



UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN OUTAOUAIS

LA VALEUR ÉCONOMIQUE DES ÉCOSYSTÈMES NATURELS ET  
AGRICILES DE LA COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC,  
UNE ÉTUDE DE CAS.

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE SUR  
MESURE EN DÉVELOPPEMENT DURABLE ET CONSERVATION DES  
RESSOURCES RENOUVELLABLES

PAR

CAROLINE BERGEVIN

JANVIER 2020



## REMERCIEMENT

Je tiens à débiter mon mémoire en prenant le temps de remercier les gens qui m'ont soutenu à travers cette épreuve rocambolesque qui signifie, pour moi, un tournant très important de ma vie. Bien sûr, il s'agit de la publication de mon mémoire, et il s'agit aussi pour moi d'un changement de carrière significatif qui a forgé la personne que je suis devenue. Cette expérience, extrêmement difficile, mais si honorable, m'a permise de devenir une version de moi-même que je ne pensais jamais atteindre au cours de mon existence. Cette épreuve m'a certainement appris à maîtriser les notions de la persévérance et de l'autodidaxie à leurs plus hauts niveaux. Merci à M. Issam Thelahigue, professeur à l'UQO, qui m'a fait réaliser que de jumeler mes deux passions au sein d'un projet de maîtrise était un acte possible. Je tiens aussi à remercier tous nos partenaires qui ont participé à la réalisation de ce projet, soit Marianne Thibault de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), Laurent Da Sylva du groupe Ouranos ainsi que le groupe Mitacs. De sincères remerciements s'adressent aussi à Jérôme Dupras qui a su assurer la direction tout au long du projet, ainsi qu'à Sylvia Wood qui a grandement contribué à l'analyse de données nous ayant permis de mettre en œuvre ce projet, sans oublier, bien sûr le précieux travail de Charlène Kermagoret. Merci, mes très chers collègues, pour votre vivacité, votre audace et votre attitude positive.

Je ne pourrais écrire ce mémoire sans remercier mon merveilleux Mari, Michaël Moses, mes parents, Marc Bergevin et Francine Chartrand et mon frère, David Bergevin, sans oublier mes nombreux amis, et ma famille qui ont su être à mes côtés et me redonner confiance lorsque je n'y croyais plus. Ce passage, que je croyais impossible, entre deux sciences traditionnellement antipodes, soit l'économie et l'écologie, est maintenant un passage que je peux caractériser de concret. J'espère que la lecture de cet ouvrage vous permettra de voir, vous aussi, le potentiel tangible que possèdent nos sociétés de demain grâce à l'implantation de stratégies découlant de la science de l'économie de l'environnement dans un contexte de conservation des ressources naturelles.

## DÉDICACE

À mon équipe de travail, mon merveilleux mari,  
ma famille, mes amis ainsi que toutes les  
personnes qui ont contribué, directement et  
indirectement, à l'accomplissement de ce projet.  
Je vous suis entièrement reconnaissante.

## RÉSUMÉ

L'accélération de l'étalement urbain sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) est maintenant neuf fois plus élevée comparativement aux années 1970, ce qui impacte négativement l'intégrité des milieux naturels et des services écosystémiques qu'ils fournissent. L'objectif de cette étude est d'estimer la valeur économique du capital naturel et des terres agricoles se trouvant sur le territoire de la CMQ à travers le cadre conceptuel des services écosystémiques et dans une optique d'aménagement du territoire. Les valeurs qui ont été calculées l'ont été par l'entremise d'une analyse spatiale, de la mesure des flux de services écosystémiques, à l'aide du logiciel MESH, ainsi que par l'utilisation de trois méthodologies d'analyse économique, soit celle des prix de marché, du coût de remplacement ainsi que celle du transfert de bénéfice. Le résultat de notre analyse montre que l'ensemble des milieux naturels et agricoles de la CMQ fournit annuellement un équivalent de 1,1G\$ en services écosystémiques, en plus de stocker pour l'équivalent de 26G\$ de carbone dans les infrastructures naturelles du territoire. Notre étude démontre aussi que le service ayant la valeur économique la plus élevée en termes de valeur annuelle est celui de l'habitat favorisant la biodiversité. De plus, les résultats de cette étude ont été intégrés dans un instrument de cartographie appelé « Géosuite » qui est actuellement accessible sur le site de la CMQ. Cette intégration amène alors une opportunité de vulgarisation et de sensibilisation pour les citoyens de la CMQ et influence les aménagistes des villes à approfondir leurs réflexions quant à l'aménagement du territoire. Cependant, des études complémentaires visant une meilleure inclusion des données écosystémiques dans les processus de décisions publiques seraient souhaitées afin de compléter le travail entrepris dans cette étude.

**Mots clés :** Services écosystémiques, aménagement du territoire, stratégies de conservation, transfert de bénéfices, Communauté métropolitaine de Québec

## AVANT-PROPOS

Cette étude a été commandée au Consortium Ouranos par la Communauté métropolitaine de Québec afin de se doter d'indicateurs économiques du capital naturel. Notre équipe de chercheurs à l'Université du Québec en Outaouais fut financée par Mitacs et Ouranos, en partenariat avec la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ). Ce travail a été dirigé par le professeur Jérôme Dupras, et réalisé par Caroline Bergevin en collaboration avec les stagiaires postdoctorales Sylvia Wood et Charlène Kermagoret. Je souligne que certains résultats présentés dans ce mémoire sont le fruit du travail de mes collaborateurs. En ce sens, les résultats et figures des sous-sections 3.1 et 3.2 sont majoritairement issus du travail de Sylvia Wood. Ces résultats sont toutefois intégrés au mémoire car ils font partie du processus d'analyse plus large que j'ai mené. Cette recherche a aussi bénéficié de la collaboration de Laurent Da Sylva (Ouranos) et de Marianne Thibault (CMQ). Dans ce contexte, cet ouvrage présente des données issues du travail des collaborateurs ci-dessus, et qui seront détaillées au fil des sections. Ce mémoire représente en larges partis un rapport produit pour le groupe Ouranos et accessible à cette adresse :

[https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/2019-09\\_Valeur-%C3%A9conomique-ecosyst%C3%A8mes\\_UQO\\_Rapport-final.pdf](https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/2019-09_Valeur-%C3%A9conomique-ecosyst%C3%A8mes_UQO_Rapport-final.pdf) .



## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENT .....	iv
DÉDICACE .....	v
RÉSUMÉ .....	vi
AVANT-PROPOS .....	vii
TABLE DES MATIÈRES .....	ix
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES ANNEXES.....	1
INTRODUCTION .....	2
CHAPITRE 1 .....	8
MISE EN CONTEXTE.....	8
1.1 Description des milieux naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec .....	8
1.2 Les milieux naturels et leurs services : une mine d’or verte pour la population de la CMQ.....	14
1.3 Perspective sur l’aménagement du territoire.....	16
CHAPITRE II .....	19
MÉTHODOLOGIE.....	19
2.1 La classification : une sélection des services écosystémiques .....	20
2.2 L’analyse spatiale : une cartographie de l’usage du sol et le calcul des flux de services écosystémiques.....	24
2.3 L’évaluation économique des services écosystémiques .....	29
CHAPITRE III .....	33
RÉSULTATS .....	33
3.1 L’analyse cartographique de l’utilisation des sols .....	33
3.2 Les flux et les stocks de services écosystémiques .....	35
3.3 La valeur économique des services écosystémiques de chaque écosystème de la CMQ.....	37
3.3.1 Les forêts et boisés .....	37
3.3.2 Les milieux humides .....	51
3.3.3 Les milieux agricoles .....	56
3.3.4 Les friches .....	68
3.3.5 Les milieux aquatiques.....	72
3.4 Les stocks de services écosystémiques : le stockage de carbone.....	76
3.5 La valeur totale des écosystèmes de la CMQ.....	79
CHAPITRE IV .....	87
DISCUSSION .....	87

4.1 Retour sur les résultats .....	87
4.1.1 Les valeurs des services les plus élevées .....	87
4.1.2 L'interdépendance des services finaux et intermédiaires à valeurs faibles..	91
4.1.3 La crédibilité de la valeur des SEs à des fins de valorisation monétaire .....	92
4.1.4 Une comparaison des résultats avec d'autres études similaires .....	93
4.2 Quelles sont les limites de cette analyse ? .....	95
4.2.1 Des valeurs sous-estimées et à faible spécificité.....	95
4.2.2 Un enjeu éthique .....	97
4.2.3 Des enjeux quant à l'intégration des valeurs dans le processus de prise de décision .....	98
4.3 L'utilisation de la valeur des SEs à différentes échelles .....	100
CONCLUSION .....	102
.....	cxix
RÉFÉRENCES.....	cxx

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Carte des territoires inclus dans l'analyse du capital naturel de la CMQ9	
Figure 1.2 Carte des bassins versants principaux dans la CMQ .....	10
Figure 2.1 Cadre méthodologique retenu pour l'évaluation économique des services écosystémiques adaptés d'une étude (Troy et Wilson 2006) .....	20
Figure 2.2 Diagramme conceptuel de la quantification des services écosystémiques (adapté de Haines-Young et Potshin, 2010).....	25
Figure 3.1 La répartition spatiale des écosystèmes dans la CMQ.....	34
Figure 3.2 La répartition de l'approvisionnement des services estimé avec le logiciel InVEST (a) le stockage de carbone (b) la séquestration de carbone (c) l'approvisionnement de l'eau (d) le contrôle d'érosion et (e) le service de pollinisation.....	36
Figure 3.3 La répartition des forêts, des boisés et des coupes forestières sur le territoire de la CMQ .....	38
Figure 3.4 Évolution de la quantité de carbone par unité d'aménagement et par écosystème, en absence d'interventions sylvicoles (Bureau du forestier en chef 2015) .....	39
Figure 3.5 Répartition spatiale de la valeur économique des forêts dans la CMQ51	
Figure 3.6 La répartition des milieux humides sur le territoire de la CMQ.....	52
Figure 3.7 Répartition spatiale de la valeur économique des milieux humides dans la CMQ.....	56
Figure 3.8 La répartition des cultures agricoles sur le territoire de la CMQ .....	57
Figure 3.9 Niveau de pollinisation réalisée dans les fermes de la Communauté métropolitaine de Québec .....	63
Figure 3.10 Répartition spatiale de la valeur économique des milieux agricoles dans la CMQ .....	67
Figure 3.11 La répartition des friches et des arbustes sur le territoire de la CMQ	68
Figure 3.12 Répartition spatiale de la valeur économique des friches dans la CMQ .....	72
Figure 3.13 La répartition du réseau hydrologique de la CMQ .....	73
Figure 3.14 Répartition spatiale de la valeur économique des milieux aquatiques dans la CMQ .....	76
Figure 3.15 (a-p) La répartition de la valeur totale annuelle de 15 services écosystémiques sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens.....	82
Figure 3.16 La répartition de la valeur totale de 16 services écosystémiques, incluant le stockage de carbone, sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens par hectare .....	85

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Liste des services écosystémiques évalués sur le territoire de la CMQ .....	23
Tableau 2.2 Liste de données utilisées pour la modélisation de cinq services écosystémiques.....	27
Tableau 2.3 Liste de données utilisées pour le calcul de la valeur des services écosystémiques.....	32
Tableau 3.1 Analyse de la couverture des sols de la CMQ.....	35
Tableau 3.2 Valeurs constituant la réduction des polluants aériens par Hirabayashi (2014).....	40
Tableau 3.3 Production des produits ligneux et leur valeur économique dans la région de la CMQ et dans la région du Québec (SPFRQ 2017) .....	42
Tableau 3.4 Valeurs du prix de marché provenant des activités récréotouristiques dans la CMQ .....	48
Tableau 3.5 Valeurs des services écosystémiques fournis par les forêts et boisés de la CMQ.....	50
Tableau 3.6 Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux humides de la CMQ.....	55
Tableau 3.7 Valeur de la production agricole dans la Communauté métropolitaine de Québec (FADQ 2015a; 2017; CRAAQ 2017) .....	59
Tableau 3.8 Valeur de la production de sirop d'érable dans la CMQ pour l'année 2017 (MAPAQ 2017b; 2017a; FADQ 2017).....	61
Tableau 3.9 La valeur totale des revenus de l'agrotourisme sur le territoire de la CMQ.....	66
Tableau 3.10 Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux agricoles de la CMQ.....	67
Tableau 3.11 Valeurs des services écosystémiques produits par les friches de la CMQ.....	71
Tableau 3.12 Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux aquatiques de la CMQ.....	75
Tableau 3.13 La répartition du stockage de carbone selon les types de forêts .....	78
Tableau 3.14 Le stockage de carbone dans les écosystèmes principaux de la CMQ .....	79
Tableau 3.15 Valeur totale des services écosystémiques (SE) fournis dans chaque écosystème étudié (M\$/an) .....	84
Tableau 3.16 Valeur des services écosystémiques (SE) fournis dans chaque écosystème étudié (\$/unité/an).....	86

## LISTE DES ANNEXES

Annexe A : La répartition spatiale des écosystèmes dans la CMQ.....	civ
Annexe B : La répartition de l’approvisionnement des services estimé avec le logiciel InVEST .....	cv
Annexe C : La répartition des forêts, des boisés et des coupes forestières sur le territoire de la CMQ .....	cvii
Annexe D : Répartition spatiale de la valeur économique des milieux humides de la CMQ.....	cvii
Annexe E: La répartition des cultures agricoles sur le territoire de la CMQ.....	cviii
Annexe F: Niveau de pollinisation réalisée dans les fermes de la Communauté métropolitaine de Québec .....	cix
Annexe G: Répartition spatiale de la valeur économique des milieux agricoles dans la CMQ .....	cx
Annexe H: La répartition des friches et des arbustes sur le territoire de la CMQ	cxii
Annexe I: Répartition spatiale de la valeur économique des friches dans la CMQ .....	cxii
Annexe J: La répartition du réseau hydrologique de la CMQ .....	cxiii
Annexe K: Répartition spatiale de la valeur économique des milieux aquatiques dans la CMQ .....	cxiv
Annexe L: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (A à D) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens.....	cxv
Annexe M: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (E à H) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens .....	cxvi
Annexe N: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (I à M) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens .....	cxvii
Annexe O: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (N à P) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens .....	cxviii
Annexe P : Outil de cartographie nommé "Géosuite" .....	cxix

## 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, telle 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 de Nazarnia et coll. (2016) montre que sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), le phénomène d'expansion urbaine est aujourd'hui neuf fois supérieur 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 coll. 2016). En termes économiques, Dupras et Alam (2015) ont notamment calculé que la perte de milieux naturels dans la région de Montréal représente en moyenne une perte de 235 millions de dollars par année en raison de la réduction des services écosystémiques (SE). 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 (Díaz et al. 2019).

Dans ce contexte, Sandström (2002) introduit le concept d'infrastructure verte, soit une infrastructure, à même titre qu'une infrastructure grise, dont les bénéfices qu'apportent les écosystèmes et les ressources naturelles à l'être humain sont pris en considération. D'après Ahern (1995), les différentes fonctions des infrastructures vertes peuvent, en effet, améliorer l'état de la biodiversité, la gestion de l'eau, combler les besoins récréatifs, culturels et historiques des citoyens, ainsi qu'appliquer un contrôle quant à l'étalement urbain. Cette prise en compte des bénéfices apportés par les infrastructures vertes, a aidé à l'émergence du concept des SE dans l'aménagement du territoire en milieu urbain (Tzoulas et al. 2007). Les SE sont définis comme des « bénéfices obtenus par les écosystèmes, tels que les services d'approvisionnement, par exemple la nourriture et l'eau, les services de

régulation tels que le contrôle des inondations et des maladies, ainsi que les services culturels comme les services récréatifs, éthiques, spirituels et d'éducation » (MEA 2005). Les auteurs du rapport de l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire ont ensuite écrit cette citation :

« Dès aujourd'hui, la technologie et les connaissances dont nous disposons peuvent réduire considérablement l'impact humain sur les écosystèmes. Toutefois, elles ont peu de chances d'être déployées pleinement tant que les services des écosystèmes seront considérés comme gratuits et illimités, et tant que leur pleine valeur ne sera pas prise en compte » (Watson et coll. 2005).

Cette citation sous-entend alors l'idée selon laquelle la valeur des SEs doit être prise en considération afin de balancer les décisions quant aux activités humaines, dans le but de diminuer les impacts sur les écosystèmes. L'un des moyens employés afin de prendre en compte la valeur des écosystèmes a été d'estimer monétairement leurs flux de bénéfices écosystémiques, et ce, basé sur des méthodologies empruntées à la science économique (MEA 2005).

Le concept de SE a émergé de plusieurs études, dont les articles d'Erlich et Mooney en 1983, d'Odum en 1989, de Folke et ses collaborateurs en 1991 ainsi que celui de Groot en 1992. Ces publications ont évoqué le fait que les SE sont issus du capital naturel, soit de l'ensemble des réserves d'écosystèmes et de ressources naturelles (Wilson 2010). Costanza et Daly (1992) ont ensuite démontré que le maintien des provisions de capital naturel était conditionnel à la mise en place d'un développement durable pour assurer le bien-être des générations futures. Ensuite, deux études ont créé une émergence du concept des SEs dans les agendas scientifique et politique, soit celles de Costanza et ses collaborateurs (1997) et celle de Daily (1997) (Fisher et al. 2010).

La publication de Costanza concernait l'estimation de la valeur économique de la biosphère mondiale. Pour sa part, Daily a publié un livre (1997) dans lequel elle

propose que la vie humaine ainsi que l'économie dépendent des produits et services offerts par le capital naturel. C'est alors en 2001 que l'initiative de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire a été mise en place par Kofi Annan, le secrétaire général des Nations Unies. La mission de cette initiative majeure consistait en la mise en place d'un cadre d'évaluation permettant de combler les besoins des décideurs quant à l'information scientifique concernant les écosystèmes et le bien-être humain (Millennium Ecosystem Assessment 2003). Ce projet a alors permis de créer le lien entre l'ajout d'informations d'estimations écosystémiques dans l'agenda scientifique pour ensuite l'amener dans le programme politique (Brendan Fisher et al. 2010).

Le MA a contribué à la simplification de la classification des SEs à des fins d'estimation, notamment par l'utilisation d'une approche par service. La définition du concept des SEs a alors évolué depuis 1997, passant de « Les SE représentent un flux de matériel, d'énergie et d'informations entreposés dans un capital naturel, le tout combiné avec des services manufacturiers et des ressources humaines afin de créer une production de bien-être à l'être humain » (Costanza et al. 1997), à « Les SE représentent les bénéfices obtenus par les écosystèmes, tels que les services d'approvisionnement comme la nourriture et l'eau, les services de régulation tels que le contrôle des inondations et des maladies, et les services culturels comme les services récréatifs, éthiques, spirituels et d'éducation » (MEA 2005).

Finalement, afin d'améliorer les décisions des institutions gouvernementales, publiques et privées, le rapport du TEEB (2010) ajoute une stratégie de prise en considération des conséquences monétaires de la diminution de la biodiversité afin que les décideurs tiennent compte de cet enjeu dans leurs prises de décisions, notamment en tenant compte des stratégies d'agrégation de la valeur monétaire, de l'analyse de compromis, des systèmes de comptabilité écologique et économique d'un point de vue de macro-économiques et de l'incitation et la sensibilisation positive (Fisher et al. 2010).

Il est cependant important de considérer que le but de l'estimation des SEs n'est pas de s'ouvrir à une marchandisation de la nature. Au contraire, « les méthodes d'évaluation économique doivent être considérées comme un outil d'aide à la décision en aménagement du territoire, un complément aux marchés économiques ou encore comme un moteur de protection de la biodiversité » (Dupras et Revéret 2015). En effet, au Québec, les programmes de paiement pour les SE ont contribué à améliorer les décisions quant au domaine politique, plus précisément dans le domaine des SEs relevant de l'agriculture (Lavallée et Dupras 2016).

Quelques publications phares ont aidé à populariser cette approche à l'échelle internationale, par exemple, la toute première évaluation de la valeur des écosystèmes à l'échelle globale (Costanza et al. 1997), la popularisation du terme à l'extérieur des milieux académiques (Daily 1997), et de l'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 (TEEB 2010). Au Québec, de nombreuses études ont été entreprises en ce sens, autant au niveau de l'évaluation économique de la Ceinture verte de Montréal (Dupras et coll. 2015), de la Trame bleue du Grand Montréal (Poder et al. 2016), du Lac St-Pierre (He et coll. 2017), de l'ensemble des milieux humides du sud du Québec (He et coll. 2017) ou de la pratique de l'agroforesterie (Alam et al. 2014). En ce qui concerne les forêts urbaines et la valeur des arbres de rue, de nombreuses initiatives ont également été réalisées. Celles de TD Economics (Craig et McDonald 2014; Craig et DePratto 2014) 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. Bien que ces études présentent des limites méthodologiques et nécessitent des balises éthiques (Laurans et coll. 2013)., elles ont aidé à faire cheminer le concept de services écosystémiques et de valorisation

socio-économique de la nature dans des cadres qui étaient auparavant peu sensibles à ces questions.

Dans cette perspective, et pour répondre aux besoins de la CMQ en termes d'indicateurs à l'aménagement du territoire, nous avons évalué la valeur économique du capital naturel des différents écosystèmes présents sur le territoire de la CMQ. Cette étude présente donc une évaluation de la valeur de la biodiversité et des écosystèmes de la CMQ.

La démarche générale du projet combine l'analyse cartographique et l'analyse économique, selon une méthodologie éprouvée et souvent utilisée, d'abord par Troy et Wilson (2006), puis dans le cadre de nombreuses études de cas (p. ex., Dupras et al, 2015; Dupras et Alam, 2015; Wilson, 2008). 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).

Toute fois, les valeurs économiques des SEs générés par les milieux naturels ne sont pris que minimalement en considération dans les décisions politiques (Costanza et al. 1997; Laurans et al. 2013). Le fait que les SE sont souvent exclus ou sous valorisés des modèles économiques classiques est expliqué par différents facteurs, dont entre autres, le fait que la valeur des SEs constituent, la plupart du temps, une majorité de biens et produits non marchands qui n'ont pas de référentiel sur des marchés économiques (Costanza et al. 1997). Cette réalité peut aussi être expliquée par le fait que les cadres politiques actuels ne permettent pas l'utilisation optimale de la valeur des SEs (Daily et al. 2009a; Lead et coll. 2010; Daily et coll. 2000; Laurans et coll. 2013). À titre d'exemple, dans la province de Québec, le manque d'outils législatifs et politiques disponibles diminue le pouvoir

d'intervention des paliers municipaux quant aux décisions d'aménagement du territoire (Dupras et coll. 2015).

Ces résultats permettront alors de reconnaître un large pan des services qui sont rendus par le capital naturel de la région, ainsi que de comprendre leur importance en termes de services aux communautés et de la qualité de vie citoyenne. La quantification économique de ces services permettra ensuite de fournir de nouveaux indicateurs pour l'aménagement du territoire de la région de la CMQ. En effet, ces mesures monétaires pourront être utilisées dans les processus types de prise de décisions, telles que les analyses coûts-avantages à l'aide de l'intégration de nos données dans l'outil de cartographie du territoire appelé « Géosuite », publié sur le site de la CMQ. 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 (Lavallée et Dupras 2016). Finalement, ces résultats pourront servir de bases de données pour différentes instances scientifiques, en s'intégrant notamment à l'intérieur des plateformes de bases de données existantes, par exemple l'inventaire EVRI (Environmental Valuation Reference Inventory) qui entretient des études empiriques sur la valeur économique des actifs environnementaux et des effets sur la santé humaine.

## CHAPITRE 1

### MISE EN CONTEXTE

#### 1.1 Description des milieux naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec

Le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) couvre au total 334 700 hectares et comprend 28 municipalités situées dans cinq Municipalités régionales de comté (MRC), soit celle de la Ville de Lévis, l'Agglomération de Québec, la MRC de la Côte-de-Beaupré, de l'Île-d'Orléans ainsi que celle de la Jacques-Cartier. Dans une perspective d'aménagement régional du territoire, cette étude inclut également trois municipalités situées sur la Rive-Sud du Saint-Laurent dans la MRC de Bellechasse. Il s'agit de Saint-Vallier, Beaumont et Saint-Michel (Figure 1.1). D'un point de vue régional, la CMQ recoupe en partie la région administrative de Chaudière-Appalaches ainsi que la région administrative de la Capitale-Nationale. Les cartes (figure 1.1 et 1.2) ont été réalisées en se référant aux données de la carte d'utilisation des sols du MELCC (Bissonnette et Lavoie 2015) et ont été effectuées à l'aide du logiciel MESH.

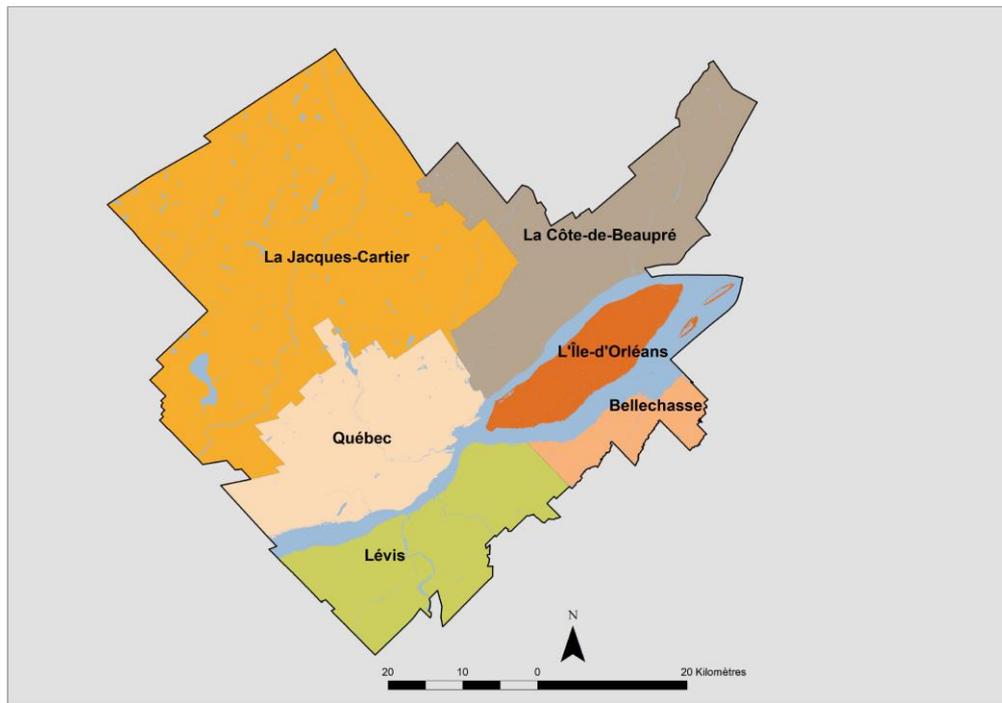


Figure A.1 Carte des territoires inclus dans l'analyse du capital naturel de la CMQ

À l'intérieur de ses limites, le territoire de la CMQ comprend des paysages naturels riches et complexes. La CMQ couvre les deux côtés du fleuve Saint-Laurent, des sections de dix principaux bassins versants (Figure 1.2) et s'étend sur deux biomes naturels : les Laurentides méridionales au nord et les basses terres du Saint-Laurent au sud (MELCC 2019). Cette unicité se reflète dans la diversité des types de paysages, et dans l'utilisation des terres et de la biodiversité que l'on trouve dans la CMQ. Les montagnes laurentiennes qui caractérisent la partie nord de la CMQ forment la partie sud du bouclier boréal, 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 facteurs orographiques, ce secteur reçoit les plus hauts niveaux de précipitations annuelles du territoire de la CMQ, avec des précipitations annuelles moyennes, entre 2000 et 2015, de 1 300-1 441 mm par an (RNCanada 2019). Ces précipitations contribuent à l'hydrographie des nombreux lacs et rivières de la Rive-Nord de la CMQ, 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.

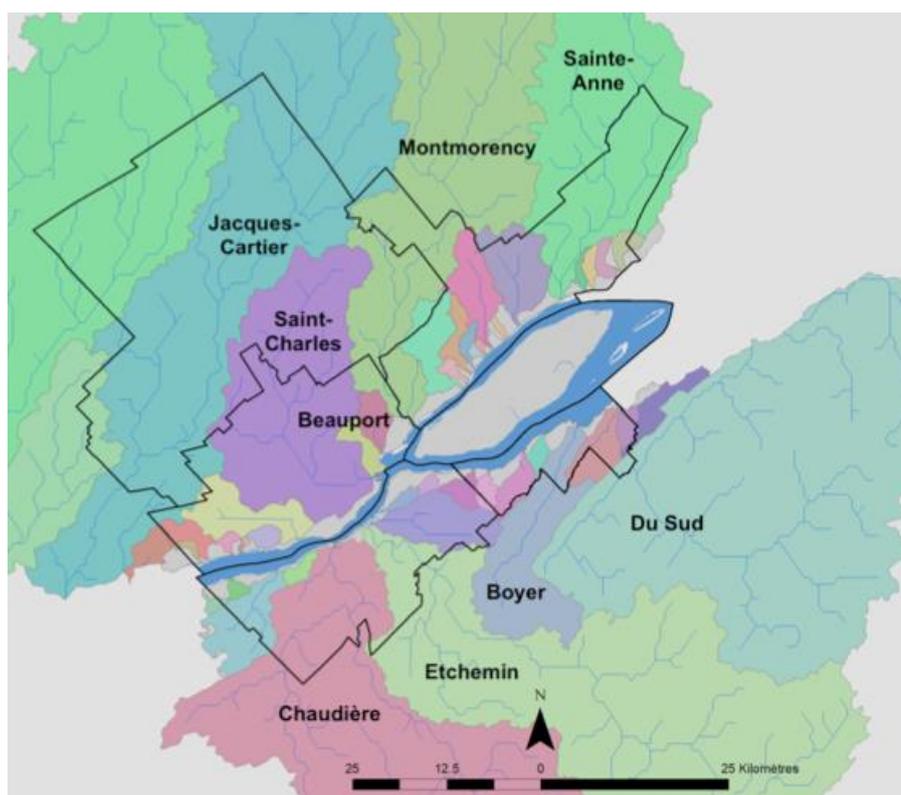


Figure 1.B Carte des bassins versants principaux dans la CMQ

Sur la Rive-Sud de la CMQ, les basses terres du Saint-Laurent se sont formées au cours de la dernière période glaciaire, pour donner suite au retrait des glaciers et à la formation de la mer de Champlain. Elle se caractérise 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.

Traditionnellement, ce paysage était dominé par la forêt d'érables, bien qu'une grande partie de ce terrain ait maintenant été défrichée pour l'agriculture, la plupart des forêts restantes étant situées dans et autour des zones humides. 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 plus intensives, 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 Bellechasse se situent à l'embouchure de trois grandes rivières qui coulent vers le nord dans le fleuve Saint-Laurent: la Chaudière et l'Etchemins 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 et al. 2017), en partie à cause de l'intensification des pratiques agricoles dans ces bassins versants.

Au sein de la CMQ, les complexes de zones humides sont des éléments écologiques importants sur les rives sud et Nord, occupant au total 8,8 % du territoire. Ils se trouvent principalement à Lévis et à l'île d'Orléans, où ils occupent respectivement 22 % et 11 % de ces secteurs (Pelletier et coll. 2015). Ces écosystèmes 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 (Pelletier et coll. 2015). Afin de protéger et de mettre en valeur les nombreux écosystèmes de la CMQ, plusieurs parcs nationaux, réserves de biosphère et zones protégées couvrant plus de 32 000 ha (12 %) du territoire ont été mises en place. Ces dispositifs 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 du capital naturel au bien-être de la population de la CMQ en comptabilisant la valeur des cinq écosystèmes dominants suivants : forêts, zones humides, terres 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), dans la mesure où la plus grande demande pour de nombreux services se situe dans les centres urbains. Cette harmonisation a été réalisée pour être cohérente avec les données géospatiales et économiques disponibles, et est cohérente avec les études similaires réalisées au Québec et au Canada (p. ex. Wilson, 2008; Dupras et coll., 2015; Dupras et coll., 2016).

### *Description socio-économique de la région*

Le territoire de la CMQ comprend la capitale du Québec, la Ville de Québec, la deuxième plus grande ville de la province. En 2016, la Ville de Québec et les MRC environnantes comptaient une population totale de 805 061 habitants (MAMOT 2017), dont 72% habitaient la Ville de Québec (statistique Canada 2017). 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 (ISQ 2014a), en grande partie grâce à l'immigration locale et internationale (ISQ 2014b). 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 les années 1980, la taille de la population âgée de moins de 15 ans a régulièrement diminué (de 22 % à 16 %), avec une proportion croissante de la population âgée de plus de 65 ans. 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 2014b).

En 2018, 459 200 personnes occupaient un emploi actif au sein de la CMQ (ISQ 2019), le taux de chômage étant passé de 5,3 % en 2011 à 3,8 % en 2018, chiffre légèrement inférieur à la moyenne provinciale de 5,5 %, et à la moyenne canadienne de 5,8 % (statistique Canada 2019). Sur une période légèrement plus longue (2007 à 2015), le PIB de la CMQ a augmenté en moyenne de 3,1 % par an, dépassant ainsi la moyenne provinciale (2,7 % par an), contribuant ainsi à réduire le taux de chômage. Cependant, le taux d'augmentation du PIB a ralenti depuis son sommet de 2012 et se situe toujours aux alentours de 1,2 % (ISQ 2017). L'économie est fortement axée sur les services de base qui représentent 82 % du PIB (ISQ 2017). En effet, l'administration publique (15 %), les secteurs de la santé et des services sociaux (14 %) et le secteur commercial (16 %) étaient les principaux employeurs de la CMQ en 2011, 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 plus de 1% (statistique Canada 2012).

En dépit d'une structure économique similaire dans les villes voisines, il subsiste des différences sociales et culturelles entre le centre urbain de la Ville de Québec, les petites villes et les communautés périurbaines. Alors que les voitures demeurent le mode de transport principal dans la Ville de Québec (76 %), la dépendance à l'égard des voitures dans les autres secteurs de la CMQ avoisine les 93 %, très peu de personnes utilisant les transports en commun pour se rendre au travail (statistique Canada 2017). Ceci coïncide avec une structure urbaine beaucoup moins dense (8 à 122 logements privés/km<sup>2</sup>) dans ces MRC que l'agglomération de Québec (443 logements privés/km<sup>2</sup>) et nécessitant de plus grandes distances à parcourir.

## 1.2 Les milieux naturels et leurs services : une mine d'or verte pour la population de la CMQ

La région cible renferme de riches paysages caractérisés par de multiples couvertures naturelles. Les milieux forestiers, agricoles, humides, aquatiques, en friche et en prairies, amènent ainsi plusieurs services de régulation, d'approvisionnement et de services socioculturels à la population du territoire (CMQ 2018).

En effet, selon Braat et ses collaborateurs (2010) les forêts contribuent à l'approvisionnement de l'eau grâce aux arbres et à la végétation associée qui en absorbent les eaux pluviales dans les sols ainsi qu'à l'intérieur de leurs systèmes racinaires. Les forêts fournissent aussi des matières premières comme le bois. Les arbres absorbent le carbone ainsi que les polluants, contribuant à la qualité de l'air. Leurs systèmes racinaires servent aussi de contrôle de l'érosion ainsi que de prévention des inondations. Ceux-ci contribuent entre autres au cycle naturel des nutriments. Ces milieux assurent aussi un contrôle biologique ainsi qu'une conservation des habitats favorisant la biodiversité par leurs offres de refuges naturels, entre autres pour les prédateurs des espèces invasives.

De plus, les régions agricoles de la Rive-Sud de la CMQ font partie des plus importantes du Québec (UPA 2017). Ces caractéristiques sont spécifiquement causées par l'histoire pédologique de ces terres qui rendent le sol de cette région particulièrement fertile. Braat et ses collaborateurs (2010) soulignent que les terres agricoles fournissent ainsi des biens alimentaires par la pousse des cultures sur leurs sols riches et fertiles. Celles-ci produisent aussi des produits non ligneux, notamment par l'exploitation du secteur acéricole. Ces terres contrôlent aussi l'érosion des sols par leur protection physique contre le vent et l'eau et contribuent aussi au cycle de nutriment par la présence de micro-organismes transformant les cultures restantes en nutriments pour les plantes. Les milieux agricoles génèrent

aussi des revenus récréotouristiques par leurs offres d'activités d'agrotourisme tout en présentant des points de vue magnifiques, augmentant ainsi la valeur du patrimoine naturel via l'esthétisme du paysage.

Braat et ses collaborateurs (2010) mentionnent aussi que les milieux humides contribuent à la qualité de l'eau et traitent les polluants en filtrant les sédiments ainsi qu'en limitant l'apport des nutriments en azote, phosphore ainsi qu'en luttant contre la prolifération de cyanobactéries. De plus ces milieux régularisent le climat par la séquestration de carbone. Ils contribuent aussi au contrôle de l'érosion du vent, des vagues, de la marée et du courant par la présence de végétation. Ces milieux contribuent aussi à prévenir les inondations et les sécheresses en alimentant les nappes souterraines et en régularisant les effets des précipitations. Ces milieux assurent aussi un habitat pour la biodiversité en abritant plus de la moitié des espèces menacées ou vulnérables au Québec, en plus de participer à la conservation du patrimoine naturel et génétique du territoire (Blais 2013).

D'autre part, les friches et les prairies régularisent le climat au niveau de la séquestration de carbone en stockant celui-ci dans sa biomasse et offrent aussi un certain contrôle biologique en exerçant une pollinisation et une dispersion des graines (Braat et al. 2010). Ces milieux contribuent aussi au contrôle de l'érosion du sol en stabilisant la masse ainsi qu'au cycle de nutriments. Ils contribuent aussi à l'habitat favorisant la biodiversité en abritant plusieurs espèces et alimentent l'esthétisme du paysage en amenant un panorama particulier (Baptist et al. 2018).

Finalement, les milieux aquatiques terrestres contribuent au traitement des polluants par leur processus biochimique naturels, notamment en transformant et en retenant les nutriments dissous dans l'eau (Bernal et coll. 2015). Ces milieux contribuent aussi à la conservation de l'habitat favorisant la biodiversité de nombreuses espèces de plantes et de poissons ainsi qu'aux activités récréotouristiques en donnant accès à des activités comme la baignade, le canotage

et la pêche (Braat et al. 2010). Finalement, ceux-ci renferment des valeurs culturelles quant à l'esthétisme du paysage (MEA 2005).

Les milieux naturels du territoire étudié (CMQ) renferment ainsi plusieurs types d'écosystèmes. La biodiversité favorise aussi la productivité de l'économie par l'apport des services écosystémiques aux populations et constitue une forme de résilience face aux changements globaux (Heal 2000; MEA, 2005). Il est alors intéressant de démontrer la valeur des avantages de conservation de certains milieux naturels, entre autres en démontrant le coût de la dégradation d'un écosystème dans une perspective d'aménagement du territoire (Chevassus-au-louis et coll. 2009).

### 1.3 Perspective sur l'aménagement du territoire

À l'heure actuelle, la CMQ fait face à un nombre croissant de défis relativement à la gestion de sa biodiversité et de ses écosystèmes. Les pressions liées aux changements globaux et aux dynamiques locales se cristallisent 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 de l'étalement urbain se sont accélérés au cours des cinquante dernières années, particulièrement autour de la Ville de Québec (Nazarnia, Schwick, et Jaeger 2016). L'étalement urbain a entraîné la conversion des forêts et des zones 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 (Ouranos 2018). 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 dans la région de la CMQ 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 du ruissellement des eaux pluviales, de la pollution atmosphérique et la lutte contre les îlots de chaleur (Ouranos 2018).

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. Au cœur de ce plan (c.-à-d. 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 (c.-à-d. stratégies 8 et 9), ainsi que l'enjeu croissant de l'étalement urbain (c.-à-d. stratégie 11). De plus, le PMAD est harmonisé avec les Plans de développement de la zone agricole (PDZA) par les stratégies 7 et 8 qui décrivent la création d'un réseau de corridors bleus et verts 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.

Au-delà du PMAD, des politiques et lois nationales encadrent également l'aménagement du territoire de la CMQ. La politique nationale de l'eau (2002) pose que l'eau constitue un élément essentiel du patrimoine collectif des Québécois, encadre la protection des sources d'eaux 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 est basée sur le principe d'aucune perte nette des

écosystèmes à travers un processus formalisé pour la restauration ou création de nouveaux milieux humides et hydriques pour compenser les pertes inévitables.

## CHAPITRE II

### 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 (SE). Celle-ci fut notamment reprise pour les études du capital naturel du Grand Montréal ( Dupras, Alam, et Revéret 2015) et de la région Ottawa-Gatineau (Dupras et coll. 2016). Cette approche repose sur une suite de cinq étapes, ici adaptées au contexte de la CMQ. Ces cinq étapes sont, premièrement, la définition de la zone à l'étude et le montage du portrait socio-économique de la région, deuxièmement, la classification et la cartographie de l'usage du sol ainsi que le calcul des flux de services écosystémiques, troisièmement, l'évaluation économique des services écosystémiques, quatrièmement, le calcul de la valeur totale des services écosystémiques et leur classification par couverture du sol, et finalement, l'analyse spatiale de la valeur des services écosystémiques en fonction des caractéristiques géographiques de la zone étudiée (Figure 2.1). La définition de l'aire d'étude ainsi que le portrait socio-économique de la région (étape 1) ont déjà été effectués lors de la mise en contexte. Les prochaines sous-sections présentent en détail les deuxièmes et troisièmes étapes de la démarche qui représente le coeur de l'analyse.

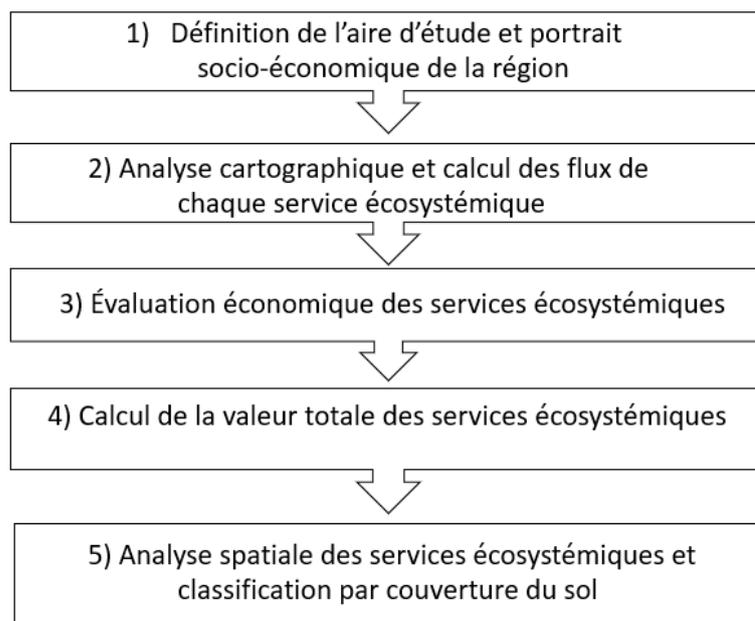


Figure 2.1 Cadre méthodologique retenu pour l'évaluation économique des services écosystémiques (adapté de Troy et Wilson 2006 et Dupras et coll. 2015)

## 2.1 La classification : une sélection des services écosystémiques

Groot (2002) a tout d'abord créé une classification des SE hiérarchisé. Selon cette classification, il existe cinq types de SE globaux dont les services de récréation, ceux évoquant la prévention des perturbations de l'écosystème, la régulation de l'eau, la réduction des gaz à effet de serre ainsi que la nourriture. Les services de récréations se basent sur des paysages à potentiel récréatif, comme les activités écotouristiques ainsi que les activités de sports extérieurs. Pour sa part, la prévention des perturbations de l'écosystème sert à contrôler les inondations, la pollinisation, et la régulation de l'eau. Quant à elle, la régulation de l'eau par irrigation s'effectue notamment par le drainage naturel de la couverture du paysage et du ruissellement des rivières. La réduction des gaz à effet de serre est ensuite effectuée par un procédé de cycle biogéochimique, offrant une qualité de l'air optimale. Des procédés comme la séquestration de carbone dans les sols et la régulation du climat, notamment par la régularisation de la température, sont des stratégies d'aménagement naturel du territoire que l'on peut mettre en œuvre pour

réduire les gaz à effet de serre. Finalement, le service de la nourriture est établi par un principe de conversion de l'énergie solaire afin de créer des ressources d'animaux et de plants comestibles, notamment dans le but de créer des produits manufacturiers, d'énergie, de nourriture et d'engrais.

Le projet du MEA a ensuite renchéri avec une classification différente, mettant en évidence les différents liens entre les SE et leurs différents apports quant au bien-être humain. Selon ce projet, la présence des différents milieux naturels peut améliorer l'état de la biodiversité, la gestion de l'eau, combler les besoins récréatifs, culturels et historiques des citoyens ainsi qu'appliquer un contrôle quant à l'étalement urbain (Ahern 1995). Le MEA (2003) a alors reconnu quatre catégories de SE ayant différents liens avec le bien-être humain. En effet, les services d'auto-entretien tels que le renouvellement du cycle nutritionnel, la constitution des sols et la production de matières en font partie. Les services d'approvisionnement tel que le prélèvement de la nourriture, de l'eau douce, du bois et des fibres font aussi partis de l'équation. Ensuite, les services de régulation tels que la régulation du climat, de l'eau, des maladies et de tout autre service connexe sont inclus. Finalement, s'ajoutent les services culturels tels que les services esthétiques, spirituels, éducatifs et d'agrément.

Fisher et ses collaborateurs (Fisher et al. 2009) proposent ensuite une stratégie d'innovation quant à la classification des SEs. Cette stratégie de classification repose alors sur l'analyse du contexte de la région étudiée. Selon cette classification, il faut premièrement définir les SE à étudier en fonction de la présence des écosystèmes sur le territoire d'étude pour ensuite énoncer les caractéristiques quant à l'apport du bien-être humain de ces SE. Il faut ensuite étudier le contexte quant aux objectifs économiques et politiques de la zone étudiée, et ce, afin de cibler les SE pertinents à mobiliser. Ces deux étapes permettent alors de classer les SE appropriés, et ce, en fonction de la disponibilité des écosystèmes ainsi qu'en tenant compte des objectifs politique et économique du territoire à étudier. Une analyse préliminaire de trois systèmes de classification des services écosystémiques nous a alors 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 (CICES 2018). Trois études locales, menées dans les régions métropolitaines de Montréal et d'Ottawa/Gatineau, présentant des contextes socioécologiques similaires à la CMQ ont aussi été utilisées pour réaliser la sélection des services écosystémiques (Poder et al. 2016; Dupras et al. 2016; 2017).

Après une lecture transversale de ces sources, combinée à l'analyse des données utilisées pour cette étude, 14 services écosystémiques ont été sélectionnés pour une évaluation économique sur le territoire de la CMQ (Tableau 2.1). Bien que le tableau 2.1 présente 13 services écosystémiques, les services étant dans la catégorie des produits forestiers ligneux (production du bois et du sirop d'érable) comportent deux sous-services écosystémiques. La sélection de ces services a été effectuée en comparant les services existants sur le territoire de la CMQ à ceux ayant été évalués dans les trois études locales ayant un portrait socio-économique similaire au portrait de la CMQ, et ce, afin de respecter la méthodologie de Fisher et ses collaborateurs (2009). Nous avons ensuite défini ces services en fonction de ceux énumérés dans les trois systèmes de classification étudiés. Enfin, nous avons validé la validation en nous assurant que la disponibilité des données de chacun des services était présente à des fins d'évaluation. Les services écosystémiques choisis peuvent donc être classés en trois principaux types de services : les services d'approvisionnement, fournissant aux populations locales des biens directement consommables ou échangeables sur les marchés économiques; les services de régulation et de soutien, basés sur des processus écologiques offrant des services bénéfiques pour la société, et 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 2.1 Liste des services écosystémiques évalués sur le territoire de la CMQ

Classe de services	Service	Définition	Bénéfices
Approvisionnement	Production agricole	La production et la récolte de produits végétaux comestibles sur les terres agricoles	L'approvisionnement en nourriture pour l'alimentation humaine
	Approvisionnement en eau	Capacité de régulation et de contrôle des crues dans une optique d'approvisionnement en eau des communautés	L'approvisionnement en eau pour répondre aux besoins humains
	Produits forestiers ligneux	L'approvisionnement de bois et autres produits provenant des écosystèmes forestiers	L'approvisionnement en bois et en sirop d'érable
	Régulation du climat	La séquestration et le stockage de carbone du carbone organique dans la biomasse végétale et du sol,	Lutte aux changements climatiques, réduction des dommages dus aux conditions météorologiques extrêmes
	Pollinisation	L'augmentation de la production agricole résultant de la pollinisation	Augmentation de la production de fruits et légumes, qualitative et quantitative
Régulation	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
	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
	Prévention des événements extrêmes	Les coûts sociaux évités par la prévention des événements extrêmes grâce à la présence des milieux naturels	Contrôle des crues et des îlots de chaleur
	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
	Habitats pour la biodiversité	La protection ou la création d'un habitat pour les espèces fauniques et floristiques	Fonctions écologiques continues ou améliorées; possibilités d'observation de la faune
Culturels	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
	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	Appréciation du paysage	Visualisation et appréciation du paysage; inspiration pour l'art

## 2.2 L'analyse spatiale : une cartographie de l'usage du sol et le calcul des flux de services écosystémiques

L'analyse spatiale a été effectuée à l'aide du logiciel MESH (*Mapping ecosystem services to human well-being*). Cette boîte à outils d'évaluation et de cartographie des SEs permet de calculer les différentes fonctions de productions des SEs et permet alors de les cartographier (IWMI 2020). La prestation de chaque service est présentée en fonction de différents scénarios de gestion du paysage (IWMI 2020). Dans notre cas, pour un certain nombre de services écosystémiques sélectionnés, des modèles spatialement explicites de la boîte à outils InVEST (évaluation intégrée des services écosystémiques et des arbitrages) (Tallis et al. 2013) ont été utilisés avec le logiciel MESH 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 à la valeur d'un service fourni dans le temps, et dans ce cas, sur une base annuelle. Le logiciel InVEST a été appliqué aux bassins versants et aux paysages pour évaluer la fourniture et la valeur économique des services écosystémiques fournis aux populations locales. Le travail sur le logiciel InVEST a été réalisé en majeure partie par la stagiaire postdoctorale Sylvia Wood, en collaboration avec le reste de l'équipe pour la collecte des données primaires.

Les modèles utilisés s'appuient sur des équations de fonction de production pour simuler des processus physiques et biophysiques à travers les paysages. Il s'agit des équations utilisées dans les études de Tallis (2013) et Sharp (2018). Nous les avons ensuite traduites en fourniture de services écosystémiques aux populations locales selon l'approche conceptuelle de Haines-Young et Potshin (2010) (figure 2.2). 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 le stockage et la séquestration du carbone, l'approvisionnement en eau, les services de rétention des sédiments et des nutriments dans le paysage, ainsi que les rendements agricoles rendus par les pollinisateurs pour 70 classes d'utilisation des sols. L'ensemble de ces catégories d'utilisation du sol ont été regroupées en 16 classes pour faciliter la présentation dans les cartes qui suivent.

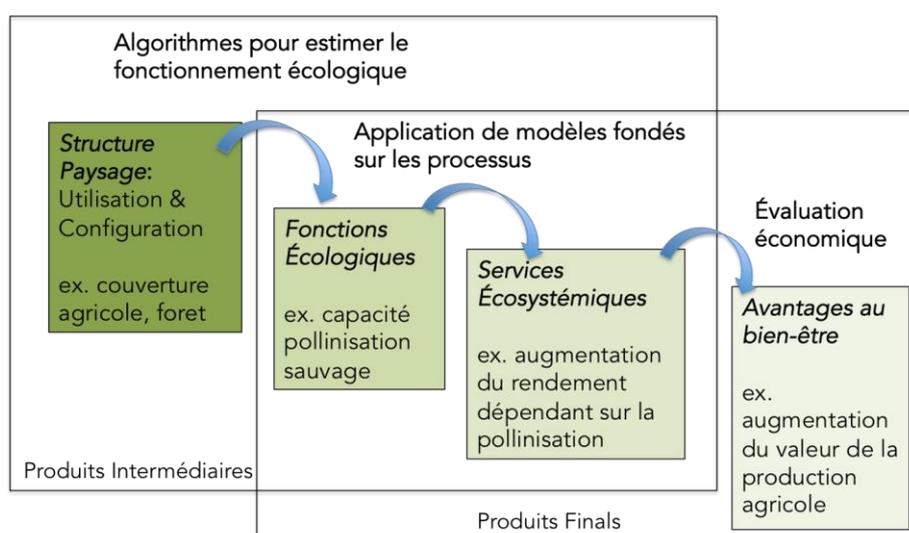


Figure 2.2 Diagramme conceptuel de la quantification des services écosystémiques (adapté de Haines-Young et Potshin, 2010)

Ces modèles s'appuient sur de grandes quantités de données pour évaluer avec précision la fourniture de services écosystémiques (Tableau 2.2). Pour ce faire, nous avons utilisé la carte d'utilisation des sols du MELCC (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques) (Bissonnette et Lavoie 2015) qui possède une résolution de 30m 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 coll. 2014) et des friches (communication personnelle, CMQ). Nous complétons également les classes d'utilisation des terres urbaines avec des détails tirés du jeu

de données sur l'utilisation des sols du PACES (Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines) (communication personnelle, CMQ).

Nos modèles de services d'eau douce (c.-à-d. approvisionnement en eau et contrôle de l'érosion) ont été combinés aux données des caractéristiques des sols du Pedo-Paysage Canada (Pedo-Paysage Canada 2010) et de la base de données mondiale harmonisée sur les sols (ISRIC 2019), sur la fraction d'eau disponible aux plantes et la profondeur de la zone d'enracinement avec les taux d'épandage recommandés par le CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec) (CRAAQ 2016), ainsi que les valeurs annualisées des coefficients de récolte (kC) de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) (UNFAO 1998). Nous avons utilisé des données climatiques sur les précipitations annuelles moyennes de Worldclim.org (Fick et Hijmans 2017), la couche d'érosion globale du logiciel ERDAS (Panagos et al. 2017) et la base de données mondiale CGIAR-CSI (Consortium for spatial Information) pour l'évapotranspiration potentielle (Zomer et al. 2008; 2007).

Tableau 2.2 Liste de données utilisées pour la modélisation de cinq services écosystémiques

Service écosystémique	Donnée	Type	Sources
Couverture des sols	Cartes utilisation des sols	Spatiale (30m)	Bissonnette et Lavoie (2015)
	Cartes des zones humides	Spatiale (vectorielle)	Canards illimités (2014)
	Cartes des friches	Spatiale (30m)	CMQ (2018)
	Donnees Numeriques de Terrain	Spatiale (20m)	Ressources Naturelles Canada (2015)
	Précipitations annuelles moyennes	Spatiale (1km)	Fick et Hijmans (2017)
	Erosivité des précipitations	Spatiale (1km)	Panagos et coll. (2017)
	Évapotranspiration potentielle	Spatiale (1 km)	Zomer et coll. (2007, 2008)
Approvisionnement d'eau et contrôle de l'érosion	Réseau hydrographique	Spatiale (vectorielle)	Ressources Naturelles Canada (2018)
	Caractéristiques des sols	Spatiale (vectorielle)	Pedo-Paysage Canada (2010)
	Bassin Versants	Spatiale (vectorielle)	Lehner et coll. (2013)
	Fraction d'eau disponible aux plantes	Spatiale (450m)	ISRIC (2018)
	La profondeur de la zone d'enracinement	Spatiale (450m)	ISRIC (2018)
Stockage du carbone	Guide de référence des fertilisants	Tableaux	CRAAQ (2016)
	Coefficients de récolte (kC)	Tableaux	FAO (1998)
	Système d'information écoforestière	Spatiale (vectorielle)	MFFP (2015)
	Densité du bois	Tableaux	Zanne et coll. (2009)
	Équations allométriques	Equations	Lambert (2005)
	Ratios de biomasse racine : tiges	Equations	Ruesch et Biggs (2008).
	Carbone du sol	Spatiale (450m)	ISRIC (2018)
	Listes d'espèces	Tableaux	Normandin et coll. (2017)
	Distance de vol	Equation	Greenleaf et coll. (2007)
	Guide d'identification et de gestion des pollinisateurs et des plantes mellifères	Livre	CRAAQ (2014)
Rendements agricoles (Pollinisation)	Schémas de plantation des cultures assurée	Spatial (vectorielle)	FADQ (2015a)
	Rendements moyens par culture pour la région du CMQ	Tableaux	FADQ (2015b), Samson (2007), Clement (2010), Lajeunesse et Pilote (2016), MAAARO (2017)

Pour calculer les valeurs de stockage total du carbone dans 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 coll. 2009) et des équations allométriques spécifiques aux espèces d'arbres du Canada (Lambert, Ung, et Raulier 2005). Les estimations pour les autres types de couvertures ainsi que les ratios racines étaient basés sur les valeurs de l'évaluation du GIEC (Ruesch et Gibbs 2008). Nous avons utilisé les données de stockage de carbone du sol, pour le premier mètre de sol, provenant du Soilgrid.org (ISRIC 2019). À la différence des études de ce type réalisées à Montréal et Ottawa/Gatineau, nous avons évalué le stockage de carbone pour le premier mètre de sol avec les données de la base de données mondiale harmonisée sur les sols (ISRIC 2019).

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 deux études (Normandin et coll. 2017; Greenleaf et coll. 2007) pour 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 à travers la CMQ (FADQ 2015b) et les niveaux de dépendance des cultures à la pollinisation (Klein et coll. 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 (FADQ 2015a) 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 l'utilisation des sols de la CMQ ont été utilisés comme *indicateurs* pour estimer les flux de services selon la littérature scientifique.

### 2.3 L'évaluation économique des services écosystémiques

Les méthodologies d'estimation des valeurs de flux de services écosystémiques qui ont été utilisés dans cette étude sont les méthodes de prix de marché (PM), de coût de remplacement (CR) et de transfert de bénéfices (TB). Elles ont été choisies en fonction de la disponibilité des données dans la littérature grise et scientifique.

La méthodologie des prix de marché estime la valeur de ce que les consommateurs paient pour profiter du service produit directement par un milieu naturel ou encore les coûts que les consommateurs paient 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 les biens alimentaires, les produits ligneux et les services récréotouristiques.

Pour les biens alimentaires, nous avons recueilli et analysé les données disponibles dans les bases de données du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), et ce, afin d'obtenir la rente réelle découlant de la production, de la récolte et de la vente de biens alimentaires récoltés sur le territoire du Québec. Ces valeurs ont ensuite été présentées sous forme de tonnes par hectare et par année pour chacune des récoltes exploitées sur le territoire de la CMQ. Pour la production de bois, le calcul de la valeur économique se base sur les données dans le rapport annuel du Syndicat des producteurs privés de Québec qui estime la vente de bois aux usines (SPFRQ 2017). Pour les services récréotouristiques, le calcul de la valeur économique se chiffre sur les ventes totales en journée-visites pour l'année 2017 sur le territoire de la CMQ. Également, la valeur des services d'agrotourisme a été

estimée par les revenus procurés par la vente de sirop d'érable ainsi que 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 coll. 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 (MELCC 2016). Cette valeur est exprimée en termes de coût par tonne de dioxyde de carbone émise. Nous avons alors ajusté cette donnée 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. 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 de la CMQ. Nous avons alors 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 rivière au sud de l'Ontario (Fox et 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 cible (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). Nous avons alors choisi des études se trouvant en milieu tempéré, effectuant le calcul des fonctions écologiques, ayant des données de type secondaire, évaluant les prix et qui existaient depuis l'année 2011. Après

avoir entré ces critères dans la base de données EVRI, 10 études ont retenu notre attention. Nous avons choisi la base de données EVRI pour son accessibilité, la facilité de sélection des critères de sélection ainsi que pour considérer un grand nombre d'études (plus de 2000 études sont incluses dans cette base de données). Nous avons aussi ajouté d'autres critères à travers notre analyse afin que le site d'étude corresponde à notre site cible. En effet, nous voulions que le site d'étude soit majoritairement urbain, caractérisé d'un climat tempéré, représente des valeurs à l'hectare et que celui-ci illustre la valeur de plusieurs services écosystémiques provenant de différents milieux naturels, et ce, de façon simultanée. La sélection des études sources s'est fait selon des critères écologiques et socio-économiques et 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, trois bases de données créées pour les études des services écosystémiques ont été utilisées. Il s'agit de l'étude d'Ottawa-Gatineau (Dupras et coll. 2016) et celles du grand Montréal ( Dupras, Alam, et Revéret 2015). En effet, ces études étaient les seules qui répondaient à tous nos critères se trouvant dans la base de données d'EVRI. 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 de la biodiversité des habitats, du cycle de nutriments, et de l'esthétisme. Une autre étude évaluant le service d'esthétisme en milieu agricole a aussi été ajoutée afin de compléter l'analyse ( Dupras et coll. 2017). Le tableau 2.3 présente la synthèse des données, méthodes et sources utilisées pour l'analyse économique.

Tableau 2.3 Liste de données utilisées pour le calcul de la valeur des services écosystémiques

Service écosystémique	Données	Méthode	Sources
Biens alimentaires			
Produits agricoles	Rendements moyens par culture pour la région de la CMQ	Prix de marché (Revenus annuels)	CRAAQ (2017), FADQ (2013), FADQ (2015b), Samson (2007), Clement (2010), Lajeunesse et Pilote (2016), MAAARO (2017)
Produits acéricoles	Nombre et production d'entaille Prix moyen par lb	Prix de marché (ventes annuelles)	MAPAQ (2017), FADQ (2017), FADQ (2017)
Produit ligneux	Production du bois Prix moyen à l'usine	Prix de marché (ventes annuelles)	(SPFRQ 2015)
Récrétotourisme			
Agrotourisme	Visite et ventes annuelles par entreprise agrotouristique	Prix de marché (ventes annuelles)	(MAPAQ 2017b; Lemay stratégie 2016)
Milieus forestiers et aquatiques	Prix de droits d'entrer Visiteur par année Limites des parcs	Prix de marché (ventes annuelles)	SÉPAQ (2017, 2018) MERN (2017)
Stockage et Séquestration du Carbone	Coût social du carbone	Coût remplacement	deECCC gouvernement du Canada (2016)
Contrôle de l'érosion	Coûts de traitement liés aux changements de l'utilisation des terres	Coût remplacement	deJackson & Fox (1990)
Approvisionnement t d'eau	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2016 ; Dupras et coll., 2015
Traitement des polluants	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2016 ; Dupras et coll., 2015
Qualité de l'air	Valeur de la réduction des polluants aériens par les forêts	Transfert bénéfices	Hirabayashi (2014)
Maintien habitat pour la biodiversité	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2016 ; Dupras et coll., 2015
Cycles des des nutriments	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2016
Esthétisme	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2018
Préventions des Extrêmes	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2016 ; Dupras et coll., 2015
Contrôle Biologiques	Valeur par hectare	Transfert bénéfices	Dupras et coll., 2016

## CHAPITRE III

### RÉSULTATS

Les sections 3.1 et 3.2 présentent les résultats de l'étape 2, soit les résultats de l'analyse cartographique de l'utilisation des sols (3.1) et ceux du calcul des flux et du stockage des SEs (3.2). Ensuite, les résultats de l'étape 3, soit l'évaluation économique des SEs, sont présentés et catégorisés par types de milieux naturels (3.3), tandis que la section 3.4 présente la totalité du carbone stocké dans les sols du territoire de la CMQ. La valeur totale des écosystèmes de la CMQ (section 3.5) est aussi présentée afin de répondre aux étapes 4 et 5 de la méthodologie, soit le calcul de la valeur totale des SEs (étape 4) ainsi que la classification des SEs par couverture du sol (étape 5).

#### 3.1 L'analyse cartographique de l'utilisation des sols

La figure 3.1 présente l'analyse de la couverture des sols de la CMQ. Au total, la CMQ et les trois municipalités de la MRC de Bellechasse incluses à l'étude 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 villes et villages, la zone urbaine de la CMQ 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. Ces zones font partie du biome du Bas-Saint-Laurent où les sols sont profonds et très fertiles. 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'écosystèmes 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.

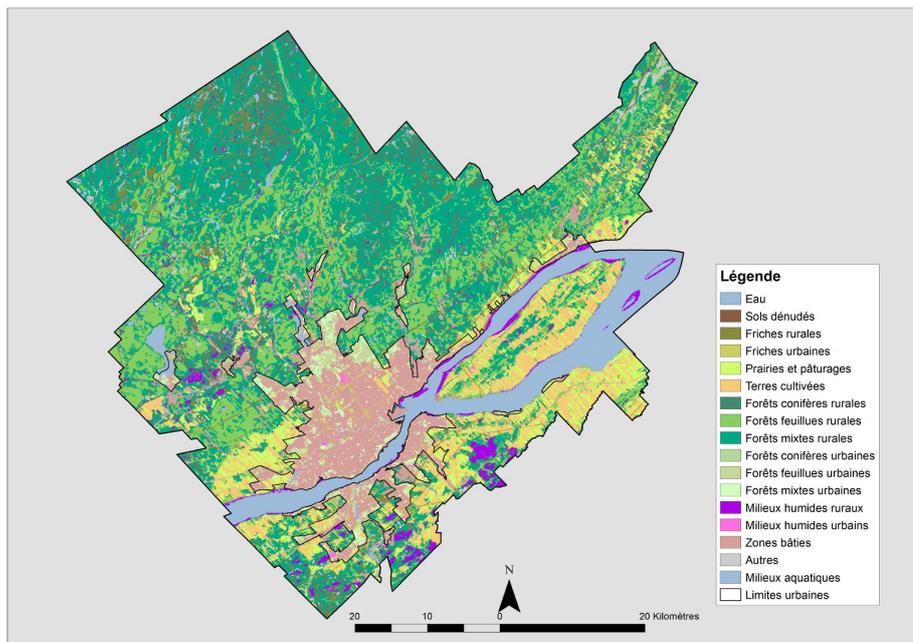


Figure 3.1 La répartition spatiale des écosystèmes dans la CMQ (voir annexe A)

Au nord de la CMQ, on retrouve la grande « couronne forestière », 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 la CMQ. De nombreux milieux humides sont dispersés en petites 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. Grand Plée Bleue, marais du nord), influençant la structure des zones urbaines. Finalement, ce paysage divers 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 à la CMQ.

Tableau 3.1 Analyse de la couverture des sols de la CMQ

Classes de couverture des sols	Superficie (ha)			
	Zone rurale	Zone urbaine	Total	%
Forêt conifère	24 235	465	24 700	6,5
Forêt mixte	101 837	5 026	106 863	28,1
Forêt feuillue	68 867	4 112	72 979	19,2
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	5,8
Friches et arbustes	12 491	1 883	14 374	3,8
Milieux aquatiques	34 314	1 381	35 695	9,4
Milieux urbains	12 675	28 841	41 516	10,9
<b>Total</b>	<b>333 565</b>	<b>47 044</b>	<b>380 609</b>	<b>100</b>

### 3.2 Les flux et les stocks de services écosystémiques

Le modèle InVEST a été utilisé pour estimer la production des cinq services écosystémiques illustrés à la figure 3.2 : stockage de carbone, séquestration du carbone, approvisionnement en eau, contrôle des sédiments et pollinisation. Les estimations dérivées 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 le sépare de la parcelle d'habitat la plus proche et de la source de ressources florales la plus

proche. Pour les neuf 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 de la CMQ, bien que nous les différencions selon le fait que ces écosystèmes se trouvent dans des zones urbaines ou rurales du paysage.

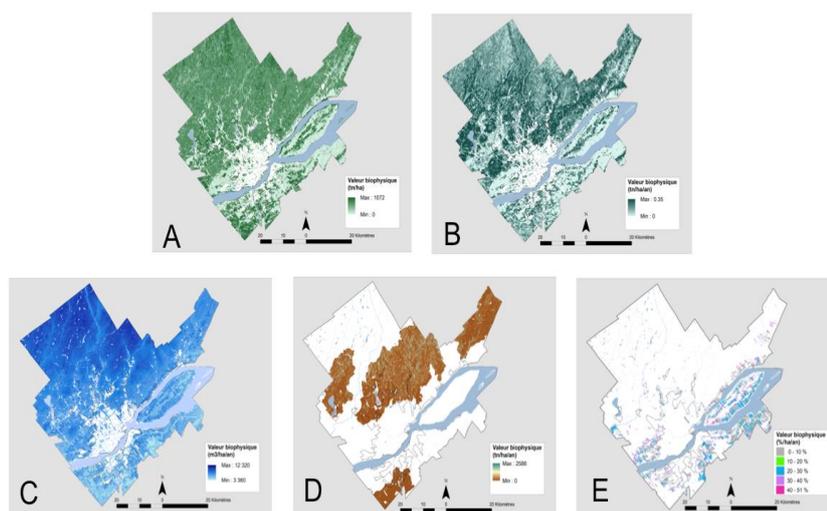


Figure 3.2 La répartition de l’approvisionnement des services estimé avec le logiciel InVEST (a) le stockage de carbone (b) la séquestration de carbone (c) l’approvisionnement de l’eau (d) le contrôle d’érosion et (e) le service de pollinisation (voir Annexe B)

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 capturés par les populations et mesurés sur une période d’un an. Par exemple, la consommation annuelle d’eau, la consommation d’aliments, le bois utilisé dans la construction ou la pollinisation.

En revanche, on peut penser aux stocks de services écosystémiques comme à la capacité de l’écosystème à fournir des SEs ou un potentiel défini comme le maximum hypothétique de production d’un écosystème donné (Burkhard et coll. 2014; Villamagna et coll. 2013) (p. ex. 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, en fonction de la demande de SE qui est définie comme étant la quantité de SE requise ou souhaitée par la société (Burkhard et coll. 2014; Villamagna et coll. 2013). ce qui les convertit en un flux de bénéfices, soit le faisceau de SE et d'autres sorties effectivement sélectionnés à un endroit et à une période donnés (Burkhard et coll. 2014; Villamagna et coll. 2013).Ce faisant, nous réduisons la valeur de ce stock (par exemple, la récolte de bois ou la pêche). 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 environ 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 la section 3.3, nous évaluons d'abord le flux des avantages des écosystèmes pour les services écosystémiques, et dans la section 3.4, nous évaluons le stock de carbone permanent qui, s'il était capturé, se reconstituerait au cours de décennies ou de millénaires, dans chaque écosystème.

### 3.3 La valeur économique des services écosystémiques de chaque écosystème de la CMQ

Les sections suivantes répondent à l'étape 4 de la méthodologie de cette présente étude, soit l'évaluation économique des services écosystémiques à l'échelle de chacune des couvertures du sol du territoire de la CMQ.

#### 3.3.1 Les forêts et boisés

Les forêts et boisés fournissent plusieurs bénéfices aux communautés, et dont le niveau est à la fois dépendant du milieu où ils se trouvent et de leur composition. Les forêts sont la couverture dominante de la CMQ, occupant 53,1 % de la

superficie, dont la plupart se trouvent dans la MRC de la Jacques-Cartier et de la Côte-de-Beaupré sur la Rive Nord (Figure 3.3). Étant à la limite sud de la forêt boréale, la couverture forestière dans la CMQ est répartie entre les forêts de résineux (12,1%), mixte (52,2%), ainsi que de feuillus (35,7%). Dans la région nord, appelée « couronne forestière », le récréotourisme dans les parcs alloués à la conservation et aux activités de plein air est populaire et constitue une source de revenus importante. Sur la Rive-Sud, les pressions de l'agriculture et de l'étalement urbain font que peu de la couverture forestière originale persiste. La majorité des forêts qui restent dans les MRC de Lévis et Bellechasse se retrouvent dans les milieux humides.

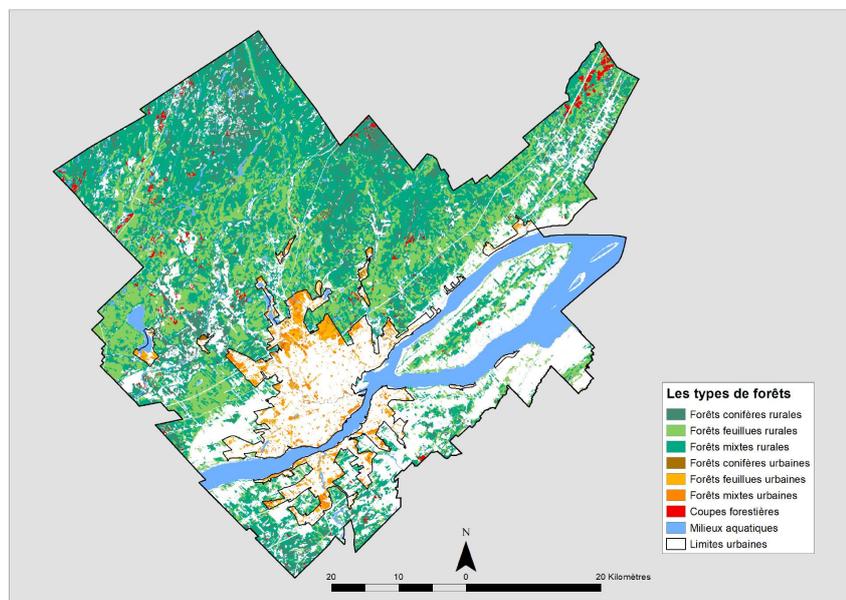


Figure 3.3 La répartition des forêts, des boisés et des coupes forestières sur le territoire de la CMQ (voir annexe C)

#### *La régulation du climat.*

La séquestration et le stockage du carbone sont importants pour la régulation du climat à l'échelle globale. Le carbone séquestré et stocké dans les plantes et les sols élimine le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de 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 3.4) par le forestier en chef du Québec (Bureau du forestier en chef 2015). D'après ces estimations provenant de peuplements au Québec, les forêts de conifères séquestrent environ 0,098 tn de carbone par année, les feuillus 0,31 tn par année et les forêts mixtes 0,35 tn par année. 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 9,6 M\$ par année.

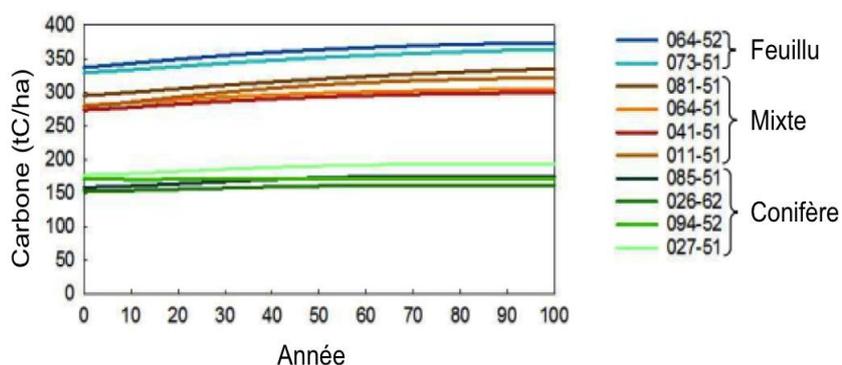


Figure 3.4 Évolution de la quantité de carbone par unité d'aménagement et par écosystème, en absence d'interventions sylvicoles (Bureau du forestier en chef 2015)

### *La qualité de l'air*

En plus de capter et stocker le CO<sub>2</sub>, 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, Crane, et Stevens 2006). Ces polluants contribuent à la création du smog, des pluies acides et des problématiques de santé

comme l'asthme, causant 7 000 morts prématurées au Canada chaque année (Jessiman et al. 2018).

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 au Tableau 3.2 (Hirabayashi 2014). Nous avons alors utilisé la base de données de l'étude de la Trame verte de la capitale nationale (Jérôme Dupras et coll. 2016) et avons transposé les données à l'an 2017 ajustant pour 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 pour une valeur de 2M\$, et en zone urbaine à 5,5M\$.

Tableau 3.2 Valeurs constituant la réduction des polluants aériens par Hirabayashi (2014)

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
O3	54,04	54,93	158	3
SO2	3,44	3,47	1	0
NO2	7,00	5,45	3	0
PM2.5	2,76	2,66	305	5
PM10	15,34	18,51	100	2
Total			568	10

### *Produits forestiers ligneux et non ligneux*

Dans la CMQ, la grande partie des coupes forestières a lieu sur des terres privées. En nous basant sur les données du système d'information écoforestière (SIEF), représentées dans notre carte d'utilisation du territoire (Figure 2.2), nous estimons à 2 428 ha les forêts récemment coupées (Figure 3.1) sur le territoire de la CMQ. Au cours de l'année 2017, environ 282 100 m<sup>3</sup> de bois ont été extraits des forêts privées du territoire de la capitale pour une valeur approximative de 10,7M\$, basé sur une moyenne de 38\$/m<sup>3</sup> du montant reçu aux usines par la production totale dans la région de Québec (SPFRQ 2017). 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 sur le territoire de la CMQ. En multipliant cette répartition de coupes historiques aux données de 2017, nous estimons que 132 000 m<sup>3</sup> de bois ont été extraits des forêts de la CMQ, pour une valeur de 5M\$/an. Notons que ces résultats n'incluent pas les trois municipalités de Bellechasse pour cause de manque de données.

Tableau 3.3 Production des produits ligneux et leur valeur économique dans la région de la CMQ et dans la région du Québec (SPFRQ 2017)

Région	Sciage et déroulage (m <sup>3</sup> )	Pâtes et papiers (m <sup>3</sup> )	Panneau et autres (m <sup>3</sup> )	Totale (m <sup>3</sup> )	Montant reçu (\$)	Proportion de l'aire et volume coupé dans la CMQ	Valeur de la production dans la CMQ (\$)
Rive nord de la Capitale	194 600	28 500	15 700	238 800	10 282 728\$	46.5%	4 781 468 \$
Rive sud de la Capitale	2 900	1 700	400	5 000	215 300 \$	57.3%	123 367 \$
Total	197 500	30 200	16 100	243 800	10 498 028 \$	113 877 m <sup>3</sup>	4 904 835 \$

#### *L'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 d'eau, par personne, par jour, ce qui équivaut à 146 m<sup>3</sup> par année à des fins domestiques, et jusqu'à 800 litres par personne par jour, ce qui équivaut à 292 m<sup>3</sup> par année pour les utilisations industrielles (MDDELCC 2019). Avec une population de plus de 805 000 habitants en 2018, la CMQ présente une consommation de 235M m<sup>3</sup>/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 St-Charles, une prise d'eau importante pour 300 000 résidents de la Ville de Québec.

Nous estimons l'approvisionnement en eau des écosystèmes comme l'équilibre entre les précipitations annuelles moyennes qui diminuent la capacité d'infiltration

des eaux souterraines. L'approvisionnement est alors estimé en fonction de l'eau absorbée par les plantes, l'humidité évaporée de la surface du sol ainsi que l'eau excédentaire des rivières et des lacs. Le secteur nord-est de la CMQ est le plus important bassin hydrographique de la région, recevant la plus grande quantité de précipitations annuelles (environ 1 600 millimètres par année), principalement dans les écosystèmes forestiers. Au total, plus de 2,42G m<sup>3</sup> d'eau douce par année proviennent des écosystèmes forestiers de la CMQ, avec 2,2G m<sup>3</sup> par année provenant des forêts rurales et 91,4M m<sup>3</sup> par année provenant des forêts urbaines, alimentant ainsi les nombreux lacs et les rivières fournissant l'eau potable. En nous basant sur les données des études des Ceintures vertes de Montréal (Jérôme Dupras, Alam, et Revéret 2015) et Ottawa/Gatineau (Jérôme Dupras et coll. 2016), nous retenons une valeur de 348\$/ha/an pour les forêts urbaines et 859\$/ha/an pour les forêts rurales. En multipliant cette valeur par la superficie des deux types de forêts, nous obtenons une valeur de 163,6M\$ par année pour les forêts rurales et de 3,3M\$ par année pour les forêts urbaines.

#### *La 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 éclair. Les forêts sont les principaux écosystèmes fournisseurs et régulateurs des eaux de surface, capturant et évaporant 1,1G m<sup>3</sup> 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. En nous basant sur les données de l'étude d'Ottawa/Gatineau (Jérôme Dupras et coll. 2016), la prévention des événements extrêmes 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.

### *Le traitement des polluants*

La protection et la rétention des sédiments 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. Cette eau provient des eaux de surface et le coût annuel des services d'eau domestiques est d'environ 250 \$ par année et par ménage à Québec, et ce, basé sur 300 m<sup>3</sup> par année (Canadian Municipal Water Consortium 2015). 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 coll. 2008), en entraînant des coûts sociaux élevés et en réduisant la durée de vie des réservoirs et des usines de traitement d'eau (Warziniack et al. 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 et al. 2017) note que les rivières drainant la Rive-Sud de la CMQ dépassent régulièrement les seuils de qualité de l'eau en termes d'accumulation de sédiment, 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 sédiments et de nutriments pénétrants dans les écosystèmes aquatiques en les absorbant et en les transformant en biomasse ainsi qu'en retenant, à l'aide de leurs systèmes racinaires, l'azote et le phosphore liés aux sédiments. Le service de traitement des polluants pour le territoire de la CMQ a été estimé à l'aide de la méthodologie du transfert de bénéfices issue de l'étude de Dupras et coll. (2016). Ces valeurs ont été estimées à 143\$/ha/an pour les forêts urbaines et à 326\$/ha/an

pour les forêts rurales, totalisant pour l'année 2017 27,8M\$ pour les forêts rurales et 0,5M\$ pour les forêts urbaines.

#### *Le 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 empêchent 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). 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 rivière au sud de l'Ontario (Fox et Dickson 1990) et ajusté pour l'inflation. Celles-ci peuvent être une surestimation, car une partie des sédiments seraient retenus dans les cours d'eau et les lacs par des processus de dépôt, ce qui constitue une estimation légèrement supérieure pour ce service. Nous avons alors obtenu une estimation annuelle de 22\$ par tonne de sédiments, ce qui équivaut à une valeur totale annuelle de 14,5M\$ pour les forêts rurales et de 0,2M\$ pour les forêts urbaines.

#### *Le contrôle biologique*

Les forêts et boisés peuvent aider à réduire la propagation des ravageurs nuisibles aux plantes et aux humains. Cela s'explique en partie par le fait que les populations d'espèces forestières abritent de nombreux prédateurs naturels pour de nombreuses espèces de ravageurs introduites ou indigènes. Bianchi et coll. (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 (Bianchi, Goedhart, et Baveco 2008). 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 coll. (2016). La valeur totale équivaut alors à 5,5M\$ pour les forêts rurales et à 0,4M\$ pour les forêts urbaines.

#### *L'habitat favorisant la biodiversité*

Les forêts de la CMQ abritent plusieurs espèces végétales et animales, du majestueux orignal (*Alces alces*) à la petite salamandre sombre du Nord (*Desmognathus fuscus*). La valeur de ce service est basée sur la contribution de chaque espèce jouant un rôle dans le fonctionnement de l'écosystème et qui soutient l'approvisionnement des services écosystémiques. L'habitat favorisant la biodiversité offre un service de soutien aux écosystèmes qui influence bien-être des humains de façon directe ou indirecte. 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 coll. (2016). Ces estimations nous permettent d'obtenir la valeur de l'habitat abritant la biodiversité en fonction de la volonté de la population à protéger l'habitat forestier des espèces en question, contrairement au service de récréation qui représente la volonté de la population à avoir accès à un parc récréatif où les espèces ne sont pas nécessairement présentes. Nous obtenons en ce sens une valeur de 68,6M\$/an pour les forêts rurales et de 26,4M\$/an pour les forêts urbaines.

#### *Le cycle 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 325\$/ha dans les forêts

rurales par la méthode du transfert de bénéfices issue de l'étude de Dupras et coll. (2016). Sur cette base, la valeur annuelle du service de cycle des nutriments, pour les forêts rurales, totalise 68,5M\$.

### *Les activités récréotouristiques*

La population de la CMQ 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 nombreuses petites forêts urbaines, dont les boisés, offrent également des activités de plein air locales dans la zone urbaine de la CMQ, ce qui permet aux citoyens de pratiquer, entre autres, la course, la marche et l'observation des oiseaux. La CMQ regroupe 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 écologique de conservation de Bastien-Neilson ainsi que les secteurs Tourilli et du lac Beauport.

Nous avons tout d'abord commencé par chercher la présence de données économique concernant les activités récréotouristiques de la CMQ dans la littérature grise. Nous avons alors analysé les bases de données existantes via l'Institut de la Statistique du Canada, l'institut du tourisme du Québec, ainsi que du rapport financier annuel de la SÉPAQ.

Dans tous les cas, les données existantes étaient présentées à l'échelle de la province du Québec ou encore à l'échelle de la ville de Québec. Aucune donnée n'était mise à l'échelle de la communauté métropolitaine de Québec. Nous avons donc dû calculer nous-mêmes la valeur de ce service aux fins de cette recherche. La recherche de données nous a alors menées à trouver un document sur lequel nous avons pu nous baser afin de présenter les données des activités récréotouristiques dans la CMQ. Nous avons alors analysé ce document et avons pu relever 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 ensuite multiplié cette valeur par la superficie des parcs faisant partie du territoire de la CMQ. Les dépenses des usagers représentent 7,8M\$/an dans les centres de loisirs forestiers évalués, générant ainsi une rente économique (c.-à-d. bénéfiques) de 4,1M\$/an pour l'économie régionale de la CMQ (Tableau 3.4). Sur la base des droits d'entrée, la valeur des écosystèmes propices à ces activités à été évaluée à 189\$/ha/an, en excluant la valeur économique des stations récréotouristiques privées ainsi que des autres activités de plein air.

Tableau 3.4 Valeurs marchandes provenant des activités récréotouristiques dans la CMQ

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

### *La valeur totale des écosystèmes forestiers*

De façon globale, pour l'évaluation de la valeur des forêts, la démarche empruntée a permis de valoriser économiquement un total de 10 services écosystémiques. La valeur totale de ces services, rendus par les forêts et boisés de la CMQ, est évaluée à 831,1M\$/an, alors que les forêts rurales de 3 821\$/ha/an et les forêts urbaines présentent une valeur moyenne de 8 976\$/ha/an (Tableau 3.5). La figure 3.4 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 bénéficiaires touchent une plus large population que dans les zones rurales.

Tableau 3.5 Valeurs des services écosystémiques fournis par les forêts et boisés de la CMQ

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M\$/an)
Forêts rurales				744,9
Approvisionnement de l'eau	194 939 ha	859\$/ ha	TB	167,5
Production de bois	113 877 m3/an	43 \$/m3	PM	4,9
Régulation du climat (séquestration du carbone)	58 122 tn/an	41 \$/tn CO2eq	CR	8,8
Contrôle de l'érosion	648 803 tn/an	156\$/ha	CR	14,5
Traitement des polluants	85 353 ha	326\$/ha	TB	27,8
Contrôle biologique	194 939 ha	29\$/ha	TB	5,6
Qualité de l'air	194 939 ha	10\$/ha	TB	2,0
Habitat biodiversité	194 939 ha	2 239\$/ha	TB	436,5
Cycles des nutriments	194 939 ha	326\$/ha	TB	73,2
Activités récréatives	21 504 ha	189\$/ha	PM	4,8
Forêts urbaines				86,9
Approvisionnement de l'eau	9 603 ha	348\$/ha	TB	3,3
Régulation du climat (Séquestration du carbone)	3 045 tn/an	41\$/tn CO2eq	CR	0,4
Prévention inondations	9 603 ha	5 153\$/ha	TB	49,5
Contrôle de l'érosion	7 051 tn/an	156\$/ha	CR	0,2
Traitement des polluants	des 3 173 ha	143\$/ha	TB	0,5
Qualité de l'air	9 603 ha	568\$/ha	TB	5,4
Contrôle biologique	9 603 ha	43\$/ha	TB	0,4
Habitat biodiversité	9 603 ha	2 753\$/ha	TB	26,4
Total				831,8

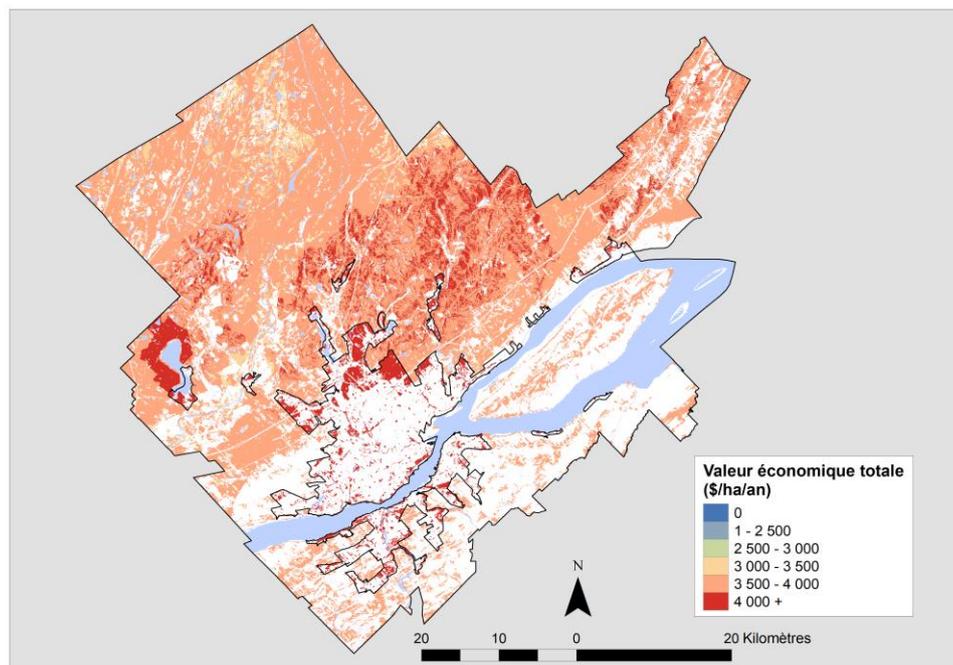


Figure 3.5 Répartition spatiale de la valeur économique des forêts dans la CMQ

### 3.3.2 Les milieux humides

Historiquement, les milieux humides de la CMQ ont été impactés par le développement urbain et l'agriculture (Nazarnia, Schwick, et Jaeger 2016). Depuis 1980, on note une perte ou une dégradation de 45 % des milieux humides dans les basses terres du Saint-Laurent, alors que 65 % des milieux humides sont sous pression en regard des activités humaines (Joly et coll. 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 de la CMQ, 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, et 25 % sont des tourbières ouvertes non arborées ou des marais (Figure 3.6). Nous considérons les tourbières ouvertes 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.

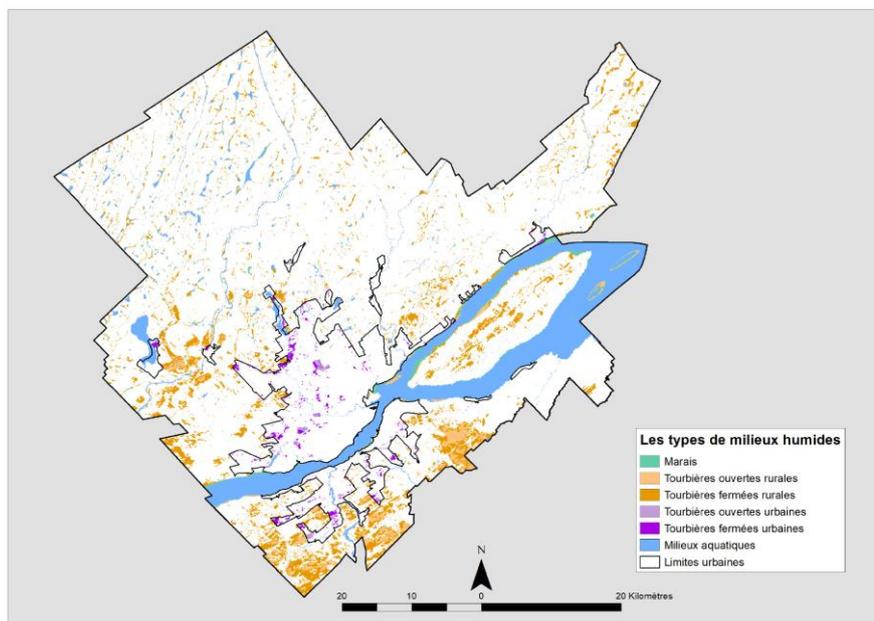


Figure 3.6 La répartition des milieux humides sur le territoire de la CMQ

#### *La régulation du climat*

Bien que 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<sub>2</sub>. Ainsi, le service de régulation du climat n'a été considéré que pour ce type de milieux humides. En appliquant les mêmes taux de séquestration de carbone qu'aux forêts, les tourbières arborées captent 6 187 tonnes de carbone par année, un service évalué à 1M\$/an.

#### *L'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 ralentir 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 de la CMQ fournissent un approvisionnement en eau de 42Mm<sup>3</sup>/an. En utilisant la valeur trouvée lors d'une étude effectuée sur le territoire de Montréal (Dupras et Alam 2015), on relève une valeur de 31\$/ha/an pour ce service, ce qui équivaut à une valeur totale de 1M\$/an pour l'approvisionnement en eau dans la CMQ.

#### *La prévention des événements extrêmes*

Outre l'approvisionnement en eau potable pour les résidents de la CMQ, le rôle de régulation des eaux des milieux humides permet également, selon le logiciel InVEST, d'éviter des débits supplémentaires lors des événements de précipitations extrêmes. Le volume d'eau retenu est estimé à 35Mm<sup>3</sup>/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 selon une étude effectuée à Gatineau (Dupras et coll. 2016) ou 49,8M\$/an en termes de coûts totaux évités pour les services publics.

#### *Le 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 apportés par les ruissellements sont déposés dans les tourbières ou 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 sédiment et nutriments dans les eaux qui entrent dans les milieux humides ainsi que les espèces végétales présentes (Richardson 1985). La modélisation 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 de

la grande rivière au sud de l'Ontario (Fox et Dickson 1990), et ajusté en fonction de l'inflation. En appliquant cette valeur au 6375 tonnes de sédiments dont l'érosion est évitée, selon la modélisation par le logiciel MESH, le contrôle de l'érosion est estimé à 4\$/ha/an, ou 140k\$/an pour la région.

#### *Le 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 et 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 effectuée à Montréal (Dupras, Alam, et Revéret 2015) et corrigée par l'inflation. Pour l'ensemble des milieux humides, ce service s'élève à une valeur de 75,5M\$/an en milieu rural et 4,0M\$ en milieu urbain.

#### *L'habitat 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<sup>2</sup>) et rares tourbières au Québec et abrite plus de 150 espèces végétales, incluant des plantes carnivores, ainsi que 100 espèces d'oiseaux et 200 espèces d'insectes (Pelletier et coll. 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 (Dupras, Alam, et Revéret 2015), pour un total de 41,8M\$/an.

#### *La valeur totale pour les milieux humides*

Grâce aux différentes sources de données biophysiques, cartographiques et économiques, nous avons pu estimer une valeur pour six services écosystémiques

relatifs aux milieux humides. La valeur totale des services écosystémiques rendus par les milieux humides dans la CMQ est estimée à 173,2M\$ par année, pour une moyenne de 4 689 \$/ha/an pour les milieux humides urbains et 5 210 \$/ha/an par les milieux humides ruraux (Tableau 3.6). La figure 3.7 montre la répartition spatiale des valeurs associées aux milieux humides.

Tableau 3.6 Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux humides de la CMQ

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M\$/an)
Milieux humides ruraux				160,9
Séquestration de carbone	5 593 tn/an	41\$/tn CO <sub>2</sub> eq	CR	0,8
Approvisionnement en eau	30 879 ha	31\$/ha/an	TB	1,0
Prévention des événements extrêmes	30 879 ha	1 487\$/ha/an	TB	45,9
Contrôle de l'érosion	6 138 tn/an	22\$/tn	CR	0,1
Traitement des polluants	30 879 ha	2 444\$/ha/an	TB	75,5
Habitat biodiversité	30 879 ha	1 219\$/ha/an	TB	37,6
Milieux humides urbains				12,3
Séquestration de carbone	594 tn/an	41\$/tn CO <sub>2</sub> eq	CR	0,1
Approvisionnement de l'eau	2 623 ha	31\$/ha/an	TB	0,1
Prévention des événements extrêmes	2 623 ha	1 487\$/ha/an	TB	3,9
Contrôle de l'érosion	237 tn/an	22\$/tn	CR	0,01
Traitement des polluants	2 623 ha	1 533 \$/ha/an	TB	4,0
Habitat biodiversité	2 623 ha	1 618 \$/ha	TB	4,2
<b>Total</b>				<b>173,2</b>

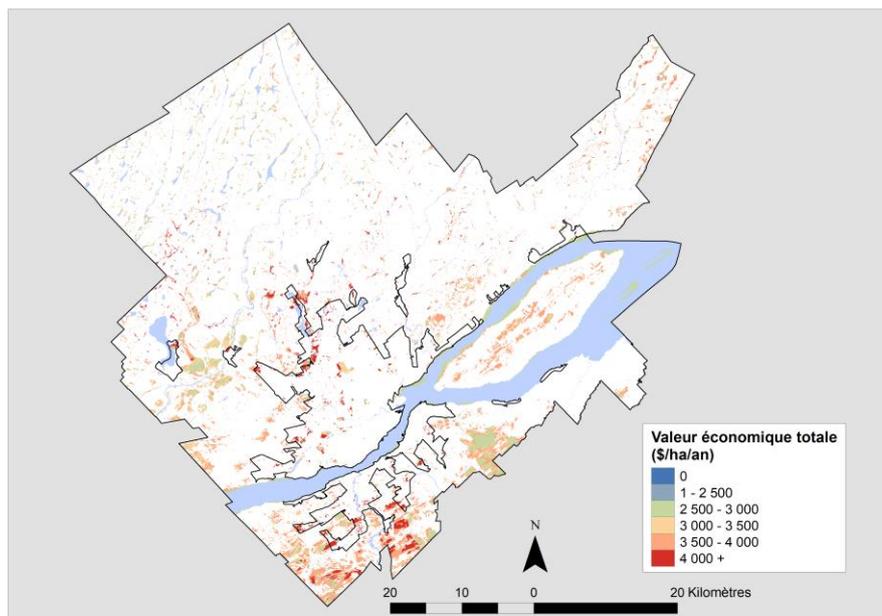


Figure 3.7 Répartition spatiale de la valeur économique des milieux humides dans la CMQ (voir annexe D)

### 3.3.3 Les milieux agricoles

L'agriculture joue un rôle central dans l'histoire et le territoire de la CMQ. 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 de la CMQ. Historiquement, l'avoine et le blé étaient des cultures céréalières importantes (statistique Canada 2006), 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 3.8 montre l'emplacement et les types d'agriculture pratiqués dans le CMQ.

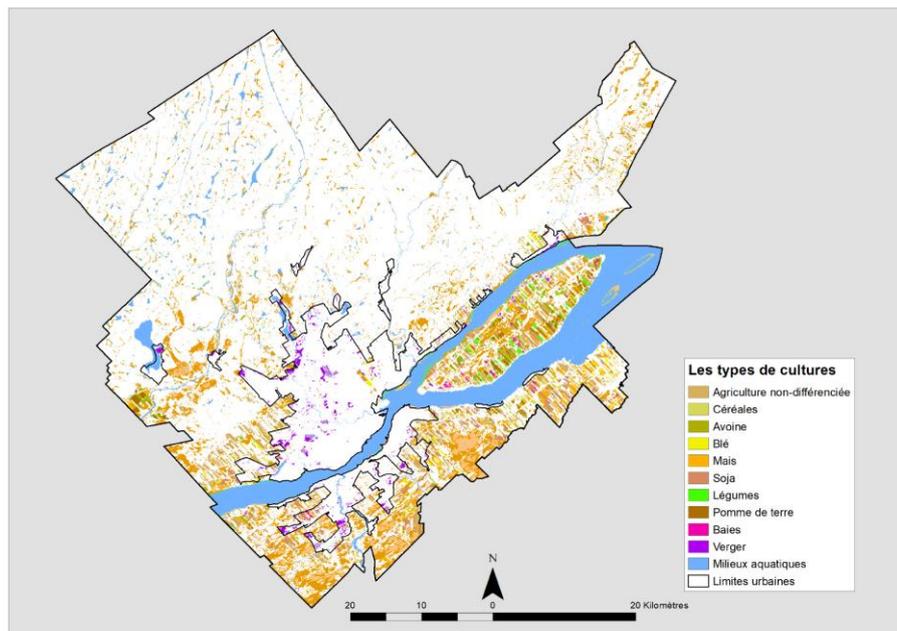


Figure 3.8 La répartition des cultures agricoles sur le territoire de la CMQ (voir annexe E)

### *Les produits alimentaires*

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 de la CMQ (Tableau 3.7). 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 traduire les valeurs en dollars canadiens de 2017. Lorsque certaines données de cultures n'étaient pas disponibles dans la base de données du CRAAQ, nous prenions tout simplement la donnée disponible en fonction de la culture répondant le mieux possible à la catégorie en question. Par exemple, il fallait attribuer une valeur économique à la catégorie des baies. Puisque nous n'avons pas la valeur économique des bleuets, framboise et mûrs à l'hectare, nous avons tout simplement choisi d'associer le bénéfice à l'hectare des fraises. Aussi, 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 baies (fraise), les légumes à gousse (haricot), les oignons jaunes et 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 légumes), la pomme de terre, les terres indifférenciées (moyenne des cultures), les pommes ainsi que le sarrasin. Nous avons alors multiplié le bénéfice net à l'hectare de chacune des cultures au nombre d'hectares réels de ces cultures sur le territoire de la CMQ.

La valeur totale concernant l'approvisionnement de nourriture sur le territoire de la CMQ pour la couverture agricole équivaut alors à un peu plus de 74M\$ de dollars par an, soit une moyenne de 2 562\$/ha/an. Il est important de prendre en compte que l'indisponibilité de certaines données économiques nous a poussés 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. Il faut aussi mentionner que la façon de cultiver les aliments n'a pas été prise en compte dans cette étude, ce qui pourrait entraîner une certaine marge d'erreur dans les valeurs finales. En effet, il peut y avoir des impacts négatifs quant à l'approvisionnement de biens alimentaires exploités en cultures très intensives sur les autres services écosystémiques provenant du milieu agricole en question.

Tableau 3.7 Valeur de la production agricole dans la Communauté métropolitaine de Québec (FADQ 2015a; 2017; CRAAQ 2017)

Cultures	Revenu (\$/ha/an)	Coût de production (\$/ha/an)	Bénéfice net (\$/ha/an)	Superficie (ha)	Valeur totale (M\$/an)
Agriculture indifférenciée	-	-	1 606 <sup>1</sup>	11488	18,5
Orge	1 498	985	512	970	0,5
Autres céréales	-	-	690 <sup>2</sup>	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
Mais	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 carotte	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

Un autre produit alimentaire important pour l'économie du Québec est le sirop d'érable. Le Québec produit environ 72% de la production globale du sirop d'érable (FPAQ 2018). Sur le territoire de la CMQ, les producteurs de sirop d'érable gèrent 245 584 entailles sur une superficie de 2 187 hectares. Une recherche de données

<sup>1</sup> La valeur moyenne pondérée sur les valeurs et superficies de toutes autres cultures

<sup>2</sup> La valeur moyenne pondérée sur les valeurs et superficies des céréales

dans les documents publiés par la FADQ nous a permis de trouver rapidement la valeur provinciale de la production de sirop d'érable, en livre, par entaille (FADQ 2017) ainsi que le prix moyen, à la livre, du sirop d'érable au Québec.

La tâche plus exhaustive a été de trouver le nombre d'entailles exploitées dans chacune des MRC de la CMQ. Nous avons fouillé toutes les bases de données du CRAAQ, les données accessibles du MAPAQ ainsi que celles de la FADQ. Après avoir effectué toute cette recherche documentaire, nous n'avions pas trouvées la donnée manquante. Nous avons alors décidé de chercher autrement. Nous avons donc entré les mots clés « nombre », « entailles », « sirop d'érable » et « MRC » dans la barre de recherche de Google. Nous avons testé plusieurs liens avant d'avoir accès à un document difficilement accessible et publié par le MAPAQ en 2017. Celui-ci est appelé « informations relatives au portrait agroalimentaire du Québec ». Ce document renferme le nombre d'entailles exploité et divisé par les différentes MRC du Québec. Nous avons donc simplement sélectionné les données appartenant aux MRC du territoire de la CMQ et les avons additionnés, ce qui nous a donné le nombre d'entailles à l'échelle de la CMQ.

La valeur totale des exploitations de produits de l'érable a alors été calculée en considérant : le nombre d'entailles exploitées dans chacune des MRC de la CMQ (MAPAQ 2017b), la moyenne provinciale de la production de sirop d'érable en livre par entaille (FADQ 2017) ainsi que le prix moyen, à la livre, du sirop d'érable au Québec (FPAQ 2018). Les résultats sont alors affichés au tableau 3.8. Nous avons alors obtenu une valeur totale de 1,8M\$/an pour la production acéricole sur le territoire de la CMQ ainsi qu'une valeur moyenne de 807\$/ha/an pour les 2 187 ha d'érablière cultivée en 2017. Cette dernière donnée est basée sur le fait que dans la région de la CMQ et Bellechasse, 43 494 ha d'érablière protégés sont propices à la production de sirop (MFFP 2015).

Tableau 3.8 Valeur de la production de sirop d'érable dans la CMQ pour l'année 2017 (MAPAQ 2017b; 2017a; FADQ 2017)

MRC	Nb d'entailles	Moyenne de production (lb/entaille/ann)	Production (lb)	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		819
Total	245 584		604 136		1 764

### *La pollinisation*

Une partie du service d'approvisionnement alimentaire est fourni par l'action des pollinisateurs sauvages. Bon nombre des cultures de la CMQ dépendent de la pollinisation pour la circulation du pollen et de la fécondation, 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 de la CMQ ne dépendent pas fortement des pollinisateurs (par exemple, maïs, pommes de terre, pâturages), de nombreuses autres cultures en dépendent, tel le soja, canola, fraise, bleuets, citrouille, courgette et pomme.

Nous avons évalué la contribution des pollinisateurs sauvages à la production végétale locale dans la CMQ 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 coll. 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 coll. 2007) et les rendements moyens sur le territoire de la CMQ (FADQ 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 3.9 montre le niveau de pollinisation atteint sur chaque ferme assurée dans la CMQ et les exploitations ne dépendant pas de la pollinisation ont 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 2019). Au cours des dix dernières années, ce service a plus que doublé l'offre de colonies disponibles pour répondre aux besoins des horticulteurs, notamment pour 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 voisin pour répondre à leurs besoins en matière de pollinisation en 2016 (MAPAQ 2017b).

Nous n'estimons pas la valeur économique du service de pollinisation, car celui-ci se trouve déjà 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.

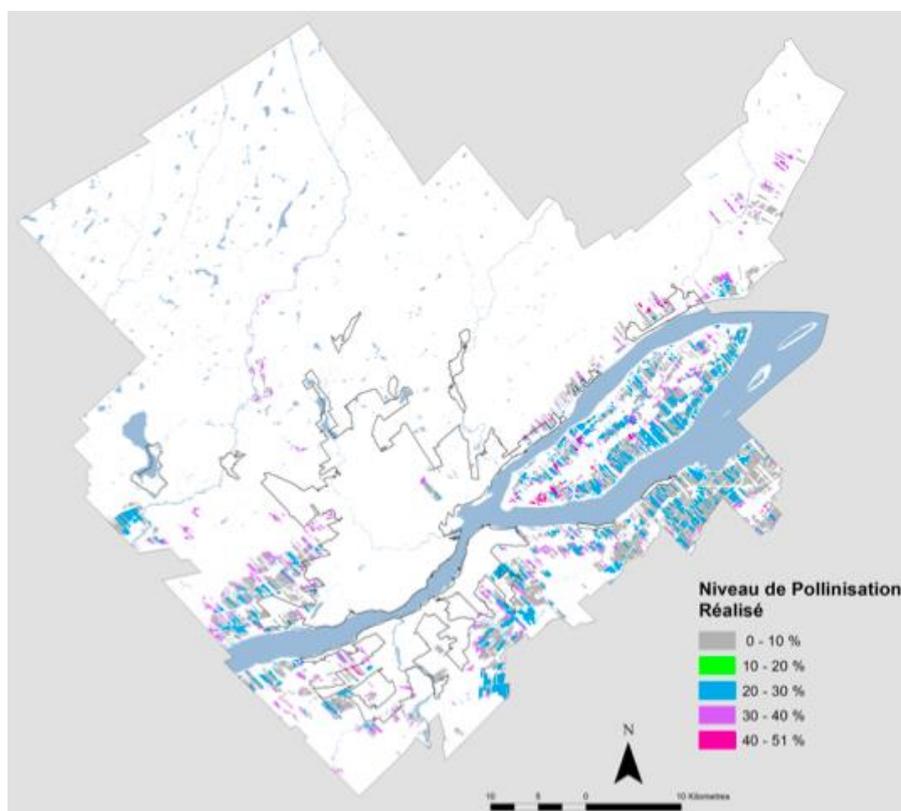


Figure 3.9 Niveau de pollinisation réalisée dans les fermes de la Communauté métropolitaine de Québec (voir annexe F)

### *Le 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 MESH, les champs agricoles conservent 0,87 tn/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 tn/ha) ou les zones arbustives (3,5 tn/ha), agissant ainsi comme source de sédiments dans les systèmes aquatiques. Au total, les terres agricoles en

amont d'une prise d'eau retiennent 2 219 tn/an de sédiments qui autrement ruisselleraient dans les cours d'eau et devraient être traitées dans une usine de purification d'eaux à un coût de 22 \$/tn. La rétention des sédiments en amont des prises d'eau a été estimée à 22 \$/tn basé sur une étude des coûts de traitement lié aux changements d'utilisations des terres dans le bassin versant de la grande rivière au sud de l'Ontario (Fox et Dickson 1990) et ajusté par l'inflation. En appliquant cette valeur au taux de rétention (2 219 tn), le contrôle de l'érosion a été estimé à 2\$/ha/an dans les milieux agricoles de la CMQ, pour un total de 58k\$/an.

#### *Le cycle des nutriments*

Le cycle des nutriments est un service de soutien extrêmement important au niveau des terres agricoles. En effet, il sert à soutenir la fertilité des sols qui assure ensuite une bonne productivité des récoltes. Les micro-organismes du sol sont responsables de la décomposition des résidus des cultures et de l'approvisionnement de nutriment aux plantes, ce qui réduit la nécessité d'utiliser 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 le cycle des nutriments et la qualité des sols (Bommarco, Kleijn, et Potts 2013).

#### *L'esthétisme du paysage*

Les paysages agricoles de la CMQ 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 termes de ce que les gens sont prêts à payer pour garder accès à la beauté du (MAPAQ 2017b) paysage agricole, et ce,

selon la méthodologie de transfert de bénéfices tirés de l'étude de Dupras et al. (2017), et ce, pour un total de 2,2M\$/an dans la région.

### *L'agrotourisme*

L'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 cuisines régionales, des marchés publics et aussi les routes et circuits gourmands, sont de bons exemples d'activités issus de l'agrotourisme (Lemay stratégie 2016).

Le document du MAPAQ trouvé précédemment afin d'évaluer le nombre d'entailles de sirop d'érable par MRC nous fournissait aussi des données pour le secteur de l'agrotourisme. Nous avons alors relevé le nombre d'exploitations ayant déclaré offrir des activités d'agrotourisme à la ferme, et ce, par MRC (MAPAQ 2017b). Nous avons ensuite additionné les données des territoires faisant partie des différentes MRC de la CMQ afin d'obtenir le nombre d'entreprises agricoles offrant des services d'agrotourisme sur le territoire de la CMQ. Nous avons ensuite continué notre recherche de données et avons trouvé un document de Lemay Stratégie, publié en 2016. Ce document nous informait du nombre moyen de visiteurs par entreprise offrant des services d'agrotourisme au Québec ainsi que le revenu moyen par visiteur dans le secteur de l'agrotourisme.

Nous avons alors évalué la valeur annuelle des revenus pour le secteur de l'agrotourisme en multipliant le nombre d'entreprises exploitées dans ce secteur sur le territoire de la CMQ (MAPAQ 2017b), de la moyenne des visiteurs par entreprise d'agrotourisme au Québec ainsi que du revenu moyen par visiteur dans ce secteur (Lemay stratégie 2016). La valeur totale des revenus du secteur de l'agrotourisme équivaut donc à 10,3M\$ annuellement pour le territoire de la CMQ (Tableau 3.9).

Tableau 3.9 La valeur totale des revenus de l'agrotourisme sur le territoire de la CMQ

MRC de la CMQ	Nb d'entreprises agrotourisme (E.A.)	Moyenne des visiteurs par E.A. en 2015 au Québec	Revenu moyen par visiteur au Québec pour l'agrotourisme en 2015	Revenu total annuel en agrotourisme par MRC (M\$/an)
Lévis	8			\$ 2,1
Québec	6			\$ 1,57
Côte-de-Beaupré	7			\$ 1,84
Îles d'Orléans	17	14034	\$ 18,73	\$ 4,47
Jacques-Cartier	1			\$ 0,26
Total	39			\$ 10,3

#### *La valeur totale pour les milieux agricoles*

En plus des valeurs sur la production agricole, nous avons pu estimer la valeur de 4 autres services écosystémiques pour les milieux agricoles. La valeur totale des services écosystémiques rendus par les milieux agricoles dans la CMQ est estimée à 93,8M\$ par année, pour une moyenne de 3 240\$/ha/an (Tableau 3.10). La figure 3.10 montre la répartition spatiale des valeurs associées aux milieux agricoles.

Tableau 3.10 Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux agricoles de la CMQ

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M\$/an)
Biens alimentaires	28 953 ha	Multiples	PM	74,2
Produits acéricoles	604 136 lb/an	2.92\$/lb	PM	1,8
Cycle des nutriments	28 953 ha	178\$/ha/an	TB	5,2
Contrôle de l'érosion	2 219 tn/an	22\$/tn	CR	0,1
Esthétisme	28 953 ha	77\$/ha/an	TB	2,2
Activités touristiques	39 entreprises	263k\$/entreprise	PM	10,3
<b>Total</b>				<b>93,8</b>

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

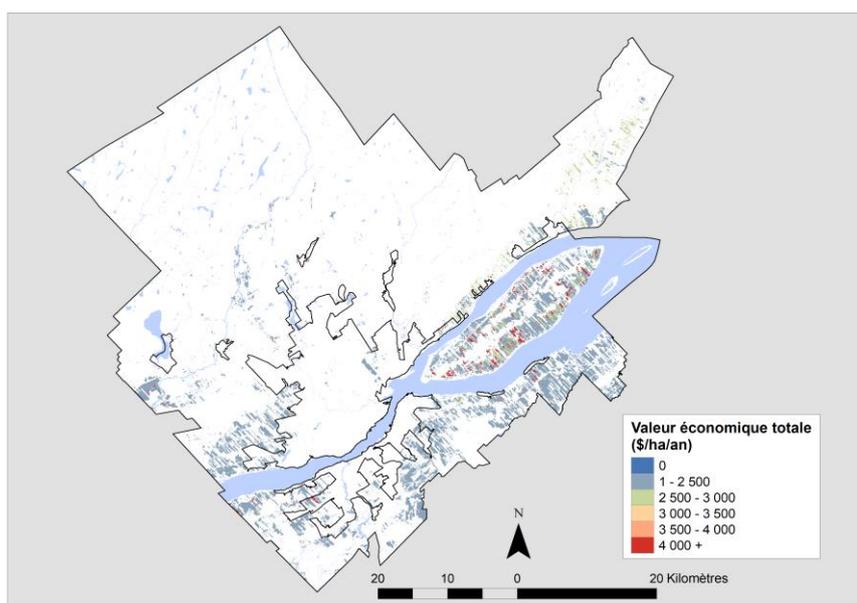


Figure 3.10 Répartition spatiale de la valeur économique des milieux agricoles dans la CMQ (voir Annexe G)

### 3.3.4 Les friches

Bien que souvent négligés, les prairies, les pâturages et les zones arbustives peuvent jouer un rôle important dans la fourniture de services écosystémiques et fournir un habitat à des espèces adaptées à ces milieux. Sur le territoire de la CMQ, les friches occupent 39 912 hectares, soit un peu moins de 10 % du territoire, la plus grande partie étant situés en zone rurale (Figure 3.11). Nous classifions ici les friches comme étant composées d'un certain nombre de types de couvertures naturelles et semi-naturelles. Dans le nord montagneux, les zones classées comme friches sont principalement constituées de broussailles courtes ou de broussailles au sommet des montagnes. Plus près de la ville, des friches sont créées sur des terres agricoles ou industrielles abandonnées telles que des prairies, des pâturages et une végétation de recolonisation naturelle. Nous classons également la végétation sous les lignes électriques, le long des voies ferrées et d'autres infrastructures qui sont maintenues en permanence comme des arbustes bas ou des broussailles comme des friches.

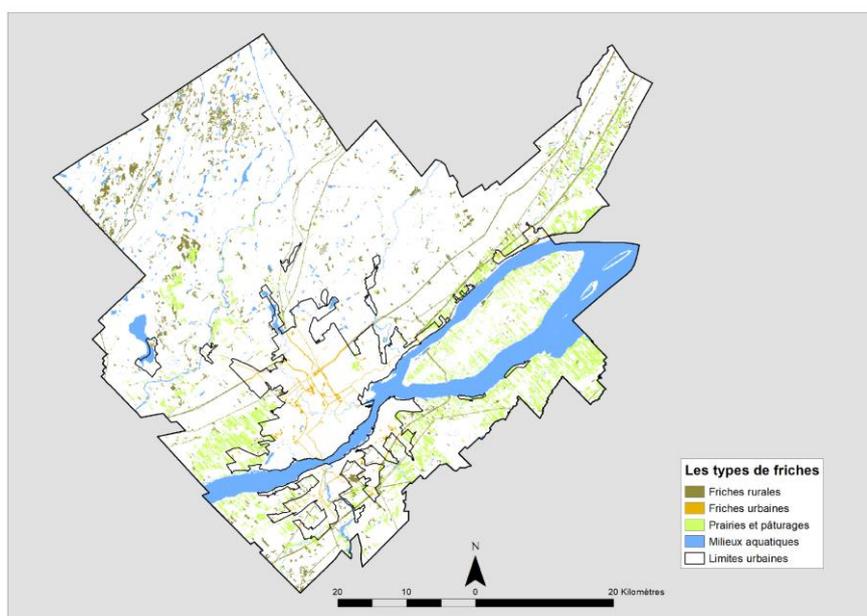


Figure 3.11 La répartition des friches et des arbustes sur le territoire de la CMQ (voir annexe H)

### *La Régulation du climat*

Bien qu'il y ait moins de biomasses que les forêts, nous estimons que les arbustes séquestrent 4461 tonnes de carbone supplémentaire chaque année selon notre analyse InVEST, ce qui équivaut à une valeur de 0,7M\$/an selon le coût social de carbone (MELCC 2016), ou 16\$/ha/an.

### *Le contrôle de l'érosion*

En raison de leur haute altitude, les friches du secteur nord de la CMQ reçoivent de fortes précipitations et sont des sources d'eau importantes dans la CMQ. Ces couvertures fournissent ainsi 10 692 m<sup>3</sup>/ha/an ou plus de 356Mm<sup>3</sup>/an aux zones rurales dans les principaux cours d'eau, rivières et sources d'eau de la CMQ. Dans les zones urbaines, où leur étendue est beaucoup plus petite, les friches fournissent 31Mm<sup>3</sup> par an. Selon la modélisation du logiciel MESH, cette régulation des eaux empêche 23 706 tonnes de sédiments de pénétrer dans les lacs et les rivières, contribuant ainsi à protéger les écosystèmes aquatiques. En utilisant une valeur de 22\$/tn (Fox et Dickinson 1990), nous obtenons une valeur de 0,5M\$/an, soit 13\$/ha/an.

### *Le contrôle biologique*

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

### *L'habitat favorisant la biodiversité*

Plusieurs espèces vivent ou se déplacent dans les habitats typiques des friches : arbustes, friches et prairies. L'habitat favorisant la biodiversité fait partie des services écosystémiques de soutien qui sert de base à 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, des ressources florales importantes à des papillons et à d'autres insectes pollinisateurs (Hines et Hendrix 2005; Davis et coll. 2008) ainsi qu'à plusieurs ennemis naturels des ravageurs (Veres et al. 2013). La valeur des prairies et pâturages pour le soutien de la biodiversité a été estimée à 2 381\$/ha/an (selon Dupras et coll. 2016), soit un total de 95M\$/an, la valeur la plus élevée pour cet écosystème.

### *Le cycle des nutriments*

Plusieurs écosystèmes, incluant 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 ainsi que 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 coll. 2016), ce service correspond à une valeur de 151\$/ha/an, pour un total de 6,0M\$/an.

### *L'esthétisme des paysages*

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 la caractéristique de la beauté des paysages de ces milieux sur le territoire de la CMQ. 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 bénéfice via l'étude des paysages dans la région de Lanaudière (par Dupras et coll. 2017), pour un total de 3,1M\$/an.

#### *La valeur totale pour les friches*

Dans le cas des friches, nous avons pu estimer la valeur de 6 services écosystémiques. La valeur totale des services écosystémiques rendus par les friches dans la CMQ est estimée à 107M\$ par année, pour une moyenne de 2 681\$/ha/an (Tableau 3.11). La figure 3.12 montre la répartition spatiale des valeurs associées aux friches.

Tableau 3.11 Valeurs des services écosystémiques produits par les friches de la CMQ

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M\$/an)
Régulation du climat	4 461 tn	41\$/tn CO <sub>2</sub> eq	CR	0,7
Contrôle de l'érosion	23 706 tn/an	22\$/tn	CR	0,5
Contrôle biologique	39 912 ha	43\$/ha/an	TB	1,7
Habitat biodiversité	39 912 ha	2 381\$/ha/an	TB	95,0
Cycle des nutriments	39 912 ha	151\$/ha/an	TB	6,0
Esthétisme	39 912 ha	77\$/ha/an	TB	3,1
<b>Total</b>				<b>107,0</b>

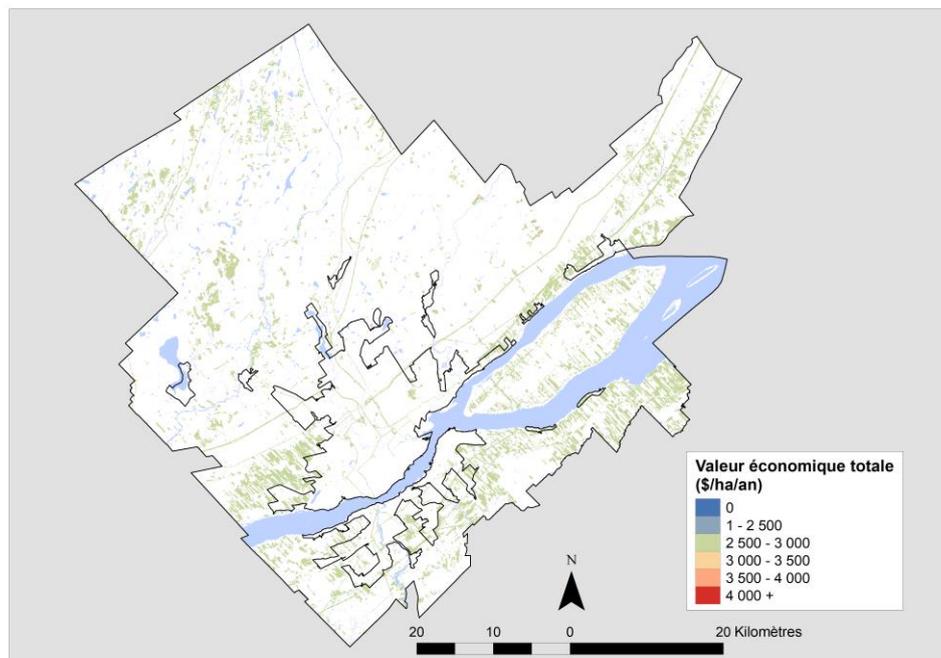


Figure 3.12 Répartition spatiale de la valeur économique des friches dans la CMQ (voir annexe I)

### 3.3.5 Les milieux aquatiques

Le fleuve Saint-Laurent est l'élément dominant du réseau hydrographique de la CMQ, 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 rivière et plus de 1 100 lacs et étang donne à la région des paysages caractéristiques et appréciés des citoyens. Les parties inférieures des grands cours d'eau drainent les bassins versants de la CMQ et se déversent dans le Saint-Laurent : les rivières Jacques-Cartier, Saint-Charles et Montmorency sur la Rive Nord, et l'embouchure des rivières Chaudière, Etchemin, Boyer et du Sud sur la Rive Sud. Sur la Rive Nord, le lac Beauport, le lac Saint-Charles et les chutes Montmorency constituent d'importantes attractions récréatives et une source d'approvisionnement en eau potable importantes pour les résidents de la ville de Québec. La figure 3.13 montre la répartition des milieux aquatiques sur le territoire de la CMQ.

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 rencontrés sur le territoire de la CMQ. 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.

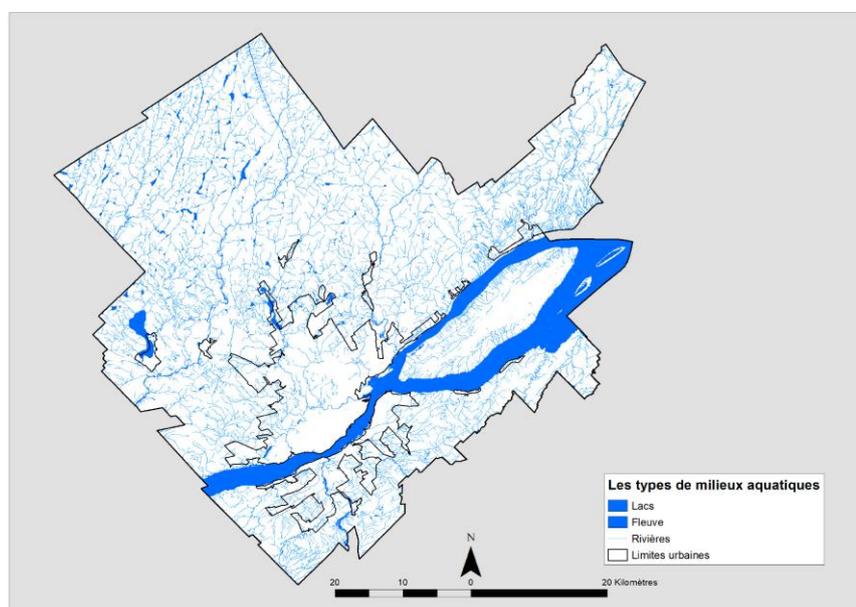


Figure 3.13 La répartition du réseau hydrologique de la CMQ (voir annexe J)

### *Le traitement des polluants*

Une dimension importante du cycle des éléments nutritifs se réalise dans les écosystèmes aquatiques, impactant évidemment la qualité de l'eau. Dans de nombreuses parties des rivières et des lacs, les sédiments et leurs éléments nutritifs liés se déposent et s'intègrent aux sols des rivières et des lacs. 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 coll. 2015). Selon notre analyse de transfert de bénéfices (Poder et al. 2016), nous estimons que la rétention de nutriments par les systèmes aquatiques diminue les coûts des usines de traitement de l'eau et possède une valeur de 49\$/ha/an dans les lacs, pour une valeur totale de 1,8M\$/an.

#### *L'habitat favorisant la biodiversité*

L'eau douce est constituée de zones fonctionnelles comme des frayères ou encore des zones nourricières. Ces zones constituent l'habitat principal de nombreuses espèces de plantes et poissons se trouvant dans les milieux aquatiques du territoire de la CMQ. Selon l'étude effectuée sur la trame bleue de Montréal (Poder et al. 2016), nous estimons que ce service possède une valeur de 11\$/ha/an, totalisant 0,4M\$/an pour l'ensemble des milieux hydriques de la CMQ.

#### *L'esthétisme des paysages*

Le service de l'esthétisme, relié à la valeur culturelle de la beauté des paysages a été évalué à 4\$/ha/an en effectuant la méthodologie du transfert de bénéfice, et ce, basé sur l'étude la trame bleue de Montréal (Poder et al. 2016) pour un total de 143k\$/an. Dans cette étude, les auteurs (Poder et al. 2016) ont estimé ce que les utilisateurs de la ressource seraient prêts à payer 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 notre analyse 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.

### *Les activités récréatives*

Les milieux aquatiques fournissent des opportunités récréatives et touristiques importantes. Pour estimer la valeur de ces activités reliées à l'eau (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.

### *La 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 4 services écosystémiques. La valeur totale des services écosystémiques rendus par les milieux aquatiques de la CMQ est estimée à 9,1M\$ par année, équivalent à une moyenne de 255\$/ha/an (Tableau 3.12). La figure 3.14 montre la répartition spatiale des valeurs associées à ces milieux.

Tableau 3.12 Valeurs des services écosystémiques produits par les milieux aquatiques de la CMQ

Services écosystémiques	Unité de mesure	Valeur unitaire	Méthode	Valeur totale (M\$/an)
Traitement des polluants	39 912 ha	49\$/ha/an	TB	1,8
Habitat biodiversité	35 695 ha	11\$/ha/an	TB	0,4
Esthétisme	35 695 ha	4\$/ha/an	TB	0,1
Activités récréatives	35 695 ha	189\$/ha	PM	6,8
<b>Total</b>				<b>9,1</b>

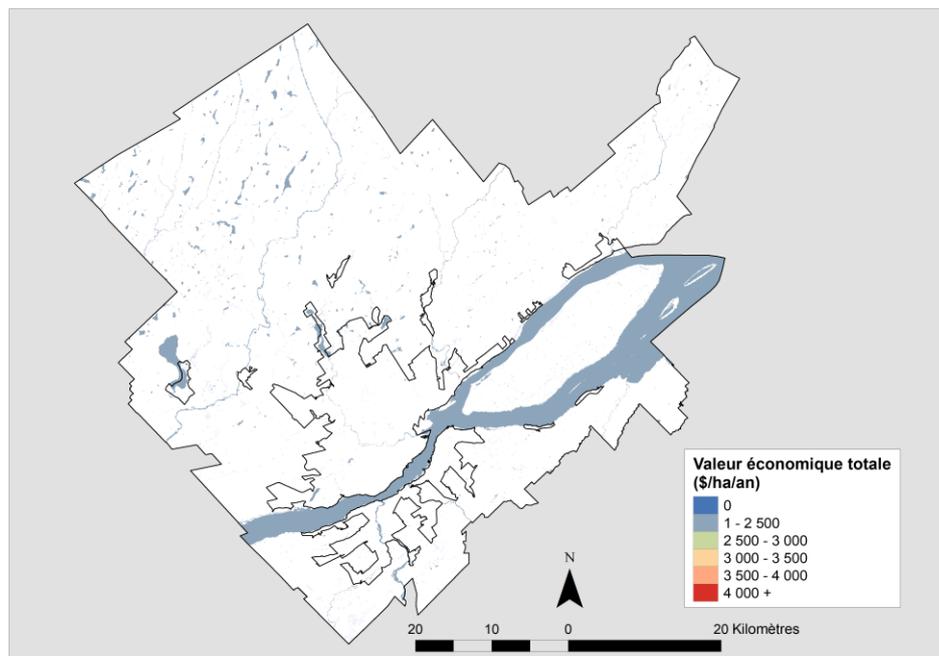


Figure 3.14 Répartition spatiale de la valeur économique des milieux aquatiques dans la CMQ (voir annexe K)

### 3.4 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 participe 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 actualisée 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 de la CMQ.

Pour chaque classe d'utilisation des sols de la CMQ, nous estimons le stockage de carbone hors sol et sous terre selon les données du 4<sup>e</sup> inventaire du système d'information écoforestière du Québec Méridionale (MERN 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 et Alam 2015; Dupras et al. 2016; Poder et coll. 2016), notre estimation inclut le stockage de carbone dans les cent premiers cm de sol, au lieu de 30 cm. Cette décision a été prise en suivant la recommandation des auteurs d'une étude de Guo et Gifford (2002), qui posent 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\$/tn de carbone équivalent en 2017.

Au total, 76,56 Mt de carbone sont stockés dans les forêts de la CMQ, ce qui peut être considéré comme un stock évalué à plus de 11,5G\$. La majorité du carbone se trouve dans la « couronne forestière » 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 tn/ha). Ces différences entre les types de forêts sont principalement dues à la différence de stockage dans les sols.

Tableau 3.13 La répartition du stockage de carbone selon les types de forêts

Type de Forêt	Stockage de Carbone (tn/ha)	Valeur unitaire (\$/ha) <sup>3</sup>	Superficie (ha)	Valeur totale (\$)
Forêt conifère	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) <sup>4</sup>		204 541	11,59 G

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 quantité de carbone stocké par ces écosystèmes à l'échelle de la CMQ se trouve dans leurs sols tourbière (~95%); les arbres et la végétation aérienne ne contribuant que pour ~3-5% du total. La proportion terrestre est importante, puisque lorsque la végétation meurt, elle s'ajoute au sédiment aquatique sans relâcher son stock de carbone. Sur le territoire de la CMQ, 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 467M\$.

En raison de la nature annuelle de la plupart des terres agricoles, celles-ci ne stockent pas la biomasse ou le carbone chaque année (à l'exception des vergers), mais le carbone stocké se trouve 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. À travers la CMQ, les sols agricoles stockent environ

<sup>3</sup> Ces valeurs sont basées sur un indice de 41,27\$/tn CO<sub>2</sub>-eq (151,46\$/tn C)

<sup>4</sup> Cette donnée représente la moyenne pondérée

6,5 millions de tonnes de carbone, évalués à plus de 994M\$. Toutefois, les pratiques de gestion des exploitations agricoles peuvent influencer sur la préservation ou la dégradation des stockages de carbone dans le sol. En moyenne, les sols perdent 32 % du carbone stocké dans le sol dans les 30 premiers centimètres 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 10M tn de carbone dans leur biomasse et dans le sol évalué à 1,5G\$.

Tableau 3.14 Le stockage de carbone dans les écosystèmes principaux de la CMQ

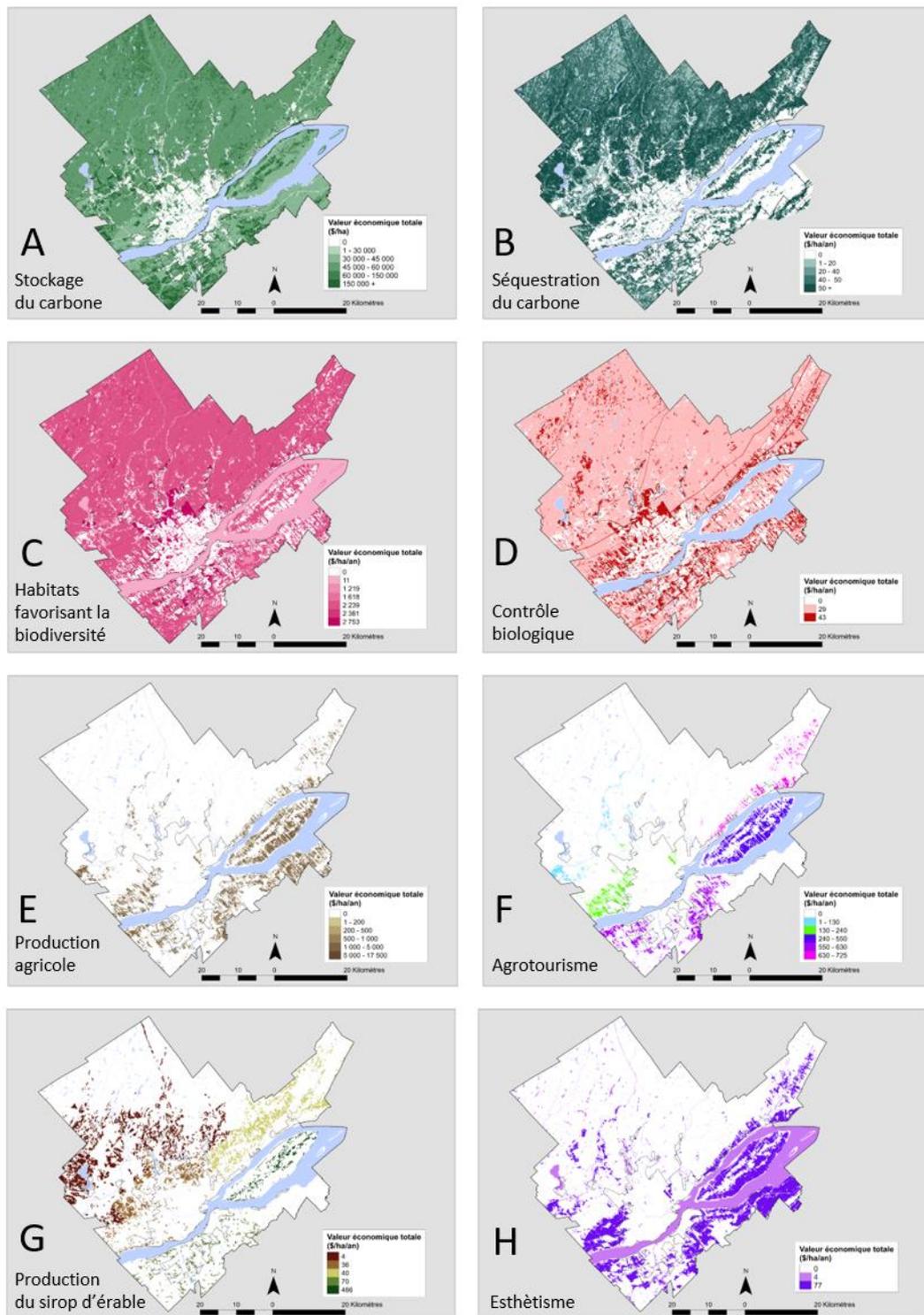
Écosystème	Stockage de carbone (tn)		Superficie (ha)	Moyenne Stockage (tn/ha)	Valeur (M\$)
	Zone rurale	Zone urbaine			
Forêts et boisés	72 994 337	3 563 282	204 541	374,3	11 595,5
Milieus humides	28 445 145	2 360 864	33 502	919,5	4 683,9
Milieus agricoles	6 564 237		29 039	226,1	991,7
Friches, arbustes et prairies	9 377 027	956 485	36 316	284,1	1 565,1
Total					18 818,2

### 3.5 La valeur totale des écosystèmes de la CMQ

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 de la CMQ pour identifier les zones de plus haute importance en termes de production de services écosystémiques. La figure

3.15 (a à p) montre la cartographie de 14 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 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.



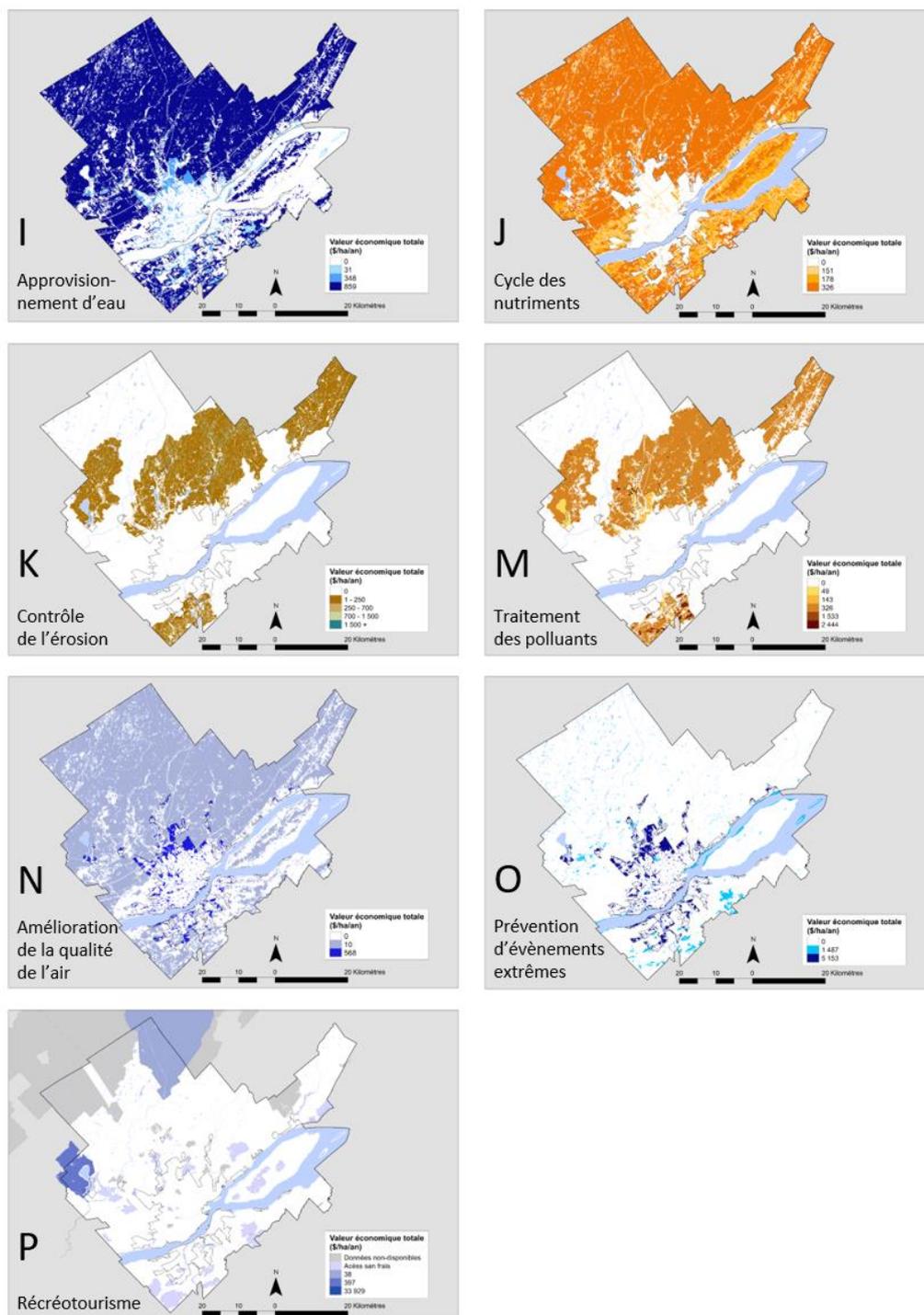


Figure 3.15 La répartition de la valeur totale annuelle de 15 services écosystémiques (a à p) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens (voir annexes L à O)

Sur le territoire de la CMQ, 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 annuelle du stockage de carbone (voir section 3.4), notre évaluation des 14 services écosystémiques montre que le capital naturel fournit un équivalent, en termes de valeur économique totale, de 1 214,9M\$/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 d'événements extrêmes, de cycle des nutriments et de production agricole présentent ensuite les valeurs les plus importantes (Tableau 3.15).

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 aient été trouvées pour 14 services différents, les écosystèmes fournissent de nombreux services supplémentaires pour lesquels des données n'étaient pas disponibles, et donc non incluses dans cette étude. Parmi les exemples de services supplémentaires que nous n'avons pas pu évaluer figure la valeur des ressources génétiques ou l'approvisionnement en nourriture sauvage (c.-à-d. 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. Il faut ainsi considérer que cette estimation de la valeur du capital naturel de la CMQ est conservatrice et représente la borne inférieure de la vraie valeur des écosystèmes et des bénéfices qu'ils génèrent.

Finalement, la figure 3.16 représente la distribution spatiale de cette valeur totale. On peut ainsi remarquer les points chauds de production et de valeur de services écosystémiques. Les zones côtières du Saint-Laurent, l'île d'Orléans, ainsi que de nombreux secteurs de la Rive Sud et du nord-ouest de la CMQ présentent ces zones de forte valeur.

Tableau 3.15 Valeur totale des services écosystémiques fournis dans chaque écosystème étudié (M\$/an)

Services écosystémiques	Forêts rurales	Forêts urbaines	Milieux humides ruraux	Milieux humides urbains	Terres agricoles	Friches	Milieux aquatiques	Total
Production agricole	-	-	-	-	74,2	-	-	74,2
Produits ligneux	4,9	-	-	-	-	-	-	4,9
Séquestration de carbone	8,8	0,4	0,8	0,1	-	0,7	-	10,8
Production acéricole	-	-	-	-	1,8	-	-	1,8
Qualité de l'air	2,0	5,4	-	-	-	-	-	7,4
Traitement des polluants	27,8	0,5	75,5	4,0	-	-	1,8	109,6
Approvisionnement de l'eau	167,5	3,3	1,0	0,1	-	-	-	171,9
Contrôle de l'érosion	14,5	0,2	0,1	0,01	0,1	0,5	-	15,4
Contrôle biologique	5,6	0,4	-	-	-	1,7	-	7,7
Habitat biodiversité	436,5	26,4	37,6	4,2	-	95,0	0,4	600,1
Prévention évé. extrêmes	-	49,5	45,9	3,9	-	-	-	99,3
Cycle de nutriments	73,2	-	-	-	5,2	6,0	-	84,4
Esthétisme	-	-	-	-	2,2	3,1	0,1	5,4
Activités récréatives	4,8	-	-	-	10,3	-	6,8	21,9
<b>TOTAL</b>	<b>744,9</b>	<b>86,9</b>	<b>160,9</b>	<b>12,3</b>	<b>93,8</b>	<b>107,0</b>	<b>9,1</b>	<b>1 214,9</b>

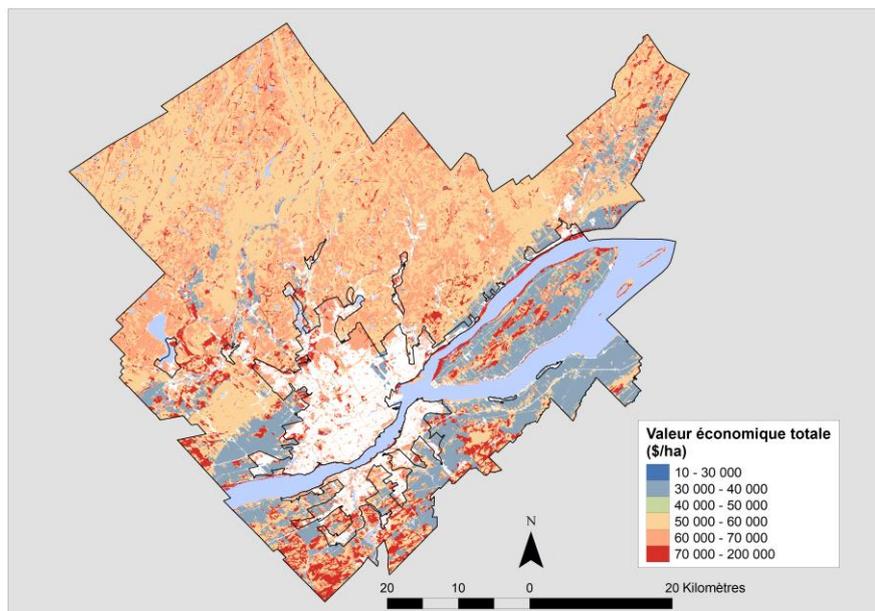


Figure 3.16 La répartition de la valeur totale de 14 services écosystémiques, incluant le stockage de carbone, sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens par hectare

De son côté, le tableau 3.16 représente la valeur des services écosystémiques fournis pour chacun des écosystèmes étudiés, à l'unité et par année. La plupart des valeurs unitaires sont sous forme d'hectare (ha), tandis que d'autres services comme celui de l'approvisionnement du bois sont sous forme de mètre cube (m<sup>3</sup>). Celui de la séquestration de carbone est sous forme de l'équivalent de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>eq), la production acéricole sous forme de livre de sirop d'érable (lb), celui du contrôle de l'érosion sous forme de tonne de sédiments et celui de l'agrotourisme sous forme du nombre d'entreprises (NB) sur le territoire de la CMQ. Nous avons choisi de présenter ce tableau afin d'exclure la variable concernant la quantité d'hectares caractérisés par les différents milieux naturels à des fins de comparaison de la performance des SEs entre eux. Dans le cadre de notre exercice de comparaison à l'unité, nous avons seulement comparé les services se retrouvant sur un dénominateur commun, c'est-à-dire à l'hectare. Nous avons aussi comparé les valeurs totales des SEs (tableau 3.15) et à l'hectare (tableau 3.16) afin de prendre

en compte les SEs à fortes valeurs totales telles que l’approvisionnement en eau et le cycle de nutriment servit par les forêts rurales.

Tableau 3.16 Valeur des services écosystémiques fournis dans chaque écosystème étudié (\$/unité/an)

Services écosystémiques	Type d'unité	Forêts rurales	Forêts urbaines	Milieux humides ruraux	Milieux humides urbains	Terres agricoles	Friches	Milieux aquatiques	Moyenne totale par SE
Production agricole	ha	-	-	-	-	2562	-	-	2562
Produits ligneux	m <sup>3</sup>	43	-	-	-	-	-	-	43
Séquestration de carbone	tn CO <sub>2</sub> eq	41	41	41	41	-	41	-	41
Production acéricole	lb	-	-	-	-	2,92	-	-	2,92
Qualité de l'air	ha	10	568	-	-	-	-	-	289
Traitement des polluants	ha	326	143	2444	1533	-	-	49	899
Approvisionnement de l'eau	ha	859	348	31	31	-	-	-	317
Contrôle de l'érosion	tn	156	156	22	22	22	22	-	67
Contrôle biologique	ha	29	43	-	-	-	43	-	38
Habitat biodiversité	ha	2239	2753	1219	1618	-	2381	11	1704
Prévention évé. extrêmes	ha	-	5153	1487	1487	-	-	-	2709
Cycle de nutriments	ha	326	-	-	-	178	151	-	218
Esthétisme	ha	-	-	-	-	77	77	4	53
Activités récréatives	ha	189	-	-	-	-	-	189	189
Activité d'agrotourisme	NB	-	-	-	-	263000	-	-	263000
Moyenne totale par milieux naturels	ha	3 821	8976	5210	4 689	3240	2681	255	

## CHAPITRE IV

### DISCUSSION

#### 4.1 Retour sur les résultats

Dans la mesure où nous comparons la performance de la valeur unitaire des différents SE soutenus par les huit différentes catégories de milieux naturels et semi-naturels, nous pouvons voir que le service de prévention des événements extrêmes évalué à 5 153\$/ha/an soutenu par les forêts urbaines est le service le plus important sur le territoire de la CMQ. D'autres services sont aussi caractérisés d'une importance élevée puisque leur valeur se trouve au-dessus de la barre du 1 000\$/ha/an. Il s'agit des biens alimentaires générés par les milieux agricoles (2 562\$/ha/an), du traitement des polluants générés par les milieux humides ruraux (2 444\$/ha/an) et urbains (1 533\$/ha/an), du service de l'habitat favorisant la biodiversité approvisionnée par les forêts rurales (2 239\$/ha/an), et urbaines (2 753\$/ha/an), les milieux humides ruraux (1 219\$/ha/an), et urbains (1 618\$/ha/an) suivis des friches (2 381\$/ha/an), ainsi que du service de la prévention des événements extrêmes approvisionnés par les milieux humides ruraux et urbains (1 487\$/ha/an).

##### 4.1.1 Les valeurs des services les plus élevées

La prévention des événements extrêmes générés par les forêts urbaines est un service à valeur élevée pour le bien-être humain. Les derniers épisodes de crues et d'inondations de 2017 ont apporté de très grands dommages financiers, soit près de 100 millions de dollars versés au sinistré par le ministère de la Santé publique du Québec (gouvernement du Québec 2017). N'oublions pas que les changements climatiques devraient entraîner une plus grande variation et une plus grande intensité des précipitations (Ouranos 2018) et que les forêts sont les milieux naturels recevant le plus de hauts taux de précipitations annuels du territoire de la CMQ (MRNC 2016). Les forêts urbaines se comportent comme des infrastructures

naturelles régularisant le débit ainsi que les eaux de surface tout en emmagasinant l'eau dans leurs systèmes racinaires. Le système de régulation naturelle des forêts offre alors l'équivalent de 5 153\$/ha/an au bien-être humain en service écosystémique. Dans les marchés économiques, le prix de l'offre augmente lorsque la quantité demandée (dans ce cas, la quantité de services de prévention des inondations) augmente. Le fait que la valeur de ce service soit élevée n'est alors pas étonnant puisque la prévention contre les inondations représente un besoin réel et urgent dans les agendas des décideurs en aménagement du territoire. En effet, cette demande est aussi démontrée dans le cadre de l'atelier du triage avec les aménagistes du territoire de la CMQ effectué en juin 2017 (Wood et coll. 2019 Tableau 19). Ajoutons aussi que ce service est essentiel pour les communautés sur le territoire étudié. Aussi, ce service est pour le moment remplaçable par d'autres milieux naturels offrant ce même service, par exemple les milieux humides. Par compte, les forêts offrent une plus grande quantité de ce service à l'hectare que les autres milieux grâce à leurs systèmes biologiques naturels. Ce service pourrait aussi devenir substituable par une infrastructure grise, mais celle-ci engendrerait des coûts sociaux non négligeables.

Le caractère des paysages agricoles de la CMQ en fait l'une des régions agricoles les plus productives du Québec, soit en présentant une rente équivalente à 2 562\$/ha/an. Nous évaluons aussi que la demande en approvisionnement des biens alimentaires via les milieux agricoles est élevée puisqu'à la fois les marchés internationaux, nationaux et locaux constituent des débouchés pour la production agricole de la CMQ. Il est alors logique de considérer que ce service est le deuxième plus important à l'hectare, dans le cadre de cette étude.

Les milieux humides contribuent au traitement des polluants en les captant et en les absorbant dans les eaux de ruissellement. Ces milieux traitent plus spécifiquement le phosphore et l'azote (DeBusk et Reddy 1987), ce qui diminue le coût de traitement des polluants dans le processus de traitement de l'eau, et ce, pour l'équivalent de 2 444\$/ha/an pour les milieux humides ruraux et pour 1533\$/ha/an

pour les milieux humides urbains. En effet, la qualité de l'eau est affectée par la pollution diffuse provenant de l'agriculture. L'excès d'azote et de phosphore dans les écosystèmes aquatiques peut entraîner une eutrophisation des écosystèmes aquatiques, réduisant entre autres la qualité de l'eau potable. De plus, des charges élevées de nutriments peuvent entraîner des coûts sociaux élevés en réduisant la durée de vie des réservoirs et des usines de traitement d'eau (Warziniack et al. 2016). L'offre de valeur de ce service est alors importante puisque celle-ci équivaut à un service de substitution quant aux coûts évités en matière de traitement ainsi qu'en matière de captation de quantité élevée de polluants. Ce service demeure toutefois substituable par les usines de traitements des eaux qui traitent déjà une partie de ces polluants. Par compte, le coût rattaché à la totalité des polluants engendrerait des coûts sociaux importants. Mentionnons aussi que la population du territoire de la CMQ est en croissance (ISQ 2014b), ce qui augmente alors les besoins en eaux potables sur le territoire.

La CMQ regorge d'habitats favorisant la biodiversité. En effet, les forêts de la CMQ abritent plusieurs espèces végétales et animales. Dans les milieux humides, la grande Plée bleue, une des plus rares tourbières au Québec mesurant 15km<sup>2</sup>, abrite 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). Finalement, les friches abritent plusieurs espèces dans leur arbuste et leurs prairies.

Les habitats favorisant la biodiversité constituent un service de soutien, qui permet à d'autres services dépendants d'exister, et donc de contribuer au bien-être humain. En effet, sans ce service, plusieurs services d'approvisionnement et de régulation primordiaux pour le bien-être humain ne pourraient pas exister. De plus, l'apparition des espèces invasives menace l'intégrité ainsi que le fonctionnement des écosystèmes. Une façon efficace de palier aux espèces invasives est de protéger des écosystèmes riches en espèces végétales, qui fournissent des sources d'habitat importantes à plusieurs ennemis naturels des ravageurs (Veres et al. 2014). De plus, il a été démontré que plus un écosystème est complexe, donc qu'il est marqué par

une forte richesse de biodiversité ainsi qu'une forte présence de différentes chaînes trophiques, plus cet écosystème sera stable (Courchamp 2009). La valeur des habitats de biodiversité est alors basée sur la valeur de non-usage (eg.valeur d'existence ou de legs transgénérationnel) que lui attribue la population, ce qui équivaut à une évaluation moyenne de 1 704\$/ha/an, et ce, pour tous les types de milieux naturels sur le territoire de la CMQ. Par compte, il faut mentionner que la méthode utilisée pour valoriser ce service est celle du transfert de bénéfice qui a été prélevé par une méthode de préférences déclarées sur un autre territoire du Québec (Jérôme Dupras et al. 2016). En effet, la valeur de ce service est élevée puisque ce service est essentiel, irremplaçable et non substituable, mais il faut aussi être conscient qu'il faut prendre cette valeur à la légère puisque les méthodes de préférences révélées regorgent de limites et que les résultats sont très sensibles au transfert de bénéfice (Dupras et Revéret 2015). Ces deux facteurs peuvent alors grandement influencer la valeur réelle de ce service.

On remarque que les milieux humides préviennent les événements extrêmes en régularisant le volume des eaux lors des précipitations, un service contribuant à 1 487\$/ha/an sur le territoire. En se basant sur l'explication de ce même service approvisionné par les forêts urbaines (voir cette section), soit les inondations, ce service est considéré élevé comparé à l'ensemble des SEs en considérant sa demande élevée. Par compte, ce service est strictement moins élevé que celui approvisionné par les forêts urbaines. En effet, les milieux humides régularisent un moins grand nombre d'eaux à l'hectare que les forêts urbaines pour ce même service, et ce, expliqué par leurs systèmes biologiques naturels.

L'approvisionnement de l'eau par les forêts rurales est aussi un service élevé (859\$/h/an) puisque celui-ci est un service essentiel et non substituable. Ce service est remplaçable dans la mesure où d'autres milieux naturels tels que les forêts urbaines (348\$/ha/an) ainsi que les milieux humides (31\$/ha/an) sont en mesure de l'offrir. Par compte, ces deux types de milieux fournissent moins de 50% de la

quantité de ce service offert par les forêts rurales, ce qui complexifie la substitution de ce service.

Le cycle de nutriment approvisionné par les forêts rurales est un service élevé du point de vue de la valeur totale (73M\$/an). Le cycle de nutriment est un service de soutien indirect au bien-être humain et aussi un service qui est essentiel afin de produire des services directs au bien-être humain.

#### 4.1.2 L'interdépendance des services finaux et intermédiaires à valeurs faibles

Il serait intuitif de vouloir protéger les milieux naturels offrant le plus de services au bien-être humain au détriment des services à faible valeur. Il existe pourtant une interdépendance entre les services écosystémiques. En effet, nous pouvons distinguer les services finaux (par exemple l'approvisionnement de l'eau et de la nourriture) des services intermédiaires (par exemple le cycle de nutriment) (TEEB 2010). Les services d'approvisionnement, de régulation ainsi que les services culturels dépendent effectivement des services de soutien comme le cycle de nutriment (moyennement évalué à 218\$/ha/an) le contrôle de l'érosion (étant aussi un service de régulation en moyenne évalué à 67\$/ha/an) ainsi que l'habitat favorisant la biodiversité (moyennement évalué à 1704\$/ha/an) (MEA 2005). Donc, sans les services de soutien, d'autres services ne peuvent pas approvisionner la population. En effet, le service de cycle de nutriment et celui d'habitat favorisant la biodiversité (évalué à 2 562/ha/an) maintiennent les conditions de vie sur la terre et sont primordiaux afin d'assurer l'approvisionnement de nourriture, les ressources génétiques ou encore afin d'augmenter l'offre d'autres services. De son côté, le service de contrôle de l'érosion maintient les sols en place, ce qui est aussi primordial pour permettre l'offre des autres services. Finalement, le service de contrôle biologique et d'habitats favorisant la biodiversité assure une lutte contre les ravageurs et les espèces invasives. Il est alors aussi important d'exercer un travail d'intégration des données à l'échelle des différents milieux naturels nous apportant différents services écosystémiques. Le travail ici réalisé n'a pas permis

de pousser cette réflexion sur l'intégration, la compétition ou l'évolution en bouquet des SEs. Il est toutefois primordial de considérer ces effets écosystémiques et socioécologiques lorsqu'une analyse plus poussée doit être réalisée.

#### 4.1.3 La crédibilité de la valeur des SEs à des fins de valorisation monétaire

Dans leur analyse de la transformation des services écosystémiques en valeur économique, Daily et ses collaborateurs (2009) ont identifié trois conditions afin de valider la crédibilité des approches, l'une d'entre elles étant de valider la démarche et les résultats auprès d'experts et professionnels de l'aménagement du territoire du site cible. En ce sens, un atelier auprès des aménagistes du territoire de la CMQ a été effectué par notre équipe de recherche. Le détail de l'approche et des résultats ne fait pas l'objet de ce mémoire, mais cette démarche complémentaire visait à rendre légitime notre approche d'évaluation des SEs auprès des parties prenantes.

Les résultats de cet atelier ont alors permis de confirmer la pertinence de calculer la valeur du capital naturel et agricole du territoire de la CMQ ainsi que de confirmer la valeur unitaire des différentes valeurs, soit l'hectare. De manière résumée, les répondants ont souligné la valeur communicationnelle de l'approche, à la fois auprès du grand public, des décideurs et des aménagistes, comme étant la principale force de cette démarche (Wood et coll. 2019).

Une autre condition proposée par Daily et ses collaborateurs (2009) consiste à combiner directement des mesures biophysiques avec des évaluations économiques, et ce, à des échelles décisionnelles probantes. Dans le cadre de notre étude, cette condition a été respectée puisque nous avons suivi la méthodologie de Troy et Wilson (année), dont l'analyse spatiale via une analyse biophysique du territoire (étape 2), pour ensuite coupler ces résultats à des données économiques relevées, et ce, à des fins d'aide à la prise de décision. Nous pouvons aussi voir que les résultats contenus dans les tableaux de données respectent une autre condition

de validation de la crédibilité d'approche des SEs. Il s'agit d'adopter une vue d'ensemble transparente, flexible et à l'échelle des utilisateurs (Daily et coll. 2009a). Nous respectons aussi cette condition puisque les valeurs des SEs sont présentés sous forme de valeurs totales (Tableau 3.15) et à l'unité (tableau 3.16), et ce, à l'échelle de chacun des milieux naturels caractérisant le territoire étudié ainsi qu'à l'échelle de chacun des SEs. Les valeurs sont aussi présentées sous forme de carte illustrant la valeur totale des SEs réparties sur le territoire étudié (figure 3.16) ainsi qu'à l'échelle individuelle des différents SE (Figure 3.15 a-p), ce qui est très utile pour les aménagistes du territoire. En ce sens, les ateliers de validation tenus avec les parties prenantes de la CMQ ont confirmé que l'échelle choisie à la fois pour la majorité des évaluations économiques et des flux de SE était pertinente à leurs yeux pour l'aménagement du territoire (Wood et al 2019).

#### 4.1.4 Une comparaison des résultats avec d'autres études similaires

Si l'on compare notre étude avec d'autres cas semblables, on peut remarquer certaines différences d'un point de vue global et spécifique.

En effet, d'un point de vue global et dans le cadre de notre étude, nous arrivons avec une valeur moyenne de 4125\$/ha/an si l'on considère les 12 services étudiés ainsi que les 8 milieux naturels différents pour la région de la CMQ tandis que l'étude évaluant la valeur des SEs de la région métropolitaine de Montréal arrive à 1294\$/ha/an (Dupras, Alam, et Revéret 2015), soit une valeur strictement inférieure à la nôtre équivalant à 1454\$/ha/an pour 2017.

De plus, l'étude évaluant la valeur totale des SEs de la région de la capitale nationale résulte d'une moyenne de 6026\$/ha/an pour 2015 (Dupras et coll. 2016), ce qui équivaut à une valeur supérieure à celle de notre étude, soit de 6197\$/ha/an pour 2017.

D'un point de vue plus spécifique, on peut remarquer que les données reliées aux services d'activités récréatives relèvent de certaines différences. En effet, pour les

forêts rurales, nous avons obtenu un résultat de 189\$/ha/an dans le cadre de notre étude avec la méthode des prix de marché tandis que la méthode de transfert de bénéfice a amené un résultat d'une valeur de 236\$/ha/an en 2010 (soit 265\$/ha/an pour 2017) pour l'étude effectuée pour la CMM (Dupras, Alam, et Revéret 2015). De plus, en utilisant la même méthode que celle de notre étude pour les services récréatifs en forêts rurales ainsi qu'en milieux aquatiques, l'étude effectuée sur le territoire de la capitale nationale a relevé une valeur de 75\$/ha/an (Dupras et coll. 2016). Nous pouvons aussi comparer notre résultat de 2562\$/ha/an pour le service de biens alimentaires amenés par les milieux agricoles à celui provenant du territoire de la capitale nationale (Dupras et coll. 2016) et qui résulte de 919\$/ha/an. Nous pouvons aussi ajouter que le nombre de cultures incluses dans le cadre de notre étude (16) est supérieur à celles analysées dans le cadre de l'étude de la capitale nationale (9) (Dupras et al. 2016) et que le prix de chaque type de culture est différent.

Finalement, la valeur trouvée par transfert de bénéfice pour le service de la qualité de l'air équivalait à une moyenne de 235\$/ha/an pour les forêts rurales et urbaines de la CMQ tandis que l'étude effectuée dans le sud du Québec par Alam et ses collaborateurs (2014) en utilisant une méthode de transfert de bénéfice et de modélisation mathématique équivalait à 462\$/ha/an en 2004 (donc 578\$/ha/an en 2017). On peut aussi ajouter que notre étude a relevé une valeur moyenne de 234,50\$/ha/an pour le service de traitement des polluants au niveau des forêts rurales et urbaines tandis que le résultat était de 186\$/ha/an pour le même service se trouvant dans le sud du Québec (Alam et al. 2014).

Aussi, les données utilisées à des fins d'évaluation de la valeur des SEs sur le territoire de la CMQ par le transfert des bénéfices n'ont pas été comparés aux résultats de cette étude puisque ce sont les mêmes.

Ces écarts peuvent être expliqués par plusieurs aspects qui différencient ces études tels que les méthodes utilisées, la définition des indicateurs inclus dans les études, les sources de données utilisées, le type de cartographie effectué ainsi que le niveau de compréhension des différents processus (Schulp et al. 2014). Il serait intéressant

de comparer ces différents aspects lors d'une prochaine étude afin de démystifier les causes propres à ces différents écarts.

## 4.2 Quelles sont les limites de cette analyse ?

L'analyse des services écosystémiques nous a permis d'identifier les valeurs de différents milieux naturels en fonction de leur impact sur le bien-être humain. Il est cependant important de prendre en compte que dans un contexte d'analyse de données déjà existantes, l'interprétation de celles-ci a aussi ses limites.

### 4.2.1 Des valeurs sous-estimées et à faible spécificité

Lors de notre analyse des services récréotouristiques sur le territoire de la CMQ, certaines valeurs étaient sous-estimées. En effet, seulement la moitié de la valeur des parcs naturels était évaluée.

À titre d'exemple, puisque certaines bases de pleins airs étaient privées, nous ne pouvions pas avoir accès aux données à des fins d'analyse, et donc, nous ne pouvions pas inclure ces valeurs dans le capital naturel du territoire. Cela est aussi vrai pour les choix des activités de plein air. En effet, le capital naturel des services de récréotourisme forestier et aquatique inclut seulement le droit d'accès au site, excluant ainsi toutes les autres activités nécessitant par exemple une location quelconque afin de pratiquer un sport de plein air ou encore pour la location d'hébergement de plein air ou de camping. En effet, les bénéfices économiques des autres organisations présentes sur le territoire de la CMQ, tel que les stations touristiques du Mont-Saint-Anne et de Stoneham, le secteur du Cap-Tourmente de la rivière Sainte-Anne, l'organisme ZEC Batiscan-Neilson ainsi que le village vacances Valcartier ont été exclus du calcul du capital naturel des services récréatifs de la région. 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. Notre valeur finale d'analyse du capital naturel des services récréotouristiques forestiers et aquatiques résulte alors d'une sous-estimation bien marquée. Dans le contexte de notre étude, il s'agit d'une valeur sûre et très conservatrice qui tient seulement en compte la valeur économique des droits d'entrée des parcs de la SÉPAQ, donc les parcs appartenant au gouvernement. Il faudrait alors compenser la carte des valeurs avec d'autres données des parcs privés, si bien sûr l'analyse doit tenir en compte le capital naturel via les entreprises privées de plein air. Notons aussi que la valeur accordée à la production de bois (production ligneuse) est aussi sous-estimée puisqu'un manque d'accès aux données nous a obligés d'exclure de notre analyse la valeur des produits ligneux de trois municipalités dans le secteur de Bellechasse.

La valeur du capital naturel comporte aussi des valeurs à faible spécificité. En effet, le service d'agrotourisme évalué par la méthode des prix de marché représente aussi un portrait de la valeur sans être complètement spécifique au présent cas d'étude. En effet, deux des taux (nombre de clients par entreprise et le profit par entreprise) représentent des moyennes provinciales et non des données extraites du cas réel. Aussi, plusieurs types de couvertures du sol agricoles n'ont pas été identifiés lors de l'analyse spatiale. La valeur de cette catégorie, appelée « agriculture indifférenciée », est alors basée sur la valeur moyenne de toutes les récoltes, ce qui peut aussi augmenter la marge d'erreur de ces données. Il faudra alors utiliser ces données dans cette optique.

De son côté, les données valorisées par le capital naturel via la méthodologie du transfert de bénéfice sont moins précises puisqu'elles n'étaient pas, à la base, appliquée à ce cas d'étude. Même si une attention a été portée pour le transfert des données économiques, autant du côté biophysiques (p. ex. caractéristiques des écosystèmes, localisation) que socio-économiques (p. ex. correction à l'inflation et à la parité de pouvoir d'achat et similarité des conditions socio-économiques),

l'exercice de transfert de bénéfices demeure une opération délicate et remplie de zones d'ombres (Dupras et Revéret, 2015). De plus, dans un contexte d'évaluation socio-économique des projets, la pertinence et la validité des valeurs transférées sont remises en question, surtout concernant la justification de l'importance des enjeux environnementaux (Brouwer 2000).

Dans le cadre de notre étude, vu l'ampleur de notre projet et des objectifs, et le manque de ressources en temps, la qualité de la technique du transfert de bénéfice n'a pas été testée a posteriori, ce qui aurait pu être fait par un test de convergence par exemple (He et al 2017). Des orientations restrictives sur les pratiques acceptables de transfert de bénéfice ont aussi été mises en place par Brouwer et al (2000). Il s'agit de premièrement définir clairement les biens et services environnementaux, deuxièmement identifier les parties prenantes, troisièmement identifier les valeurs portées par les parties prenantes, quatrièmement impliquer les parties dans la validation des évaluations monétaires, cinquièmement porter une grande attention à la sélection des études, sixièmement prendre en compte les effets de la méthode d'évaluation et finalement impliquer les parties dans l'agrégation des valeurs. Ainsi, dans le cadre de notre étude, il faut considérer que les données provenant de la méthodologie du transfert de bénéfice comptent une marge d'erreur un peu plus large que celle des valeurs provenant des méthodologies de coût de remplacement et des prix de marché.

#### 4.2.2 Un enjeu éthique

La mesure monétaire des SEs permet d'illustrer, certes de façon relativement naïve, la valeur de la nature pour l'être humain. La pertinence de cette approche réside dans ses aspects communicationnels, mais aussi de gestion du territoire et des ressources naturelles où, à l'aide d'indicateurs synthétiques, on considère l'utilité et la rareté relative des actifs naturels (Chevassus-au-louis et al 2009). Il faut aussi garder en tête que la valeur économique du capital naturel est une valeur instrumentale, et non complète ou totale (OCDE 2001). Il est aussi important de

mentionner que le fait de mettre une valeur monétaire sur le capital naturel n'implique pas que ces valeurs seront directement dirigées vers des échanges sur libre marché à des fins de capitalisation, mais que le message envoyé peut tendre en ce sens.

Dans l'utilisation que nous en faisons, et bien qu'en reconnaissant les limites, la valeur économique et alors perçue comme une valeur instrumentale illustrant la contribution de la nature au bien-être humain, apportant entre autres des coûts d'opportunité pour la conservation (Chevassus-au-louis et al. 2009). Par contre, le principe de représenter la valeur de la nature en unité monétaire s'oppose à certaines valeurs éthiques puisque la valeur économique évoque le désir de l'objet ainsi que la difficulté et le coût pour les obtenir (Chevassus-au-louis et al. 2009).

À la lumière de cette analyse, il est alors légitime de se poser la question suivante, tel que le pose Chevassus-au-louis et ses collaborateurs (2009) : « La valeur de la Nature peut-elle être analysée du seul point de vue de sa contribution au bien-être des humains ou doit-on, au contraire, lui reconnaître une valeur non instrumentale, pour elle-même ? » Il est alors important de prendre en considération le fait que certains éléments de la biodiversité peuvent être considérés comme un patrimoine commun de l'humanité, et ce, même si ces services sont étiquetés d'une valeur monétaire.

#### 4.2.3 Des enjeux quant à l'intégration des valeurs dans le processus de prise de décision

Selon l'étude de Daily et al (2009), il est recommandé de développer des méthodes non monétaires pour évaluer les services à des fins de facilité de compréhension pour les parties prenantes et d'intégration dans les différents secteurs (p. ex. santé humaine, sécurité, services culturels), et aussi de développer des méthodes pour identifier les utilisateurs bénéficiaires des SEs de façon temporelle et spatiale, et vivante en relation avec les milieux et les ressources en question.

Notre cas d'étude comporte alors ses limites. En effet, les valeurs cartographiées ne sont pas aussi transparentes, flexible, et à l'échelle des utilisateurs, puisque celles-ci illustrent seulement les valeurs totales des SEs sur l'entièreté du territoire. Cette cartographie ne permet donc pas de voir les valeurs en fonction des différents milieux naturels sur les cartes. Les utilisateurs peuvent alors seulement interpréter les données en fonction de la valeur par SE et non en fonction de la valeur des SEs par milieux naturels. Finalement, cette étude ne répond pas aux deuxième et troisième conditions posées par Daily et al (2009) puisque les résultats sont seulement démontrés sous forme monétaires et que les bénéficiaires des services ne sont pas spécifiquement identifiés (Daily et al. 2009b).

Dans les ateliers réalisés par Wood et al (2019) auprès des parties prenantes, elles ont identifié comme obstacles à l'intégration du concept de SE et de sa valeur économique la pression du développement urbain, la difficulté à comprendre le concept des SEs du point de vue des décideurs par le manque de tangibilité, la fiscalité municipale basée sur la valeur foncière et les taxes municipales, ainsi que le risque d'une communication déficiente du concept des SEs. Au niveau des faiblesses de l'approche, la non-flexibilité temporelle et contextuelle des données, la contrainte au développement urbain ainsi que l'utilisation mal intentionnée des données à des fins de non-conservation ont été identifiées.

En effet, la présente étude présente des données à un contexte et un temps déterminé. Pourtant, l'un des défis de l'évaluation économique des SEs est aussi de veiller à ce que les données soient actualisées en fonction de la situation ainsi qu'à la même échelle temporelle afin de pouvoir répondre à leurs utilisations (Chevassus-au-louis et al. 2009). Des gestionnaires ou des scientifiques voulant utiliser les données de cette présente étude pourraient par exemple effectuer une étude sociodémographique et géospatiale du territoire afin de comparer le portrait du territoire à l'étude à celui de la CMQ pour valider l'utilisation de ces données à

une autre échelle territoriale. Le taux d'inflation pourrait aussi servir d'ajustement à des fins de prise de décision dans un contexte temporel différent. Il faudrait aussi prendre en compte, dans la mesure d'une évaluation plus précise, l'évolution des dynamiques naturelles qui sont à l'origine de la fourniture de services ainsi que l'évolution de la demande (p. ex. les changements dans les modes de consommations ou encore les changements technologiques). Aussi, la difficulté de compréhension des différentes valeurs des SEs peut être problématique dans la mesure où les utilisateurs n'auraient pas de familiarité avec le concept et les potentialités de SE (Chevassus-au-louis et al. 2009). Il est alors important que les acteurs qui utiliseront les données aient ou reçoivent un minimum de formation concernant la biodiversité et les biens et services écosystémiques. En effet, les données publiées dans notre étude sont des données informatives qui peuvent aider à la prise de décisions. Par compte, pour diminuer le risque de double comptage, les décideurs en aménagement du territoire de la CMQ devront être en mesure d'évaluer les bénéfices finaux obtenus par les services écosystémiques (Fu et al. 2011) avant de les agréger, et ce, en fonction de leurs objectifs, lorsque ceux-ci se serviront des données. Par exemple, si les décideurs veulent se servir des données pour prendre en compte l'apport de la valeur des biens alimentaires à la CMQ, ils ne devront pas prendre en compte les données de cycle de nutriment du milieu naturel provenant des terres agricoles dans leurs calculs puisque les nutriments sont utilisés par les plantes et donc intégrés à la valeur de production des biens alimentaires. Par compte, si ceux-ci veulent avoir une idée des bénéfices des cycles de nutriments en fonction des terres agricoles, ils pourront utiliser cette donnée sans prendre en compte les biens alimentaires finaux.

#### 4.3 L'utilisation de la valeur des SEs à différentes échelles

Pour donner suite à la publication de notre rapport en septembre dernier, nos données ont été mises en ligne sur le site de la CMQ et intégrées dans des outils de cartographie du territoire appelé « Géosuite » (Annexe 1). L'outil Géosuite regroupe des couches d'informations géographiques et est présenté sous forme de

carte interactive du territoire de la CMQ (CMQ 2020). Cet outil permet donc au public de consulter, à l'aide de la carte interactive, la valeur économique des milieux naturels de la CMQ.

En effet, les aménageurs des villes peuvent alors consulter les cartes de la géosuite afin d'approfondir leur réflexion quant à l'aménagement du territoire. Nos données peuvent alors indirectement influencer le plan d'urbanisme des MRC ou encore le plan d'aménagement du territoire de la CMQ, et ce, dans une perspective de conservation des milieux naturels.

De plus, l'intégration des données de cette étude dans la géosuite permet aux citoyens faisant partie de la CMQ de prendre conscience de l'importance de la conservation des milieux naturels pour le bien-être humain. En effet, les SEs amenés par les milieux naturels sont traduits en valeur monétaire, ce qui résulte d'un outil de vulgarisation pour toute la communauté n'ayant pas de formation de base en science de la nature. Ainsi, un citoyen pourrait aller naviguer dans la section Géosuite du site de la CMQ et en apprendre davantage sur la valeur de chacune des parcelles des milieux naturels et agricoles de la CMQ.

## CONCLUSION

Nous avons évalué la valeur du capital naturel du territoire de la CMQ par l'application du cadre conceptuel des services écosystémiques. Notre analyse du flux de services écosystémiques et de leur valeur économique nous permet de constater que le capital naturel de la CMQ génère un total de plus de 1,2 milliard de dollars de bénéfices annuels provenant de 14 services écosystémiques évalués, en plus de stocker du carbone pour un total d'environ 26 milliards de dollars dans ses arbres, ses terres humides et ses sols. La richesse des espaces terrestres et aquatiques dans la CMQ se reflète dans la diversité, l'abondance et la valeur des avantages procurés par ces écosystèmes à la population.

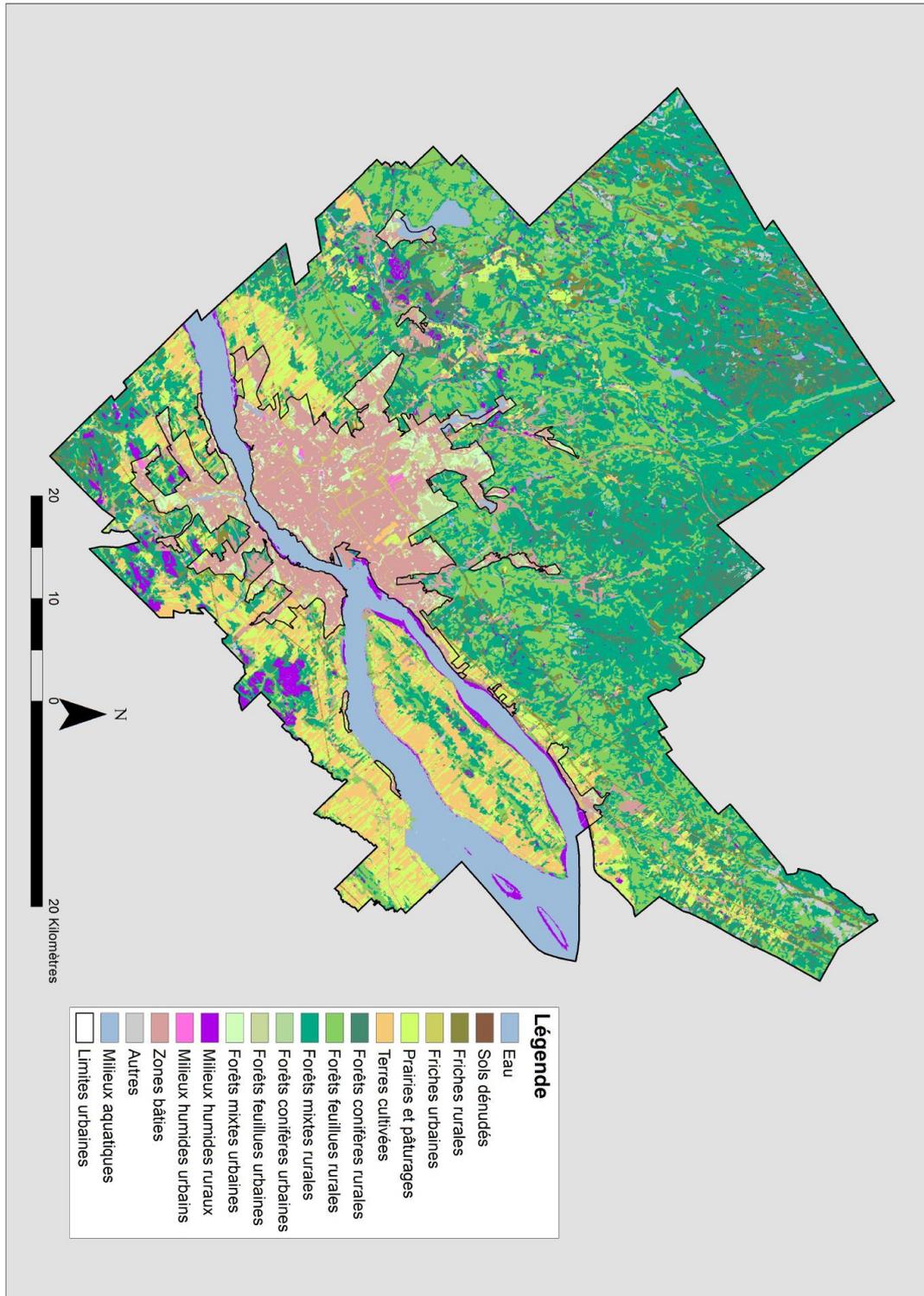
Il est aussi important de prendre en compte les limites de cette étude lors de l'utilisation de ces données à des fins de prise de décision. En effet, certaines valeurs ne sont pas très précises et d'autres probablement sous-estimées. De plus, la monétarisation du capital naturel peut être perçue comme un enjeu éthique, ce qui accentue l'importance d'apporter une attention particulière à la bonne communication des résultats de ce genre d'analyse, notamment en insistant sur son caractère instrumental.

Cette étude peut aider à la communication sur l'importance de la présence de la nature pour la population du territoire de la CMQ, et ce, par la valeur des services émis par les milieux naturels. En effet, l'intégration des résultats de cette étude dans la Géosuite, publié sur le site de la CMQ, amène un outil de vulgarisation et de sensibilisation pour tous les citoyens de la CMQ et influence les aménagistes des villes à approfondir leurs réflexions quant à l'aménagement du territoire. En attribuant un prix plancher 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.

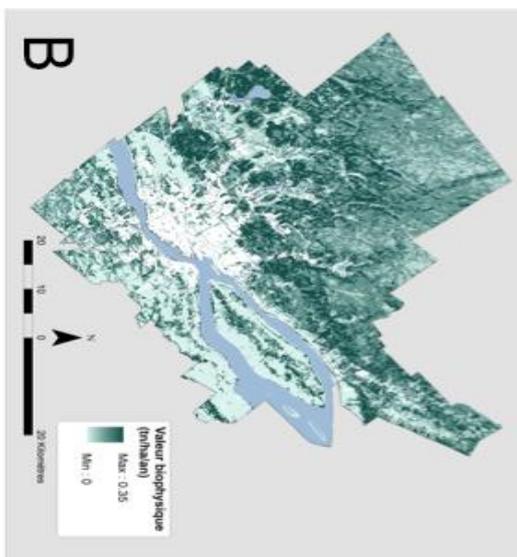
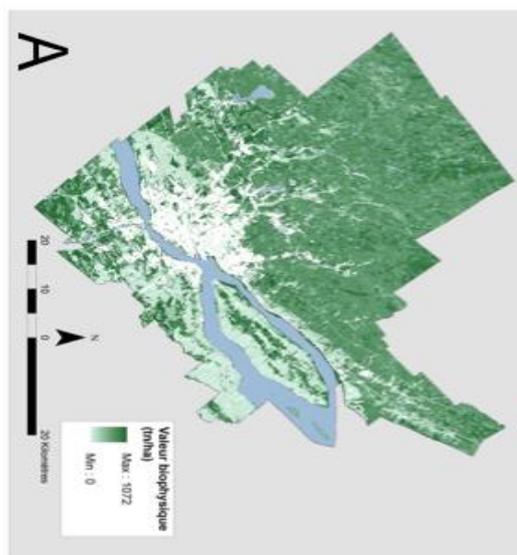
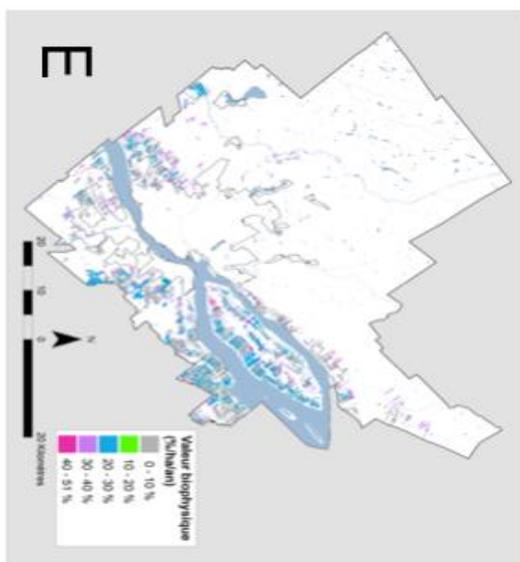
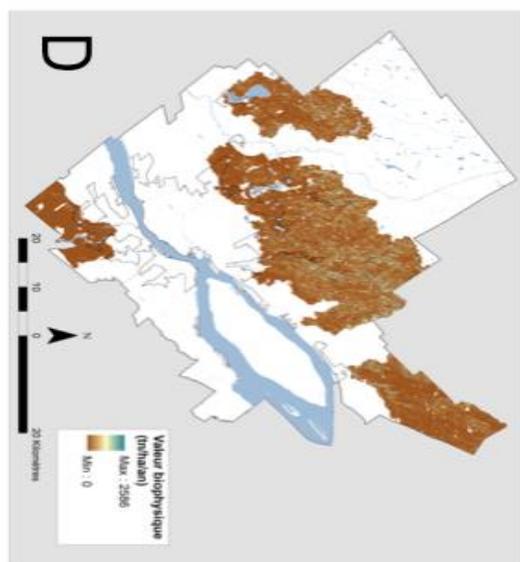
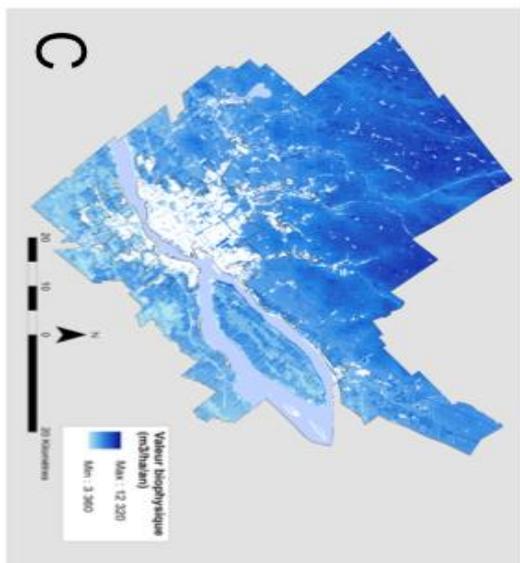
Au-delà de la valeur économique, les écosystèmes sont essentiels à notre sentiment d'appartenance, d'identité et de bien-être, des aspects difficiles à quantifier. Une approche de comptabilisation du capital naturel nous aide cependant à apprécier et à intégrer les écosystèmes dans la prise de décision, 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 habite, 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 de la CMQ, mais ne capture qu'une partie de la valeur réelle de ces écosystèmes. Les valeurs de cette étude pourront être utiles et s'intégrer dans l'analyse et les processus de prise de décisions en aménagement du territoire, dans l'établissement de politiques ou encore être utilisé au travers d'autres études scientifiques.

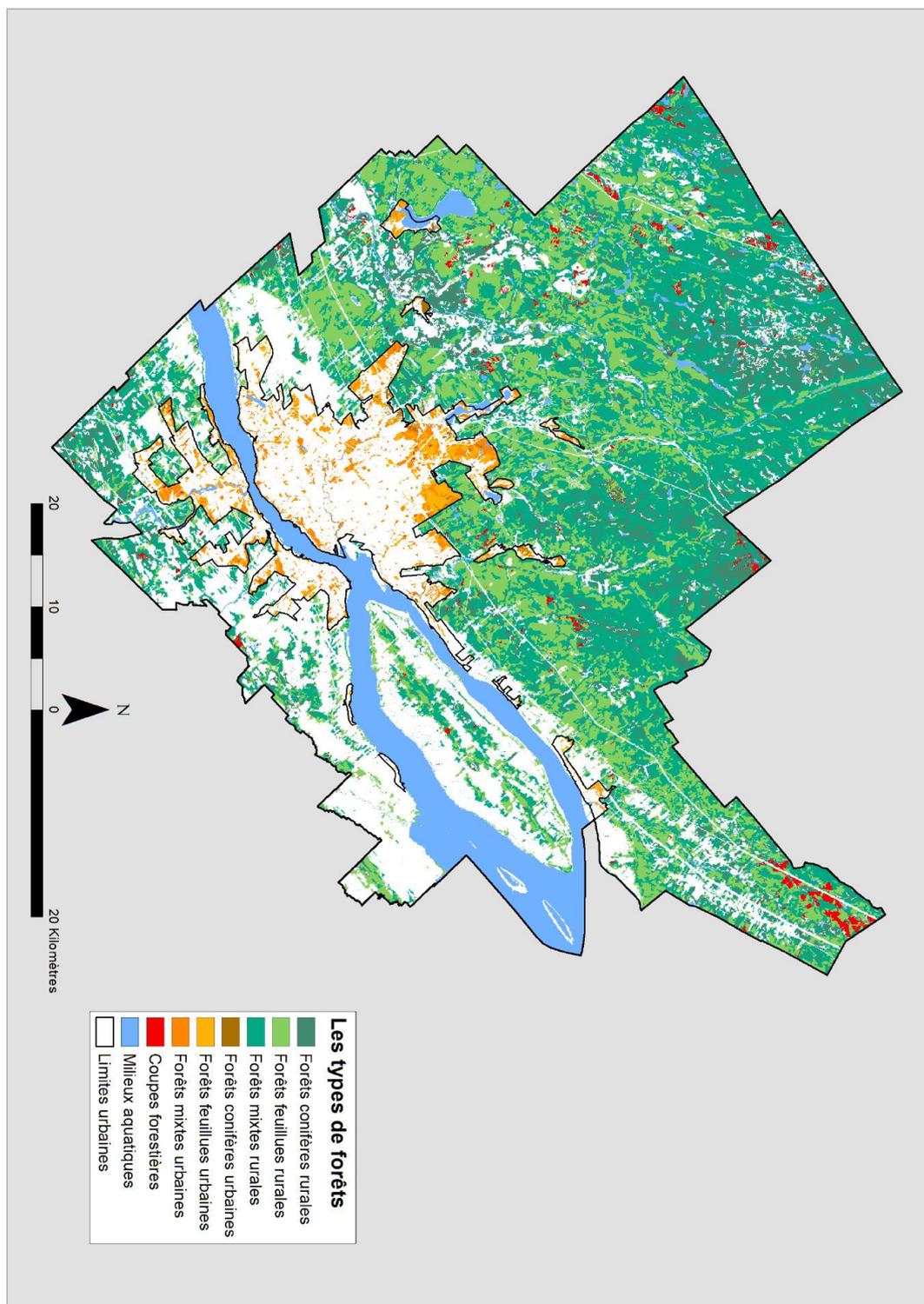
Annexe A : La répartition spatiale des écosystèmes dans la CMQ



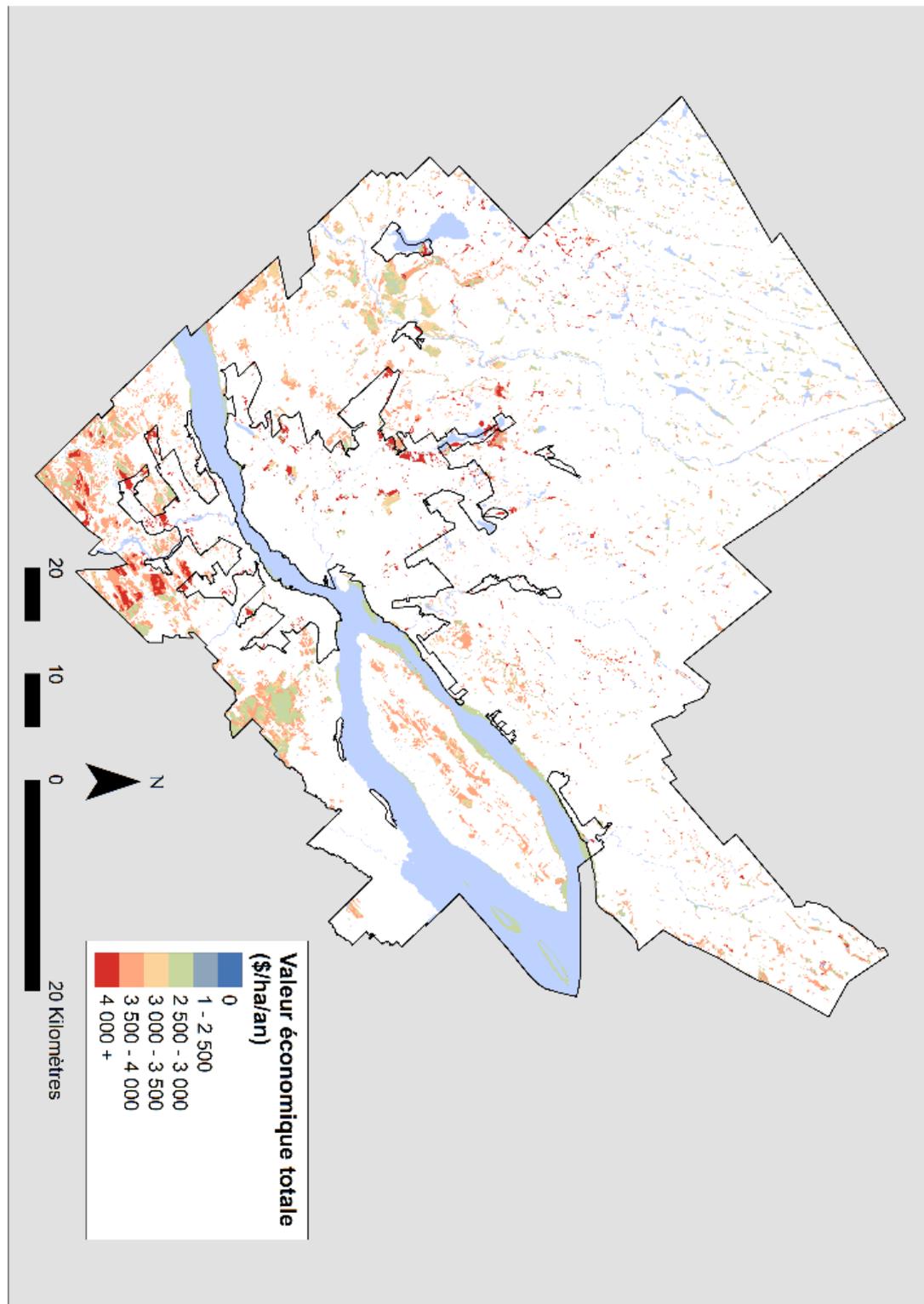
Annexe B : La répartition de l'approvisionnement des services estimé avec le logiciel InVEST



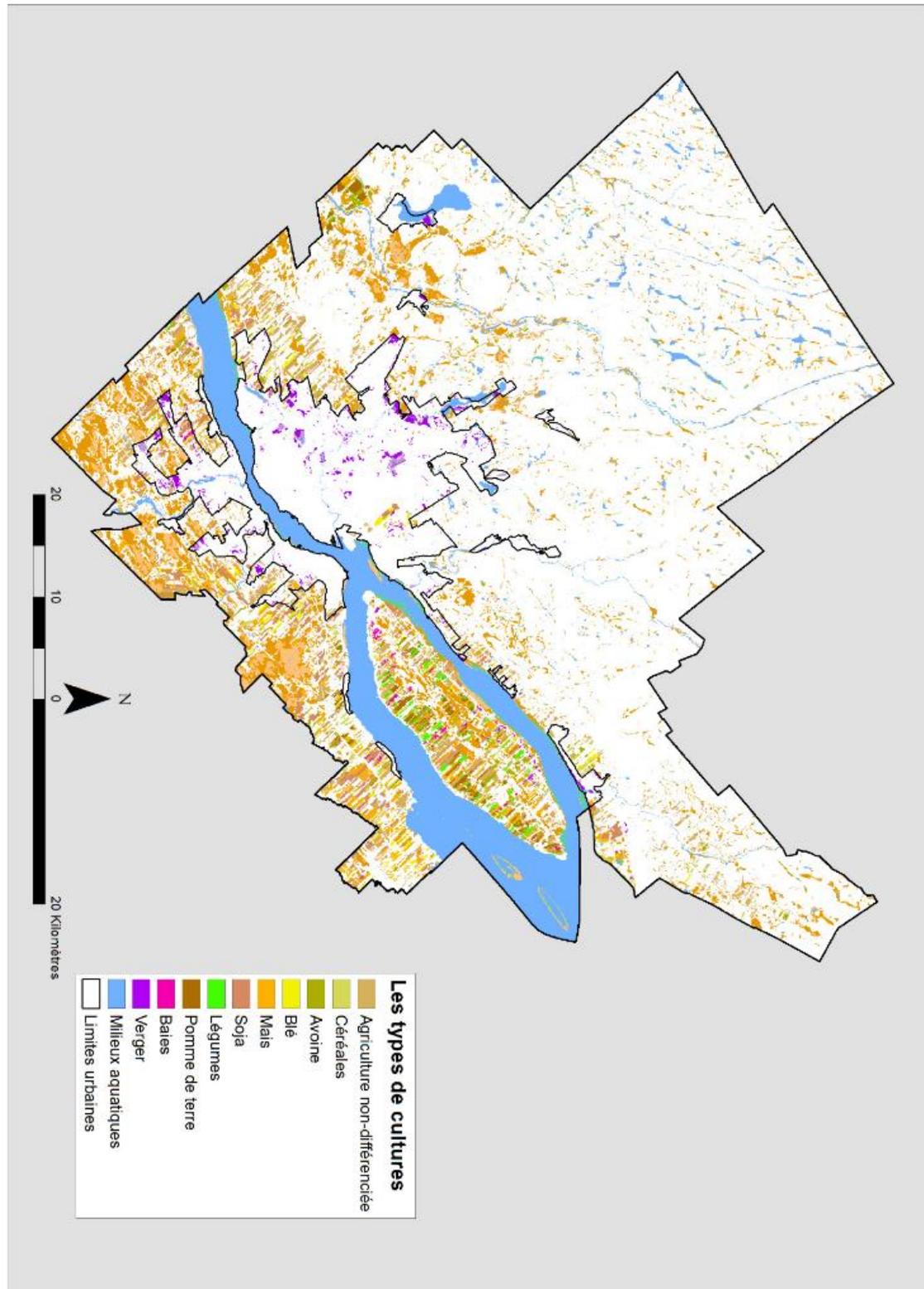
### Annexe C : La répartition des forêts, des boisés et des coupes forestières sur le territoire de la CMQ



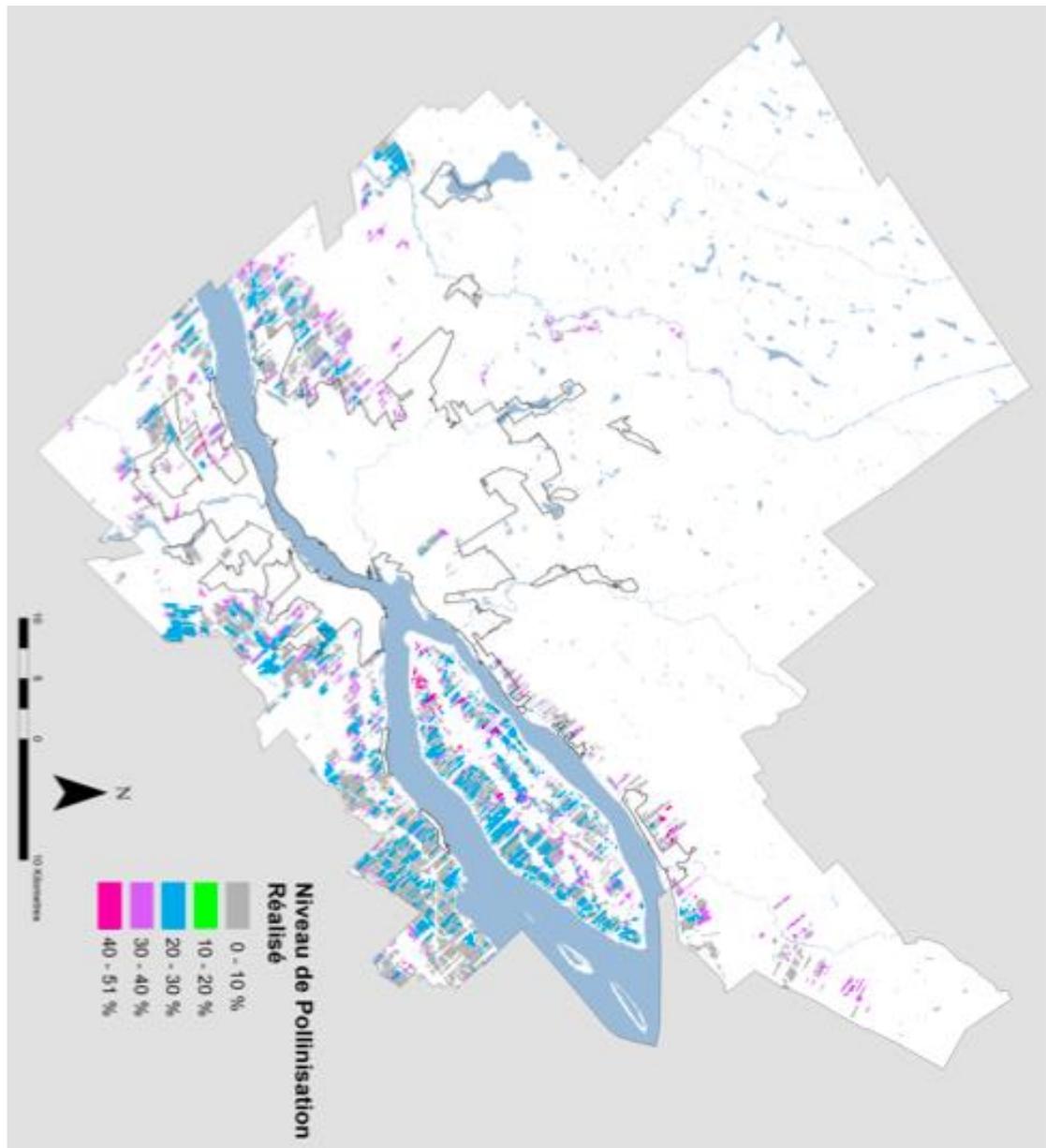
Annexe D : Répartition spatiale de la valeur économique des milieux humides de la CMQ



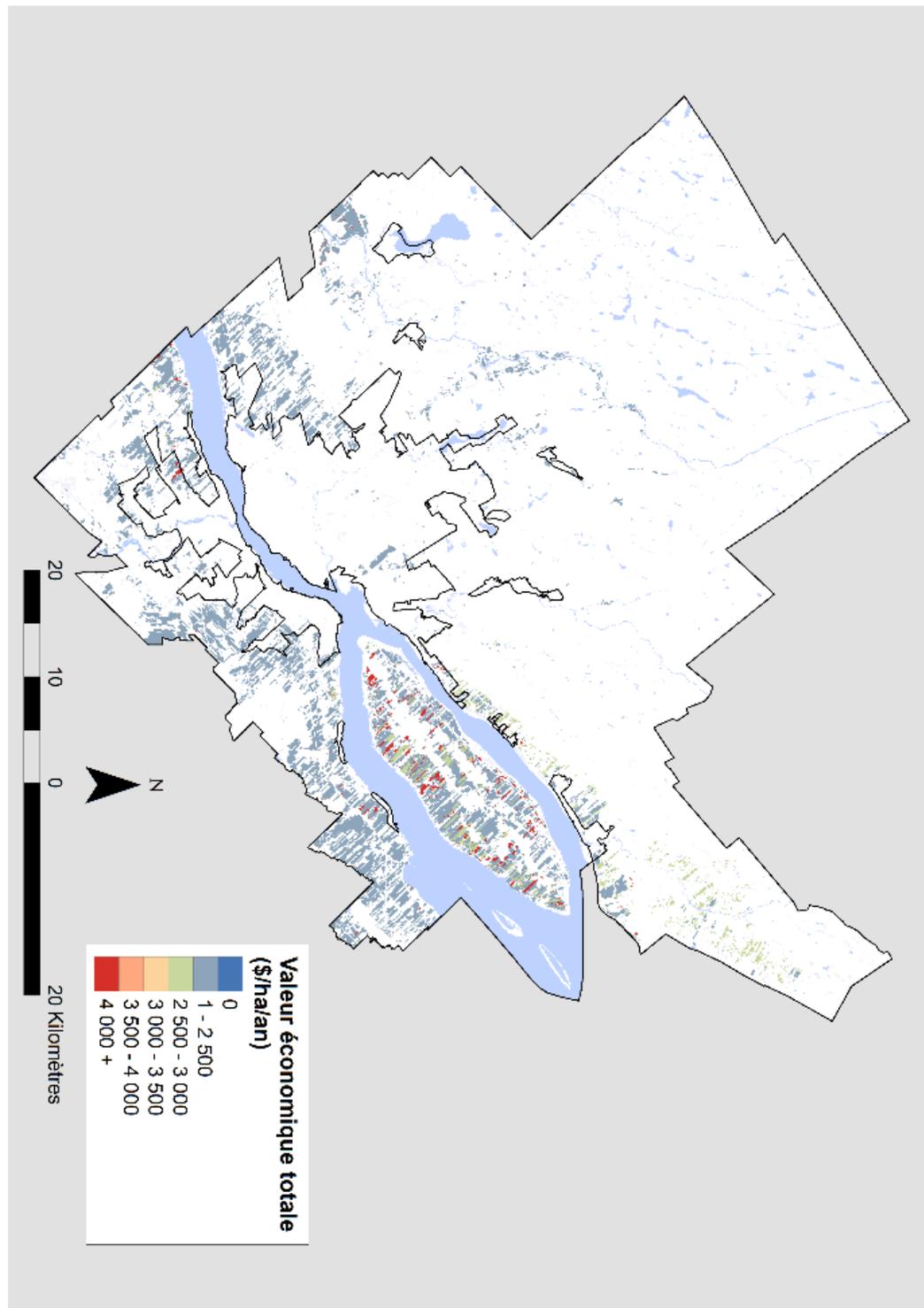
## Annexe E: La répartition des cultures agricoles sur le territoire de la CMQ



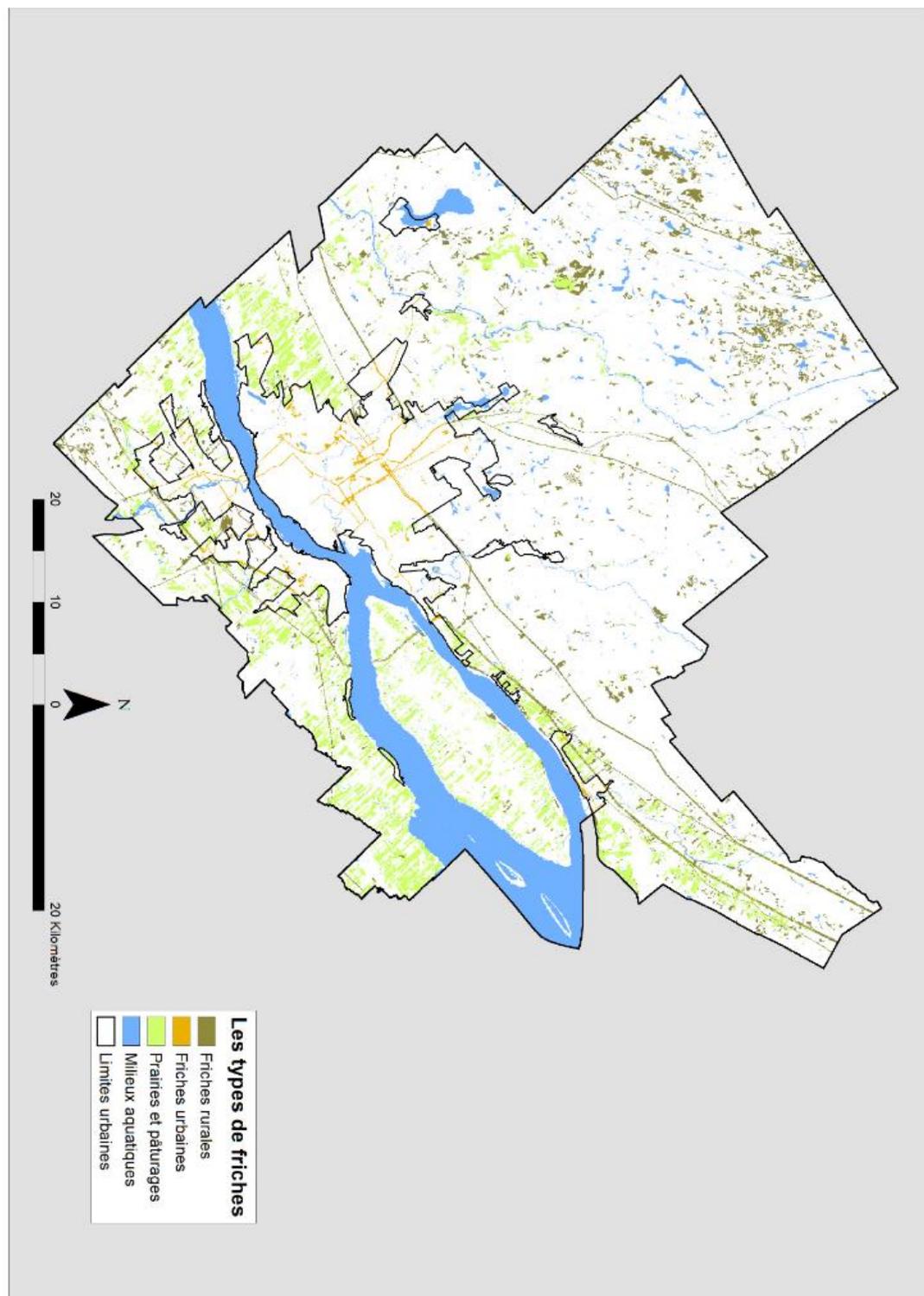
Annexe F: Niveau de pollinisation réalisée dans les fermes de la Communauté métropolitaine de Québec



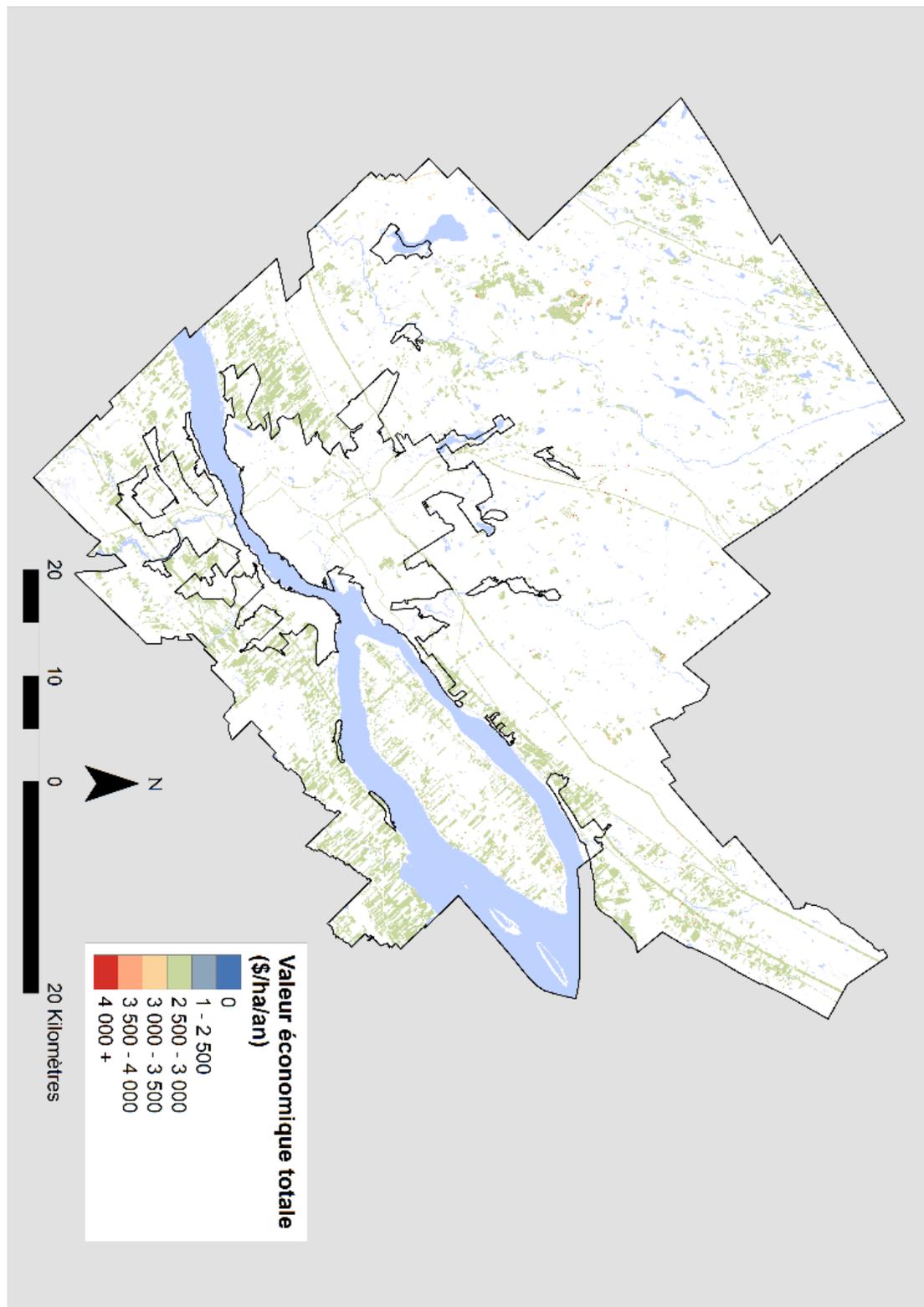
Annexe G: Répartition spatiale de la valeur économique des milieux agricoles dans la CMQ



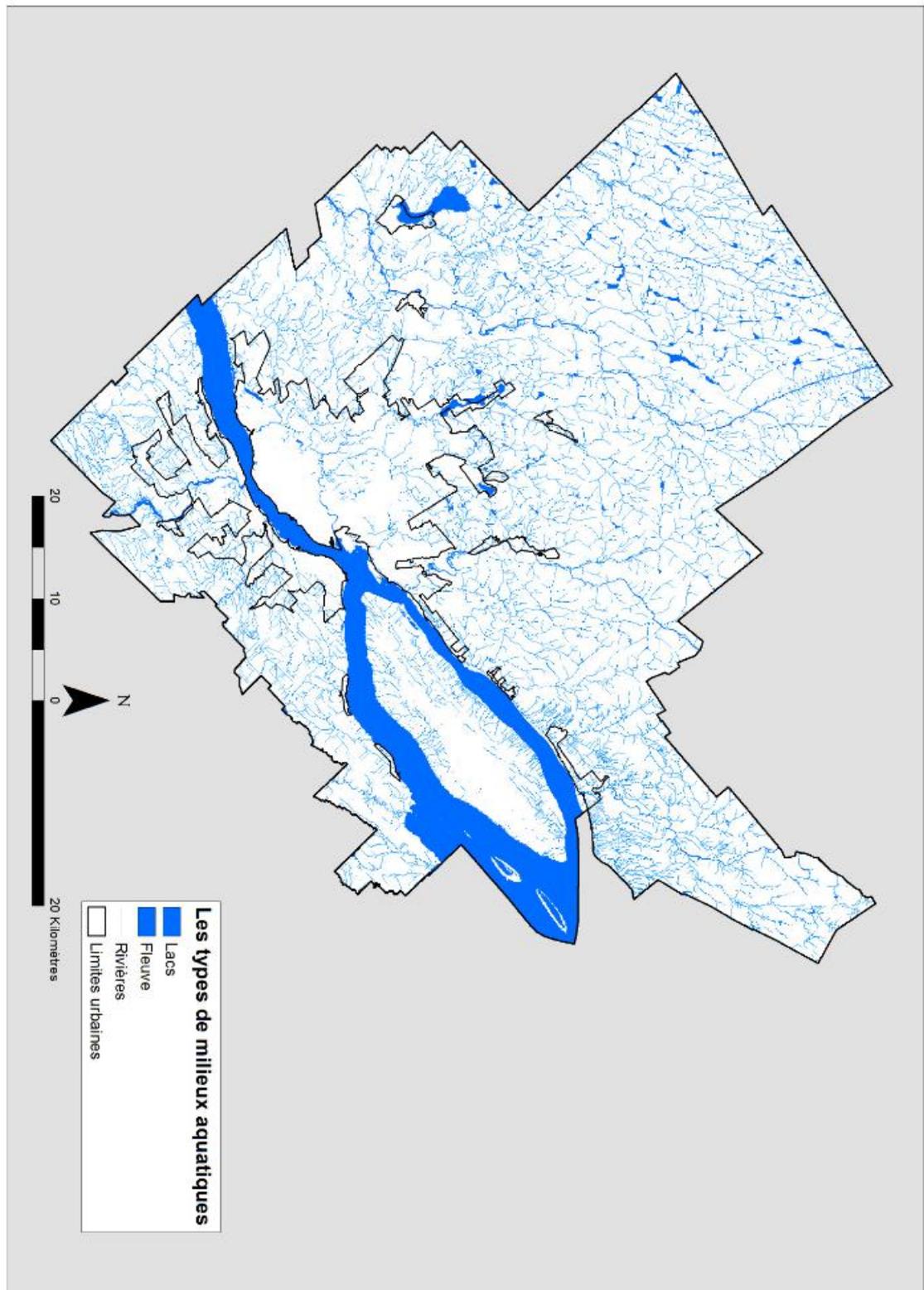
## Annexe H: La répartition des friches et des arbustes sur le territoire de la CMQ



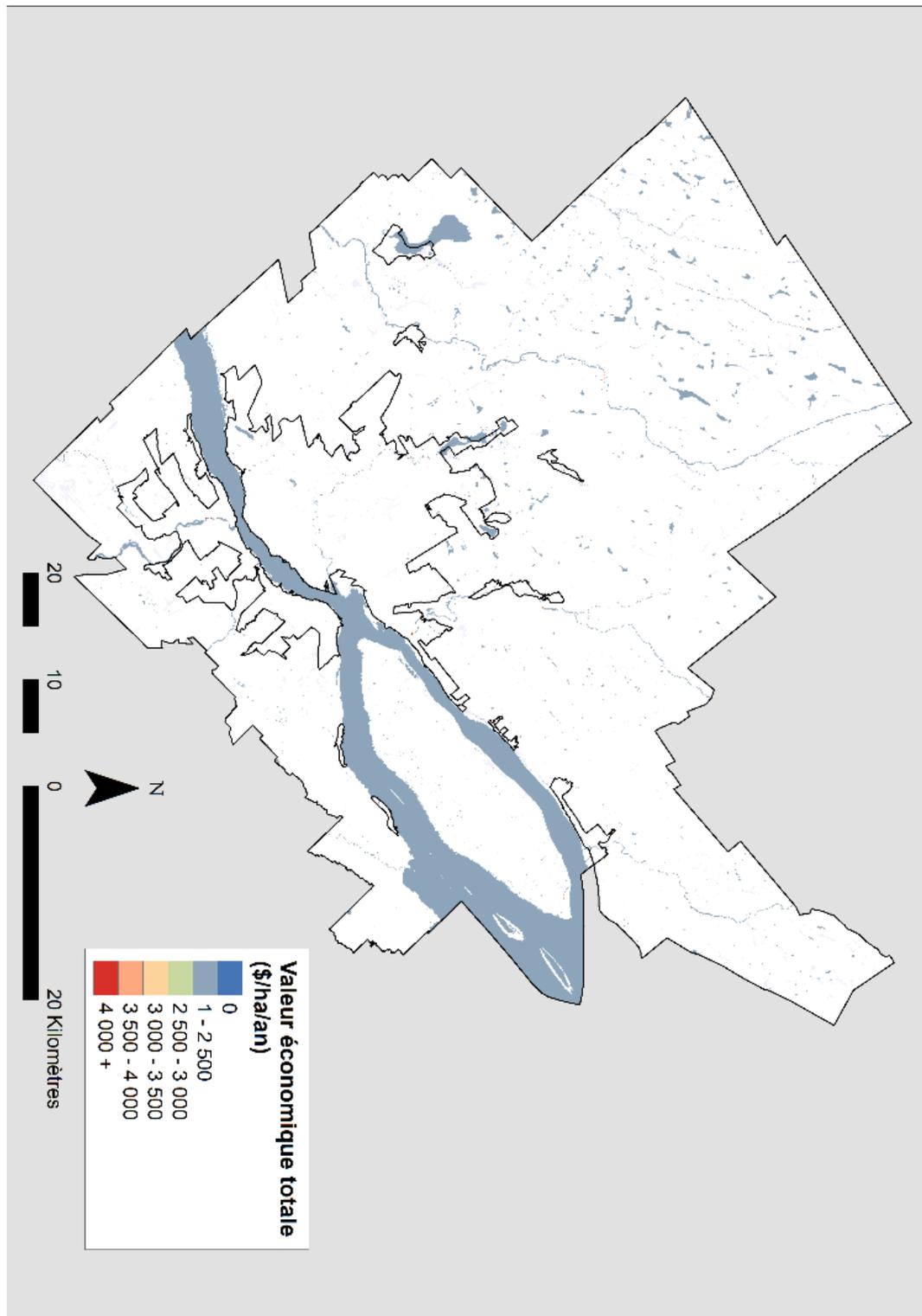
## Annexe I: Répartition spatiale de la valeur économique des friches dans la CMQ



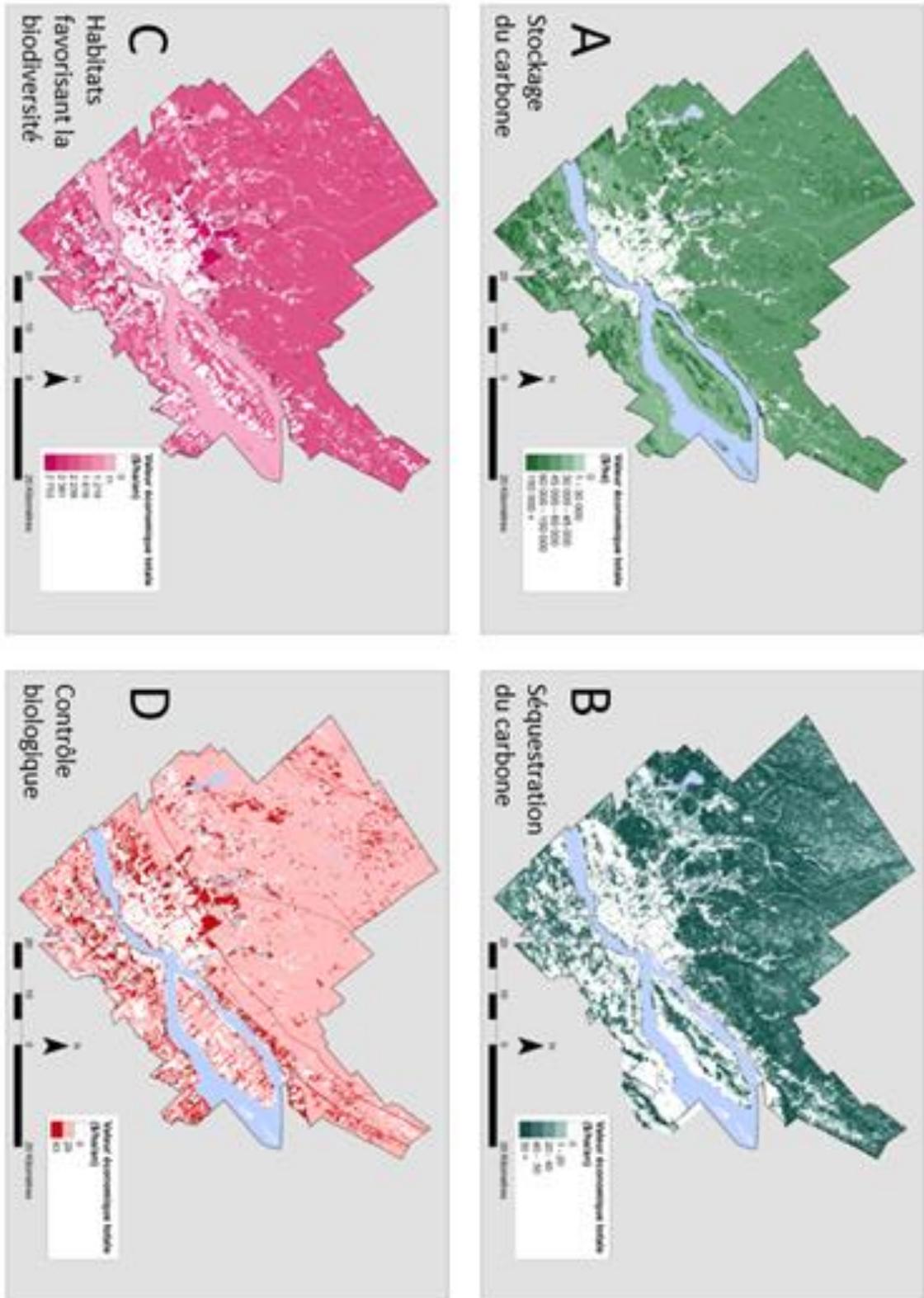
Annexe J: La répartition du réseau hydrologique de la CMQ



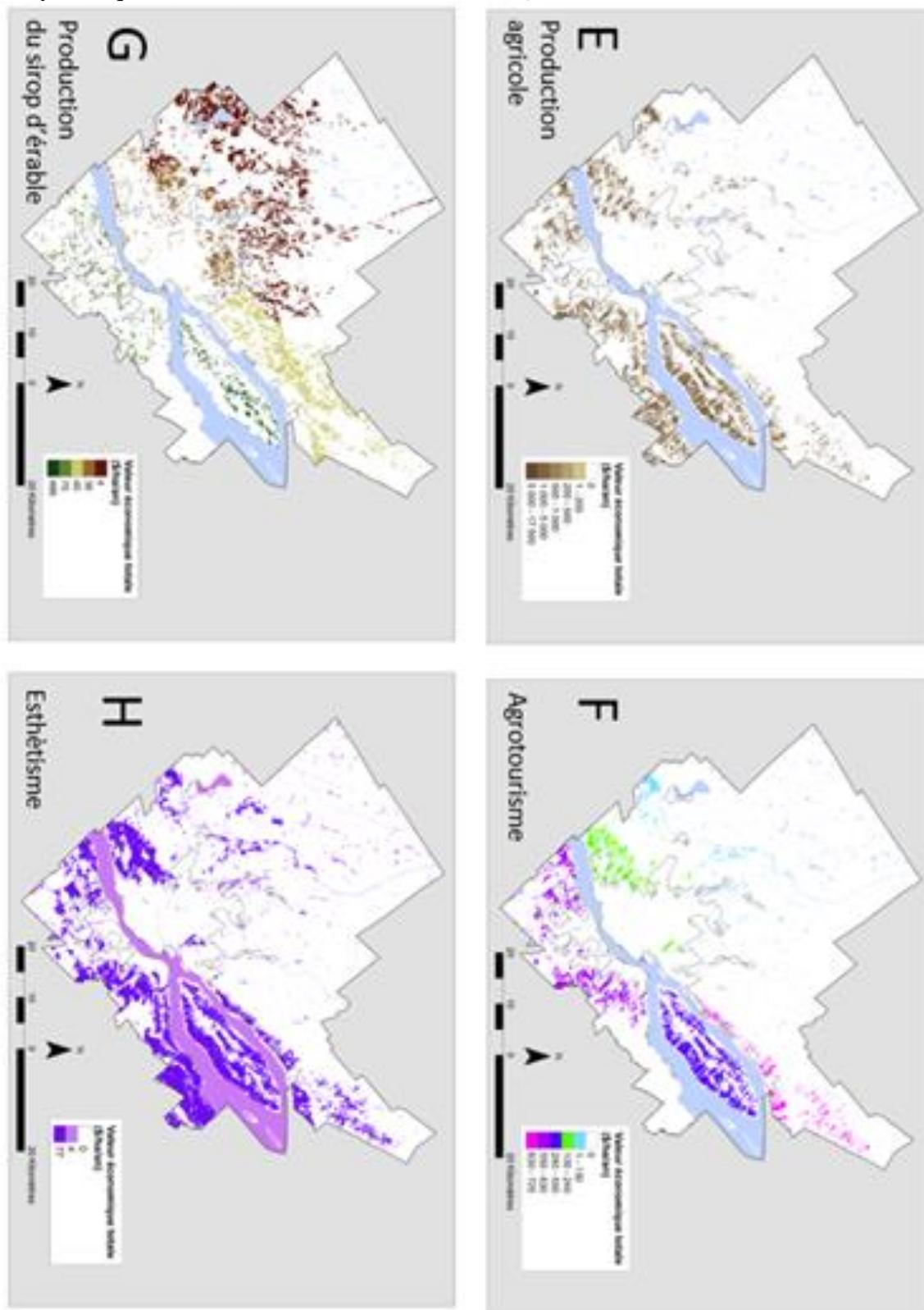
Annexe K: Répartition spatiale de la valeur économique des milieux aquatiques dans la CMQ



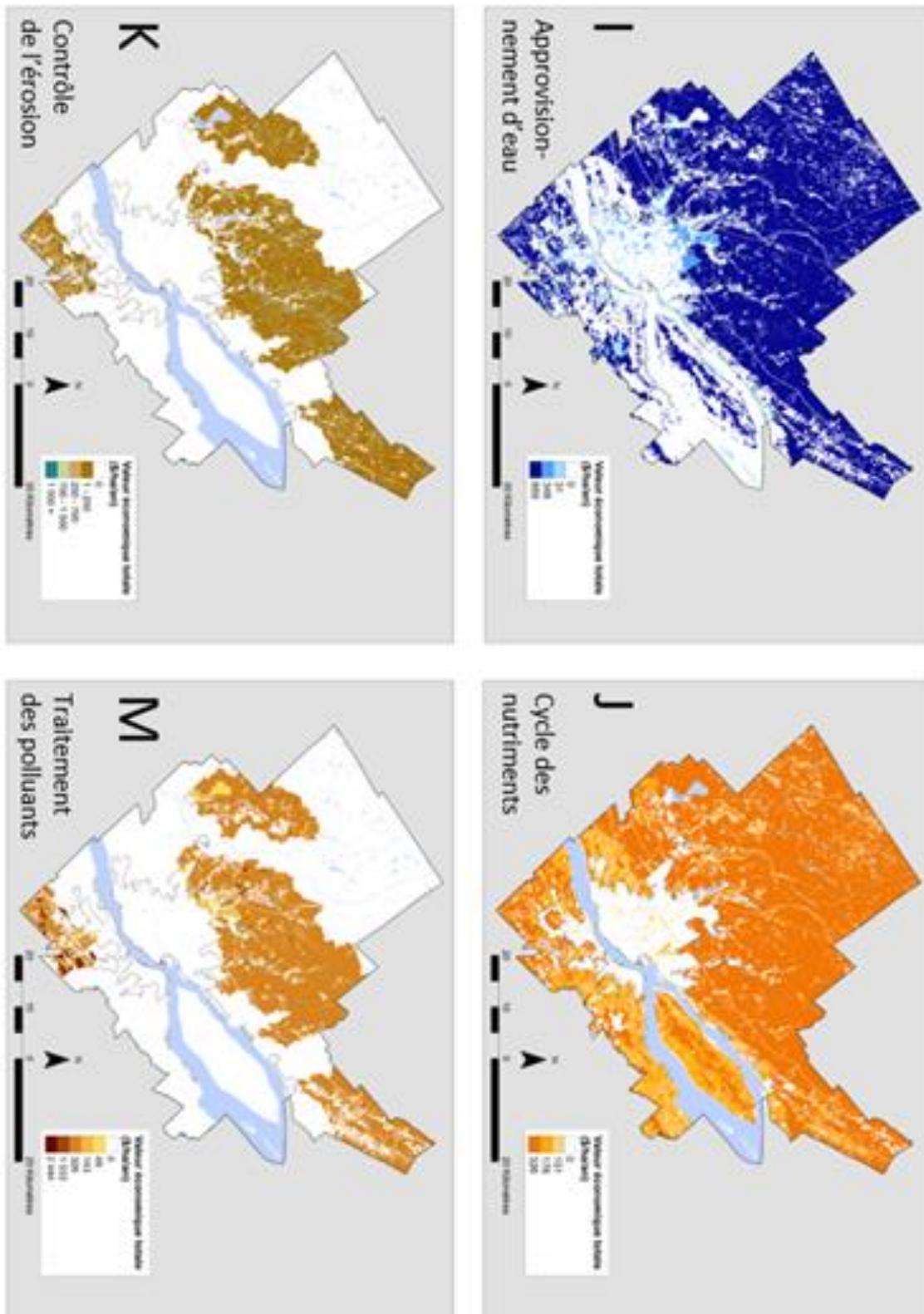
Annexe L: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (A à D) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens



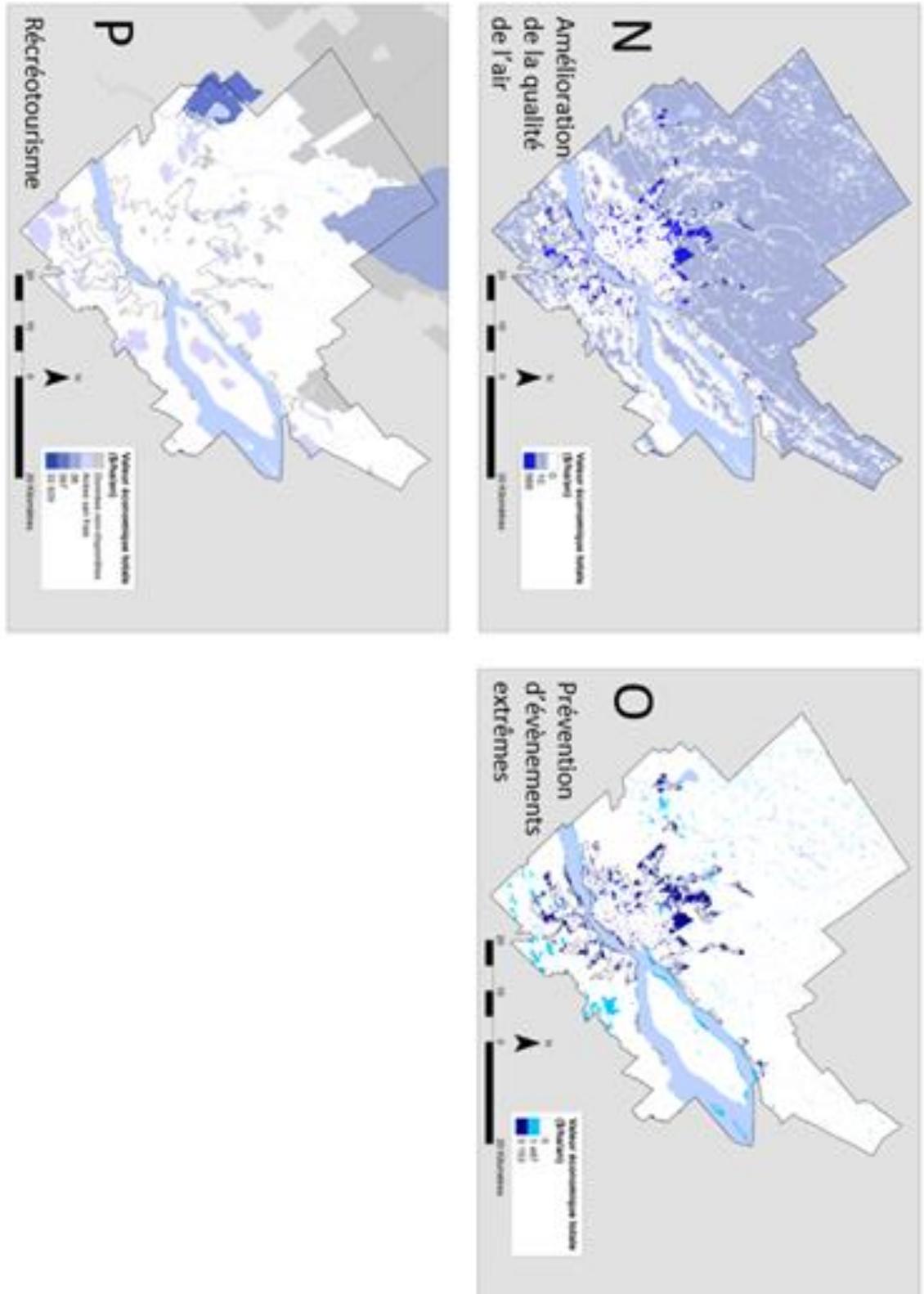
Annexe M: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (E à H) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens



Annexe N: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (I à M) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens



Annexe O: La répartition de la valeur totale annuelle de 4 services écosystémiques (N à P) sur le territoire de la CMQ en dollars canadiens





## RÉFÉRENCES

- Ahern, Jack. 1995. « Greenways as a Planning Strategy ». *Landscape and Urban Planning* 33 (1): 131–155. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(95\)02039-V](https://doi.org/10.1016/0169-2046(95)02039-V).
- Alam, M., A. Olivier, A. Paquette, J. Dupras, J. P. Revéret, et C. Messier. 2014. « A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems ». 2014. [https://isfort.uqo.ca/sites/isfort.uqo.ca/files/fichiers/publications\\_ISFORT/alam\\_2014\\_economic\\_valuation\\_agroforestry.pdf](https://isfort.uqo.ca/sites/isfort.uqo.ca/files/fichiers/publications_ISFORT/alam_2014_economic_valuation_agroforestry.pdf).
- Alam, Mahbulul, Alain Olivier, Alain Paquette, Jérôme Dupras, Jean-Pierre Revéret, et Christian Messier. 2014. « A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems ». *Agroforestry systems* 88 (4): 679–691.
- Baptist, F, T Disca, E Hellal, E Limasset, M Horiot, et T Binet. 2018. « Mesure de la biodiversité et évaluation des services écosystémiques des milie... » ADEME. 2018. <https://www.ademe.fr/mesure-biodiversite-evaluation-services-ecosystemiques-milieux-restaures>.
- Bernal, Susana, Anna Lupon, Miquel Ribot, Francesc Sabater, et Eugènia Martí. 2015. « Riparian and in-stream controls on nutrient concentrations and fluxes in a headwater forested stream ». *Biogeosciences* 12 (6): 1941–1954.

- Bianchi, FJJA, P. W. Goedhart, et J. M. Baveco. 2008. « Enhanced pest control in cabbage crops near forest in The Netherlands ». *Landscape Ecology* 23 (5): 595–602.
- Bissonnette, J., et S. Lavoie. 2015. « Utilisation du territoire-Méthodologie et description de la couche d'information géographique ». *MDDELCC, Québec*.
- Blais, Andréanne. 2013. « Dans le cadre de l'étude portant sur la conservation des habitats au Canada », 19.
- Bommarco, Riccardo, David Kleijn, et Simon G. Potts. 2013. « Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security ». *Trends in ecology & evolution* 28 (4): 230–238.
- Braat, L, P ten Brink, J Bakkes, K. Bolt, et B Braeur. 2010. « The Cost of Policy Inaction », 17.
- Brendan Fisher, Mike Christie, James Aronson, Leon Braat, John Gowdy, Roy Haines-Young, Edward Maltby, et Aude Neuville. 2010. « Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation ».
- Brulotte, Raymond, Paul Lanoie, Benoit Laplante, Michel Provost, et Université du Québec Télé-université. 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 ». Bureau du forestier en chef.

[https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2015/08/avis\\_carbone\\_aout2015.pdf](https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2015/08/avis_carbone_aout2015.pdf).

Burkhard, Benjamin, Marion Kandziora, Ying Hou, et Felix Müller. 2014.

« Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands-Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification ». *Landscape Online* 34 (juin): 1-32. <https://doi.org/10.3097/LO.201434>.

Canadian Municipal Water Consortium. 2015. « 2015 Canadian Municipal Water Priorities Report ». <http://cwn-rce.ca/report/2015-canadian-municipal-water-priorities-report/>.

Canards illimités Canada, Jason Beaulieu, S Picard, Québec (Province), environnement Ministère du développement durable faune et parcs, et Communauté métropolitaine de Québec (Québec). 2014. *Cartographie détaillée des milieux humides du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec*.

Chevassus-au-louis, Bernard, Jean-Michel Salles, et Pujol Jean-Luc. 2009.

« approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes ». Gouvernement. Centre d'analyse stratégique. <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/094000203.pdf>.

CICES. 2018. « Structure of CICES | ». <https://cices.eu/cices-structure/>.

Clement, M.C. 2010. « Le millet perlé: pour une rotation bénéfique dans les cultures horticoles (légumes et petits fruits) ».

[https://www.agrireseau.net/grandescultures/documents/Millet%20et%20horticulture\\_2010.pdf](https://www.agrireseau.net/grandescultures/documents/Millet%20et%20horticulture_2010.pdf).

- CMQ. 2018. « 2018-Resume-Rap-final-connectivite-ecologique-cmq-tcrq.pdf ». <https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/12/2018-Resume-Rap-final-connectivite-ecologique-cmq-tcrq.pdf>.
- . 2020. « Visionneuse Geocortex pour HTML5 ». 2020. <https://www.sig.cmquebec.qc.ca/GeoLyre/index.html?viewer=sig2020>.
- Costanza, Robert, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, 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](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2).
- Costanza, Robert, et Herman E. Daly. 1992. « Natural Capital and Sustainable Development ». *Conservation Biology* 6 (1): 37-46.
- CRAAQ. 2014. « Guide d'identification et de gestion - Pollinisateurs et plantes mellifères ». [https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-d\\_identification-et-de-gestion-pollinisateurs-et-plantes-melliferes/p/PAPI0102](https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-d_identification-et-de-gestion-pollinisateurs-et-plantes-melliferes/p/PAPI0102).
- . 2016. « Guide de référence en fertilisation, 2e édition ». <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-de-reference-en-fertilisation-2e-edition/p/PSOL0101>.
- . 2017. « Données économiques en valeur monétaire pour chacune des cultures ».
- . 2019. « Ruches pour pollinisation ». 2019. <http://outils.craaq.qc.ca/Pollinisation>.

- Craig, Alexander, et Brian DePratto. 2014. « THE VALUE OF URBAN FORESTS IN CITIES ACROSS CANADA ». <https://www.td.com/document/PDF/economics/special/UrbanForestsInCanadianCities.pdf>.
- Craig, Alexander, et Connor McDonald. 2014. « URBAN FORESTS: THE VALUE OF TREES IN THE CITY OF TORONTO ». TD Economics. <https://www.td.com/document/PDF/economics/special/UrbanForests.pdf>.
- Daily, Gretchen C. 1997. *Nature's services*. Island Press, Washington, DC.
- Daily, Gretchen C., Stephen Polasky, Joshua Goldstein, Peter M. Kareiva, Harold A. Mooney, Liba Pejchar, Taylor H. Ricketts, James Salzman, et Robert Shallenberger. 2009a. « Ecosystem services in decision making: time to deliver ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (1): 21–28. <https://doi.org/10.1890/080025>.
- . 2009b. « Ecosystem services in decision making: time to deliver ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 7 (1): 21–28.
- Daily, Gretchen C., Tore Söderqvist, Sara Aniyar, Kenneth Arrow, Partha Dasgupta, Paul R. Ehrlich, Carl Folke, AnnMari Jansson, Bengt-Owe Jansson, et Nils Kautsky. 2000. « The value of nature and the nature of value ». *Science* 289 (5478): 395–396.
- Davis, Jessica D., Stephen D. Hendrix, Diane M. Debinski, et Chiara J. Hemsley. 2008. « Butterfly, bee and forb community composition and cross-taxon incongruence in tallgrass prairie fragments ». *Journal of Insect Conservation* 12 (1): 69–79.

- DeBusk, T. A., et K. R. Reddy. 1987. « Wastewater treatment using floating aquatic macrophytes: contaminant removal processes and management strategies ».
- Díaz, Sandra, Josef Settele, Eduardo Brondízio, Hien T Ngo, Maximilien Guèze, John Agard, Almut Arneith, et al. 2019. « Résumé à l'intention des décideurs du rapport sur l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques », 53.
- Dupras, et Mahbubul Alam. 2015. « Economic Value of Greater Montreal's Non-market Ecosystem Services in a Land Use Management and Planning Perspective, La Valeur Économique Des Services Écosystémiques Non Marchands de La Grande Région de Montréal Dans Une Perspective de Gestion et de Planification de l'occupation Du Territoire ». *Canadian Geographer / Le Géographe Canadien* 59 (1): 93–106. <https://doi.org/10.1111/cag.12138>.
- Dupras, Jérôme, Mahbubul Alam, et Jean-Pierre Revéret. 2015. « Economic Value of Greater Montreal's Non-market Ecosystem Services in a Land Use Management and Planning Perspective, La Valeur Économique Des Services Écosystémiques Non Marchands de La Grande Région de Montréal Dans Une Perspective de Gestion et de Planification de l'occupation Du Territoire ». *Canadian Geographer / Le Géographe Canadien* 59 (1): 93–106. <https://doi.org/10.1111/cag.12138>.

- Dupras, Jérôme, Jérémy Laurent-Lucchetti, Jean-Pierre Revéret, et Laurent DaSilva. 2017. « Using contingent valuation and choice experiment to value the impacts of agri-environmental practices on landscapes aesthetics ». *Landscape research* 43 (5): 679–695.
- Dupras, Jérôme, Chloé L’Ecuyer-Sauvageau, Jeffrey Auclair, Jie He, et Thomas Poder. 2016. « CAPITAL NATUREL LA VALEUR ÉCONOMIQUE DE LA TRAME VERTE DE LA COMMISSION DE LA CAPITALE NATIONALE », 51.
- Dupras, Jérôme, Joan Marull, Lluís Parcerisas, Francesc Coll, Andrew Gonzalez, Marc Girard, et Enric Tello. 2016. « The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region ». *Environmental Science & Policy* 58: 61–73.
- Dupras, Jérôme, et Jean-Pierre Revéret. 2015. *Nature et économie : un regard sur les écosystèmes du Québec*. PUQ.
- FADQ. 2015a. « Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées ». 2015. <https://www.fadq.qc.ca/documents/donnees/base-de-donnees-des-parcelles-et-productions-agricoles-declarees/>.
- . 2015b. « Rendements de référence 2015 ». *Rendement de référence 2015 en assurance récoltes.*, 42.
- . 2017. « rendements-references-2017.pdf ». <https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/statistiques/assurance-recolte/rendements-references-2017.pdf>.

- Fick, Stephen E., et Robert J. Hijmans. 2017. « WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas ». *International journal of climatology* 37 (12): 4302–4315.
- Fisher, Brendan, R. Kerry Turner, et Paul Morling. 2009. « Defining and classifying ecosystem services for decision making ». *Ecological economics* 68 (3): 643–653.
- Fox, Glenn, et Ed J. Dickson. 1990. « The economics of erosion and sediment control in southwestern Ontario ». *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie* 38 (1): 23–44.
- FPAQ. 2018. « Prix sirop érable ». <https://fpaq.ca/producteurs/informations-pratiques/prix/>.
- Fu, Bo-Jie, Chang-Hong Su, Yong-Ping Wei, Ian R. Willett, Yi-He Lü, et Guo-Hua Liu. 2011. « Double Counting in Ecosystem Services Valuation: Causes and Countermeasures ». *Ecological Research* 26 (1): 1-14.  
<https://doi.org/10.1007/s11284-010-0766-3>.
- Gouvernement du Québec. 2017. « inondations du printemps 2017 ». [https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite\\_civile/inondation/retrospective\\_bilan\\_inondations2017.pdf](https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/inondation/retrospective_bilan_inondations2017.pdf).
- Greenleaf, Sarah S., Neal M. Williams, Rachael Winfree, et Claire Kremen. 2007. « Bee foraging ranges and their relationship to body size ». *Oecologia* 153 (3): 589–596.
- Groot, Rudolf S de, Matthew A Wilson, et Roelof M. J Boumans. 2002. « A typology for the classification, description and valuation of ecosystem

- functions, goods and services ». *Ecological Economics* 41 (3): 393-408.  
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7).
- Guo, Lanbin B., et R. M. Gifford. 2002. « Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis ». *Global change biology* 8 (4): 345–360.
- Haines-Young, Roy, et Marion Potschin. 2010. « Methodologies for defining and assessing ecosystem services ».
- He, Jie, t Poder, J Dupras, et H. J. Enomana. 2017. « La valeur économique de la pêche blanche et des services écosystémiques au Lac Saint-Pierre: Analyse coûts-avantages des stratégies d'adaptation aux changements climatiques ». Université de Sherbrooke. <http://belsp.uqtr.ca/686/>.
- Hengl, Tomislav, Jorge Mendes de Jesus, Gerard BM Heuvelink, Maria Ruiperez Gonzalez, Milan Kilibarda, Aleksandar Blagotić, Wei Shangguan, Marvin N. Wright, Xiaoyuan Geng, et Bernhard Bauer-Marschallinger. 2017. « SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning ». *PLoS one* 12 (2): e0169748.
- Hines, Heather M., et Stephen D. Hendrix. 2005. « Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) diversity and abundance in tallgrass prairie patches: effects of local and landscape floral resources ». *Environmental Entomology* 34 (6): 1477–1484.
- Hirabayashi, Satoshi. 2014. « i-Tree Canopy Air Pollutant Removal and Monetary Value Model Descriptions ». *The Davey Institute, Syracuse, NY*.
- ISQ. 2014a. « Perspectives démographiques des MRC du Québec, 2011-2036 », 15.

- . 2014b. *Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2011-2061*. <http://www.deslibris.ca/ID/244684>.
- . 2017. « Produit intérieur brut régional par industrie au Québec. Édition 2017 (révisée) », 197.
- . 2019. « Emplois, chômage et population active selon les régions, Québec, 3<sup>e</sup> trimestre 2018 au 3<sup>e</sup> trimestre 2019 ». 2019.  
[http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/travail-remuneration/population-active-chomage/ra-rmr/rmr\\_nombre\\_trim.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/travail-remuneration/population-active-chomage/ra-rmr/rmr_nombre_trim.htm).
- ISRIC. 2019. « ISRIC-World Soil Information ». 2019. <https://www.isric.org/>.
- IWMI. 2020. « Mapping Ecosystem Services to Human Well-Being (MESH) ». Water, Land and Ecosystems. 2020.  
<https://wle.cgiar.org/solutions/mapping-ecosystem-services-human-well-being-mesh>.
- Jessiman, Barry, Marika Egyed, Rouleau Mathieu, Donohue Michael, Phil Blagden, et Serge Lamy. 2018. « Les impacts sanitaires de la pollution de l'air au Canada : une estimation des décès prématurés ». INSPQ. 2018.  
<https://www.inspq.qc.ca/bise/les-impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-au-canada-une-estimation-des-deces-prematures>.
- Klein, Alexandra-Maria, Bernard E. Vaissiere, James H. Cane, Ingolf Steffan-Dewenter, Saul A. Cunningham, Claire Kremen, et Teja Tscharntke. 2007. « Importance of pollinators in changing landscapes for world crops ». *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 274 (1608): 303–313.

- Lachance, Stephanie, Maryse Dubé, Renaud Dostie, et Pierre Bérubé. 2008. « Temporal and spatial quantification of fine-sediment accumulation downstream of culverts in brook trout habitat ». *Transactions of the American Fisheries Society* 137 (6): 1826–1838.
- Lajeunesse, J., et R. Pilote. 2016. « Productivité de la gourgane au Saguenay-Lac-Saint-Jean ». [https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/SaguenayLacStJean/PresentationJulieLajeunesse\\_gourgane.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/SaguenayLacStJean/PresentationJulieLajeunesse_gourgane.pdf).
- Lambert, M. C., C. H. Ung, et Frédéric Raulier. 2005. « Canadian national tree aboveground biomass equations ». *Canadian Journal of Forest Research* 35 (8): 1996–2018.
- Laurans, Yann, Aleksandar Rankovic, Raphaël Billé, Romain Pirard, et Laurent Mermet. 2013. « Use of Ecosystem Services Economic Valuation for Decision Making: Questioning a Literature Blindspot ». *Journal of Environmental Management* 119 (avril): 208-19. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.008>.
- Lavallée, Sophie, et Jérôme Dupras. 2016. « Regards sur les systèmes de paiements pour services écosystémiques en milieu agricole au Québec ». *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie* 7 (1).
- Lead, Coordinating, Rudolf de Groot, Brendan Fisher, Mike Christie, James Aronson, Leon Braat, John Gowdy, Roy Haines-Young, Edward Maltby,

- et Aude Neuville. 2010. « Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation ».
- Lemay stratégie. 2016. « Retombées économiques et importance touristique de l'agrotourisme et du tourisme gourmand Agri-Réseau | Documents ».  
[https://www.agrireseau.net/documents/93665/retombees-economiques-et-importance-touristique-de-l\\_agrotourisme-et-du-tourisme-gourmand?statut=1](https://www.agrireseau.net/documents/93665/retombees-economiques-et-importance-touristique-de-l_agrotourisme-et-du-tourisme-gourmand?statut=1).
- MAAARO. 2017. « Maïs sucré: Superficie récoltée, Production commercialisée, Valeur à la ferme, Prix moyen et Rendement, Ontario ». 2017.  
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/stats/hort/sweetcorn.htm>.
- MAMOT, DSTSU. 2017. « Communauté Métropolitaine de Québec » 145: 2.
- MAPAQ. 2017a. « Fiche d'enregistrement des exploitations agricoles ».
- . 2017b. « informations relatives au portrait agroalimentaire du Québec ».  
[https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/MinisterePortail/Acces\\_information/Demandes\\_acces/2017/Septembre2017/2017-08-17-011\\_document.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/MinisterePortail/Acces_information/Demandes_acces/2017/Septembre2017/2017-08-17-011_document.pdf).
- MDDELCC. 2019. « Water Management in Québec Public Consultation Document ». 2019.  
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/consultation-en/themes3.htm>.
- MEA. 2005. « Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment », 22.
- MELCC. 2016. « ARCHIVÉE - Environnement et Changement climatique Canada - Mise à jour technique des estimations du coût social du carbone

- réalisées par Environnement Canada ». 7 mars 2016.  
<http://ec.gc.ca/cc/default.asp?lang=Fr&n=BE705779-1>.
- . 2019. « Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques ». 2019. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/>.
- MERN. 2015. « Résultats d'inventaire et carte écoforestière originale - Données Québec ». 2015.  
<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/resultats-d-inventaire-et-carte-ecoforestiere>.
- MFFP. 2015. « Publications liées à l'inventaire forestier ». Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. 2015. <https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/inventaire-ecoforestier/publications/>.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press.
- MRNC. 2016. « Canadien digital Elevation model ». Gouvernement du Canada.
- Nazarnia, Naghmeh, Christian Schwick, et Jochen AG Jaeger. 2016.  
« Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011 ». *Ecological indicators* 60: 1229–1251.
- Normandin, Étienne, Nicolas J. Vereecken, Christopher M. Buddle, et Valérie Fournier. 2017. « Taxonomic and functional trait diversity of wild bees in different urban settings ». *PeerJ* 5: e3051.

- Nowak, David J., Daniel E. Crane, et Jack C. Stevens. 2006. « Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States ». *Urban forestry & urban greening* 4 (3-4): 115–123.
- Ouranos. 2018. « Publications ». <https://www.ouranos.ca/en/publications/>.
- Panagos, Panos, Pasquale Borrelli, Katrin Meusburger, Bofu Yu, Andreas Klik, Kyoung Jae Lim, Jae E. Yang, Jinren Ni, Chiyuan Miao, et Nabansu Chattopadhyay. 2017. « Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records ». *Scientific reports* 7 (1): 4175.
- Patoine, Michel, Serge Hébert, Marc Simoneau, et François d’Auteuil-Potvin. 2017. *Charges de phosphore, d’azote et de matières en suspension à l’embouchure des rivières du Québec, 2009 à 2012*. Direction générale du suivi de l’état de l’environnement du Ministère du ....
- Pedo-Paysage Canada. 2010. « Soil landscapes of Canada version 3.2 ». *Agriculture and Agri-Food Canada. (digital map and database at 1: 1 million scale)*.
- Pelletier, Hubert, Louise Gratton, Patrice Laliberté, et Patrick Desautels. 2015. « Milieux naturels d’intérêt pour la biodiversité sur le territoire de la CMQ ».
- Poder, Thomas G., Jérôme Dupras, Franck Fetue Ndefo, et Jie He. 2016. « The Economic Value of the Greater Montreal Blue Network (Quebec, Canada): A Contingent Choice Study Using Real Projects to Estimate Non-Market Aquatic Ecosystem Services Benefits ». Édité par Judi Hewitt. *PLOS ONE* 11 (8): e0158901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158901>.

- Richardson, Curtis J. 1985. « Mechanisms controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetlands ». *Science* 228 (4706): 1424–1427.
- RNCANADA. 2019. « Publications changements climatiques ». 2019.  
<https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/publications/publications-changements-climatiques/10753>.
- Ruesch, A. S., et H. Gibbs. 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. Available online from the Carbon Dioxide Information Analysis Center, URL: <http://cdiac.ornl.gov>*.
- Samson, R. 2007. « Switchgrass production in Ontario: A management guide ». *Resource efficient agricultural production (REAP)-Canada*.
- Sandström, Ulf G. 2002. « Green infrastructure planning in urban Sweden ». *Planning Practice and Research* 17 (4): 373–385.
- Schulp, Catharina J. E., Benjamin Burkhard, Joachim Maes, Jasper Van Vliet, et Peter H. Verburg. 2014. « Uncertainties in Ecosystem Service Maps: A Comparison on the European Scale ». *PLoS ONE* 9 (10).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109643>.
- SÉPAQ. 2017. « Statistiques de fréquentation par établissement ». 2017.  
<https://www.sepaq.com/dotAsset/0fffeabc-7779-4735-b578-b15a53cff196.pdf>.
- . 2018. « Sépaq - Le plus grand réseau de plein air au Québec ». 2018.  
<http://www.sepaq.com>.

- Sharp, Richard, H. T. Tallis, T. Ricketts, A. D. Guerry, S. A. Wood, R. Chaplin-Kramer, E. Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, et N. Olwero. 2018. *InVEST+ VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project*. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and ....
- SPFRQ. 2017. « Rapport d'activité 2017 ». Syndicat des propriétaires forestiers de la région du Québec. <https://www.foretrivee.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 ». 2001. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/ca-ra2001/index-eng.htm>.
- . 2012. « Profil du recensement de 2011 ». 2012. <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/prof/search-recherche/lst/page.cfm?Lang=F&TABID=1&G=1&Geo1=PR&Code1=01&Geo2=PR&Code2=01&GEOCODE=24>.
- . 2016. « Recensement de l'agriculture de 2016 ». 2016. <https://www.statcan.gc.ca/fra/ra2016>.
- . 2017. « Profil du recensement, Recensement de 2016 - Québec [Région métropolitaine de recensement], Québec et Québec [Province] ». 2017. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CMACA&Code1=421&Geo2=PR&Code2=24&Data=Count&SearchText=Quebe&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&TABID=1>.

- . 2019. « Labour Force Characteristics by Province, Monthly, Seasonally Adjusted ». 2019.  
<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1410028703>.
- Statistique Canada, Statistique Canada. 2006. « Recettes monétaires agricoles, par province (trimestriel) (Québec) ». 2011 2006.  
<https://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/102/cst01/agri04f-fra.htm>.
- Tallis, H. T., T. Ricketts, A. D. Guerry, S. A. Wood, R. Sharp, E. Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, N. Olwero, et K. Vigerstol. 2013. « InVEST 2.5. 3 User's Guide. The natural capital project ». *Stanford*, Available at [http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/current\\_release/](http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/current_release/), last accessed February 22: 2015.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781849775489>.
- Tong, Susanna TY, et Wenli Chen. 2002. « Modeling the relationship between land use and surface water quality ». *Journal of environmental management* 66 (4): 377–393.
- Tzoulas, Konstantinos, Kalevi Korpela, Stephen Venn, Vesa Yli-Pelkonen, Aleksandra Kaźmierczak, Jari Niemela, et Philip James. 2007.  
« Promoting Ecosystem and Human Health in Urban Areas Using Green

- Infrastructure: A Literature Review ». *Landscape and Urban Planning* 81 (3): 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>.
- UNFAO. 1998. « Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements », <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>.
- UPA. 2017. « Les terres agricoles dans l'agglomération de Québec ». [https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/amenagement\\_urbain/sad/docs/memoires/070\\_UPA%20Qu%C3%A9bec%20-%20Jacques-Cartier.pdf](https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/amenagement_urbain/sad/docs/memoires/070_UPA%20Qu%C3%A9bec%20-%20Jacques-Cartier.pdf).
- Veres, Andrea, Sandrine Petit, Cyrille Conord, et Claire Lavigne. 2013. « Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166: 110–117.
- Villamagna, Amy M., Paul L. Angermeier, et Elena M. Bennett. 2013. « Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery ». *Ecological Complexity* 15: 114–121.
- Warziniack, Travis, Chi Ho Sham, Robert Morgan, et Yasha Feferholtz. 2016. « Effects of forest cover on drinking water treatment costs ». *American Water Works Association*. 51 p.
- Watson, Robert T, A H Zakri, Salvatore Arico, Peter Bridgewater, Adel El-Beltagy, Max Finlayson, Colin Galbraith, et al. 2005. « Vivre au-dessus de nos moyens : Actifs naturels et bien-être humain ».

- Wilson, Sara J. 2010. *Natural capital in BC's lower mainland: Valuing the benefits from nature*. David Suzuki Foundation.
- Wood, Sylvia, Jérôme Dupras, Caroline Bergevin, et Charlène Kermagoret. 2019. « Valeur-économique-écosystèmes\_UQO\_Rapport-final.pdf ». 2019. [https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/2019-09\\_Valeur-%C3%A9conomique-ecosyst%C3%A8mes\\_UQO\\_Rapport-final.pdf](https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/2019-09_Valeur-%C3%A9conomique-ecosyst%C3%A8mes_UQO_Rapport-final.pdf).
- Zanne, Amy E., G. Lopez-Gonzalez, David A. Coomes, Jugo Ilic, Steven Jansen, Simon L. Lewis, Regis B. Miller, Nathan G. Swenson, Michael C. Wiemann, et Jerome Chave. 2009. « Global wood density database ».
- Zomer, Robert J., Deborah A. Bossio, Antonio Trabucco, Li Yuanjie, Diwan C. Gupta, et Virendra P. Singh. 2007. *Trees and water: smallholder agroforestry on irrigated lands in Northern India*. Vol. 122. IWMI.
- Zomer, Robert J., Antonio Trabucco, Deborah A. Bossio, et Louis V. Verchot. 2008. « Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation ». *Agriculture, ecosystems & environment* 126 (1-2): 67–80.