2015*b*) et Ottawa/Gatineau (Dupras et al. 2016), nous retenons une valeur de 348$/ha/an pour les forêts urbaines et 859$/ha/an pour les forêts rurales. En multipliant par la superficie des deux types de forêts, **nous obtenons une valeur de 167,5M$ par année pour les forêts rurales et de 3,3M$ par année pour les forêts urbaines**.

4.3.3. Régulation du climat

La séquestration du carbone est importante pour la régulation du climat à l'échelle globale. Le carbone séquestré dans les plantes et les sols diminue le niveau de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère, le facteur dominant du changement climatique. En termes de flux annuel, nous estimons la quantité de nouveau carbone incorporée dans la biomasse forestière chaque année par le processus de séquestration. Cette estimation a été effectuée sur la base des moyennes des taux de croissance naturels et prévus des peuplements de conifères, de feuillus et de forêts mixtes (Figure 8) par le forestier en chef du Québec (Bureau du forestier en chef 2015). D'après les estimations provenant de peuplements au Québec, les forêts de conifères séquestrent environ 0,098 tC/ha/an, les feuillus 0,31 tC/ha/an et les forêts mixtes 0,35 tC/ha/an. En appliquant ces valeurs aux forêts de la CMQ, **les forêts et boisés de la région séquestrent 61 167 tonnes de carbone chaque année, soit un équivalent de 9,3 M$ par année**.

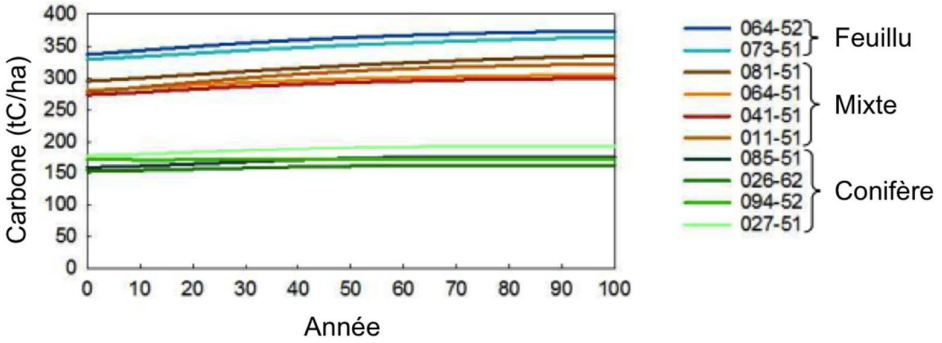


Figure 8. Évolution de la quantité de carbone par unité d'aménagement et par écosystème, en absence d'interventions sylvicoles.
Source : Bureau du forestier en chef (2015)

4.3.4. Amélioration de la qualité de l'air

En plus de capter le CO_2 dans leurs tissus, l'important volume de feuilles dans les forêts et boisés fonctionne comme d'énormes filtres pour la pollution aérienne. La surface des feuilles capte les particules en suspension et échange certains gaz tels que l'ozone, le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote qui ont un impact sur la qualité de l'air (Nowak et al. 2006). Ces polluants contribuent à la création du smog, des pluies acides et des problématiques de santé comme l'asthme, causant 14 400 morts prématurées au Canada chaque année (Jessiman et al. 2017).

Dans les zones urbaines où les émissions des véhicules et des industries sont concentrées, la présence des arbres et des boisés est particulièrement importante pour réduire la pollution atmosphérique et les coûts liés à la santé. Les capacités d'assainissement de l'air des arbres ont été transposées en termes économiques par le biais des multiplicateurs de valeur du logiciel i-Tree décrit par Hirabayashi (2014) (Tableau 5). Nous avons utilisé la base de données de l'étude sur la valeur économique de la Trame verte de la Capitale nationale (Dupras et al. 2016) et avons transposé les données à l'an 2017 afin de prendre en compte l'effet de l'inflation. Nous avons alors obtenu une valeur de 10$/ha/an pour les forêts rurales et 568$/ha/an pour les forêts urbaines. **En zone rurale, nous estimons que les forêts et boisés contribuent annuellement à ce service à hauteur de 2M$, et en zone urbaine à 5,5M$.**

Tableau 5. Valeurs constituant la réduction des polluants aériens par les forêts et boisés

Type de polluant	Multiplicateur de séquestration (kg/ha/an)		Multiplicateur de valeur ($/ha/an)	
	Zone urbaine	Zone rurale	Zone urbaine	Zone rurale
CO	1,27	1,00	2	0
O_3	54,04	54,93	158	3
SO_2	3,44	3,47	1	0
NO_2	7,00	5,45	3	0
PM2.5	2,76	2,66	305	5
PM10	15,34	18,51	100	2
Total			**568**	**10**

Adapté de Hirabayashi (2014)

4.3.5. Contrôle biologique

Les forêts et boisés peuvent aider à réduire la propagation des ravageurs nuisibles aux plantes et aux humains, comme le charançon du pin blanc et le dendroctone de l'épinette dans les systèmes forestiers ou les aphids dans les champs agricoles. Cela s'explique en partie par le fait que les populations d'espèces forestières abritent de nombreux prédateurs naturels pour plusieurs espèces de ravageurs introduites ou indigènes. Bianchi et al. (2008) ont constaté que les services de lutte antiparasitaire dans les champs agricoles étaient liés à la fois à la quantité de forêts et à la quantité d'habitats de lisière près des champs. La valeur du service de contrôle biologique a donc été estimée à 43$/ha/an pour les forêts urbaines et à 29$/ha/an pour les forêts rurales à l'aide de la méthodologie du transfert de bénéfices issue de l'étude de Dupras et al. (2016). **La valeur totale équivaut à 5,6M$ pour les forêts rurales et à 0,4M$ pour les forêts urbaines.** Cette valeur ne capture par l'effet des habitats de lisière en raison du manque de précision dans la carte d'utilisation des sols.

4.3.6. Contrôle de l'érosion

En raison de leur couverture foliaire et de leurs systèmes racinaires étendus, les arbres aident à maintenir les sols en place et diminuent leur érosion dans les cours d'eau. Ceci est particulièrement vrai sur les pentes raides et sur les rives des cours d'eau. Des recherches menées aux États-Unis ont montré que la couverture forestière est associée à une turbidité plus faible (sédiments en suspension dans l'eau) et à des coûts de traitement moins élevés (Tong et Chen 2002, Ernst et al. 2004).

La valeur économique de la rétention des sédiments en amont des prises d'eau a été basée sur une étude des coûts de traitement lié aux changements d'utilisation des terres dans le bassin versant de la Grande River au sud de l'Ontario (Fox and Dickson 1990) et ajustée pour tenir compte de l'inflation. Cette valeur doit être interprétée avec prudence puisqu'en l'absence d'écosystème forestier, une partie des sédiments seraient retenus dans les cours d'eau et les lacs par des processus de dépôt de toute façon. Ceci étant dit, nous utilisons une estimation de 22$ par tonne de sédiments évités, **ce qui équivaut à une valeur totale annuelle de 14,5M$ pour les forêts rurales et de 0,2M$ pour les forêts urbaines.**

4.3.7. Prévention des inondations

Les couvertures végétales, et en particulier les forêts, jouent un rôle important dans la régulation du débit en raison de leur système racinaire étendu qui accroît l'infiltration de l'eau, retient l'eau dans les sols et ralentit le ruissellement. Sans cette végétation pour ralentir ses déplacements (comme dans les zones urbaines, par exemple), les pluies peuvent provoquer des crues éclairs. Basé sur les résultats du logiciel InVEST, les forêts sont les principaux écosystèmes fournisseurs et régulateurs des eaux de surface dans le territoire d'étude, capturant et évaporant 1,1G m^3 par année. Les débits d'eau évités préviennent les inondations et ces coûts évités sont à la base de la mesure économique de ce service. **La prévention des inondations par les forêts urbaines a été estimée à 5 152$/ha/an, pour une valeur totale annuelle de 49,5M$/an pour le territoire étudié**.

4.3.8. Traitement des polluants

La protection et la rétention des sédiments et des nutriments des forces érosives des précipitations sont des services essentiels pour maintenir la qualité de l'eau dans les lacs et les rivières. Au Québec,

environ 80 % de la population est approvisionnée en eau potable provenant des eaux de surface et le coût annuel des services d'eau domestique est d'environ 250 $ par année et par ménage à Québec. Des charges élevées en sédiments et en nutriments peuvent avoir des impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques et la biodiversité, affectant particulièrement les habitats des poissons (Lachance et al. 2008), en entraînant des coûts sociaux élevés et en réduisant la durée de vie des réservoirs et des usines de traitement d'eau (Warziniack 2016).

La qualité de l'eau est également fortement affectée par la pollution de source non ponctuelle provenant de l'agriculture et de la pollution industrielle de source ponctuelle. L'excès d'azote et de phosphore dans les écosystèmes aquatiques peut entraîner une eutrophisation des écosystèmes aquatiques, réduisant ainsi la qualité de leur habitat et la qualité de l'eau potable. Un rapport du MDDLECC (Patoine 2017) note que les rivières drainant la rive sud de la CMQ dépassent régulièrement les seuils de qualité de l'eau, notamment la rivière Chaudière dont le bassin versant est dominé par l'agriculture. Les forêts et autres végétations permanentes peuvent aider à réduire la quantité de nutriments pénétrants dans les écosystèmes aquatiques en les transformant en biomasse ainsi qu'en retenant les sédiments, à l'aide de leurs systèmes racinaires. Le service de traitement des polluants pour le territoire d'étude a été estimé à l'aide de la méthodologie du transfert de bénéfices issue de l'étude de Dupras et al. (2016). Ces valeurs ont été estimées à 143$/ha/an pour les forêts urbaines et à 326$/ha/an pour les forêts rurales en amont d'une prise d'eau, **totalisant pour l'année 2017 28,9M$ pour les forêts rurales et 0,5M$ pour les forêts urbaines.**

4.3.9. Cycles des nutriments

Les cycles de nutriments comprennent les processus de décomposition, minéralisation et fixation d'azote dans les sols qui sont effectués par les micro-organismes, les champignons ainsi que les bactéries du sol. Ces processus maintiennent l'approvisionnement des nutriments aux plantes et soutiennent la fertilité des sols. Dans les forêts tempérées, la chute des feuilles et leur décomposition sont les sources primaires de matière organique dans les sols qui favorisent la croissance des plantes. Ce service a été évalué à 326$/ha dans les forêts rurales par la méthode du transfert de bénéfices issue de l'étude de Dupras et al. (2016). **Sur cette base, la valeur annuelle du service de cycle des nutriments, pour les forêts rurales, totalise 63,6M$/an.**

4.3.10. Habitats favorisant la biodiversité

Les forêts du territoire d'étude abritent plusieurs espèces végétales et animales, du majestueux orignal (*Alces alces*) à la petite salamandre sombre du Nord (*Desmognathus fuscus*). Chaque espèce joue son rôle dans le fonctionnement de l'écosystème et soutient l'approvisionnement des services écosystémiques. L'habitat favorisant la biodiversité est un service de soutien des écosystèmes qui influence, directement ou indirectement, le bien-être des humains. Ce service a été évalué à 2 753$/ha/an pour les forêts urbaines et à 2 239$/ha/an pour les forêts rurales en s'appuyant sur les 17 différentes estimations monétaires de l'étude de Dupras et al. (2016). **Nous obtenons en ce sens une valeur de 68,6M$/an pour les forêts rurales et de 26,4M$/an pour les forêts urbaines.**

4.3.11. Récréotourisme

La population du territoire d'étude bénéficie d'un vaste éventail de possibilités de loisirs en plein air offert dans les parcs locaux et régionaux. Les forêts occupent une place de choix parmi les sites de randonnée, de camping, de canoë, de VTT et de chasse. De nombreux boisés urbains offrent également des activités de plein air locales dans le territoire à l'étude, ce qui permet aux citadins de pratiquer, entre autres, la course, la marche et l'observation des oiseaux. On retrouve plusieurs grands centres de conservation et de loisirs dominés par les forêts, notamment le parc national de la Jacques-Cartier, le mont Sainte-Anne, Stoneham, la zone d'exploitation contrôlée (ZEC) Batiscan-Neilson, la Réserve faunique des Laurentides et le mont Bélair. Afin d'estimer les bénéfices écosystémiques fournis par les services récréotouristiques, nous avons relevé les ventes totales en multipliant le nombre de journées-visites durant l'année 2016 dans les parcs de la SÉPAQ (SÉPAQ 2017), ainsi que les droits d'accès et d'entrée par visiteur pour chacun des parcs (SÉPAQ 2018). Nous avons ajusté cette valeur en dollars canadiens de 2017 et ensuite multiplié cette valeur par la superficie des parcs nationaux faisant partie du territoire à l'étude. Les dépenses des usagers représentent 7,8M$/an dans les centres de loisirs forestiers évalués, **générant ainsi une rente économique (c.-à-d. bénéfices) de 4,8M$/an pour l'économie régionale (Tableau 6).** Sur la base des droits d'entrée, la valeur des écosystèmes propices à ces activités à été évaluée à 223$/ha/an.

Tableau 6. Valeurs marchandes provenant des activités récréotouristiques dans le territoire d'étude

Espaces récréotouristiques	Visites par année	Droits d'accès ($/visite)	Valeur totale droits d'accès (M$/an)	Proportion incluse dans la CMQ	Valeur pour la CMQ (M$/an)
Station touristique Duchesnay	93 005	37,0	3,4	5 790 ha (67%)	2,3
Parc national de la Jacques-Cartier	279 394	8,6	2,4	15 658 ha (23%)	0,6
Parc de la Chute-Montmorency	708 807	2,7	1,9	56 ha (100%)	1,9
Total			**7,8**	**21 504 ha**	**4,8**

Il est important de mentionner que cette valeur représente une évaluation conservatrice de la valeur du capital naturel pour le récréotourisme sur le territoire étudié puisque certaines données ne pouvaient pas être consultées. En effet, les bénéfices économiques d'autres organisations présentes sur le territoire de la CMQ et la TCRQ, tels que les stations touristiques du Mont-Saint-Anne et de Stoneham, la Réserve nationale de faune du Cap-Tourmente, la ZEC Batiscan-Neilson ainsi que le village vacances Valcartier, ont été exclus du calcul du capital naturel des services récréatifs de la région, faute de données accessibles. Les autres activités de plein air payantes sur les sites telles que la location d'équipement à des fins de navigation de plaisance, de ski, de raquette, la location de site de camping ainsi que le paiement des droits de chasse et de pêche ont aussi été exclues de cette estimation faute d'un manque d'accès aux données économique.

4.3.12. Valeur totale pour les écosystèmes forestiers

De façon globale, pour l'évaluation de la valeur des écosystèmes forestiers, la démarche empruntée a permis de valoriser économiquement un total de 10 des 14 services écosystémiques. **La valeur totale**

des services rendus par les forêts et boisés est évaluée à 823,6M$/an, alors que les forêts rurales présentent une valeur moyenne de 3 782$/ha/an et les forêts urbaines une valeur moyenne de 8 987$/ha/an (Tableau 7). La Figure 9 montre la répartition spatiale de la valeur des forêts, qui varie entre 1 000 et 63 000$/ha/an selon son emplacement et sa composition. On remarque que les services ont une valeur plus élevée lorsque l'on se rapproche des zones urbaines, où les bénéfices touchent une plus large population que dans les zones rurales.

Tableau 7. Valeurs des services écosystémiques fournis par les forêts et boisés du territoire d'étude

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M$/an)
Forêts rurales				**737,3**
Production de bois	113 877 m^3/an	43 $/$m^3$	PM	5,1
Approvisionnement en eau	194 939 ha	859$/ ha	TB	167,5
Régulation du climat (séquestration du carbone)	58 122 tn/an	41 $/tn CO_2eq	CR	8,8
Qualité de l'air	194 939 ha	10$/ha	TB	2,0
Contrôle biologique	194 939 ha	29$/ha	TB	5,6
Contrôle de l'érosion	648 803 tn/an	156$/ha	CR	14,5
Traitement des polluants	88 704 ha	326$/ha	TB	28,9
Cycles des nutriments	194 939 ha	326$/ha	TB	63,6
Habitat biodiversité	194 939 ha	2 239$/ha	TB	436,5
Activités récréatives	21 504 ha	223$/ha	PM	4,8
Forêts urbaines				**86,3**
Approvisionnement en eau	9 603 ha	348$/ha	TB	3,3
Régulation du climat (séquestration du carbone)	3 045 tn/an	41$/tn CO_2eq	CR	0,5
Qualité de l'air	9 603 ha	568$/ha	TB	5,5
Contrôle biologique	9 603 ha	43$/ha	TB	0,4
Contrôle de l'érosion	7 051 tn/an	156$/ha	CR	0,2
Prévention inondations	9 603 ha	5 153$/ha	TB	49,5
Traitement des polluants	3 271 ha	143$/ha	TB	0,5
Habitat biodiversité	9 603 ha	2 753$/ha	TB	26,4
Total				**823,6**

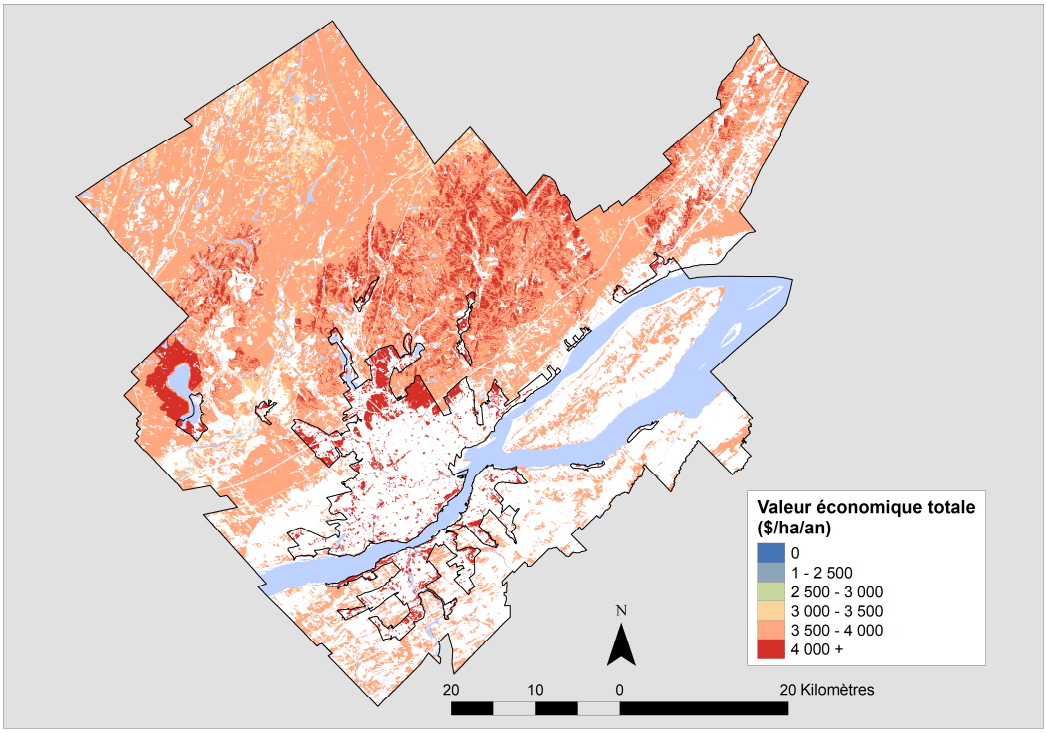


Figure 9. Répartition spatiale de la valeur économique des forêts et boisés sur le territoire d'étude

4.4. Les milieux humides

Historiquement, les milieux humides de la CMQ et de la TCRQ ont été affectés par le développement urbain et l'agriculture (Nazarnia et al. 2016). Depuis 1980, on note une perte ou une dégradation de 45 % des milieux humides dans les basses terres du Saint-Laurent (Joly et al. 2008), alors que 65 % des milieux humides sont sous pression en raison des activités humaines (Joly et al. 2008). En 2017, une nouvelle loi (Loi 132) sur la protection des milieux humides a été mise en place pour la préservation de ces écosystèmes et la variété de services écosystémiques qu'ils fournissent. Sur le territoire d'étude, les milieux humides occupent environ 33 000 hectares soit 8,6 % du territoire, dont 8 % dans les secteurs ruraux et 0,6 % dans les zones urbaines. La plupart d'entre eux (environ 75 %) sont des tourbières ouvertes avec une canopée arborée alors que 25 % sont des tourbières ouvertes non arborées, des marécages, des prairies humides ou des marais (Figure 10). Nous considérons les tourbières arborées comme des milieux humides et non des forêts, parce que leur fonctionnement en tant que milieux humides est plus important dans la production de services écosystémiques.

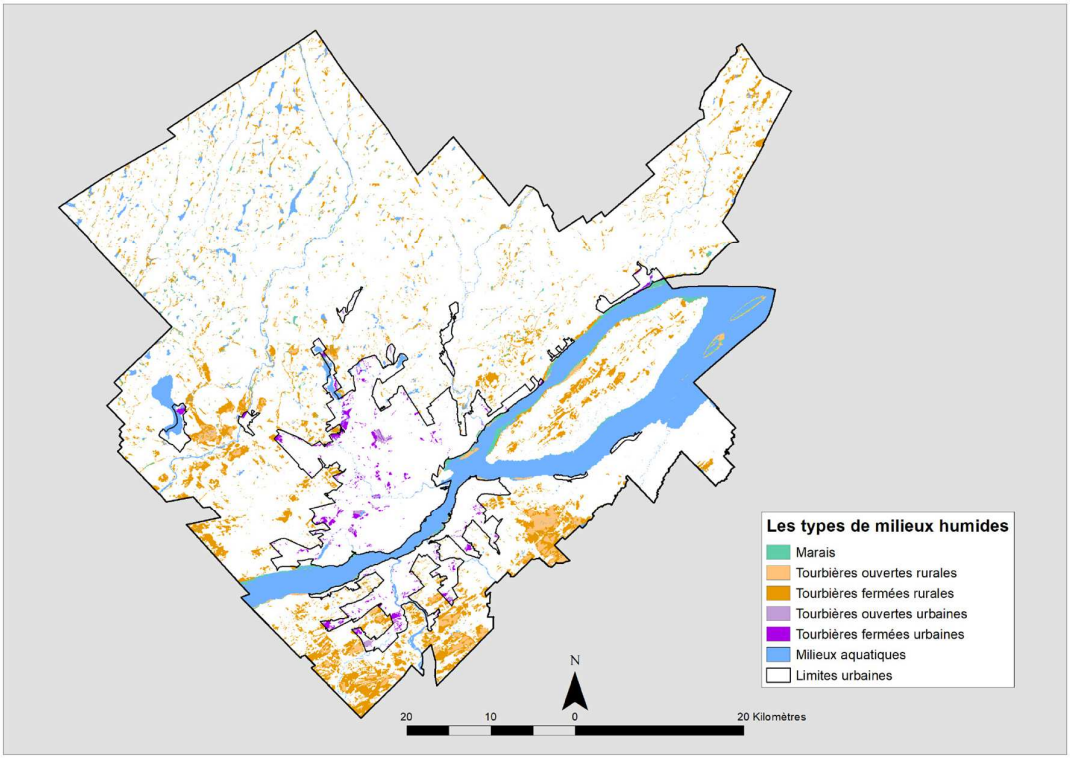


Figure 10. Répartition des milieux humides sur le territoire d'étude

4.4.1. Approvisionnement en eau

Les milieux humides sont des écosystèmes importants pour l'approvisionnement et la régulation de l'eau. En raison de leur capacité à réguler le mouvement de l'eau, ils présentent des taux d'évapotranspiration élevés et ré-évaporent l'eau dans l'atmosphère. Selon le logiciel InVEST, les milieux humides du territoire d'étude fournissent un approvisionnement en eau de 42 Mm^3/an. En utilisant la valeur issue des travaux de Dupras et al. (2015), **soit 31$/ha/an, nous mesurons une valeur totale de 1M$/an pour l'approvisionnement en eau dans le territoire d'étude.**

4.4.2. Régulation du climat

Bien que les plantes dans les tourbières ouvertes poussent très lentement et ne cumulent pas beaucoup de nouvelle biomasse, les arbres dans les tourbières arborées croient et captent le CO_2. Ainsi, le service de régulation du climat n'a été considéré que pour ce type de milieux humides. L'effet d'inondation temporaire ou permanente des arbres dans les milieux humides sur les taux séquestration et de croissance en biomasse sont peu connus (Rodríguez-González et al. 2010). Selon Jean et Bouchard (1996), la submersion a un effet négatif sur les taux de croissance de certaines espèces (p.ex. les érables, *Acer*), mais pas sur d'autres (p.ex. le cèdre blanc). En travaillant au niveau du peuplement dans cette étude, nous appliquons les mêmes taux de séquestration de carbone qu'aux forêts et boisés, ce qui reflète la moyenne du taux de séquestration des espèces qu'elle soit inondée ou non. **En vertu de ces hypothèses, nous estimons que les tourbières arborées captent 6 187 tonnes de carbone par année, un service évalué à 0,9M$/an**.

4.4.3. Contrôle de l'érosion

Les milieux humides sont aussi des écosystèmes importants pour la purification de l'eau. Grâce à la végétation aquatique, l'eau de surface ralentit lorsqu'elle passe par un milieu humide, ce qui fait que les sédiments et nutriments transportés par le ruissellement sont déposés dans les tourbières ou les marais, et absorbés par les plantes aquatiques. La rétention des sédiments et nutriments dans les milieux humides améliore la qualité de l'eau et réduit les coûts associés à son traitement. Le taux de capture dépend en partie de la quantité de sédiments et nutriments dans les eaux qui entrent dans les milieux humides ainsi que les espèces végétales présentes (Richardson 1985). La modélisation par le logiciel InVEST dans les bassins versants en amont des prises d'eau suggère que les milieux humides retiennent 6 138 tonnes/an de sédiments, ce qui équivaut à une valeur de 22$/tonne en traitement basé sur une étude des coûts de traitement lié aux changements d'utilisations des terres dans le bassin versant du Grande River au sud de l'Ontario (Fox and Dickson 1990) et ajusté pour l'inflation. En appliquant cette valeur au 6 375 tonnes de sédiments non érodés, **le contrôle de l'érosion est estimé à 4$/ha/an, ou 140k$/an pour la région**.

4.4.4. Prévention des inondations

Outre l'approvisionnement en eau potable pour les résidents du territoire d'étude, le rôle de régulation des eaux des milieux humides permet également, selon le logiciel InVEST, d'éviter des débits supplémentaires estimés à 35Mm^3/an. Cette capacité de ralentissement, stockage et évaporation de l'eau de pluie en excès peut être extrêmement utile pour réduire l'incidence des inondations, **un service valant 1 487$/ha/an ou 49,8M$/an en termes de coûts évités pour les services publics**.

4.4.5. Traitement des polluants

Les milieux humides captent et absorbent aussi les nutriments dans les eaux de ruissellement. Des études ont estimé que les milieux humides captent entre 116 à 770 kg/ha/an de phosphore et de 350 à 32 000 kg/ha/an d'azote (DeBusk and Reddy 1987). Le traitement des nutriments par les milieux humides ruraux de la CMQ a été estimé à 2 444$/ha/an, et à 1 533$/ha/an pour les milieux urbains, en se basant sur l'évaluation de l'étude de Dupras et al. (2015) corrigée pour l'inflation. **Pour l'ensemble des milieux humides, ce service s'élève à une valeur de 25M$/an en milieu rural et 1,4M$ en milieu urbain.**

4.4.6. Habitats favorisant la biodiversité

Au-delà des services d'utilité directe, les milieux humides offrent d'importants espaces pour la biodiversité. La Grande Plée Bleue située à Lévis, est une des plus vastes (environ 15 km^2) et rares tourbières au Québec et arbitre plus de 150 espèces végétales, incluant des plantes carnivores, ainsi que 100 espèces d'oiseaux et 200 espèces d'insectes (Conservation de la Nature 2015). Les milieux humides sont des habitats qui favorisent grandement la biodiversité, **un service estimé à 1 219$/ha/an en milieu rural et 1 618$/ha/an en milieu urbain selon la méthodologie de transfert de bénéfices de Dupras et al. (2015), pour un total de 41,8M$/an**.

4.4.7. Valeur totale pour les milieux humides

Grâce aux différentes sources de données biophysiques, cartographiques et économiques, nous avons pu estimer une valeur pour six des 14 services écosystémiques annuels relatifs aux milieux humides. **La valeur totale des services écosystémiques rendus par les milieux humides sur le territoire d'étude est estimée à 120,1M$ par année, pour une moyenne de 3 575 $/ha/an par les milieux humides urbains et 3 698$/ha/an par les milieux humides ruraux (Tableau 8).** La Figure 11 montre la répartition spatiale des valeurs associées aux milieux humides.

Tableau 8. Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux humides

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M$/an)
Milieux humides ruraux				**110,4**
Approvisionnement en eau	30 879 ha	31$/ha/an	TB	1,0
Régulation du climat	5 593 t/an	41$/t CO_2eq	CR	0,8
Contrôle de l'érosion	6 138 t/an	22$/t	CR	0,1
Prévention des inondations	30 879 ha	1 487$/ha/an	TB	45,9
Traitement des polluants	10 245 ha	2 444$/ha/an	TB	25,0
Habitat favorisant la biodiversité	30 879 ha	1 219$/ha/an	TB	37,6
Milieux humides urbains				**9,7**
Approvisionnement de l'eau	2 623 ha	31$/ha/an	TB	0,1
Régulation du climat	594 t/an	41$/t CO_2eq	CR	0,1
Contrôle de l'érosion	237 t/an	22$/t	CR	0,01
Prévention des inondations	2 623 ha	1 487$/ha/an	TB	3,9
Traitement des polluants	923 ha	1 533 $/ha/an	TB	1,4
Habitat favorisant la biodiversité	2 623 ha	1 618 $/ha	TB	4,2
Total				**120,1**

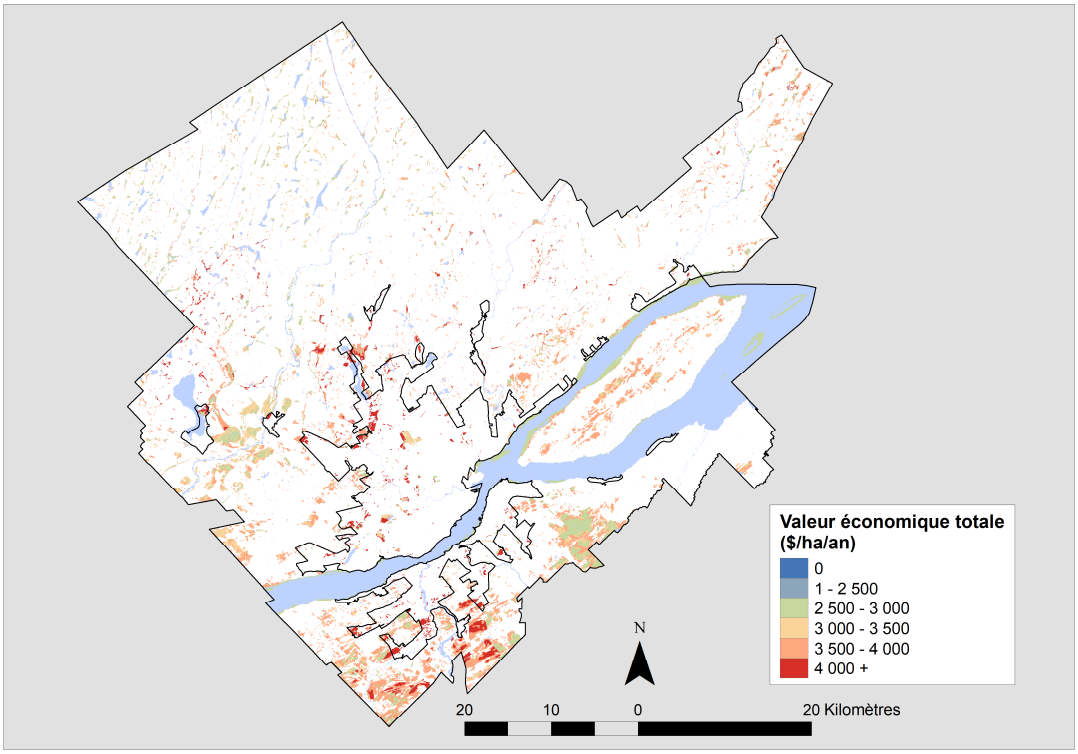


Figure 11. Répartition spatiale de la valeur économique des milieux humides du territoire d'étude

4.5. Milieux agricoles

L'agriculture joue un rôle central dans l'histoire et le territoire d'étude. Elle continue de fournir une source importante de revenus, d'emplois et de produits locaux, tout en maintenant un mode de vie pour les agriculteurs de la région. Les terres agricoles couvrent 7,6 % du territoire d'étude. Historiquement, l'avoine et le blé étaient des cultures céréalières importantes (Statistique Canada, recensement 2006-2011), mais ces dernières années, les agriculteurs ont augmenté les superficies consacrées au soja (12 %) et au maïs (11 %) destinés aux marchés d'exportation. Sur l'île d'Orléans, de nombreux agriculteurs continuent de cultiver des fruits et des légumes, de nombreux vergers de pommiers et des fermes de baies offrent des possibilités d'agrotourisme, notamment par le biais de l'autocueillette. La Figure 12 montre l'emplacement et le type d'agriculture pratiqués sur le territoire d'étude.

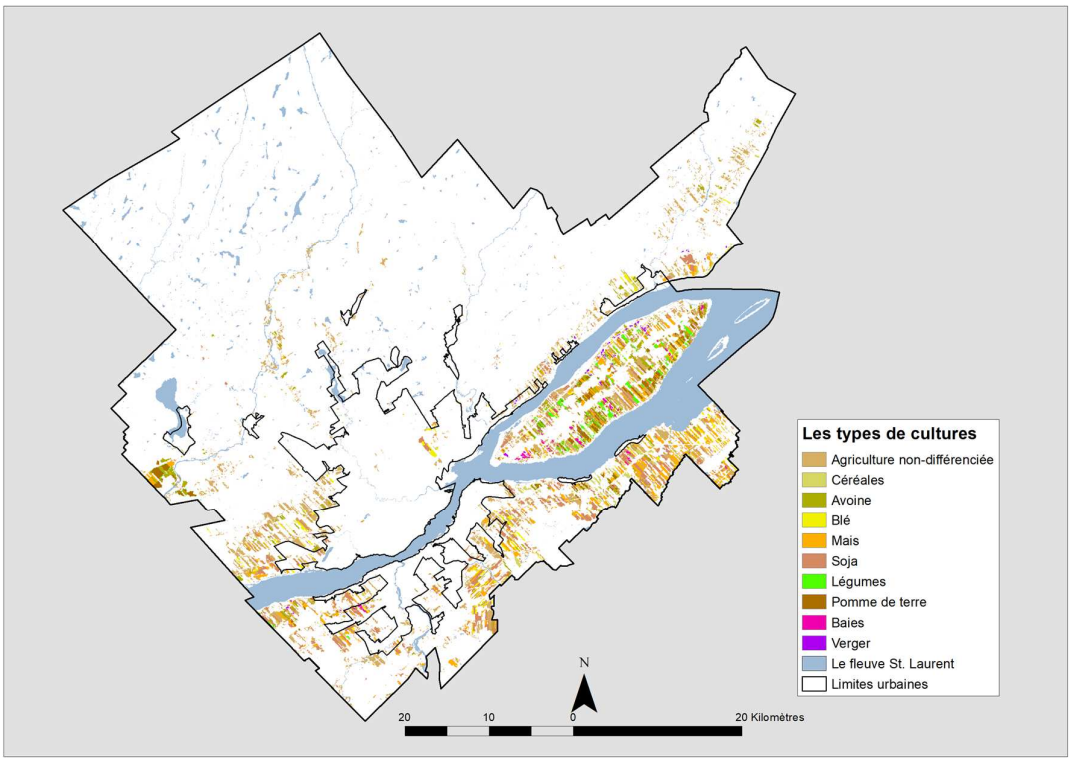


Figure 12. Répartition des cultures agricoles sur le territoire d'étude

4.5.1. Production agricole

Nous avons utilisé la méthodologie des prix de marché pour estimer la valeur pour chaque type de production agricole de la région. Plusieurs cultures sont présentes sur le territoire d'étude (Tableau 9). Pour ce faire, nous avons calculé la différence entre les revenus agricoles de chacune des cultures, et les coûts de production et d'exploitation, afin de mesurer la rente réelle de ces espaces. Les données du CRAAQ et de la Financière Agricole du Québec (FADQ) ont été utilisées à ces fins. Nous avons aussi utilisé le taux d'inflation pour ramener les valeurs en dollars canadiens de 2017. Les sources de données nous ont permis d'obtenir la valeur totale du bénéfice net pour l'orge, l'avoine, le blé, le panic érigé, le maïs, le canola, le soja, les légumes à gousse (haricot), les oignons jaunes et les carottes, les légumes à fruits (ex. courge butternut), les crucifères (brocoli, chou vert, choux de bruxelle et choux-fleur), l'entièreté des légumes (moyenne des autres légumes), la pomme de terre, les baies (fraise), les terres indifférenciées (moyenne des autres cultures), les pommes ainsi que le sarrasin. L'indisponibilité de certaines données économiques nous a poussé à calculer la valeur économique des cultures du brocoli et du sarrasin comme étant des productions biologiques. Il est alors important de prendre en compte que cela pourrait créer une légère surestimation de la valeur monétaire des cultures du sarrasin, des légumes et des crucifères. **La valeur totale de l'approvisionnement de nourriture sur le territoire d'étude pour la couverture agricole équivaut à un peu plus de 47M$ de dollars par an, soit une moyenne de 1 616$/ha/an.**

Tableau 9. Valeur de la production agricole dans le territoire d'étude

Culture	Revenu ($/ha/an)	Coût de production ($/ha/an)	Bénéfice net ($/ha/an)	Superficie (ha)	Valeur totale (M$/an)
Agriculture indifférenciée	-	-	1 606*	11488	18,5
Orge	1 498	985	512	970	0,5
Autres céréales	-	-	690**	23	0,02
Avoine	1 447	924	523	2425	1,3
Blé	1 931	1 235	696	1229	0,9
Panic érigé	1 425	403	1 022	4	0,004
Maïs	3 131	1 960	1 172	4475	5,2
Canola/Colza	969	775	194	204	0,04
Soja	1 904	1 131	773	4978	3,9
légumes à gousse	1 515	1 204	311	193	0,06
Oignons jaunes et Carottes	18 623	12 617	6 007	32	0,2
Légume à fruits	24 369	7 930	16 439	91	1,5
Crucifères	15 707	7 865	7 841	66	0,5
Légumes	16 270	8 304	7 966	486	3,9
Pommes de terre	8 074	6 119	1 955	1695	3,3
Baies	30 564	14 251	17 337	349	6,1
Vergers / Vignobles	25 298	20 822	4 476	169	0,8
Sarrasin	-	-	329	76	0,03
Total				**28 953**	**46,8**

*La valeur moyenne pondérée sur les valeurs et superficies de toutes autres cultures

** La valeur moyenne pondérée sur les valeurs et superficies des céréales

Sources: FADQ 2015, FADQ 2017,

4.5.1.1 Production acéricole

Un autre produit alimentaire important pour l'économie du Québec est le sirop d'érable. Le Québec produit environ 72 % de la production mondiale du sirop d'érable (FPAQ, 2017). Sur le territoire d'étude, les producteurs de sirop d'érable gèrent 245 584 entailles sur une superficie de 2 187 hectares. La valeur totale des exploitations de produits acéricoles a été calculée en considérant : le nombre d'entailles exploitées dans chacune des MRC de la CMQ, la moyenne provinciale de la production de sirop d'érable en livre par entaille ainsi que le prix moyen, à la livre, du sirop d'érable au Québec (Tableau 10). Bien que la MRC de Bellechasse soit une région importante pour la production du sirop d'érable, les données désagrégées par municipalité nécessaires au calcul de la contribution de la production acéricole des trois municipalités de la MRC n'étaient pas disponibles. Nous avons obtenu une valeur de 1,8M$/an pour la production acéricole sur le territoire de la CMQ, pour une valeur moyenne de 807$/ha/an pour les 2 187 ha d'érablières cultivées en 2017.

Tableau 10. Valeur de la production de sirop d'érable sur le territoire de la CMQ pour l'année 2017

MRC	Nb d'entailles	Moy. production (lbs/entaille/an)	Production (lbs)	Prix ($/lb)	Revenus (k$/an)
Lévis	30 600	2,46	75 276	2,92$/lb	220
Québec	35 950	2,46	88 437	2,92$/lb	258
Jacques-Cartier	11 400	2,46	28 044	2,92$/lb	82
Côte-de-Beaupré	53 550	2,46	131 733	2,92$/lb	385
Île d'Orléans	114 084	2,46	280 646	2,92$/lb	819
Total	**245 584**		**604 136**		**1 764**

Sources : MAPAQ 2017, FPAQ 2017

4.5.2. Contrôle de l'érosion

Les cultures récoltées et labourées peuvent exposer les sols aux effets érosifs du vent et de l'eau. Selon des estimations de la modélisation InVEST les terres cultivées conservent 0,87 t/ha au sol dans le paysage par rapport aux sols nus, mais ils sont moins performants que les zones équivalentes de couverture naturelle telles que les forêts (7,33 t/ha) ou les zones arbustives (3,5 t/ha), agissant ainsi comme source de sédiments dans les systèmes aquatiques. Au total, les terres agricoles en amont d'une prise d'eau (2 268 ha) retiennent 2 219 t/an de sédiments qui autrement ruisselleraient dans les cours d'eau et devraient être traités dans une usine de purification d'eaux à un coût de 22 $/t. La rétention des sédiments en amont des prises d'eau a été estimée à 22 $/t basé sur une étude des coûts de traitement lié aux changements d'utilisations des terres dans le bassin versant du Grande River au sud de l'Ontario (Fox and Dickson 1990) et ajusté pour l'inflation. **En appliquant cette valeur au taux de rétention (2 219 t), le contrôle de l'érosion a été estimé à 21,5$/ha/an dans les milieux agricoles de la CMQ et de la TCRQ, pour un total de 49k$/an.**

4.5.3. Cycles des nutriments

Les cycles de nutriments sont extrêmement importants dans les terres agricoles pour le soutien de la fertilité des sols et la productivité des récoltes. Les micro-organismes du sol sont responsables de la décomposition des résidus des cultures et l'approvisionnement de nutriment aux plantes, ce qui réduit la nécessité des fertilisants. **Ce service a été estimé à 178$/ha/an selon la méthodologie de transfert de bénéfices de l'étude de la Ceinture verte de la capitale nationale (Dupras et al. 2016), pour un total de 5,2M$/an**. Les bonnes pratiques agricoles qui favorisent les micro-organismes et les fonctions du sol, par exemple par l'ajout aux champs d'engrais vert et de matière organique, aident à maintenir les cycles de nutriments et la qualité des sols (Bommarco et al. 2014).

4.5.4. Pollinisation

Une partie du service d'approvisionnement alimentaire est fourni par l'action des pollinisateurs sauvages. Bon nombre des cultures du territoire d'étude dépendent de la pollinisation pour la circulation du pollen et la fertilisation, ce qui se traduit par des rendements plus élevés. Les pollinisateurs dépendent d'un certain nombre d'habitats situés à proximité des champs agricoles pour la nidification et la recherche de nourriture. Les écosystèmes des forêts et des prairies sont particulièrement importants pour soutenir les populations de pollinisateurs sauvages et améliorer les rendements dans les champs adjacents. Bien que de nombreuses cultures ne dépendent pas fortement des pollinisateurs (par exemple, maïs, pommes de terre, pâturages), de nombreuses autres cultures en dépendent, tels le soja, le canola, la fraise, le bleuet, la citrouille, la courgette et la pomme.

Nous avons évalué la contribution des pollinisateurs sauvages à la production végétale locale en fonction de leur abondance locale estimée et de la mesure dans laquelle les cultures dépendent de leurs visites. En utilisant les informations sur les préférences alimentaires et florales des pollinisateurs du Guide des pollinisateurs et des plantes mellifères (CRAAQ 2014), nous estimons l'abondance relative des 20 pollinisateurs d'abeilles les plus communs (Normandin et al. 2017) à travers le modèle InVEST. Ces données ont ensuite été combinées avec des données sur les modes de plantation spécifiques aux cultures, le degré de dépendance à la pollinisation (Klein et al. 2007) et les rendements moyens de 2015 dans la région et/ou pour la province (FADQ 2015, 2017) pour estimer l'impact des visites des pollinisateurs sur la production agricole. Nous avons calculé la quantité de rendement due à la présence prévue d'abeilles pollinisatrices dans le paysage, ainsi que les rendements manquants dus à l'absence de suffisamment de pollinisateurs.

Dans de nombreux cas, les agriculteurs semblent souffrir d'un manque de pollinisateurs sauvages. La figure 13 montre le niveau de pollinisation atteint sur chaque ferme assurée, les exploitations ne dépendant pas de la pollinisation ayant une valeur de 0%. Au maximum, moins de 50% des besoins en pollinisation des cultures locales sont satisfaits par les pollinisateurs sauvages en raison d'un manque d'habitat naturel et de ressources dans le paysage agricole. Les agriculteurs ayant des récoltes insuffisantes en raison du manque de pollinisateurs sauvages pourraient être obligés de compléter leurs champs en louant des ruches cultivées pour les abeilles. En effet, au moins 6 entreprises en 2018 louaient un total de 3 230 ruches dans la région (CRAAQ, 2018). Au cours des dix dernières années, ce service a plus que doublé l'offre de colonies disponibles pour répondre aux besoins des horticulteurs, notamment les producteurs de bleuets (65 %), de canneberges (28 %) et de pommes (5 %). Malgré la croissance rapide de cette industrie, de nombreux agriculteurs québécois ont dû louer plus de 2 500 colonies de l'Ontario pour répondre à leurs besoins en matière de pollinisation en 2016 (MAPAQ 2017).

Nous n’estimons pas la valeur économique du service de pollinisation, car celui-ci se trouve déjà représenté dans le service des biens alimentaires. Il y aurait donc un risque de double comptage. Toutefois, il est important de considérer le service de pollinisation pour son importance cruciale à la production quantitative et qualitative de produits agricoles sur le territoire.

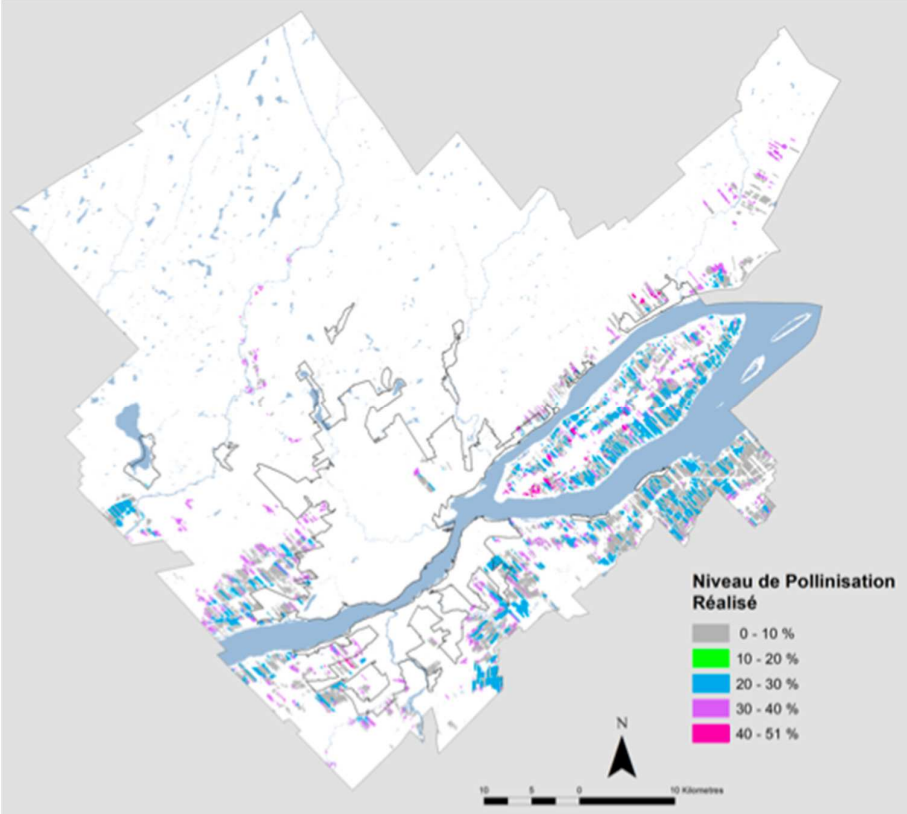


Figure 13. Niveau de pollinisation réalisée dans les fermes du territoire d'étude

4.5.5. Récréotourisme

Le récréotourisme autour des activités agricoles, communément appelé « agrotourisme » se définit par l'accueil et l'information des touristes afin de leur faire découvrir l'agriculture, la production agricole ainsi que le milieu agricole, et ce, par l'entremise de rencontre avec les producteurs. Les activités d'agrotourisme se catégorisent en plusieurs secteurs, dont celui du tourisme gourmand, mais aussi ceux touchant toutes productions locales artisanales, comme le secteur textile ou encore la savonnerie (Lemay stratégie 2016). La pratique d'activités culinaires distinctives, bioalimentaires ou encore toute activité touristique, produite par les artisans, par exemple la production de bière de microbrasserie, de produits agricoles, ou encore l'offre par des restaurateurs de cuisine régionale, des marchés publics et aussi les routes et circuits gourmands, sont de bons exemples d'activités issus de l'agrotourisme (Lemay stratégie 2016).

Nous avons évalué la valeur annuelle des revenus pour le secteur de l'agrotourisme en tenant compte du nombre d'entreprises exploitées dans ce secteur sur le territoire d'étude (MAPAQ 2017), de la moyenne des visiteurs en agrotourisme au niveau provincial ainsi que du revenu moyen par visiteur dans ce secteur (Lemay stratégie 2016). Dans la MRC de Bellechasse, on trouve 17 entreprises impliquées dans l'agrotourisme. À défaut d'avoir une information spécifique sur la localisation de ces entreprises, nous estimons que deux entreprises en agrotourisme sont situées dans le territoire d'étude, ce qui correspond à la proportion du territoire couvert par les trois municipalités à l'étude. Ces entreprises apporteraient en moyenne 263 000$/an chaque ou une moyenne de 526 000$/an. **À**

l'échelle du territoire d'étude, la valeur totale des revenus du secteur de l'agrotourisme équivaut à 10,8M$ annuellement pour le territoire d'étude.

4.5.6. Esthétisme du paysage

Les paysages agricoles du territoire d'étude représentent une véritable valeur culturelle et esthétique pour les usagers du territoire. En effet, la valeur accordée à la beauté d'un paysage varie en fonction du type de paysage. **Le service de l'esthétisme des paysages agricoles a été estimé à 77$/ha/an en fonction de ce que les gens sont prêts à payer pour garder accès à la beauté du paysage agricole, et ce, selon la méthodologie de transfert de bénéfices tirés de l'étude de Dupras et al. (2017). En fonction de cette valeur à l'hectare, les paysages agricoles du territoire auraient une valeur de 2,2M$/an**.

4.5.7. Valeur totale pour les milieux agricoles

En plus des valeurs sur la production agricole, nous avons pu estimer la valeur de quatre autres services écosystémiques pour les milieux agricoles. **La valeur totale des services écosystémiques rendus par les milieux agricoles du territoire d'étude est estimée à 66,9M$ par année, pour une moyenne de 2 309$/ha/an (Tableau 11).** La Figure 14 montre la répartition spatiale des valeurs associées aux milieux agricoles.

Tableau 11. Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux agricoles du territoire d'étude

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M$/an)
Production agricole	28 953 ha	Multiples	PM	46,8
Production acéricole	604 136 lbs/an	2.92$/lb	PM	1,8
Contrôle de l'érosion	2 219 t/an	22$/t	CR	0,05
Cycle des nutriments	28 953 ha	178$/ha/an	TB	5,2
Récréotourisme	41 entreprises	263k$/entreprise	PM	10,8
Esthétisme des paysages	28 953 ha	77$/ha/an	TB	2,2
Total				**66,9**

PM = prix de marché, TB = transfert de bénéfices, CR = coûts de remplacement

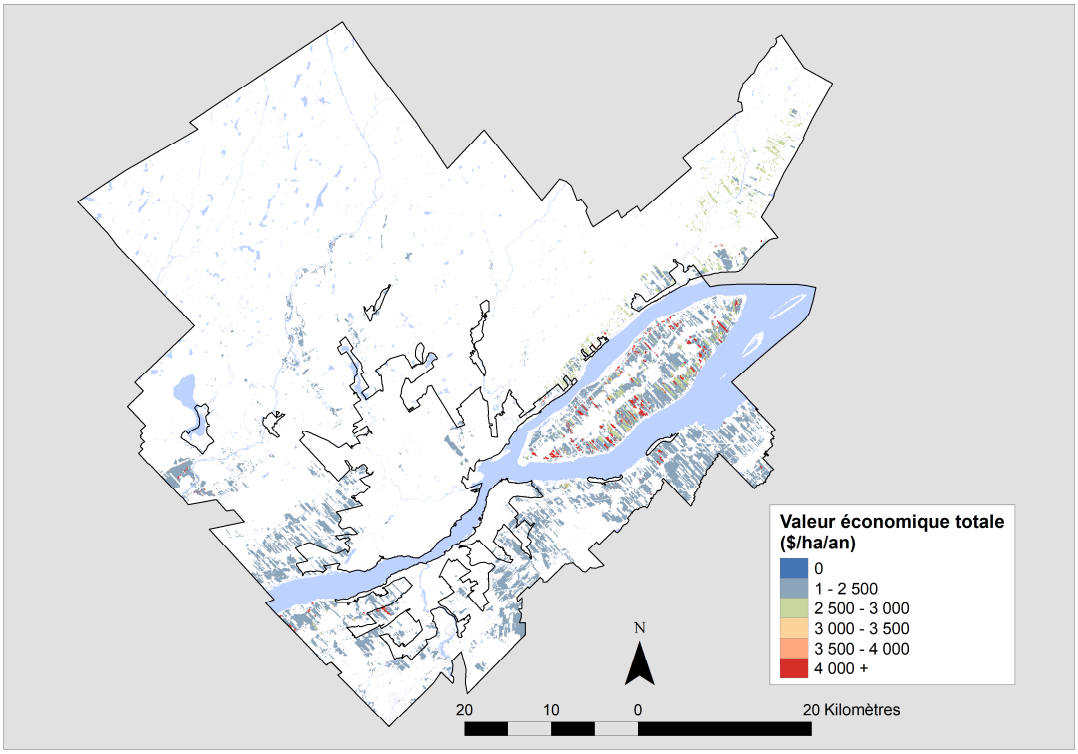


Figure 14. Répartition spatiale de la valeur économique des milieux agricoles dans le territoire d'étude

4.6. Friches

Bien que souvent négligés, les prairies, les pâturages et les zones arbustives jouent un rôle important dans la fourniture de services écosystémiques. Sur le territoire d'étude, les friches occupent 39 912 hectares, soit un peu plus de 10 % du territoire, la plus grande partie étant située en zone rurale (Figure 15). Nous classifions ici les friches comme étant composées d'un certain nombre de types de couvertures naturelles et semi-naturelles. Dans le nord montagneux de la MRC de La Jacques-Cartier, les zones classées comme friches (2,7%) sont principalement constituées de broussailles courtes ou de broussailles au sommet des montagnes. Plus près de la ville, surtout à Lévis et dans les MRC de Bellechasse, de l'Ile-d'Orléans et de La Côte-de-Beaupré, les friches sont présentes sur des terres agricoles ou industrielles abandonnées telles que des prairies, des pâturages et une végétation de recolonisation naturelle. Ensemble, elles occupent 6,2% du territoire. Nous considérons également la végétation sous les lignes électriques, le long des voies ferrées et d'autres infrastructures qui sont maintenues en permanence (arbustes bas ou des broussailles) comme des friches. Ce type de végétation couvre 1,5% du territoire classifié en friche dans l'agglomération de la Ville de Québec.

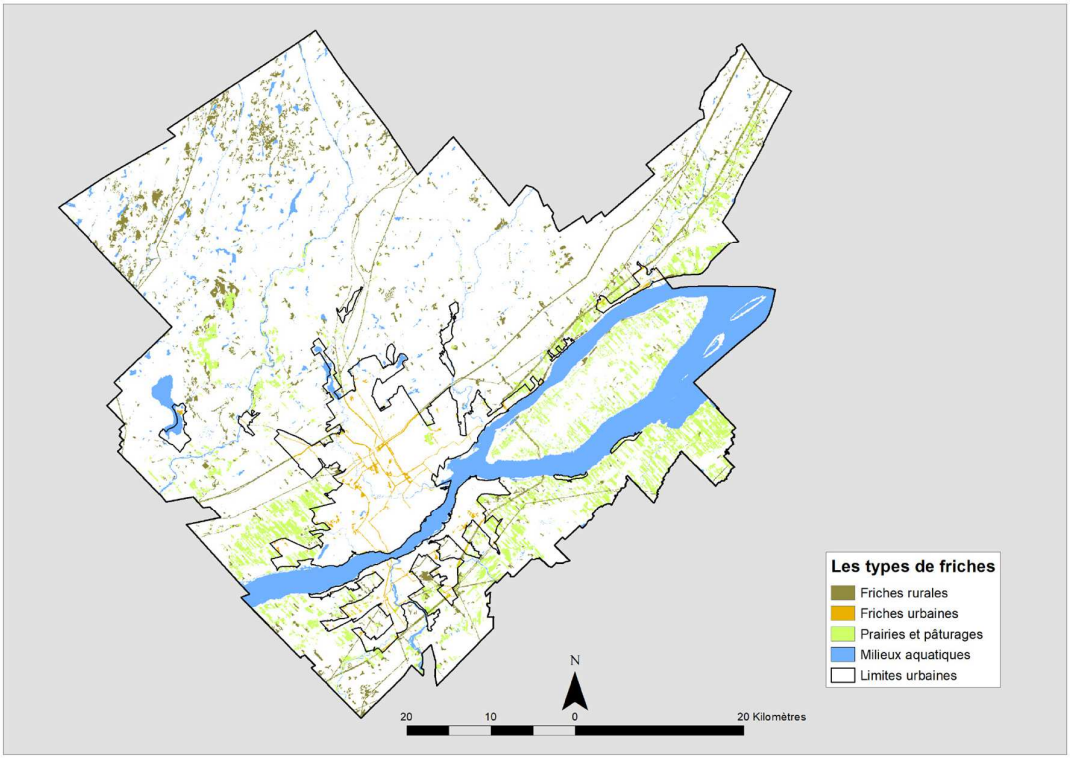


Figure 15. Répartition des friches et des arbustes sur le territoire d'étude

4.6.1. Régulation du climat

Bien qu'ils contiennent moins de biomasse que les forêts, nous estimons que les arbustes séquestrent 4 461 tonnes de carbone supplémentaires chaque année, **ce qui est évalué à une valeur de 0,7M$/an selon le coût social de carbone, ou 16$/ha/an.**

4.6.2. Contrôle biologique

Les prairies et pâturages fournissent le service de contrôle biologique et de la lutte contre les ravageurs en vertu de de la grande biodiversité d'espèces et d'ennemis naturels qui se trouvent dans ces habitats. Selon Dupras et al. (2016), **ce service a une valeur économique estimée à 43$/ha, pour un total de 1,7M$/an**.

4.6.3. Contrôle de l'érosion

Selon la modélisation du logiciel InVEST, la régulation des eaux par les friches sur le territoire d'étude empêche 23 706 tonnes de sédiments de pénétrer dans les lacs et les rivières en amont d'une prise d'eau, contribuant à protéger les écosystèmes aquatiques et l'eau potable. **En utilisant une valeur de 22$/t (Fox et Dickson 1990), nous obtenons une valeur de 0,5M$/an, soit 13$/ha/an en coûts évité par le contrôle de l'érosion**.

4.6.4. Cycles des nutriments

Plusieurs écosystèmes, incluants les friches, arbustes et prairies, soutiennent le cycle des nutriments dans le sol, ce qui comprend la décomposition de la matière organique, la filtration et l'absorption des minéraux et la formation des sols. Ce service soutient la fertilité de la terre, l'incorporation des matières organiques dans les sols et l'approvisionnement des nutriments aux plantes nécessaire à la productivité de l'écosystème. **Selon la méthode du transfert des bénéfices (Dupras et al. 2016), ce service a une valeur de 151$/ha/an, pour un total de 6,0M$/an**.

4.6.5. Habitat favorisant la biodiversité

Plusieurs espèces vivent ou transitent dans les habitats typiques des friches : arbustes, friches et prairies. L'habitat favorisant la biodiversité fait partie des services écosystémiques de soutien qui supportent l'approvisionnement d'autres services dans le paysage. Par exemple, les prairies sont reconnues comme étant les écosystèmes riches en espèces végétales, qui fournissent des sources d'habitat et ressources florales importantes à des papillons et autres insectes pollinisateurs (Hines et Hendrix 2005, Davis et al. 2008) et à plusieurs ennemis naturels des ravageurs (Veres et al. 2014). **La valeur des prairies et pâturages pour le soutien de la biodiversité a été estimée à 2 381$/ha/an (selon Dupras et al. 2016), soit un total de 95M$/an, la valeur la plus élevée pour cet écosystème.**

4.6.6. Esthétisme du paysage

La valeur de l'esthétisme du paysage des prairies et du pâturage a été évaluée à partir de ce que les gens étaient prêts à payer pour conserver les caractéristiques de la beauté des paysages de ces milieux sur le territoire d'étude. Ce consentement à payer, hypothétique, fut mesuré dans le cadre d'une analyse économétrique où les répondants estiment ce qu'ils seraient prêts à contribuer sur leur compte de taxes municipales pour améliorer leur cadre de vie, dans ce cas-ci, l'amélioration agroenvironnementale de la région de Lanaudière. **La valeur accordée à ce service est de 77$/ha/an, basé sur la méthodologie du transfert de bénéfices via l'étude des paysages dans la région de Lanaudière par Dupras et al. (2017), pour un total de 3,1M$/an**.

4.6.7. Valeur totale pour les friches

Dans le cas des friches, nous avons pu estimer la valeur de six services écosystémiques. **La valeur totale des services écosystémiques rendus par les friches dans le territoire d'étude est estimée à 107M$ par année, pour une moyenne de 2 681$/ha/an (Tableau 12).** La Figure 16 montre la répartition spatiale des valeurs associées aux friches. On peut voir que l'ensemble des friches sur le territoire possèdent une valeur qui se situe entre 2 500 et 3 000$. Autrement dit, il y a très peu de variation spatiale de la valeur de ce type d'écosystème.

Tableau 12. Valeurs des services écosystémiques produits par les friches

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M$/an)
Régulation du climat	4 461 t	41$/t CO_2eq	CR	0,7
Contrôle biologique	39 912 ha	43$/ha/an	TB	1,7
Contrôle de l'érosion	23 706 t/an	22$/t	CR	0,5
Cycle des nutriments	39 912 ha	151$/ha/an	TB	6,0
Habitat favorisant la biodiversité	39 912 ha	2 381$/ha/an	TB	95,0
Esthétisme du paysage	39 912 ha	77$/ha/an	TB	3,1
Total				**107,0**

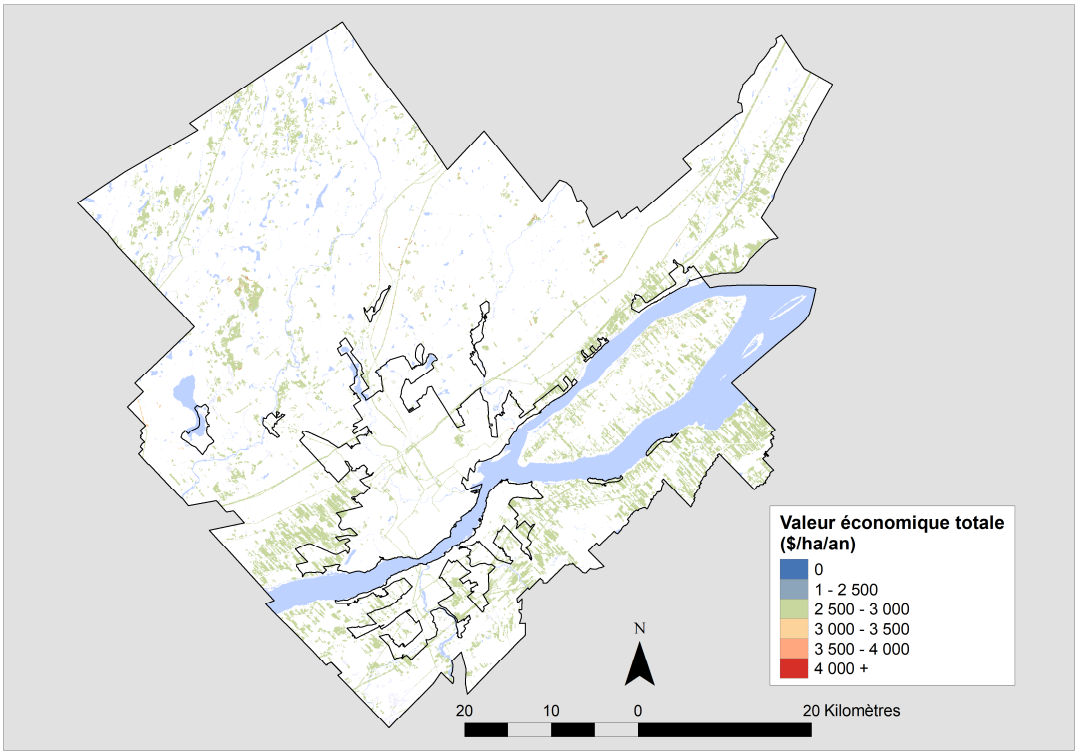


Figure 16. Répartition spatiale de la valeur économique des friches dans le territoire d'étude

4.7. Milieux aquatiques

Le fleuve Saint-Laurent est l'élément dominant du réseau hydrographique du territoire d'étude, séparant la rive nord, montagneuse et boisée, de la rive sud, pourvue d'un terrain plus plat et axée sur l'agriculture. De plus, un réseau de plus de 6 000 kilomètres de rivières et plus de 1 100 lacs et étangs donne à la région des paysages caractéristiques et appréciés des citoyens. Les parties inférieures des grands cours d'eau drainent les bassins versants du territoire d'étude et se déversent dans le Saint-Laurent : les rivières Jacques-Cartier, Saint-Charles, Montmorency et Sainte-Anne sur la rive nord, et les rivières Chaudière, Etchemin, Boyer et Du Sud sur la rive sud. Sur la rive nord, les lacs

Beauport, Saint-Charles et Saint-Joseph ainsi que les chutes Montmorency constituent d'importantes attractions récréatives et des sources d'approvisionnement en eau potable importantes pour les résidents de la CMQ. La Figure 17 montre la répartition des milieux aquatiques sur le territoire d'étude.

D'un point de vue économique, il doit être mentionné que malgré la grande importance des milieux hydriques pour la santé des écosystèmes et la qualité de vie des citoyens, très peu d'études se sont penchées sur la valeur économique des services écosystémiques reliés aux systèmes d'eau douce tels que ceux présents sur le territoire d'étude. Ainsi, les valeurs présentées dans les prochaines sous-sections peuvent être interprétées comme des bases économiques minimales en raison du manque de données et d'études disponibles. En ce sens, les résultats que nous présentons sont tirés d'une étude réalisée pour la trame bleue de la région de Montréal (Poder et al. 2016), ce qui représente le plus proche comparatif pour la région d'étude.

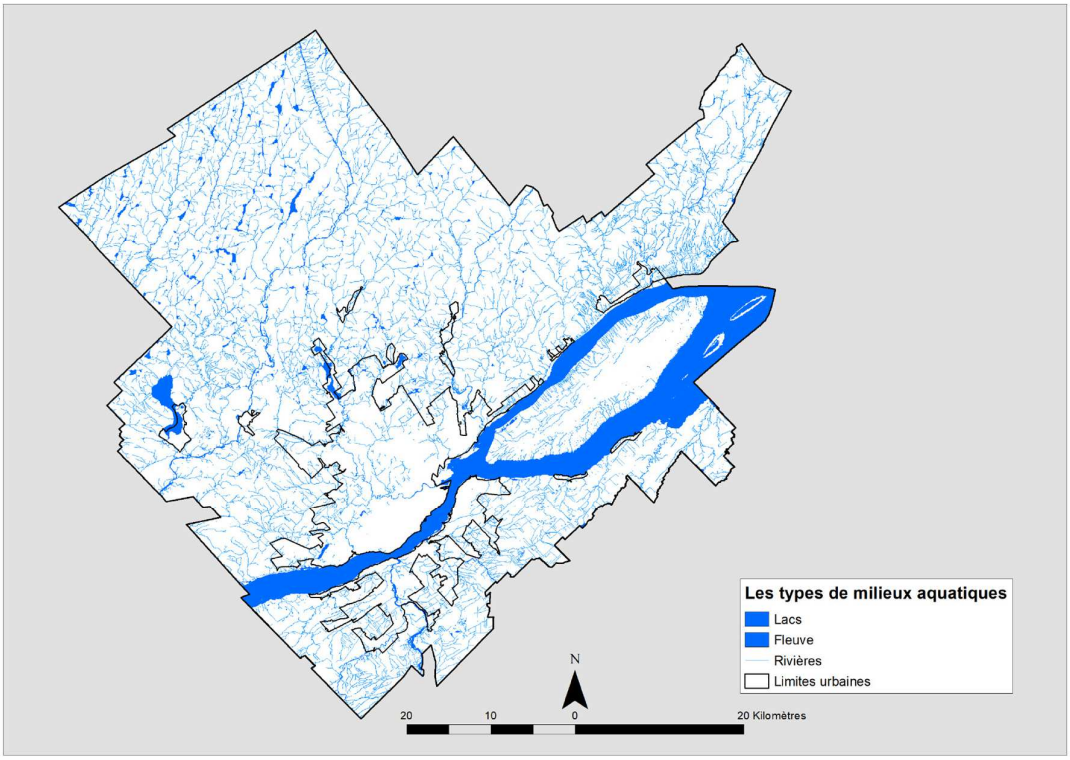


Figure 17. Répartition du réseau hydrologique du territoire d'étude

4.7.1. Traitement des polluants

Une dimension importante du cycle des éléments nutritifs se produit dans les écosystèmes aquatiques, affectant évidemment la qualité de l'eau. Dans de nombreuses parties des rivières et des lacs, les sédiments provenant des systèmes terrestres et leurs éléments nutritifs liés se déposent dans le fond des rivières et des lacs, les retirant efficacement de la colonne d'eau et améliorant la qualité de l'eau. Le biote des cours d'eau peut également transformer et retenir les nutriments dissous dans l'eau grâce à des processus biogéochimiques dans les cours d'eau (Bernal et al. 2015). **Selon notre analyse par transfert de bénéfices (Poder et al. 2016), nous estimons que le service de traitement**

des polluants par les systèmes aquatiques équivaut à une valeur de 49$/ha/an pour les 3 571 ha de lacs et de rivières en amont d'une prise d'eau, pour une valeur totale de 0,2M$/an.

4.7.2. Habitat favorisant la biodiversité

L'eau douce est l'habitat principal de nombreuses espèces de plantes et poissons se trouvant dans les milieux aquatiques du territoire d'étude. **Selon le travail réalisé par Poder et al. (2016) sur la trame bleue de Montréal, nous estimons que ce service présente une valeur de 11$/ha/an, totalisant 0,4M$/an pour l'ensemble des milieux hydriques du territoire d'étude.**

4.7.3. Récréotourisme

Les milieux aquatiques fournissent des opportunités récréatives et touristiques importantes. Pour estimer la valeur de ces activités (p. ex. baignade, canotage, pêche), nous appliquons la valeur trouvée pour les forêts, considérant que le réseau de lacs et de rivières est partiellement intégré aux parcs et stations touristiques qui ont servi de base à l'évaluation de ce service. **Ainsi, en appliquant une valeur de 189$/ha/an on obtient une valeur totale de 6,8M$/an pour l'ensemble du réseau hydrographique.**

4.7.4. Esthétisme du paysage

Le service d'esthétisme du paysage, relié à la valeur culturelle de la beauté des paysages **a été évalué à 4$/ha/an grâce à la méthodologie du transfert de bénéfice, et ce, basé sur l'étude de Poder et al. (2016), pour un total de 143k$/an.** Dans cette étude, Poder et al (2016) ont estimé ce que les utilisateurs de la ressource seraient prêts à contribuer pour améliorer l'esthétisme des zones récréatives offrant des points de vue sur l'eau. La faible valeur s'explique par la grande superficie couverte par les étendues d'eau et la nécessité de reporter la valeur des consentements à payer en une valeur par hectare, pour les fins de l'analyse spatiale et du transfert de bénéfices.

4.7.5. Valeur totale pour les milieux aquatiques

Malgré le peu d'études sur la valeur économique des milieux aquatiques, nous avons pu estimer la valeur de quatre services écosystémiques. **La valeur totale des services écosystémiques rendus par les milieux aquatiques du territoire d'étude est estimée à 7,5M$ par année, pour une moyenne de 210$/ha/an (Tableau 13).**

Tableau 13. Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux aquatiques du territoire d'étude

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M$/an)
Traitement des polluants	3 571 ha	49$/ha/an	TB	0,2
Habitat favorisant la biodiversité	35 695 ha	11$/ha/an	TB	0,4
Récréotourisme	35 695 ha	189$/ha	PM	6,8
Esthétisme du paysage	35 695 ha	4$/ha/an	TB	0,1
Total				**7,5**

4.8. Les stocks de services écosystémiques : le stockage de carbone

Le stockage du carbone est très important pour la régulation du climat à l'échelle globale. Le carbone stocké dans les plantes et les sols contribue à réduire la problématique des changements climatiques. Dans le cadre de cette étude, nous considérons toutefois ce carbone comme un stock et non un flux annuel de bénéfices. Ceci implique que la valeur du carbone stocké n'est pas incluse au calcul de la valeur annualisée des services présenté dans les sections ci-haut. Nous expliquons ce choix par la durée nécessaire à l'accumulation du carbone dans les sols, la complexité des processus et les incertitudes liées aux transformations potentielles de l'usage des sols sur le carbone. La section qui suit présente les résultats de la modélisation du carbone pour les différents écosystèmes du territoire d'étude.

Pour chaque classe d'utilisation des sols au sein du territoire d'étude, nous estimons le stockage de carbone hors sol et sous terre selon les données du 4^{e} inventaire du Système d'Information Écoforestière du Québec Méridionale (MFFP, 2015), ainsi que le carbone stocké dans les sols de la base de données Soilgrids.org (Hengl et al. 2017). En comparaison avec les autres études au Canada (p. ex. Dupras and Alam 2015, Dupras et al. 2016, Poder et al. 2016), notre estimation inclut le stockage de carbone dans les premiers 100 cm de sol, au lieu de 30 cm. Cette décision a été prise suivant la recommandation de Guo and Gifford (2002), qui pose que les changements dans l'utilisation des terres peuvent fortement affecter le stockage de carbone à une profondeur d'un mètre. La valeur économique de ce carbone stocké est estimée sur la base du coût social du carbone (CSC) évalué par Environnement et Changement Climatique Canada à 41,27$/t de carbone équivalent CO_2 en 2017.

Au total, 76,56 Mt de carbone sont stockées dans **les forêts** de la CMQ et le TCRQ, ce qui peut être considéré comme un stock évalué à plus de 11,5G$. La majorité du carbone se trouve dans le secteur boisé de la MRC de La Jacques-Cartier, en particulier dans les forêts mixtes qui sont dominantes dans ce paysage. Environ 90 % se trouvent dans les sols et environ 10 % dans la végétation aérienne. En moyenne, les forêts de conifères stockent environ 410 tonnes par hectare, alors que les forêts feuillues et mixtes en stockent un peu moins (de 368 à 370 t/ha). Ces différences entre les types de forêts sont principalement dues à la différence de stockage dans les sols.

Tableau 14. La répartition du stockage de carbone selon les types de forêts

Type de Foret	Stockage de Carbone (t/ha)	Valeur unitaire ($/ha)*	Superficie (ha)	Valeur totale ($)
Forêt de conifères	410	62 099	24 699	1,53 G
Forêt feuillue	368	55 737	72 979	4,07 G
Forêt mixte	370	56 041	106 863	5,99 G
Totale	**(374)****		**204 541**	**11,59 G**

*une valeur de 41,27$/t CO_2-eq (151,46$/t C) appliqué
** Moyenne pondérée

Malgré la vaste étendue de forêt, de tous les écosystèmes, **les milieux humides** sont les plus importants pour la régulation du climat en termes de stockage par unité spatiale. La grande majorité

du carbone stocké par ces écosystèmes à l'échelle du territoire d'étude se trouve dans les sols des tourbières (environ 95%); les arbres et la végétation aérienne ne contribuant que pour environ 3 à 5% du total. La proportion terrestre est importante dû au fait que lorsque la végétation meurt, elle s'ajoute au sédiment aquatique sans relâcher son stock de carbone. Sur le territoire d'étude, les milieux humides ouverts et les marais stockent 4 807 791 tonnes de carbone et les milieux humides fermés stockent 25 888 219 tonnes de carbone correspondant à une valeur totale de 4 666M$.

En raison de la récolte annuelle de la plupart des **terres agricoles**, celles-ci ne stockent pas la biomasse ou le carbone chaque année dans leur végétation (à l'exception des vergers), mais le carbone stocké se trouve plutôt dans les sols. Étant donné que l'agriculture est privilégiée sur les sols riches, ces régions ont tendance à présenter des niveaux élevés de carbone dans le sol. Sur le territoire à l'étude, les sols agricoles stockent environ 6,5Mt de carbone, évalués à plus de 992M$. Toutefois, les pratiques de gestion des exploitations agricoles peuvent influencer la préservation ou la dégradation des stockages de carbone dans le sol. En moyenne, les sols perdent 32 % du carbone stocké dans les 30 premiers centimètres du sol une fois éliminés de leur habitat naturel (Popelau et al. 2011) et convertis en culture. Les **friches, arbustes et prairies,** stockent environ 284 tonnes de carbone par hectare, entraînant le stockage de 10Mt de carbone dans leur biomasse et dans le sol évalué a 1,5G$.

Tableau 15. Le stockage de carbone dans les écosystèmes principaux de la CMQ et le TCRQ

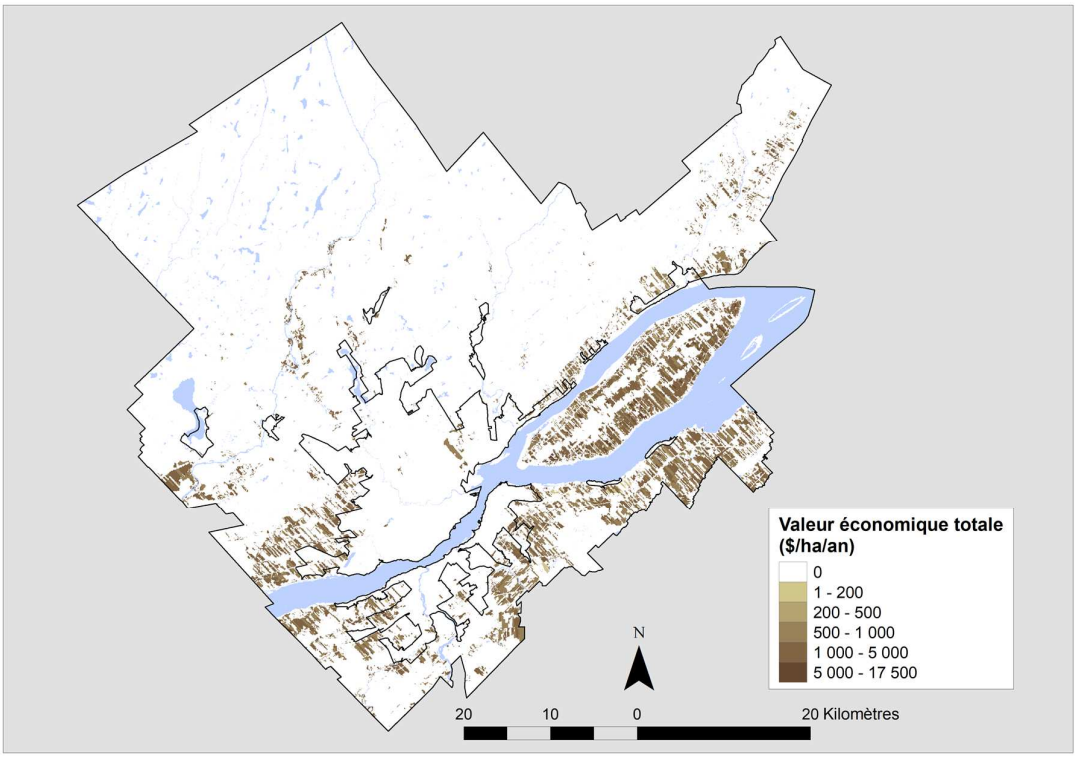
Ecosystème	Stockage de carbone (t)		Superficie (ha)	Moyenne Stockage (t/ha)	Valeur (M$)
	Zone rurale	Zone urbaine			
Forêts et boisés	72 994 337	3 563 282	204 541	374,3	11 595,5
Milieux humides	28 445 145	2 360 864	33 502	919,5	4 665,9
Milieux agricoles	6 547 237		29 039	226,1	991,7
Friches, arbustes et prairies	9 377 027	956 485	36 316	284,1	1 565,1
Total					**18 818,2**

4.9. La valeur totale des écosystèmes de la CMQ et de la TCRQ

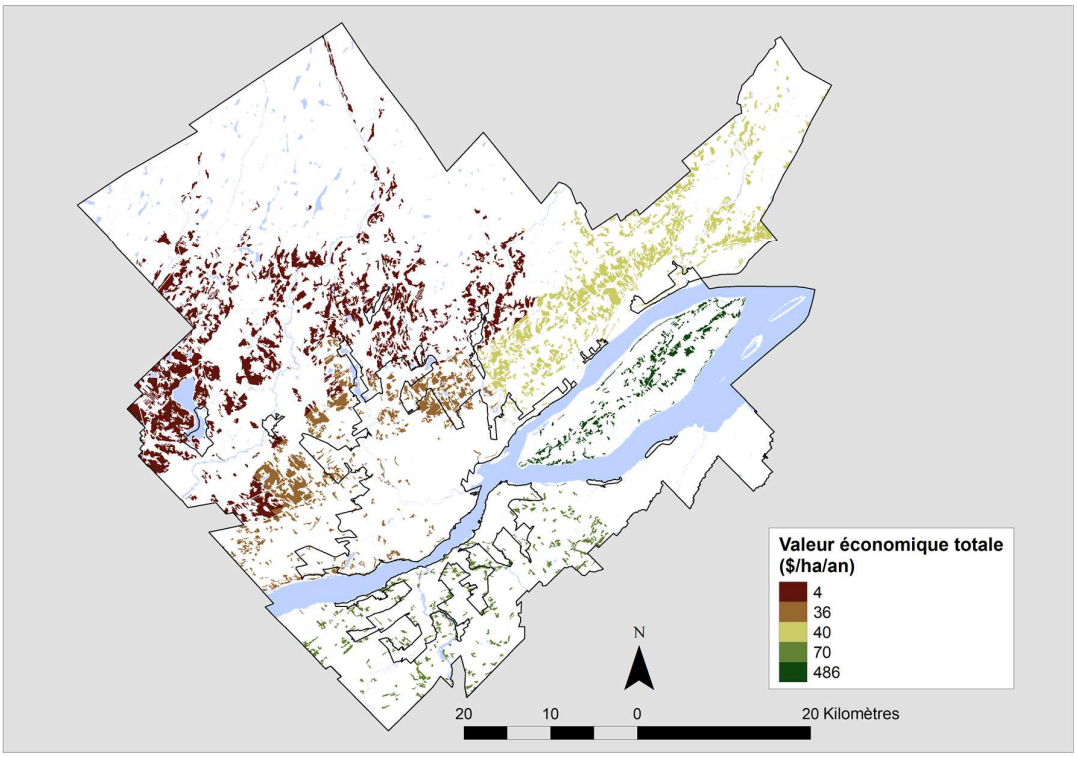
En combinant les valeurs estimées avec le logiciel InVEST et les méthodes économiques, nous pouvons visualiser la répartition de la valeur économique des services écosystémiques sur le territoire d'étude pour identifier les zones de plus haute importance en termes de production de services écosystémiques. La Figure 18 (a-n) montre la cartographie de 13 des 15 services écosystémiques évalués dans cette étude (agrotourisme et récréotourisme sont présentés distinctement). Nous ne cartographions pas l'approvisionnement de bois en raison d'un manque de données sur l'emplacement des lotissements forestiers et parce qu'il existe de forts arbitrages entre la réalisation de ce service et les autres services provenant des écosystèmes forestiers.

La répartition de l'approvisionnement des services varie significativement selon le service en question et le type d'occupation du sol. Les écosystèmes en zone urbaine sont particulièrement importants pour l'amélioration de la qualité de l'air et le contrôle biologique. Dans les zones rurales, quelques écosystèmes sont particulièrement importants pour la production de services. C'est notamment le cas des milieux humides qui possèdent une grande valeur économique associée au stockage de carbone, à la prévention des événements météorologiques extrêmes et pour l'habitat favorisant la biodiversité. Les milieux agricoles génèrent également de la valeur grâce à l'approvisionnement de produits alimentaires et par l'agrotourisme. Certains autres écosystèmes sont des fournisseurs importants pour plusieurs services, et ce, principalement en raison de la grande superficie qu'ils couvrent, pensons à la vaste étendue de forêt qui contribue massivement au stockage et à la séquestration de carbone, au cycle des nutriments, à la qualité de l'eau, aux habitats pour la biodiversité, au récréotourisme et à la production du sirop d'érable.

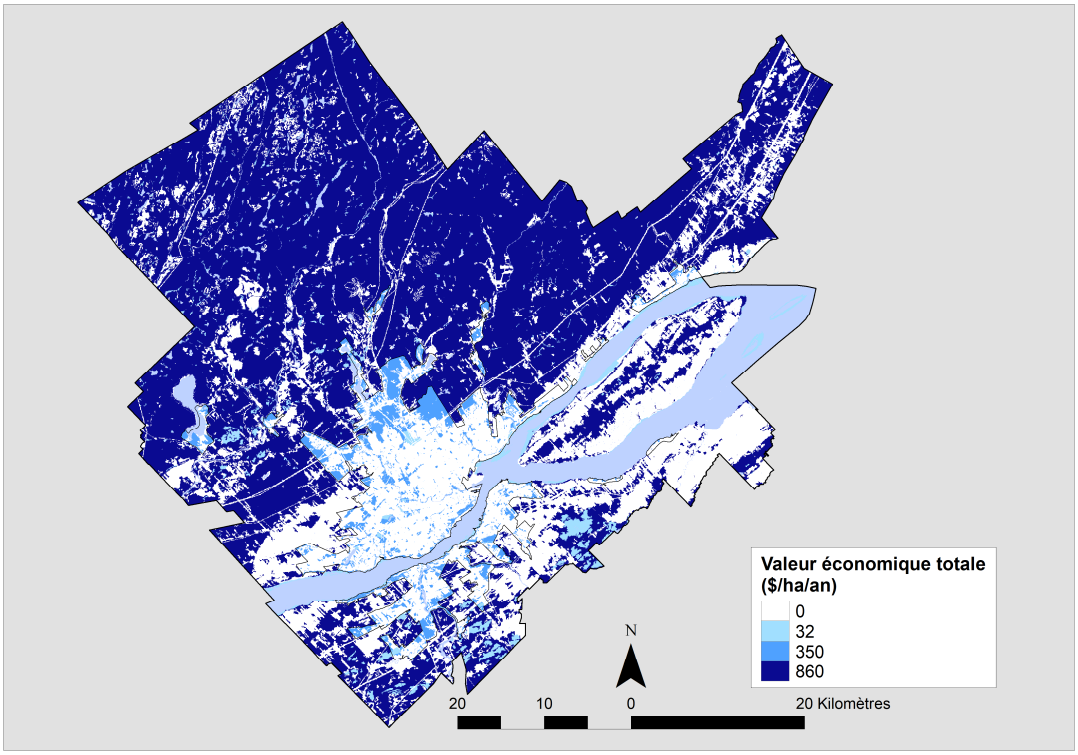
A) La valeur de la production agricole



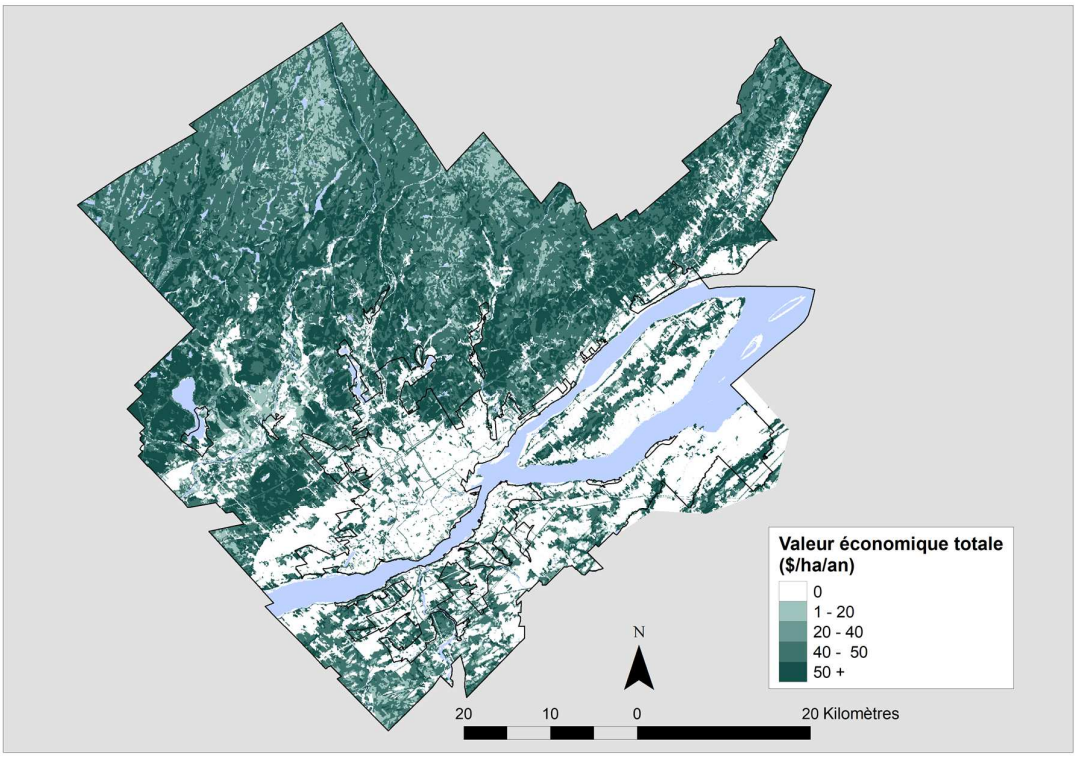
B) Valeur de la production non ligneuse acéricole



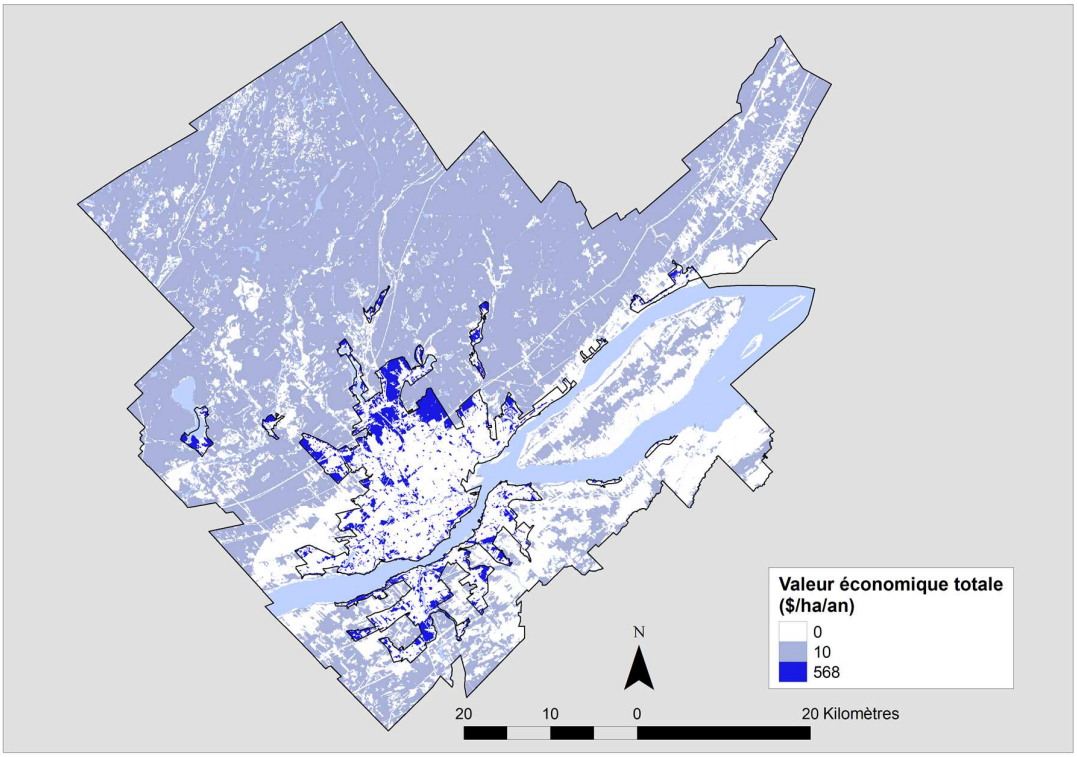
C) Valeur de l'approvisionnement en eau



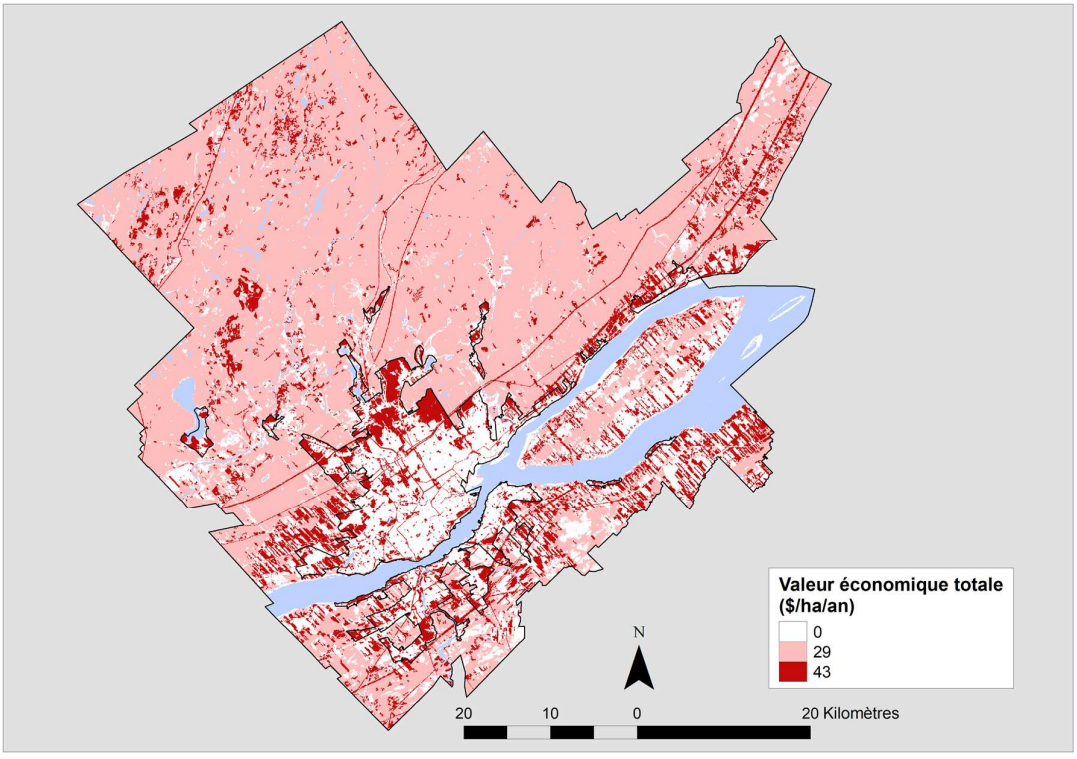
D) Valeur de la séquestration du carbone



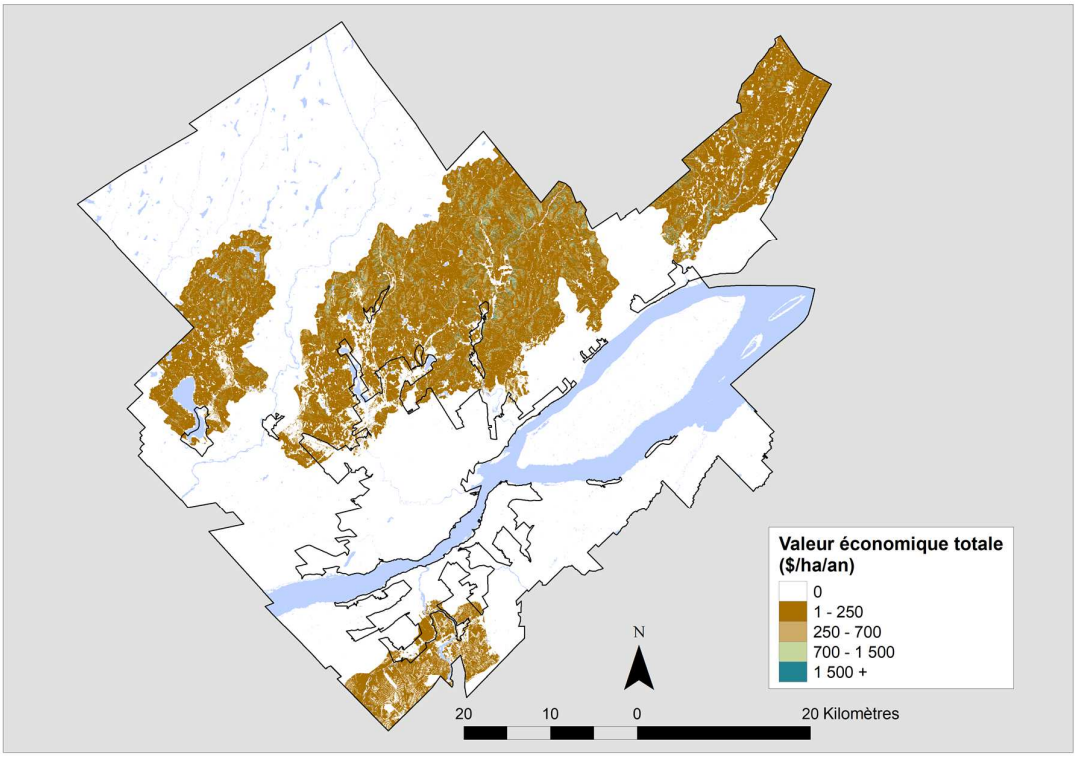
E) Valeur de l'amélioration de la qualité de l'air



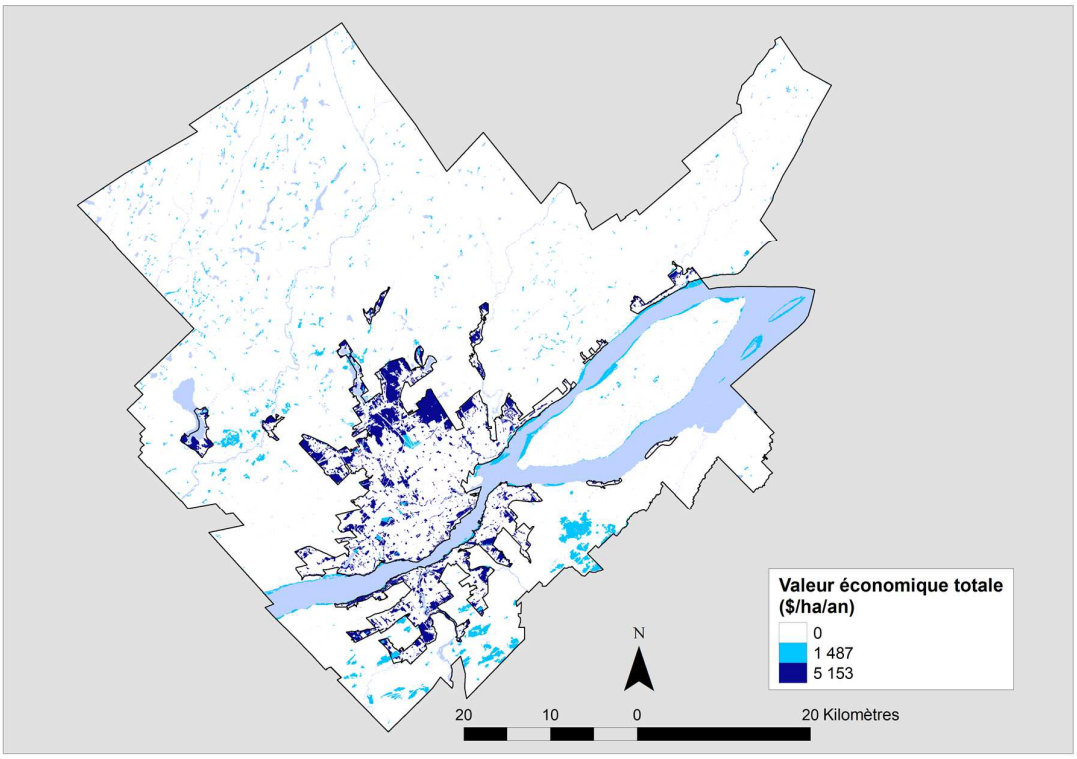
F) Valeur du contrôle biologique



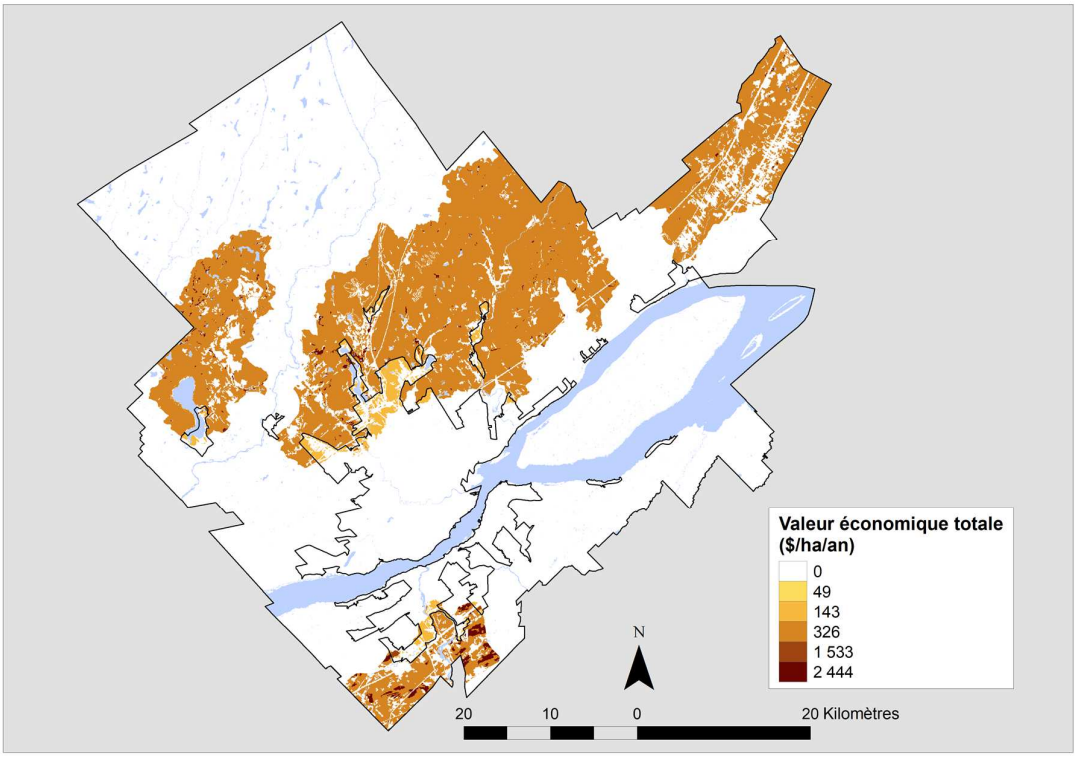
G) Valeur du contrôle de l'érosion



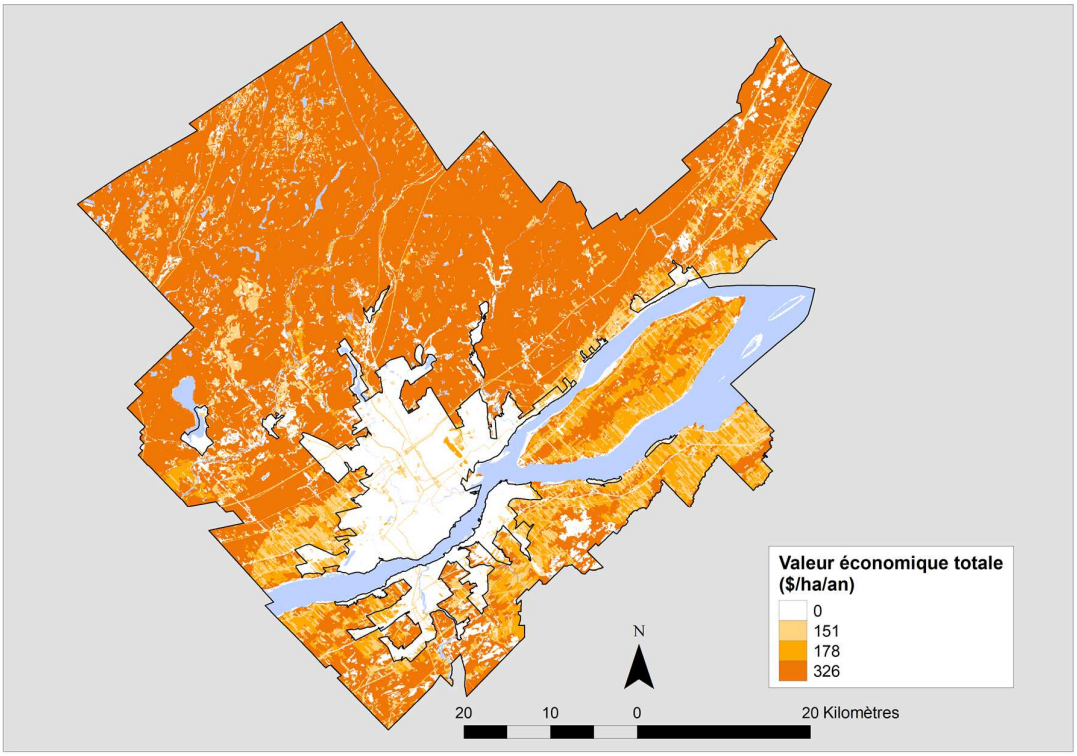
H) Valeur de la prévention des inondations



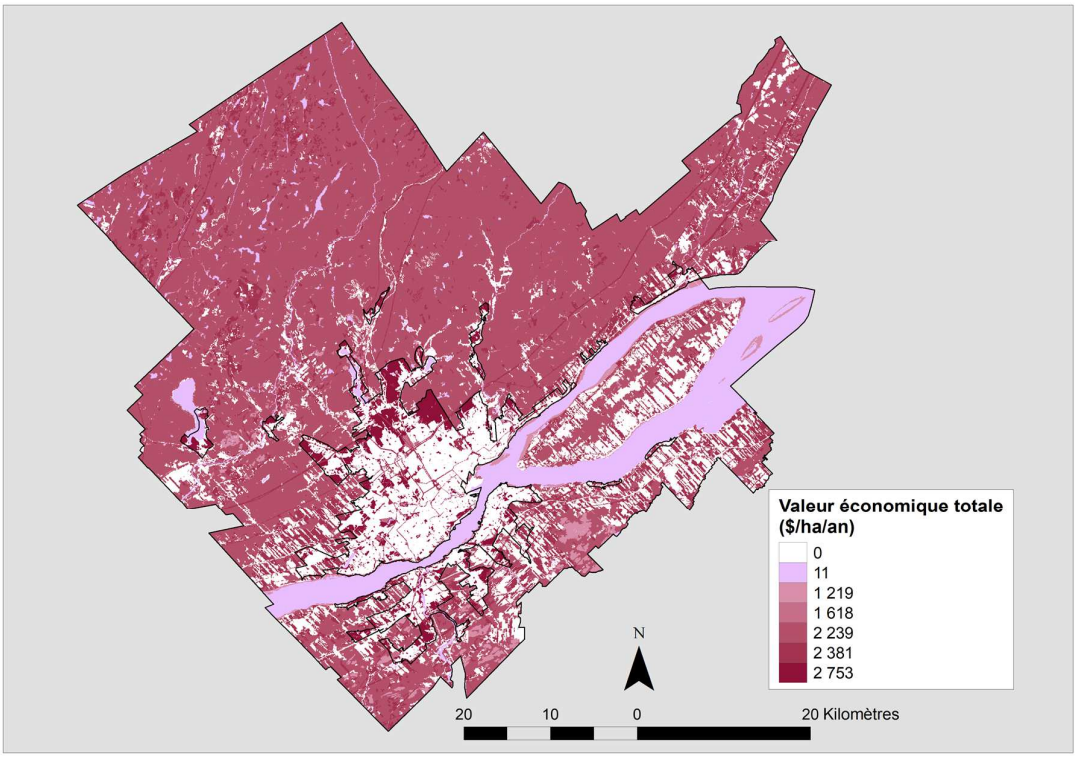
I) Valeur du traitement des polluants



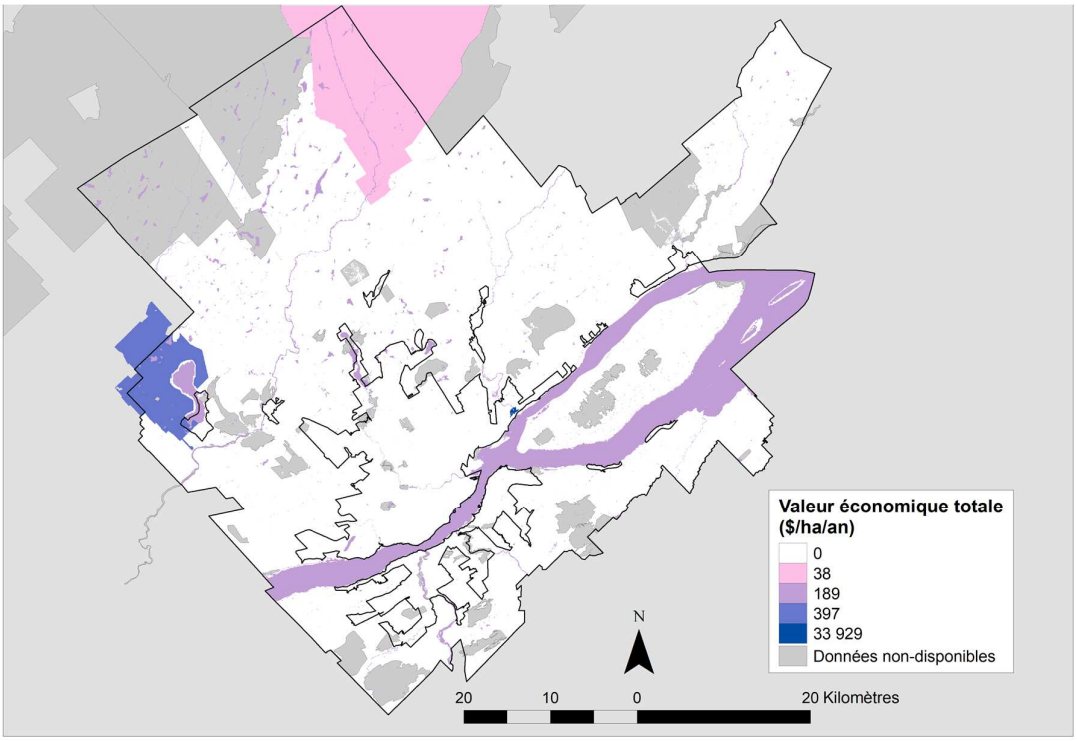
J) Valeur du cycle des nutriments



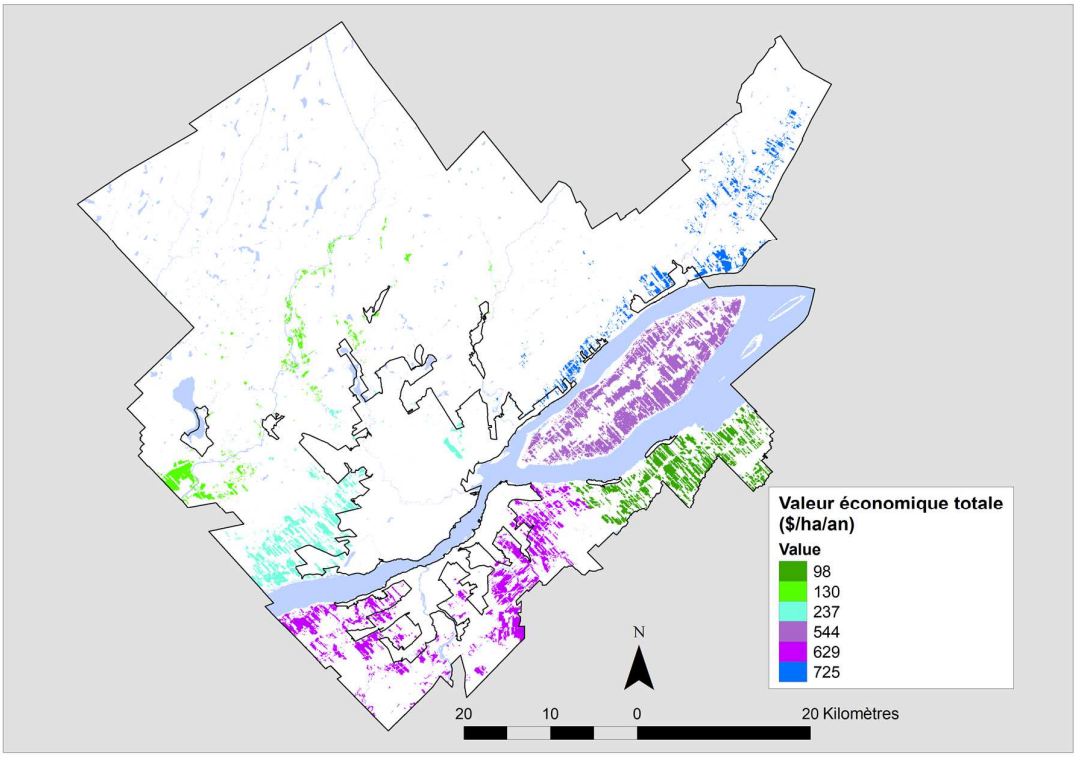
K) Valeur de l'habitat favorisant la biodiversité



L) Valeur pour le récréotourisme (parcs et milieux aquatiques)



M) Valeur pour le récréotourisme agricole (agrotourisme)



N) Valeur de l'esthétisme du paysage

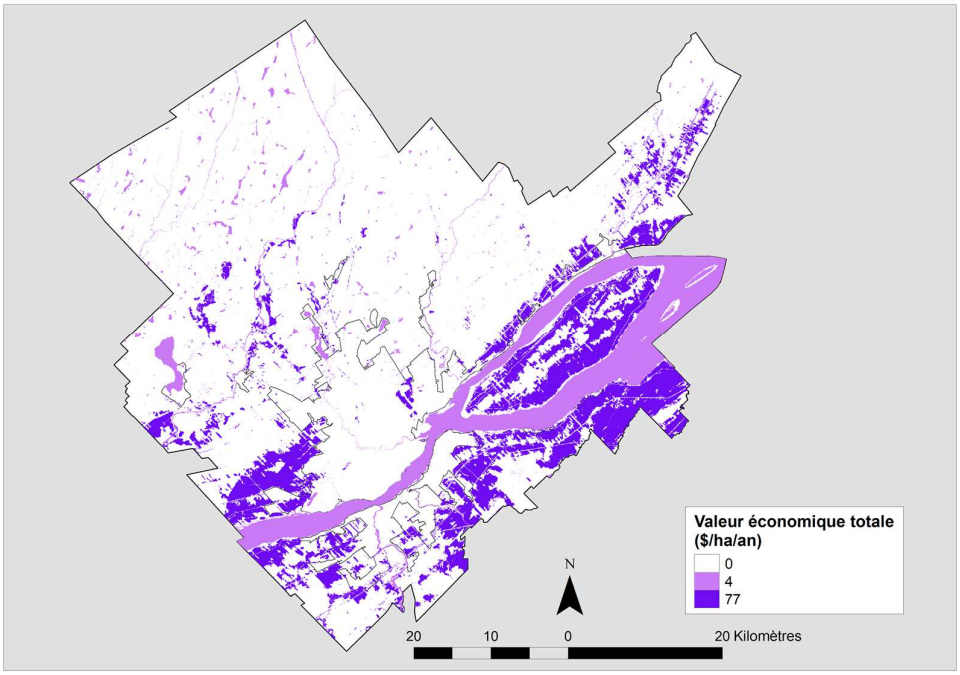


Figure 18. A-N. Répartition de la valeur totale annuelle de 13 des 15 services écosystémiques sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ en dollars de 2017.

*Deux cartes sont incluses sur la valeur du service de récréotourisme pour distinguer entre la valeur liée aux parcs naturels et celle liée à l'agrotourisme.

La biodiversité et les écosystèmes constituent une ressource importante pour l'économie de la région et pour la qualité de vie des communautés. Au total, et en excluant la mesure du stockage de carbone (voir section 4.8), **notre évaluation des 14 flux de services écosystémiques annuels montre que le capital naturel fournit un équivalent, en termes de valeur économique totale, de 1 125,1M$/an**. Cette valeur s'explique en grande partie par les services d'habitats de biodiversité. Les services d'approvisionnement en eau, de traitement des polluants, de prévention des événements extrêmes, du cycle des nutriments et de production agricole présentent ensuite les valeurs les plus importantes (Tableau 16). En ajoutant la valeur du service de stockage de carbone, nous arrivons à une valeur totale d'environ 20 G$ en services écosystémiques sur le territoire d'étude. Ce qui inclut à la fois les flux annuels de même que le stock de carbone présent dans les écosystèmes du territoire.

Tableau 16. Valeur totale des services écosystémiques (SE) fournis dans chaque écosystème étudié (M$/an)

Type	Services écosystémiques	Forêts rurales	Forêts urbaines	Milieux humides ruraux	Milieux humides urbains	Terres agricoles	Friches	Milieux aquatiques	TOTAL
Approvision-nement	Production agricole	-	-	-	-	46,8	-	-	**46,8**
	Production ligneuse	5,1	-	-	-	-	-	-	**5,1**
	Production non-ligneuse	-	-	-	-	1,8	-	-	**1,8**
Régulation et Soutien	Approvisionnement en eau	167,5	3,3	1,0	0,1	-	-	-	**171,9**
	Régulation du climat (séquestration)	8,8	0,5	0,8	0,1	-	0,7	-	**10,9**
	Qualité de l'air	2,0	5,5	-	-	-	-	-	**7,5**
	Contrôle biologique	5,6	0,4	-	-	-	1,7	-	**7,7**
	Contrôle de l'érosion	14,5	0,2	0,1	0,01	0,05	0,5	-	**15,4**
	Prévention d'inondations	-	49,5	45,9	3,9	-	-	-	**99,3**
	Traitement des polluants	28,9	0,5	25,0	1,4	-	-	0,2	**56,0**
	Cycle de nutriments	63,6	-	-	-	5,2	6,0	-	**74,8**
	Habitat favorisant la biodiversité	436,5	26,4	37,6	4,2	-	95,0	0,4	**600,1**
Culturel	Récréotourisme	4,8	-	-	-	10,8	-	6,8	**22,4**
	Esthétisme du paysage	-	-	-	-	2,2	3,1	0,1	**5,4**
	TOTAL des flux	**737,3**	**86,3**	**110,4**	**9,7**	**66,9**	**107,0**	**7,5**	**1 125,1**
	Stockage de carbone	**11 055**	**540**	**4 308**	**358**	**992**	**1 420**	**0**	**18 818**
	Total	**11 792**	**626**	**4 418**	**368**	**1 059**	**1 527**	**7,5**	**19 943**

Bien que cette méthode de comptabilisation du capital naturel se veuille aussi holistique que possible, elle dépend directement de la disponibilité des informations permettant de quantifier la valeur de chaque service. Bien que des valeurs économiques fiables aient été trouvées pour 15 services différents, les écosystèmes fournissent de nombreux services supplémentaires pour lesquels des données n'étaient pas disponibles, et donc n'ont pas été inclus dans cette étude. Parmi les exemples

de services supplémentaires que nous n'avons pas pu évaluer figure la valeur des ressources génétiques et l'approvisionnement en nourriture sauvage (p. ex. la récolte de champignons), les avantages cognitifs et éducatifs, les services spirituels et autres services culturels, qui contribuent chacun à accroître la valeur de ces écosystèmes. De nouvelles études démontrent également les liens importants entre la présence des milieux naturels et la santé humaine (Lee et Maheswaran 2011) qui ne sont pas encore facilement quantifiables. Il faut ainsi considérer que cette estimation de la valeur du capital naturel du territoire d'étude est conservatrice et représente la borne inférieure de la vraie valeur des écosystèmes et des bénéfices qu'ils génèrent.

4.9.1. Résultats par secteurs (MRC)

Il est également intéressant d'analyser la répartition de la valeur des flux de services écosystémiques à l'échelle des MRC présente sur le territoire d'étude (Tableau 17).

Les écosystèmes de la MRC de Jacques-Cartier possèdent la valeur la plus élevée pour du territoire d'étude (531M$/an). Cette valeur s'explique principalement par la vaste étendue de forêt et de boisés qui caractérise cette MRC. La forêt est un écosystème très important pour l'approvisionnement en eau (106M$/an), la prévention des inondations (20M$/an) et le cycle des nutriments (42M$/an). Par ailleurs, les forêts et boisés sont des habitats exceptionnels qui favorisent la biodiversité, un service qui présente une haute valeur économique (311M$/an). La MRC de La Jacques-Cartier est aussi une destination importante au sein du territoire d'étude pour les activités récréotouristiques de plein air (6M$/an).

L'Agglomération de Québec comprend majoritairement des écosystèmes en milieux urbains, dont des forêts, friches et milieux humides. Plus plusieurs des services associés à ces écosystèmes spécifiquement la valeur des services rendus est élevée étant donné la proximité et densité des bénéficiaires. Par exemple, le service de prévention des inondations (36M$/an) et d'amélioration de la qualité de l'air (3,4M$/an) par les forêts et les milieux humides sont des services très importants aux résidents de la ville de Québec. Les écosystèmes naturels qui persistent en milieux urbains ont aussi une valeur élevée pour la biodiversité (65M$/an). Il est important également de mentionner que la valeur des différents écosystèmes dans l'amélioration de la qualité de l'air sous-estime probablement la contribution des écosystèmes à la santé humaine. Les études récentes tendent à montrer que les forêts et espaces verts en milieux urbains jouent un rôle très important dans la santé des populations avoisinantes (Lee et Maheswaran 2011). Par exemple, il a été démontré que les promenades dans les parcs et les zones boisées réduisent le stress (Jiang et al. 2014) et les effets de la dépression (Bratman et al. 2015), contribuant à une meilleure santé mentale. L'accès aux espaces boisés et aux parcs peut promouvoir l'exercice physique et ses bienfaits pour la santé (Morris 2003). Les espaces verts fournissent également des espaces culturellement importants pour les activités et interactions sociales (Coley et al. 1997, Maas et al. 2009).

Les écosystèmes de la MRC de la Côte-de-Beaupré génèrent plus de 231M$/an en services écosystémiques aux citoyens sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Cette MRC affiche la deuxième valeur la plus élevée en termes de services rendus par les écosystèmes, derrière la MRC de La Jacques-Cartier. Les services les plus importants sont l'habitat favorisant la biodiversité (130M$/an),

l'approvisionnement en eau (401M$/an) et le cycle des nutriments (17M$/an). Les écosystèmes sur le territoire ont également un haut niveau de séquestration de carbone (2,4M$/an) dû à la grande quantité de forêts au sein du territoire de la MRC. En comparaison aux autres MRC sur la rive nord, la MRC de la Côte-de-Beaupré présente également davantage d'opportunités pour profiter de l'agrotourisme, notamment en raison de la présence de fermes d'autocueillettes de baies et de pommes, ainsi que des cabanes à sucre (2,7M$/an).

L'île d'Orléans est dominée par les écosystèmes agricoles, les forêts et les milieux humides. La grande majorité de la valeur des services écosystémiques dans cette MRC est associée aux activités agricoles. La production agricole génère 18,1M$/an, la production du sirop d'érable 0,8M$/an et les activités récréotouristiques un autre 7,2M$/an. De plus, les milieux humides et les forêts sont des refuges pour la biodiversité et jouent notamment un rôle dans la bonne santé des activités agroécologiques grâce à la pollinisation et au contrôle biologique.

Sur la rive sud, au sein de la Ville de Lévis, les écosystèmes sont repartis entre milieux humides, milieux agricoles et de vastes territoires de milieux bâtis. Le croisement d'écosystèmes naturels à proximité d'une haute densité de population contribue à une valeur élevée des services écosystémiques du territoire (évalués à 128M$/an). Les principaux services sont la prévention des inondations (29M$/an), l'habitat favorisant la biodiversité (56M$/an), la production agricole (9M$/an) et l'approvisionnement en eau (8,5M$/an).

Tableau 17. Valeur totale des services écosystémiques (SE) fournis par MRC (M$/an)

Services écosystémiques	Jacques Cartier	Ville de Québec	Côte-de-Beaupré	Levis	Île d'Orléans	Bellechasse	Total (M$/an)
Production agricole	3,2	4,7	3,9	9,7	18,5	6,8	**46,8**
Production forestière							
• Ligneuse	2,6	0,4	1,7	0,3	0,06	0,01	**5,1**
• Non-ligneuse	0,1	0,3	0,4	0,2	0,8	NA	**1,8**
Approvisionnement en eau	104,2	13,5	40,0	8,5	3,8	1,9	**171,9**
Régulation du climat	6,0	0,9	2,4	1,1	0,3	0,2	**10,9**
Qualité de l'air	1,9	3,4	0,7	1,4	0,05	0,05	**7,5**
Contrôle biologique	4,0	0,9	1,7	0,6	0,3	0,2	**7,7**
Contrôle de l'érosion	8,7	0,6	6,1	0,08	-	-	**15,4**
Prévention des inondations	19,9	35,9	8,2	28,8	5,2	1,3	**99,3**
Traitement des polluants	22,2	5,0	16,5	12,3	-	-	**56,0**
Cycle des nutriments	41,6	5,7	16,9	5,0	3,3	2,3	**74,8**
Habitat favorisant la biodiversité	310,7	65,0	129,7	56,3	22,1	16,3	**600,1**
Récréotourisme							
• parcs	5,7	0,9	0,5	0,9	2,7	0,8	**11,6**
• agrotourisme	0,3	1,6	1,8	2,1	4,5	0,5	**10,8**
Esthétisme du paysage	0,9	0,8	0,8	1,1	1,0	0,8	**5,4**
Total des flux	531,9	139,6	231,3	128,3	62,6	31,2	**1 125,1**
Stockage de Carbone	8 608	2610	3 661	2 021	1 131	786	**18 818**
TOTAL							**19 943**

Les trois municipalités de la MRC Bellechasse qui font partie de la TCRQ sont des territoires à haute concentration agricole. Les services écosystémiques dans cette MRC incluent la production agricole

(6,4M$/an), le cycle des nutriments dans les terres agricoles (2,3M$) et l'esthétisme du paysage (0,8M$/an). Une portion importante du territoire demeure encore en forêt et en milieux humides contribuant ensemble au soutien de l'habitat favorisant la biodiversité à hauteur de 16M$/an.

Finalement, la Figure 18 représente la distribution spatiale de la valeur de tous les services écosystémiques évalués dans ce rapport, à l'exception de la valeur des produits forestiers ligneux. On peut ainsi identifier les zones à forte valeur de production de services écosystémiques. Les zones côtières du Saint-Laurent, de l'île d'Orléans, de même que de nombreux secteurs de la rive sud et du nord-ouest du territoire d'étude présentent ces zones de forte valeur qui dépassent les 70 000 $ à l'hectare.

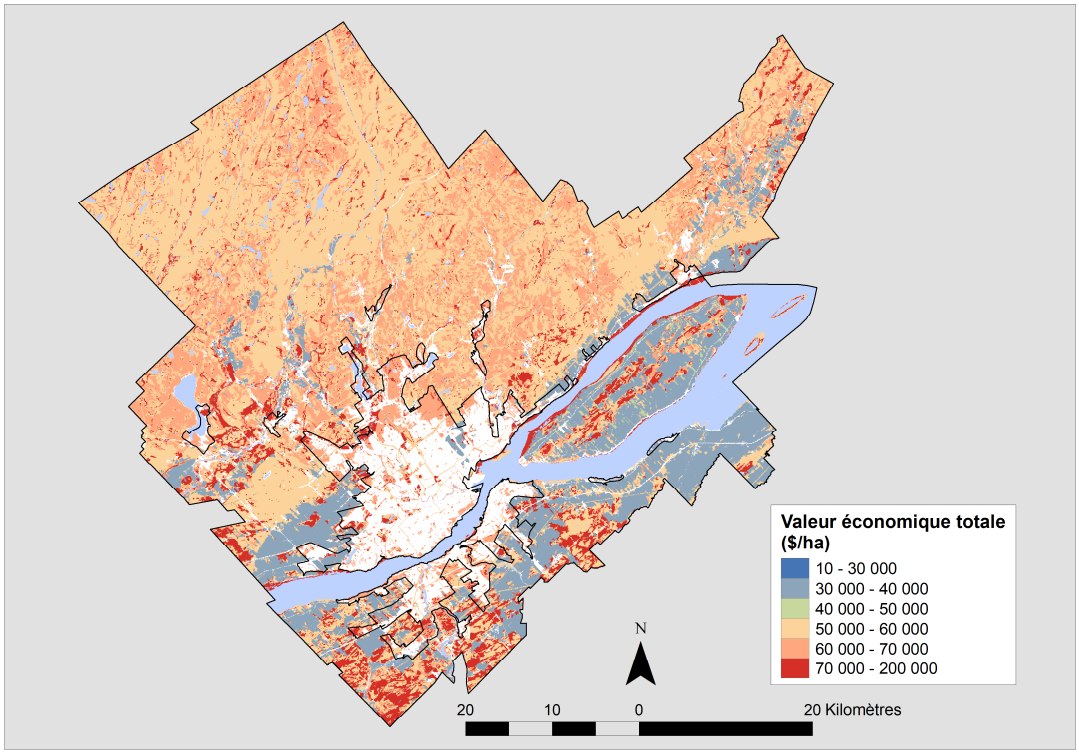


Figure 19. Répartition de la valeur totale par hectare des 13 services écosystémiques évalués

5. Recommandations relatives à l'aménagement du territoire

Cette section présente des recommandations pour la considération des services écosystémiques dans l'aménagement du territoire d'étude. Ces recommandations se basent à la fois sur les résultats des sections précédentes, sur une revue de la littérature et sur la conduite d'une recherche auprès d'experts de l'aménagement dans la région. Pour ce faire, les méthodes de triage des services écosystémiques et de l'AFOM (Avantages, Faiblesses, Opportunités et Menaces) ont été utilisées. Les sections qui suivent détaillent le processus de consultation des experts et la méthodologie retenue, ainsi que les résultats et l'agrégation des démarches dans des recommandations concrètes.

5.1. Motivation et méthodologie du triage et de l'AFOM

Impliquer les parties prenantes dans un tel exercice d'évaluation des services écosystémiques est vivement recommandé et particulièrement pertinent dans le but de produire une expertise scientifique en cohérence avec les contextes et enjeux territoriaux et directement utilisables par les gestionnaires et décideurs (Drakou et al. 2018). Afin d'identifier les enjeux relatifs à la conservation de la biodiversité à l'échelle du territoire d'étude et le contexte politique lié à sa planification, des représentants de la CMQ, de ses villes (Québec et Lévis), et de ses MRC (L'Île-d'Orléans, La Côte-de-Beaupré et La Jacques-Cartier) ont été impliqués lors de deux rencontres de travail. Un représentant de la MRC de Bellechasse a également participé à ces rencontres afin de considérer la zone d'étude de la TCRQ.

La méthode de triage (Pendleton et al. 2015) permet d'adopter une démarche stratégique d'évaluation des services écosystémiques dans la mesure où elle vise à caractériser les perceptions des enjeux écologiques liés aux services écosystémiques sur le territoire. L'analyse AFOM (Avantages - Faiblesses - Opportunités - Menaces) permet également d'adopter une démarche stratégique en formalisant les points positifs et négatifs et en identifiant les facteurs de son environnement qui peuvent influer favorablement ou défavorablement le déroulement d'un programme d'action ou d'une politique. Combinées, ces deux méthodes permettent de donner des indications sur la portée et les priorités à donner lors de l'exercice d'évaluation. La mise en oeuvre des méthodes triage et AFOM repose ici sur la construction d'un questionnaire en cinq points :

1) comprendre la pertinence et la portée d'un tel exercice d'évaluation des services écosystémiques pour le territoire de la CMQ ;
2) identifier les services écosystémiques importants, et ce, sur la base de quatre critères : (i) l'importance du service pour les parties prenantes, (ii) la tendance actuelle dans la qualité et/ou la quantité du service, (iii) la capacité de l'intervention publique à gérer ce service, (iv) l'influence de facteurs externes (environnementaux, sociaux, économiques) dans l'évolution du service ;
3) énumérer les politiques et mécanismes de gouvernance qui ont une capacité d'intégration du concept de services écosystémiques ;
4) lister les avantages et inconvénients d'une telle évaluation des services écosystémiques pour le territoire ;
5) lister les opportunités et obstacles à l'utilisation du concept dans le contexte territorial actuel.

D'une durée de 30 minutes, le questionnaire a été complété, puis discuté, par les représentants de la CMQ, de ses villes et MRC lors d'un atelier de travail.

5.2. Résultats du triage

5.2.1. Pertinence et portée d'une évaluation des services écosystémiques

Neuf catégories associées à autant de finalités possibles pour l'évaluation des services écosystémiques ont été soumises aux parties prenantes afin de confirmer la pertinence et d'identifier la portée de l'exercice. Chaque répondant a indiqué les trois principales finalités qu'il perçoit pour l'évaluation. Ces neuf catégories sont ici répertoriées depuis la plus à la moins populaire.

Tableau 18. Répartition des réponses des répondants – Utilité de l'évaluation économique des SE

Utilité de l'évaluation économique des SE	Nbr de réponses
Renforcer la sensibilisation liée à la protection de l'environnement	4
Améliorer les connaissances	3
Anticiper les changements futurs	3
Conceptualiser les options de gestion	3
Mieux intégrer les connaissances	2
Effectuer un diagnostic des principaux problèmes pour l'aménagement	2
Faciliter l'intégration des compromis	2
Comparer les options de gestion	2
Augmenter le bien-être	1

Afin d'obtenir des résultats encore plus synthétiques, ces catégories peuvent être regroupées au sein de trois catégories plus larges :

Établir un diagnostic : l'évaluation de services écosystémiques permet de mieux comprendre les tenants et aboutissants liés à un enjeu environnemental et d'améliorer et mieux intégrer les connaissances. Cette finalité est considérée majeure pour 5 des 7 répondants.

Sensibiliser et éduquer à l'environnement : l'évaluation sert de support de connaissance pour communiquer sur la protection de l'environnement auprès des parties prenantes et/ou du grand public. Cette finalité est considérée majeure pour 4 des 7 répondants.

Avoir une vision prospective et planifier : l'évaluation permet d'anticiper les changements futurs, conceptualiser les options de gestion, faciliter l'intégration des compromis, comparer les options de gestion ou encore augmenter le bien-être. Cette finalité est considérée majeure pour la totalité des répondants.

5.2.2. Identification des services écosystémiques importants

Un total de 17 services écosystémiques a été soumis aux parties prenantes afin d'identifier les services « clés » pour le territoire défini au regard des critères d'importance, de tendance actuelle, de capacité de gestion par l'administration publique et l'influence de facteurs externes, tels que décrits

précédemment. Les services écosystémiques étaient les mêmes que ceux analysés dans section 4 en plus des services de ressources génétiques et d'éducation relative à l'environnement. Chaque répondant a indiqué, sur une échelle de 1 (faible) à 4 (fort) la force accordée à chaque critère, et ce, pour chaque service écosystémique. Les valeurs rapportées dans le tableau ci-dessous, correspondent aux valeurs moyennes accordées pour l'ensemble des 7 parties prenantes. Pour faciliter la lecture, ces valeurs sont surlignées en rouge lorsqu'elles sont très fortes (v > 3.0), en orange lorsqu'elles sont moyennes à fortes (3.0 > v > 2.0), en jaune lorsqu'elles sont faibles (2.0 > v > 1.0) et en grise lorsqu'elles sont très faibles (1.0 > v).

Tableau 19. Résultat du triage des services écosystémiques

Catégories de services	Services écosystémiques	Importance	Tendance actuelle	Capacité de gestion	Influences externes	TOTAL
Services de prélèvement	Production agricole	3,4	2,6	2,4	3,7	3,0
	Production forestière ligneuse	2,6	1,9	2,0	2,7	2,3
	Production forestière non ligneuse	1,9	1,6	1,6	2,6	1,9
	Approvisionnement en eau	4,0	2,9	3,4	2,9	3,3
	Ressources génétiques	1,3	1,2	0,5	2,8	1,5
Services de régulation	Séquestration et stockage de carbone	2,4	1,2	1,0	2,7	1,8
	Régulation du climat local (p.ex. îlots de chaleur)	3,1	1,9	3,0	2,6	2,7
	Qualité de l'air	3,7	1,8	1,9	3,0	2,6
	Contrôle de l'érosion	2,9	1,4	2,4	2,4	2,3
	Qualité de l'eau (Traitement des polluants)	3,9	2,6	3,0	2,6	3,0
	Prévention des inondations	3,7	1,6	2,3	2,9	2,6
	Pollinisation	2,5	1,7	1,3	3,1	2,1
	Cycle des nutriments	2,1	1,2	0,7	2,4	1,6
	Habitats favorisant la biodiversité	2,4	1,6	2,4	2,4	2,2
	Pollinisation	2,5	1,7	1,3	3,1	2,1
Services culturels	Récréotourisme	3,1	3,0	3,4	2,7	3,1
	Esthétisme des paysages	3,0	2,3	2,7	2,4	2,6
	Éducation relative à l'environnement	2,9	1,9	2,6	2,0	2,3

Critère « Importance » : À l'exception des produits forestiers non ligneux et des ressources génétiques, l'ensemble des services écosystémiques sont considérés importants par les parties prenantes. On remarque cependant que les services d'approvisionnement en eau, de qualité de l'eau, de qualité de l'air et de prévention des inondations sont perçus comme particulièrement importants à l'échelle du territoire (v > 3,5).

Critère « Tendance actuelle » : Les changements dans la qualité et/ou la quantité du SE ne sont pas perçus comme majeurs à l'échelle de la CMQ à l'exception du service lié aux activités récréotouristiques (v = 3,0). Dans une moindre mesure, ces changements affectent

l'approvisionnement en eau, les produits agricoles, la qualité de l'eau et l'esthétisme des paysages (3,0 > v > 2,0).

Critère « Capacité de gestion » : Les parties prenantes perçoivent une capacité de gestion des services écosystémiques particulièrement importante pour l'approvisionnement en eau, les activités récréotouristiques, la qualité de l'eau et la régulation du climat local. À l'inverse, les ressources génétiques, le cycle des nutriments ou encore la séquestration et le stockage de carbone ne sont pas perçus comme gérables par les autorités locales.

Critère « Influence des facteurs externes » : Les facteurs externes (environnementaux, sociaux, économiques) agissent sur l'ensemble des services écosystémiques et particulièrement sur les produits agricoles, la pollinisation et la qualité de l'air.

Au total, quatre services écosystémiques ressortent comme « prioritaires » à l'échelle du territoire d'étude au regard des quatre critères considérés : l'approvisionnement en eau, les activités récréotouristiques, la qualité de l'eau et les produits agricoles. À l'inverse, le cycle de nutriments, les produits forestiers non ligneux, les ressources génétiques ou encore la séquestration et stockage de carbone ne sont pas des services écosystémiques "clés" pour le territoire de la CMQ. Ce dernier résultat est particulièrement intéressant dans le contexte actuel en lien avec la question des changements climatiques et s'explique par la perception d'une capacité de gestion de la séquestration et du stockage de carbone très faible par les autorités publiques locales.

5.3. Résultats de l'AFOM

5.3.1. Politiques et mécanismes de gouvernance permettant l'intégration des services écosystémiques

Une énumération des principales politiques et principaux outils de gouvernance actuels capables d'intégrer les services écosystémiques et, par là même, d'influencer le niveau de ces services, a été réalisée par les 7 parties prenantes. Au total, 25 politiques et outils, définis selon différents degrés de précision, ont été recensés et classifiés dans le Tableau 20.

Tableau 20. Politiques et programmes pouvant intégrer le concept de services écosystémiques

Type de Politiques	Outils
1. Les orientations, politiques et programmes locaux pour la CMQ et ses composantes	1. Schémas d'aménagement et de développement (LAU) 2. Plan directeur d'aménagement et de développement (PDAD) 3. Planification d'aménagement et de développement du territoire (PMAD) 4. Plans sectoriels 5. Politique de protection et de mise en valeur de certains territoires (PPMV) 6. Initiatives de conservation volontaire 7. Réglementation locale 8. Identification du site de protection volontaire
2. Ententes, politiques et orientations globales au niveau gouvernemental	1. Nouvelles orientations gouvernementales 2. Projets ponctuels découlant d'ententes spécifiques entre le gouvernement et la CMQ 3. Loi sur la qualité de l'environnement (LQE)
3. Politiques et orientations agricoles	1. Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles (LPTAA) 2. Plan de développement de la zone agricole (PDZA) 3. Commission de protection du territoire agricole (CPTAQ) 4. Gestion agricole par le MAPAQ
4. Politiques et orientations concernant les milieux aquatiques	1. Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) 2. Loi 132 concernant les milieux humides et hydriques 3. Plan de gestion des milieux humides et hydriques
5. Programme pour les forêts	1. Programme d'aménagement durable des forêts 2. Programme de mise en valeur des milieux forestiers (MFFP)
6. Politiques et orientation des infrastructures grises	1. Choix et projets de développement autoroutier 2. Règlements d'urbanisme 3. Investissement massif dans les transports en commun
7. Programmes de connaissances, d'éducation et de sensibilisation	
8. Outils de planification économique	

5.3.2. Avantages et inconvénients de l'évaluation des services écosystémiques pour le territoire d'étude

On retrouve, dans la liste des avantages liés à l'évaluation des services écosystémiques à l'échelle du territoire d'étude, l'ensemble des finalités mentionnées dans le premier point du questionnaire (cf. partie « 5.2.1. Pertinence et portée d'une évaluation des services écosystémiques »). Ainsi, les avantages relèvent de la capacité d'une telle évaluation : à orienter la décision et la planification du territoire aux échelles locales et régionales ; à établir un diagnostic des enjeux actuels sur la base de nouveaux indicateurs et de nouvelles connaissances relatives au concept de services écosystémiques ; à sensibiliser sur les enjeux d'environnement auprès des décideurs, des parties prenantes et du grand public. Au-delà de ces 3 grands aspects, l'évaluation de services écosystémiques est perçue comme un support fort pour la protection des milieux naturels en apportant des arguments concrets et pertinents.

Néanmoins, un certain nombre d'inconvénients liés à une telle évaluation est également recensé par les parties prenantes. Concernant le processus d'évaluation en lui-même, certains participants ont émis des réserves quant à la validité des méthodes basées sur différentes hypothèses, sur l'utilisation de proxis et sur la non-exhaustivité, ce qui conteste la validité des valeurs économiques. Sa dimension statique est également recensée et dénonce le manque de flexibilité du processus quant aux évolutions temporelles de différents facteurs et contextes. Concernant la finalité de l'évaluation, la contrainte au développement urbain (routiers, résidentiels, industriels et commerciaux, d'infrastructures touristiques…) est citée comme un inconvénient majeur. Enfin, certaines parties prenantes craignent une incompréhension et/ou une utilisation des résultats à mauvais escient (par exemple la légitimation de la destruction d'un milieu naturel de faible valeur économique).

5.3.3. Opportunités et obstacles à l'utilisation du concept dans le contexte territorial actuel

On retrouve, dans la liste des opportunités liées à l'utilisation du concept dans le contexte territorial actuel, l'ensemble des politiques et outils de gouvernance mentionné dans le troisième point du questionnaire (cf. partie « 5.3.1. Politiques et mécanismes de gouvernance à la capacité d'intégration des services écosystémiques »), et principalement celles concernant la loi 132 et la révision du PMAD. De manière plus générale, une telle évaluation pourrait avoir des implications dans l'avancement du discours et les propositions qui concernent la prévention des changements climatiques (notamment en justifiant la conservation de certains espaces) ainsi que la protection et la mise en valeur des milieux naturels (exemple du mouvement Ariane). Enfin l'évaluation économique des services écosystémiques pourrait servir d'outil d'estimation des coûts globaux d'un développement incluant la perte de services écosystémiques et le coût de leur remplacement.

Les obstacles à la prise en compte de l'évaluation de services écosystémiques concernent : la pression de développement à l'échelle du territoire d'étude avec l'enjeu de densification (pression pour développer les milieux non développés dans le plan métropolitain) versus l'étalement urbain (qui affecte les milieux intégrés et augmente les émissions de gaz à effets de serre) ; le risque d'incompréhension d'un tel exercice du fait du manque de concrétude du concept de services écosystémiques pour eux ; la mise en place d'une fiscalité municipale basée sur la richesse foncière et la perception de taxes municipales ; un message et/ou une communication déficiente.

6. Conclusion

La richesse des espaces terrestres du territoire d'étude se reflète dans la diversité, l'abondance et la valeur des avantages procurés par ces écosystèmes à la population. Notre analyse du flux de services écosystémiques et de leur valeur économique nous permet de constater que le capital naturel de la CMQ et de la TCRQ génère un total de plus de 1,1 milliard de dollars de bénéfices annuels provenant de 14 des services écosystémiques évalués, en plus de stocker du carbone pour un total d'environ 19 milliards de dollars dans ses arbres, ses terres humides et ses sols. Ce flux annuel de bénéfices est supérieur aux investissements combinés des secteurs commercial (557 M$), industriel (129 M$) et institutionnel (227 M$) dans la RMR de Québec en 2017 (une région qui couvre la majorité du territoire d'étude), et l'équivalent de près de la moitié des investissements prévus dans les infrastructures du gouvernement du Québec (6,98 G$) pour des projets liés à l'eau potable, au traitement des eaux usées et à l'infrastructure communautaire pour la période 2016-2026 (Québec International 2018). En attribuant une valeur à ces écosystèmes, nous commençons à comprendre à quel point la nature est essentielle et centrale dans nos vies et ce que nous risquons de perdre si ces écosystèmes sont mal gérés. Qui plus est, la conduite d'ateliers de travail avec des parties prenantes impliquées dans l'aménagement du territoire de la CMQ a permis de montrer l'intérêt de ce concept pour améliorer la prise de décision relative à l'aménagement et la gestion du territoire, en plus du grand nombre de programmes et politiques existants pouvant être utilisés dès maintenant pour favoriser le maintien et l'augmentation de la production de services écosystémiques dans la CMQ.

Ensemble, les lois qui protègent les zones clés de production de services écosystémiques et les politiques qui encouragent et promeuvent les « paysages exploités » visant à soutenir la nature et le développement (Kremen et Merenlender 2018) peuvent aider à préserver le capital naturel de la CMQ et de la TCRQ pour aujourd'hui et les générations futures. Identifier les obstacles, ainsi que les points d'entrée essentiels dans les politiques existantes afin de tirer parti de la comptabilité du capital naturel est la première étape pour que les décideurs intègrent les écosystèmes dans leur processus de planification et de prise de décision (traité dans la section précédente du présent rapport). Ceci dit, cet exercice doit permettre d'utiliser ces mêmes indicateurs économiques et biophysiques dans la prise de décision elle-même. Ceci demande non seulement une connaissance et une compréhension du concept des services écosystémiques de la part des décideurs et des citoyens, mais aussi une vision du futur dans lequel la gestion des services écosystémiques devient un levier pour la réalisation des plans de développement et d'aménagement du territoire. Pour y arriver, il sera essentiel de développer la capacité à estimer et modéliser la production des services écosystémiques selon différents scénarios d'aménagement. Ceci permet aux décideurs et différentes parties prenantes de comprendre l'impact du développement sur les services, de comprendre les arbitrages entre les différents scénarios de développement du territoire de même que de visualiser comment une saine gestion des services peut elle-même contribuer aux objectifs de développement régional.

Au-delà de la valeur économique, les écosystèmes sont essentiels à notre sentiment d'appartenance, d'identité et de bien-être, des aspects difficiles à quantifier. Une approche de comptabilisation du capital naturel nous aide cependant à apprécier et à intégrer les écosystèmes dans la prise de décision, mais ce n'est qu'une approche pour évaluer la valeur de ces systèmes. Les paysages sont plus que les écosystèmes et la faune et la flore qui les habitent, ou encore les services qu'ils fournissent. Leur

valeur dépend également de l'histoire des gens et de leurs relations avec le territoire, ainsi que de notre compréhension de la nature. Ainsi, notre portrait économique reflète l'importance de la nature pour le bien-être de la population du territoire d'étude, mais ne capture qu'une partie de la valeur réelle de ces écosystèmes.

7. Références

Alam, M., A. Olivier, A. Paquette, J. Dupras, J. P. Revéret, et Messier, C., 2014. A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. Agroforestry systems, 88(4), pp.679-691.

Bernal, S., Lupon, A., Ribot, M., Sabater, F. et Marti, E., 2015. Riparian and in-stream controls on nutrient concentrations and fluxes in a headwater forested stream. Biogeosciences, 12: 1941-1954.

Bianchi, F.J.J.A., Goedhart, P.W. et Baveco, J.M., 2008. Enhanced pest control in cabbage crops near forest in The Netherlands. Landscape Ecology, 23(5), pp.595-602.

Bissonnette, J. et Lavoie, S., 2015. Carte d'utilisation du Territoire. Gouvernement du Québec, Ministère de Développement Durable, Environnement et Changement Climatique (MDDELCC).

Bommarco, R., Kleijn, D. et Potts, S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. Trends in ecology & evolution, 28(4), pp.230-238.

Bratman, GN, Hamilton, JP, Hahn, KS, Daily, GC and Gross, JJ (2015) Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation. Proceedings of the national academy of sciences, 112(28):8567-857.2

Brulotte, R., Lanoie, P., Laplante,B. et Provost, M., 1995. *Environnement, économie et entreprise*. Sainte-Foy, Québec: Télé-université.

Bureau du forestier en chef, 2015. Effet de la stratégie d'aménagement sur la quantité de carbone séquestré sur le territoire forestier aménagé québécois. FEC-AVIS-06-2015. Roberval, Qc, 18 p. + annexes

Canadian Municipal Water Consortium, 2014. Canadian municipal water priorities report 2014: Towards sustainable and resilient water management. Canadian Municipal Water Consortium.

Canards Illimités Canada, CMQ, MDDEFP, 2014. Cartographie détaillée des milieux humides du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec. Rapport Technique et couche géospatiale. En ligne, accédé le 12 mai, 2018.
http://maps.ducks.ca/cwi/com/duc/assets/reports/Rapport_carto_mhs_CMQ_f%C3%A9v2014.pdf

Clement, M.C., 2010. Le millet perlé: pour une rotation bénéfique dans les cultures horticoles (légumes et petits fruits) [présentation]. En ligne, accede le 7 juillet, 2018. Direction régionale du MAPAQ en Outaouais.
https://www.agrireseau.net/grandescultures/documents/Millet%20et%20horticulture_2010.pdf

Coley, RL, Sullivan, WC and Kuo, FE (1997) Where does community grow? The social context created by nature in urban public housing. Environment and behavior, 29(4):468-494.

Communauté Métropolitaine de Québec (CMQ), 2012. Le Plan métropolitain d'aménagement et de développement du territoire de la Communauté métropolitaine: Batir 2031 Structurer, attirer, durer de Québec.

CMQ, 2016*a*. Tableaux de statistique de la Communauté Métropolitaine de Québec. En ligne, accédé le 26 juin, 2018. https://www.cmquebec.qc.ca/cartes-statistiques.

CMQ, 2016*b*. La protection des sources d'eau. En ligne, accédé le 26 juin, 2018. http://www.cmquebec.qc.ca/gpc/_media/Document/cahier-protection-eau-vf.pdf

CMQ, 2018. Portrait Statistique 2016 du territoire de la communauté métropolitaine de Québec. En ligne, accédé le 14 mars 2019. https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/12/cmq-portrait-statistique-2016.pdf

CMQ, Statistique Canada, ISQ, SCHL, et MAMOT, 2010. Atlas statistique de la CMQ, revenus médian des ménages. En ligne, accédé le 13 septembre 2018. http://atlasstat.cmquebec.qc.ca/carto.php?lang=fr&nivgeos=mrc&curCodeDomCH=AGRICULTURE&curCodeThemeCH=revenuagricole&typindCH=C&curCodeIndCH=revagrcourant&curserieCH=2011&curCodeDomSB=AGRICULTURE&curCodeThemeSB=Explagr&typindSB=R&curCodeIndSB=fermetotalnb&curserieSB=2011.

CMQ, Statistique Canada, ISQ, SCHL, et MAMOT, 2011. Atlas statistique de la CMQ, emploi au lieu de travail (SCIAN). En ligne, accédé le 21 mai, 2018. http://atlasstat.cmquebec.qc.ca/carto.php?&lang=fr&typind=C&nivgeos=id_munic&curIdDom=0&curCodeDom=D%C9MOGRAPHIE&curCodeTheme=PopStatCan&curCodeInd=munpoptotpou&curserie=2016.

CMQ, Statistique Canada, SCHL, ISQ, et MAMOT, 2011. Atlas statistique de la CMQ, recensement 2006 et profil de l'ENM 2011. En ligne, accédé le 8 septembre, 2018. http://atlasstat.cmquebec.qc.ca/carto.php?&lang=fr&typind=C&nivgeos=id_munic&curIdDom=0&curCodeDom=D%C9MOGRAPHIE&curCodeTheme=PopStatCan&curCodeInd=munpoptotpou&curserie=2016.

CMQ, Statistique Canada, SCHL, ISQ, et MAMOT 2016. Atlas statistique de la CMQ, recensement de l'agriculture. En ligne accédé le 7 juillet, 2018. http://atlasstat.cmquebec.qc.ca/carto.php?&lang=fr&typind=C&nivgeos=id_munic&curIdDom=0&curCodeDom=D%C9MOGRAPHIE&curCodeTheme=PopStatCan&curCodeInd=munpoptotpou&curserie=2016.

Conservation de la Nature, 2015. Milieux naturels d'intérêt pour la biodiversité sur le territoire de la CMQ. En ligne, accédé le 28 juin, 2018. http://www.cmquebec.qc.ca/_media/document/973/cmq-milieux-naturels-web.pdf

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* 25 (1): 3‑15. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2.

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), 2014. Guide d'Identification et de gestion des Pollinisateurs et plantes Mellifères.

CRAAQ, 2016. Guide de Référence des Fertilisants, 2ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.

CRAAQ, 2018. Ruches pour pollinisation: liste des entreprises quebequoises offrant leurs ruches à fin de pollinisation pour 2018. En ligne, accédé le 2 aout, 2018. http://outils.craaq.qc.ca/Pollinisation

Daily, G., 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.

Davis, J.D., Hendrix, S.D., Debinski, D.M. et Hemsley, C.J., 2008. Butterfly, bee and forb community composition and cross-taxon incongruence in tallgrass prairie fragments. Journal of Insect Conservation, 12(1), pp.69-79.

DeBusk, T.A. et Reddy, K.R., 1987. Wastewater treatment using floating aquatic macrophytes: Contaminant removal processes and management strategies. In K.R. Reddy and W. H. Smith, (eds.), Aquatic plants for water treatment and resource recovery (pp. 643-656). Orlando, FL: Magnolia Press.

Dupras, J. et Alam, M., 2015. Urban Sprawling and Ecosystem Services: A Half-Century Perspective in the Montreal Region (Quebec, Canada). Journal of Environmental Policy and Planning 17(2): 180-200.

Dupras, J. et Revéret, J-P., 2015. *Nature et économie : un regard sur les écosystèmes du Québec*. PUQ.

Dupras, J. Alam, M. et Revéret, J-P., 2015*a*. Economic Value of Greater Montreal's Non-Market Ecosystem Services in a Land Use Management and Planning Perspective. The Canadian Geographer/ Le géographe canadien. 59 (1) : 93-106.

Dupras, J., Drouin, C., André, P. et Gonzalez, A., 2015*b*. Towards the Establishment of a Green Infrastructure in the Region of Montreal (Quebec, Canada). *Planning Practice & Research*, 1–21. https://doi.org/10.1080/02697459.2015.1058073.

Dupras, J., L'Ecuyer-Sauvageau, C., Auclair, J., He, J. et Poder, T., 2016. Capital naturel : la valeur économique de la trame verte de la commission de la capitale nationale. Fondation David Suzuki et partenaires.

Dupras, J., Laurent-Lucchetti, J., Revéret, J-P. et DaSilva, L., 2018. Using contingent valuation and choice experiment to value the impacts of agri-environmental practices on landscapes aesthetics. *Landscape research* 43 (5): 679–695.

Environment and Climate Change Canada (ECCC), 2016. Technical Update to Environment and Climate Change Canada's Social Cost of Greenhouse Gas Estimates.
http://ec.gc.ca/cc/BE705779-0495-4C53-BC29
6A055C7542B7/Technical%20Update%20to%20Environment%20and%20Climate%20Change%20Canadas%20Social%20Cost%20 of%20Greenhouse%20Gas%20Estimates.pdf

Ernst, C., Gullick, R. et Nixon, K., 2004. Conserving forests to protect water. Opflow, 30(5), pp.1-7.

Emploi-Québec, 2016. Les chiffres clés de l'emploi au Québec - 2016, En ligne, accédé le 23 juillet 2018. http://www.emploiquebec.gouv.qc.ca/uploads/tx_fceqpubform/00_chiffres-cles-emploi_2016.pdf

European Environmental Agency, 2018. Structure of CICES. En ligne, accédé le 3 juillet, 2018. https://cices.eu/cices-structure/.

FADQ, 2015.Rendement de référence 2015 en assurance récoltes. Direction de l'assurance récolte. La, Financière Agricole du Québec. En ligne, accédé le 15 février, 2018.

https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2015.pdf

FADQ, 2016. Base de données des parcelles et production agricole déclarées. La Financière Agricole du Québec. En ligne, accédé le 15 février, 2018. https://www.fadq.qc.ca/documents/donnees/base-de-donnees-des-parcelles-et-productions-agricoles-declarees/

FADQ, 2017. Rendements-references-2017.La Financière agricole du Québec. En ligne, accédé le 28 mai, 2018.
https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2017.pdf.

FPAQ, 2017. Statistiques acéricoles 2017. Fédération des producteurs acéricole du Québec. En ligne, accédé le 12 aout, 2018.
https://fpaq.ca/wp-content/uploads/2018/05/2017_Dossier_economique.pdf

FAO, 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements, Chapter 6 – Etc- Single Crop coefficients. United Nations Food and Agriculture Organization.

Ferland, P., 2006. Irrigation un portrait pour le Québec. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire au Québec. En ligne, accédé le 14 août, 2018.
https://www.agrireseau.net/horticulture-pepiniere/documents/Ferland_Pierrot_9h.pdf

Fick, S.E. et Hijmans, R.J., 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37(12), pp.4302-4315.

Fox, G. and Dickson, E.J., 1990. The economics of erosion and sediment control in southwestern Ontario. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, *38*(1), pp.23-44.

Greenleaf, S.S., Williams, N.M., Winfree, R. et Kremen, C., 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. Oecologia, 153(3), pp.589-596.ff.

Guo, L.B. and Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, *8*(4), pp.345-360.

Haines-Young, R. et Potschin, M., 2009. Methodologies for Defining and Assessing Ecosystem Services. Nottingham: Centre for Environmental Management.

Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S. et Mueller, C., 2015. A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. Science of the Total Environment, 524, pp.166-177.

He, J., Dupras, J. and G. Poder, T., 2017. The value of wetlands in Quebec: a comparison between contingent valuation and choice experiment. *Journal of Environmental Economics and Policy*, *6*(1), pp.51-78.

Hengl, T., de Jesus, J.M., Heuvelink, G.B., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B. et Guevara, M.A., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. PLoS one, 12(2), p.e0169748.

Hines, H.M. et Hendrix, S.D., 2005. Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) diversity and abundance in tallgrass prairie patches: effects of local and landscape floral resources. Environmental Entomology, 34(6), pp.1477-1484.

Hirabayashi, S. (2014) i-Tree Canopy Air Pollutant Removal and Monetary Value Model Descriptions. https://www.itreetools.org/canopy/resources/i-Tree_Canopy_Air_Pollutant_Removal_and_Monetary_Value_Model_ Descriptions.pdf

Institut de la statistique du Québec (ISQ), 2014. Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2011-2061. Édition 2014. http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/perspectives/perspectives-2011-2061.pdf

ISQ, 2017*a*. Produit intérieur brut régional par industrie au Québec Édition 2017 (révisée). http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/economie/comptes-economiques/comptes-production/pib-regional-2017.pdf

ISQ. 2017*b*. 03 - La Capitale-Nationale. En ligne, accédé le 23 mai, 2018. http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/region_03/region_03_00.htm.

ISQ, 2019*a*. Population active, emploi et nombre de chomeurs, données desaisonnalisées par régions metropolitaines de recensement, Québec, 4e trimestre 2017, au 4e trimestre 2018. http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/travail-remuneration/population-active-chomage/ra-rmr/rmr_nombre_trim.htm

ISQ. 2019*b*. Taux de chommage, régions administratives, régions metropolitaines de recensement et ensemble du Québec 2008-2018. http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/travail-remuneration/population-active-chomage/ra-rmr/taux_chomage_reg.htm

Jessiman, B., Egyed, M., Rouleau, M., Donohue, M., Blagden, P. et Lamy, S., 2017. Les impacts sanitaires de la pollution de l'air au Canada: une estimation des décès prématurés. En ligne, accede le 14 mars 2019. https://www.inspq.qc.ca/bise/les-impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-au-canada-une-estimation-des-deces-prematures

Jiang, B., Chang, C.Y. et Sullivan, W.C., 2014. A dose of nature: Tree cover, stress reduction, and gender differences. Landscape and Urban Planning, 132:26-36.

Joly, M., Primeau, S., Sager, M., et Bazoge, A., 2008. Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides. Première édition, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, 68

Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. et Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 274(1608), pp.303-313.

Kremen, C. et Merenlender, A.M., 2018. Lanscapes that work for biodiversity and people. Science, 362(6412).

Lajeunesse, J. et Pilote, R., 2016. Productivité de la gourgane au Saguenay-Lac-St-Jean [présentation]. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Gouvernement du Canada. En ligne, accédé le 27 mai, 2018.

https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/SaguenayLacStJean/PresentationJulieLajeunesse_gourgane.pdf

Lambert, M.C., Ung, C.H. et Raulier, F., 2005. Canadian national tree aboveground biomass equations. Canadian Journal of Forest Research, 35(8), pp.1996-2018.

Lachance, S., Dubé, M., Dostie, R. et Bérubé, P., 2008. Temporal and spatial quantification of fine-sediment accumulation downstream of culverts in brook trout habitat. *Transactions of the American Fisheries Society*, *137*(6), pp.1826-1838.

Lee, A.C. et Maheswaran, R., 2011. The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. Journal of public health, 33(2):212-222.

Lehner, B. et Grill, G., 2013. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, *27*(15), pp.2171-2186.

Lemay stratégie, 2016. Retombées économiques et importance touristique de l'agrotourisme et du tourisme gourmand Agri-Réseau | Documents. En ligne, accédé le 8 juillet, 2018. https://www.agrireseau.net/documents/93665/retombees-economiques-et-importance-touristique-de-l_agrotourisme-et-du-tourisme-gourmand?statut=1.

Logan, T., 2016. Portrait des changements climatiques pour les zones urbaines du Québec. Montréal: Ouranos.

Maas, J., Van Dillen, S.M., Verheij, R.A. et Groenewegen, P.P., 2009. Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. Health & Place, 15(2): 586-595.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Chapter 2: Ecosystems and their services. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment.

Ministère Affaires Municipales et Occupation du territoire (MAMOT) et DSTSU, 2017. Communauté Métropolitaine de Québec, 145: 2. En ligne, accédé le 23 mars, 2018. https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/cartes/cm/235.pdf

Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, répertoire des municipalités, 2016.

Ministère de l'Agriculture, Pêche et Alimentation du Québec (MAPAQ), 2017. Portrait-diagnostic sectoriel de l'apiculture au Québec. Gouvernement du Québec. En ligne, accédé le 24 juillet, 2018. https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Portrait_Diagnostic_sectoriel_Apiculture_complet.pdf

MAPAQ. 2017. Informations relatives au portrait agroalimentaire du Québec. En ligne, accédé le 8 juillet, 2018. https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/MinisterePortail/Acces_information/Demandes_acces/2017/Septembre2017/2017-08-17-011_document.pdf.

Ministère de l'Agriculture et l'Alimentation et des Affaires Rurales (MAARO), 2017. Maïs sucré: Superficie récoltée, Production commercialisée, Valeur à la ferme, Prix moyen et Rendement, Ontario 1979-2017. Gouvernement de l'Ontario. En ligne, accédé le 6 juillet, 2018. http://www.omafra.gov.on.ca/french/stats/hort/sweetcorn.htm

Ministère de Développement Durable, Environnement et Lutte contre les Changement Climatiques (MDDELCC), 2018. Water Management in Quebec Public Consultation Document. Gouvernement du Québec. Accède 26 août, 2018. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/consultation-en/themes3.htm

MDDELCC, 2018. Cadre de Référence Écologique du Québec (CERQ). Gouvernement du Québec, En ligne: 30 aout, 2018. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/BIODIVERSITE/cadre-ecologique/index.htm

Ministère d'Énergie et Ressources Naturelles (MERN), 2017. Les territoires récréatifs du Québec a l'échelle de 1/100 000, Structure Physique des données. Gouvernement du Québec.

Ministère des Forets, de la Faune et des Parcs (MFFP), 2015. Système d'Information ÉcoForestière du Québec méridionale, 4ème édition. Gouvernement du Québec.

Ministère des Ressources Naturelles Canada. 2016. Canadian Digital Elevation Model. Gouvernement du Canada.

Morris, N., 2003. Health, well-being and open space. *Edinburgh: Edinburgh College of Art and Heriot-Watt University*.

MRC Bellechasse, 2015. Plan stratégique de développement de la MRC Bellechasse 2015-2019. En ligne, accédé le 8 mars, 2019. https://www.mrcbellechasse.qc.ca/fichiersUpload/fichiers/20170330112818-planification-strategique-version-juillet-2015-final.pdf

Nazarnia, N., Schwick, C. et J.A. Jaeger. 2016. Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011. Ecological indicators, 60, pp.1229-1251.

Niklaus, P. A., P. W. Leadley, B. Schmid, et Körner, C., 2001. A long-term field study on biodiversity × elevated co2 interactions in grassland. Ecological Monographs 71 (3): 341‑56.

Normandin, É., Vereecken, N.J., Buddle, C.M. et Fournier, V., 2017. Taxonomic and functional trait diversity of wild bees in different urban settings. PeerJ, 5, p.e3051.

Nowak, D.J., Crane, D.E. et Stevens, J.C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, *4*(3-4), pp.115-123.

Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Yu B., Klik A., Lim K.J., Yang J.E, Ni J., Miao C., Chattopadhyay N., Sadeghi S.H., Hazbavi Z., Zabihi M., Larionov G.A., Krasnov S.F., Garobets A., Levi Y., Erpul G., Birkel C., Hoyos N., Naipal V., Oliveira P.T.S., Bonilla C.A., Meddi M., Nel W., Dashti H., Boni M., Diodato N., Van Oost K., Nearing M.A., et Ballabio C., 2017. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. Scientific Reports 7: 4175. DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8.

Patoine, M., 2017. Charges de phosphore, d'azote et de matieres en suspension a l'embourchure des rivieres du Quebec 2009-2012. Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-77490-7 (PDF), 25 pages et 11 annexes.
En ligne, accede le 13 mai 2018. http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/phosphore/charge-phosphore-azote-mes2009-2012.pdf

Pedo-paysage Canada / Soil Landscapes of Canada Working Group, 2010. Soil Landscapes of Canada version 3.2. Agriculture and Agri-Food Canada, (digital map and database at 1:1 million scale).

Pendleton, L., Mongruel, R., Beaumont, N., Hooper, T. et Charles, M., 2015. A triage approach to improve the relevance of marine ecosystem services assessments. *Marine Ecology Progress Series*, *530*, pp.183-193.

Poder, T., Dupras, J., Ndefo, F.F. et He, J., 2016. La valeur économique de la ceinture et trame bleue du grand montréal La contribution des écosystèmes aquatiques à la qualité de vie des communautés. Fondation David Suzuki. En ligne, accede le 11 juin, 2018. http://davidsuzuki.org/fr/publications/rapports

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B.A.S., Schumacher, J. et Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone–carbon response functions as a model approach. Global change biology, 17(7), pp.2415-2427.

Québec International, 2018. Bilan and perspectives : Région métropolitaine de Québec 2017-2018. Québec International dévéloppement économique. En ligne, accédé le 23 octobre, 2018. https://www.quebecinternational.ca/fr/statistiques-economiques-quebec

Quilbé, R., Rousseau, A.N., Duchemin, M., Poulin, A., Gangbazo, G., et Villeneuve, J.P., 2006. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: application to the Beaurivage River (Québec, Canada). Journal of Hydrology, 326(1-4), 295-310.

Richardson, C. J., 1985. Mechanisms controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetlands, Science 228: 1424-7.

Rodríguez-González, P.M., Stella, J.C., Campelo, F., Ferreira, M.T. et Albuquerque, A., 2010. Subsidy or stress? Tree structure and growth in wetland forests along a hydrological gradient in Southern Europe. *Forest Ecology and Management*, *259*(10), pp.2015-2025.

Ruesch, A.S. et Gibbs, H., 2008. New global biomass carbon map for the year 2000 based on IPCC Tier-1 methodology. *Oak Ridge National Laboratory's Carbon Dioxide Information Analysis Center: Oak Ridge, USA.* En ligne, accédé le 8 novembre, 2017. http://cdiac.ornl.gov.

Samson, R., 2007. Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide. Resource Efficient Agricultural Production (REAP) – Canada. En ligne, accédé le 14 avril, 2018. https://www.reap-canada.com/online_library/grass_pellets/2007%20SG%20production%20guide-FINAL.pdf

Société des établissements de plein air du Québec (SÉPAQ), 2017. Statistiques de fréquentation par établissement 2016. En ligne, accédé le 18 juillet, 2018. https://www.sepaq.com/dotAsset/0fffeabc-7779-4735-b578-b15a53cff196.pdf.

SÉPAQ. 2018. SÉPAQ - Le plus grand réseau de plein air au Québec. 2018. En ligne, accédé le 18 juillet, 2018. http://www.sepaq.com.

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., et Douglass, J., 2018. InVEST

+VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Syndicat des proprietaries forestiers de la region Quebec (SPFRQ), 2017. Rapport d'activite 2017. En ligne, accede 8 aout, 2018. https://www.foretprivee.ca/regiondequebec/wp-content/uploads/sites/4/2019/01/Rapport-Activite-2017-SPFRQ.pdf

Statistique Canada, 2001. Census of Agriculture for Canada. Farm and Operator Data. Government of Canada

Statistique Canada, 2016. Census of Agriculture for Canada. Farm and Operator Data. Government of Canada

Statistique Canada. 2017. Profil du recensement, Recensement de 2016, produit nº 98-316-X2016001 au catalogue de Statistique Canada. Ottawa. En ligne, accédé le 28 aout, 2018. http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F

Statistique Canada, 2019. Table 14-10-0287-03 Labour force characteristics by province, monthly, seasonally adjusted. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1410028703

Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., 2013. InVEST 2.5. 3 Users' Guide. The Natural Capital Project, Stanford, CA.
Tong, S.T.et Chen, W., 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. Journal of environmental management, 66(4), pp.377-393.

TD Economics (2014a) Urban forests: The value of trees in the City of Toronto. https://www.td.com/document/PDF/ economics/special/UrbanForests.pdf

TD Economics (2014b) The value of urban forests in cities across Canada. https://www.td.com/document/PDF/ economics/special/UrbanForestsInCanadianCities.pdf

The Economic of Ecosystems and Biodiversity (TEEB),. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Routledge.
https://doi.org/10.4324/9781849775489.

Troy, A. et Wilson, M.A., 2006. Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. Ecological Economics 60, 435-449.

United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2008. Municipal Nutrient Removal Technologies Reference Document. Volume 1 - Technical report. En ligne, accédé le 6 juin, 2018, https://permanent.access.gpo.gov/LPS118259/LPS118259/www.epa.gov/owm/mtb/mnrt-volume1.pdf

Veres, A., Petit, S., Conord, C. et Lavigne, C., 2013. Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. Agriculture, Ecosystems & Environment, 166, pp.110-117.

Warziniack, T., Sham, C.H., Morgan, R. et Feferholtz, Y., 2016. Effect of forest cover on drinking water treatment cost. American Water Works Association and U.S. Endowment for Forestry & Communities Inc.

Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C. et Chave, J., 2009. Global wood density database.

Zomer, R.J., Trabucco, A., Bossio, D.A., van Straaten, O., et Verchot, L.V., 2008. Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation. Agriculture, Ecosystems and Environment, 126: 67-80.

Zomer, R.J., Bossio, D.A., Trabucco, A., Yuanjie, L., Gupta, D.C., et Singh, V.P., 2007. Trees and Water: Smallholder Agroforestry on Irrigated Lands in Northern India. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, Research Report 122, pp 45.