

Évaluation et évolution des services écosystémiques dans la région de Québec

Sylvia Wood^{1,2}, Jérôme Dupras^{1,2}, Ann Lévesque^{1,2}, Charlène Kermagoret^{1,2}, Caroline Bergevin^{1,2}, Nancy Gélinas³, Sylvain Delagrange^{1,2}

¹ Institut des sciences de la forêt tempérée (ISFORT), Ripon, Québec

² Université du Québec en Outaouais (UQO), Gatineau, Québec

³ Université Laval, Québec, Québec

Février 2021



Les résultats et opinions |
Ouranos ni ses membres



Bâtit. Dans un même esprit.



ation sont entière



ité des auteurs et n'engagent pas

Table des matières

1. Introduction	2
2. Contexte / objectifs	3
3. Cadre théorique / compte-rendu de la revue de la littérature	3
4. Méthodologie / données	8
5. Résultats	9
6. Analyse et discussion	20
7. Conclusion et recommandations	21
8. Références	23

1. Introduction

Face aux changements globaux (soit les changements climatiques, l'effondrement de la biodiversité, la pollution systémique et les autres facteurs de pression environnementale), nos milieux naturels et les services écosystémiques (SE) qu'ils produisent sont fortement menacés. Le risque de les voir disparaître est de plus en plus inquiétant (IPBES, 2019). Afin de maintenir, voire augmenter, les services rendus par les écosystèmes au bénéfice des 83% de Canadiens vivant en milieux urbains (Statistique Canada, 2016), une planification du territoire intégrant à la fois les infrastructures naturelles au même titre que les infrastructures grises est nécessaire pour améliorer leur résilience face au futur changeant et incertain.

La conservation et la restauration des espaces naturels dans les régions urbaines et périurbaines du Québec représentent des enjeux importants. Les arbitrages notables entre les diverses utilisations du territoire (p. ex. conservation, agriculture, développement résidentiel et industriel, développement des infrastructures routières et activités récréatives) créent des pressions importantes sur la biodiversité, les écosystèmes naturels et les agrosystèmes. Celles-ci deviennent encore plus importantes dans une perspective d'étalement urbain, car l'expansion du périmètre urbain transforme les écosystèmes naturels et agraires en zones développées. Une étude récente de Nazarnia et al. (2016), au Québec, montre que l'accélération du phénomène d'étalement urbain est aujourd'hui neuf fois supérieure à ce qu'il était au début des années 1970. Il est prouvé que la perte accélérée de milieux naturels et agricoles dus à l'étalement urbain comporte de forts impacts sur la biodiversité, la santé publique et la qualité de vie des citoyens (Dupras et al., 2016). Dupras et Alam (2015) ont notamment calculé qu'il en coûte 235 millions de \$ par année en termes de services publics pour pallier la perte de milieux naturels dans la région de Montréal.

Une des façons les plus prometteuses d'illustrer l'importance de la biodiversité et des écosystèmes pour les communautés est le concept de SE, soit l'ensemble des bénéfices que produit la nature et qui bénéficie aux êtres humains. Une des tendances de fond que l'on remarque ces dernières années est l'évaluation économique de ces SE. L'objectif de cette quantification monétaire de la nature est d'élargir les horizons économiques pour représenter la contribution de celle-ci au bien-être des collectivités (c.-à-d. l'internalisation des externalités environnementales dans les systèmes économiques). Ceci peut se faire dans un but de sensibilisation ou de création de nouveaux marchés, tels les marchés du carbone. Quelques publications phares ont aidé à populariser cette approche à l'échelle internationale (Costanza et al. 1997; Daily 1997; TEEB 2010).

Dans une optique d'aménagement durable du territoire, donner une valeur économique aux SE permet d'informer à la fois les décideurs, les gestionnaires du territoire, le grand public et les autres parties prenantes de l'importance de la nature pour la qualité de vie humaine. Dans un deuxième temps, l'évaluation économique des SE peut aider à soutenir le développement de nouveaux programmes et politiques publiques orientés selon les principes de développement durable.

2. Contexte / objectifs

Ce projet visait à mesurer et analyser économiquement les bénéfices fournis par le capital naturel retrouvé sur le territoire de la Ville de Québec et de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ); et à évaluer la production future des SE par les écosystèmes de la région selon différents scénarios réalistes d'utilisation des terres.

Le projet était constitué des trois activités de recherche suivantes :

- 1) l'évaluation économique des arbres en milieu urbain de la ville de Québec;
- 2) l'évaluation économique de la biodiversité et des écosystèmes de la CMQ;
- 3) l'évolution future de la production de services écosystémiques (SE) dans la CMQ à travers l'approche par scénarios.

Ainsi, la première activité visait à estimer les services produits par les arbres urbains de la Ville de Québec (p. ex. arbres de rue, arbres dans les parcs). La seconde activité s'est concentrée sur l'évaluation économique des principaux écosystèmes de la CMQ, soit les forêts et les boisés, les milieux humides, les friches, les terres agricoles et écosystèmes aquatiques. Il est important de souligner que les deux premières activités ont déjà fait l'objet de rapports scientifiques détaillés et distincts (Wood et al., 2018; Wood et al., 2019). Ceux-ci sont disponibles sur le site Internet d'Ouranos et sont régulièrement référencés dans ce présent rapport, car ils constituent la pierre d'assise à la troisième activité qui cherchait à estimer les arbitrages entre trois différents scénarios d'évolution de l'utilisation des terres de la CMQ en termes de production de SE. En effet, les résultats de la deuxième activité ont permis d'identifier et de quantifier l'ensemble des SE rendus par le capital naturel de la CMQ, et de comprendre leur importance en termes de services publics et de qualité de vie citoyenne selon différents scénarios d'usage futur des terres.

3. Cadre théorique / compte-rendu de la revue de la littérature

Au Québec, de nombreuses initiatives ont été entreprises pour quantifier le capital naturel sur leur territoire, que ce soit au niveau de l'évaluation économique du capital naturel de la Ceinture verte de Montréal (Dupras et al., 2015), de la Trame bleue du Grand Montréal (Poder et al., 2016), des activités récréotouristiques du lac Saint-Pierre (He et al., 2016), de l'ensemble des milieux humides du sud du Québec (He et al., 2016) ou de la pratique de l'agroforesterie (Alam et al., 2014). Au niveau des forêts urbaines et de la valeur des arbres de rue, plusieurs initiatives ont également été entreprises. Celle de la Banque TD (2014) qui a chiffré la valeur des arbres urbains de Vancouver, Toronto, Montréal et Halifax à 58 milliards de dollars est l'une des plus médiatisées.

L'évaluation économique des SE peut se faire de diverses façons. Les techniques utilisées peuvent se baser sur des marchés existants (c.-à-d. méthodes de prix de marché), des marchés indirects (c.-à-d. méthodes des coûts de transport et des prix hédoniques), des marchés simulés (c.-à-d. analyse contingente ou modélisation de choix) ou des approches délibératives (Dupras et Revéret 2015). Lorsque les ressources de temps et d'argent sont plus limitées pour conduire ce genre d'étude, les chercheurs peuvent recourir à des méthodes d'analyse de données secondaires, appelées méthodes de transfert de bénéfices (Rosenberger et Loomis 2001). Dans le cadre de ce projet, une combinaison de méthodes a été utilisée selon les valeurs disponibles et les besoins de chacune des trois activités de recherche.

La création de scénarios alternatifs de l'évolution future de l'utilisation des terres et leur impact sur la fourniture de SE peut aider à la prise de décisions qui portent sur l'étalement urbain, la gestion des terres agricoles, la gestion de l'eau et la perte de connectivité écologique (Raudsepp-Hearne et al., 2010; Dupras

et al., 2015). En effet, la compréhension de la contribution des milieux naturels et agricoles au bien-être des collectivités peut amener les décideurs ainsi que les autres parties prenantes à évaluer diverses stratégies d'aménagement du territoire qui intègre des indicateurs nouveaux issus de la littérature rattachée aux SE (Daily et al., 2009; Laurans et al., 2013).

Dans cette optique, la ville de Québec, la CMQ et la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent (TCRQ) travaillent depuis 2017 avec une équipe de chercheurs dirigée par Jérôme Dupras à quantifier la valeur économique des SE générés par la biodiversité et les écosystèmes présents sur son territoire. Les prochaines sous-sections présentent un compte-rendu des activités réalisées dans le cadre de ce partenariat qui font l'objet de ce présent rapport.

3.1. L'évaluation économique des arbres urbains de la ville de Québec

L'objectif de cette activité était de déterminer la valeur économique des SE fournis par la canopée des arbres municipaux la Ville de Québec, soit les arbres de rue et les arbres de parcs publics urbains. Pour réaliser cette analyse, le logiciel i-Tree Eco v6 (2018) développé par le *U.S.D.A. Forest Service* a été utilisé pour quantifier la valeur des arbres selon une série de paramètres biophysiques, climatiques et géographiques. Le logiciel i-Tree Eco estime les SE d'un arbre en fonction de l'espèce, de son emplacement et de la structure de son couvert forestier. Le modèle fournit notamment des valeurs fonctionnelles basées sur le flux de SE fournis par l'arbre et des valeurs structurelles basées sur la présence de l'arbre dans le paysage urbain. Les services fonctionnels sont produits à travers un fonctionnement écologique qui apporte un/des bénéfice(s) pour les êtres humains. Ces services incluent la séquestration de carbone, le contrôle des eaux de ruissellement, la réduction de la pollution aérienne, le refroidissement de l'air et l'économie d'énergie. Les services structurels sont produits à travers la présence et forme physique d'un écosystème ou élément naturel (ex. arbre). Ces biens et services incluent les services esthétiques, spirituels, patrimoniaux, sociaux, de stockage de carbone, etc. Dans l'ensemble, les grands arbres sains tendent à conférer les plus grandes valeurs structurelles et fonctionnelles.

Pour collecter les données manquantes à l'inventaire municipal du couvert forestier public de la ville de Québec (103 020 arbres sont référencés par la Ville) et d'améliorer la prévision du modèle, une campagne d'échantillonnage terrain (données récoltées sur 2 352 arbres) a été réalisée par l'équipe responsable de cette activité. Les échantillons ont été stratifiés en fonction des espèces et des diamètres de tronc afin de créer des relations allométriques spécifiques à chaque espèce, basées sur le diamètre hauteur de poitrine (DHP) pour les variables manquantes.

Cette étude nous a permis d'estimer que les arbres municipaux de la ville de Québec constituent environ 6,7% de la couverture forestière dans le périmètre urbain ou à peu près 5 km² des 75km² (Wood et al., 2018). Comme présenté au tableau 1, nos résultats montrent que les arbres des rues et parcs publics urbains de la Ville de Québec séquestrent 650,5 tonnes de carbone chaque année dans leurs troncs, leurs racines et leur canopée. Avec une surface de feuilles totalisant 23 km², la canopée des arbres publics produit chaque année 1 734 tonnes d'oxygène et élimine 16,1 tonnes de polluants atmosphériques nocifs, améliorant ainsi la qualité de l'air en ville. Les arbres réduisent également le ruissellement d'eaux pluviales d'environ 62 930 m³/an. L'ombrage des arbres publics contribue à la climatisation naturelle de l'environnement bâti en milieu urbain, réduit les coûts de chauffage et de climatisation de 343 391 \$ par an et évite l'émission de 547 tonnes de carbone dans l'atmosphère des sources d'énergies thermiques. Outre ces services annuels, les arbres urbains fournissent aussi des services structurels qui s'expriment sur une plus longue période. En effet, ils stockent 23 595 tonnes de carbone dans leur biomasse et ont une valeur esthétique qui s'élève à 216 M\$ total (Wood et al., 2018).

Tableau 1 – Les valeurs fonctionnelles et structurelles totales pour les services écosystémiques des arbres municipaux de la ville de Québec

SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE	VALEUR
Valeur fonctionnelle	
Séquestration de carbone	102 487 \$/an
Épargne d'énergie	343 931 \$/an
Émission de carbone évité	86 110 \$/an
Ruissellement évité	25 801 \$/an
Polluant aérien retiré	71 489 \$/an
Sous-Total	629 818 \$/an
Valeur structurelle (sur 32 ans)	
Stockage de carbone	116 167 \$/an
Valeur culturelle	6 759 600 \$/an
Sous-Total	6 875 767\$/an
TOTAL	7 505 585\$/an

Référence : Wood et al., 2018

Dans une perspective de gestion de la forêt urbaine, nous avons reporté ces deux valeurs sur la durée d'une vie moyenne de 32 ans pour un arbre urbain dans la Ville de Québec pour obtenir une valeur économique annuelle. Ainsi, chaque année, les arbres municipaux sur le territoire de la Ville de Québec fournissent des SE fonctionnels d'une valeur de 629 818 \$/an et de 6,9 M\$/an en services structurels pour une valeur totale de 7,5 M\$ par année en bénéfices écologiques (Wood et al., 2018).

3.2. L'évaluation économique de la biodiversité et des écosystèmes de la CMQ

L'objectif principal de cette activité était de déterminer les SE fournis par les écosystèmes et la biodiversité sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ et de déterminer quelles sont leurs valeurs économiques. Pour ce faire, une démarche combinant une analyse spatiale et une évaluation économique des SE (c.-à-d. méthodes de prix de marché, coûts de remplacement et de transfert de bénéfices) a été utilisée.

Dans le cadre de cette activité, nous avons identifié 15 SE à évaluer, couvrant notamment les services d'approvisionnement en eau, de production ligneuse et non ligneuse, de production agricole, et aussi les services de régulation (p. ex. du climat par le stockage du carbone, de prévention des inondations, de pollinisation, traitements des polluants, les cycles de nutriments) et de soutien tel que les habitats favorisant la biodiversité, et finalement les services culturels d'esthétisme des paysages et de

récréotourisme. La méthodologie employée combine les analyses spatiales et économiques afin de mesurer la contribution écologique et économique de ces 15 services. Deux points de vue économiques ont été mobilisés dans cette étude, celui du flux annuel, où l'on mesure les bénéfices apportés chaque année à la population pour 14 des 15 services, et celui du stock, où l'on considère une perspective de long terme des bénéfices des écosystèmes, soit le stockage de carbone.

L'analyse du flux de SE suggère que la valeur du capital naturel de la CMQ et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent (TCRQ) génère un total de plus de 1,1 milliard de dollars de bénéfices annuels (Tableau 2). Cette valeur est principalement expliquée par les services d'habitat pour la biodiversité, d'approvisionnement en eau, de prévention des inondations, de traitement des polluants et de production agricole. En ce qui concerne le stockage du carbone, une analyse de l'ensemble des écosystèmes montre que ceux-ci ont accumulé au cours des derniers siècles pas moins de 124 millions de tonnes (Mt) de carbone, ce qui correspond à des bénéfices économiques de l'ordre de 18,8 G\$ (Wood et al., 2019).

Tableau 2. Valeur totale des services écosystémiques (SE) fournis dans chaque écosystème étudié (M\$/an)

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

Référence : Wood et al., 2019

Les rencontres avec des professionnels de l'aménagement du territoire à l'échelle régionale ont permis de documenter le potentiel d'utilisation du concept de SE dans la planification territoriale. Selon les professionnels sollicités, les services les plus importants à considérer dans la planification territoriale sont l'approvisionnement en eau, les activités récréotouristiques, la qualité de l'eau et la production agricole. Les professionnels ont aussi souligné la valeur du concept de SE pour accomplir les objectifs suivants : 1) avoir une vision prospective et planifier ; 2) établir un diagnostic sur la qualité de l'environnement; et 3) sensibiliser et éduquer aux enjeux environnementaux. Les discussions avec les parties prenantes ont également permis d'identifier 25 programmes ou politiques existants qui pourraient servir d'outils pouvant être utilisés dès maintenant pour favoriser le maintien ou l'amélioration de l'environnement via le cadre des services des écosystèmes (Wood et al., 2019).

3.3. L'évolution future de la production de SE de la CMQ et de la TCRQ

L'objectif principal de cette troisième activité visait à créer des scénarios alternatifs d'usage futur des terres sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ afin de démontrer l'impact cumulatif (i.e., circa 2030) de diverses stratégies d'aménagement du territoire sur la fourniture des SE.

Les sous-objectifs étaient de :

- 1) Générer un scénario statu quo et des scénarios alternatifs de l'utilisation des terres en se basant sur les alternatives possibles identifiées et décrites par les experts ;
- 2) Modéliser l'évolution future des SE selon divers scénarios de développement;
- 3) Estimer les arbitrages de ces différents scénarios en ce qui concerne la production de SE.

Étant donné que les deux premières activités font déjà l'objet de rapports détaillés (Wood et al, 2018; Wood et al, 2019)¹, les prochaines sections se concentreront sur la méthodologie utilisée pour répondre à la troisième activité et sur les résultats obtenus de l'approche par scénarios. Un retour sur les deux premières activités se fera aux sections discussions et conclusions.

4. Méthodologie / données

4.1. Élaboration du scénario statu quo et des scénarios alternatifs

Pour déterminer les scénarios d'utilisation des terres possibles, l'approche de cartographie participative a été employée avec les parties prenantes en février 2018. Cet exercice avait pour but de réunir des professionnels de l'environnement et l'aménagement du territoire pour développer des scénarios plausibles de changement d'affectation des terres sur le territoire du CMQ et de la TCRQ. En revanche, il est important de mentionner que ces scénarios ont été développés pour démontrer les variations possibles de SE et que ceux-ci ne reflètent pas nécessairement la planification du territoire. Parmi les parties prenantes, on comptait des professionnels de la Ville de Québec et des quatre municipalités régionales de comté (MRC) de la CMQ et une représentante d'une MRC voisine, soit la MRC de Bellechasse, et une conseillère à l'aménagement du territoire de la CMQ.

En premier lieu, nous avons élaboré un scénario d'utilisation des terres basé sur le statu quo. Pour se faire, ce scénario a été élaboré en fonction des éléments projetés dans le Plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD) de la CMQ jusqu'en 2030. Cet exercice visait non seulement à explorer les

¹ Ces rapports sont disponibles sur le site web d'Ouranos:
<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportVilleQuebec2019.pdf>
<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportCMQ2019.pdf>

changements prévus dans l'utilisation des terres entre 2018 et 2030 sur le territoire en se basant sur le PMAD mais aussi sur les résultats possibles par la mise en place de politiques mettant l'accent soit sur la conservation ou l'étalement urbain.

Lors de cet atelier, les participants ont reçu trois grandes cartes imprimées de 60 x 90 cm de leurs territoires respectifs illustrant l'utilisation actuelle des terres et la couverture terrestre à partir des données de la base de données PACES d'occupation des sols. Chaque groupe était invité à discuter et à dessiner sur les cartes les changements d'utilisation des terres prévisibles selon trois scénarios de développement jusqu'en 2030: i) développement connu à la suite du PMAD, ii) actions de développement possibles en réponse à des politiques de conservation fortes, et iii) actions de développement plausibles à la suite de politiques d'étalement urbain accentuées.

Ainsi, deux scénarios alternatifs au *statu quo* ont été identifiés, soit un scénario d'étalement urbain intense qui dépasse les plans du PMAD et un scénario axé sur la conservation où le maintien et la restauration des écosystèmes sont au cœur des priorités. À titre d'exemple, la figure S1 (Annexe 1) représente les trois cartes utilisées pour les changements d'occupation possibles pour la MRC de L'Île-d'Orléans.

4.2. Création et validation des scénarios des SE en fonction des trois scénarios identifiés

À la suite de l'atelier, les cartes dessinées à la main par les parties prenantes ont été numérisées et géoréférencées dans ArcGIS. Celles-ci ont été vectorisées pour représenter chacun des scénarios. Pour chacun d'entre eux, la production de SE a été modélisée par l'entremise du logiciel MESH (Mapping Ecosystem Services to Human Wellbeing) développé par Natural Capital Project à l'Université de Stanford aux États-Unis. Ce logiciel permet d'élaborer des cartes permettant l'évaluation future des SE sur un territoire donné. Pour y arriver, nous avons repris les quatre SE modélisés avec les outils d'InVEST (Wood et al. 2019), soit la séquestration et le stockage du carbone, la pollinisation et la rétention des sédiments (c.-à-d. le contrôle de l'érosion). De plus, nous avons calculé la superficie des écosystèmes contributeurs à neuf autres SE évalués dans Wood et al. (2019) cités au tableau 2 de ce présent rapport. Nous n'avons pas estimé la production acéricole étant donné les grandes incertitudes dans les superficies propices à cette production dans les scénarios futurs. Il est important de souligner qu'aucune analyse économique de la valeur future de ces SE n'a été effectuée, car l'incertitude associée à cet exercice est trop grande compte tenu des changements globaux. Toutefois, l'estimation de la production de SE pour chacun des scénarios a permis d'exprimer les arbitrages entre ceux-ci.

Par la suite, un deuxième atelier de suivi a eu lieu avec les participants initiaux. Ces derniers ont reçu à nouveau les cartes imprimées de leurs territoires respectifs avec les changements d'utilisation des terres intégrés pour chacun des trois scénarios. Ce deuxième atelier avait pour but de valider auprès des intervenants les changements d'utilisation des terres et de proposer des modifications supplémentaires au besoin. Par la suite, les modifications recueillies lors de cet atelier ont été effectuées et transmises à chacune des MRCs/villes participantes pour la finalisation des scénarios. Un exemple des étapes utilisées pour transférer les scénarios d'utilisation des terres /de changement des terres indiquées par les parties prenantes en données géospatiales est disponible à l'Annexe 1.

5. Résultats

5.1. Description des scénarios identifiés

Afin d'estimer les changements relatifs à la fourniture de SE pour chaque scénario proposé par rapport au contexte actuel, nous avons utilisé la même classification d'utilisation des terres (figure 3 et tableau 3) utilisée dans l'évaluation des SE de la CMQ par Wood et al. (2019). L'ensemble de données sur l'occupation des sols utilisé pour la modélisation spatiale des SE comprenait 70 classes uniques dérivées de la couche

Land Use and Land Cover (LULC) originale par Bissonnette et Lavoie (2016). Celles-ci ont été par la suite regroupées en 16 classes d'utilisation des terres pour soutenir la visualisation des cartes et l'estimation de la valeur économique des SE non modélisés.

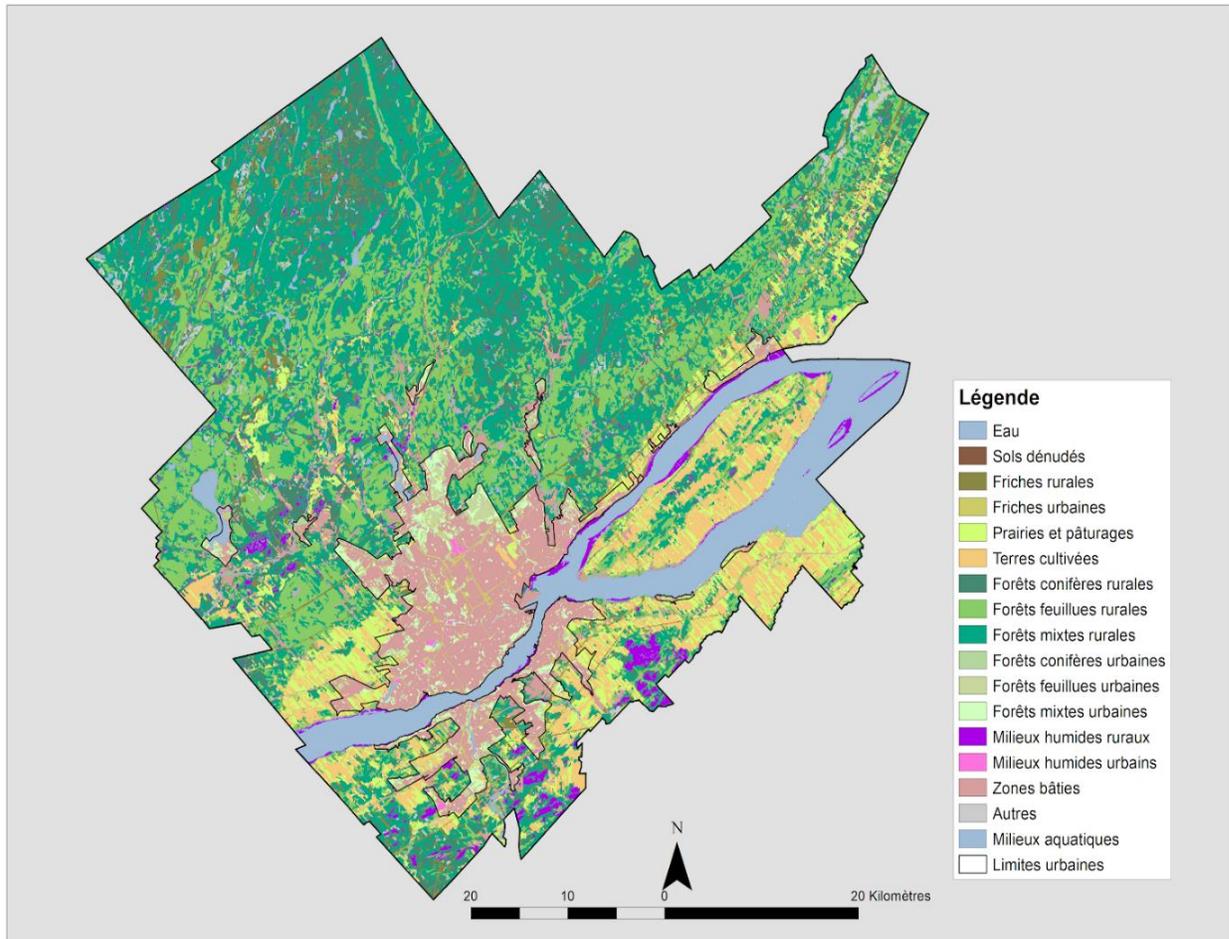


Figure 3. Répartition spatiale des écosystèmes sur le territoire d'étude selon les zones urbaines et rurales délimitées par le recensement de Statistique Canada en 2016 (source: Wood et al., 2019)

Tableau 3. Analyse de l'état actuel de la couverture des sols du territoire d'étude

Classes de couverture de sols	Superficie (ha)			
	Zone rurale	Zone urbaine	Total	%
Eau	34 314	1 381	35 695	9,4
Friches	12 491	1 883	14 374	3,8
Prairies et pâturages	20 805	1 223	22 028	5,8
Terres cultivées	27 463	1 490	28 953	7,6
Forêt de conifères	24 235	465	24 700	6,5
Forêt de feuillus	68 867	4 112	72 979	19,2
Forêt mixte	101 837	5 026	106 863	28,1
Milieus humides	30 879	2623	33502	8,8
<i>Milieus humides ouverts</i>	<i>7 939</i>	<i>611</i>	<i>8 550</i>	<i>2,2</i>
<i>Milieus humides fermés</i>	<i>22 940</i>	<i>2 012</i>	<i>24 952</i>	<i>6,6</i>
Zone bâtie	12 675	28 841	41 516	10,9
Total	333 565	47 044	380 609	100

Source: Wood et al. (2019)

5.2. Les changements d'utilisation des terres et l'approche par scénarios

5.2.1. *Scenario 1 : le PMAD (statu quo)*

Le premier scénario représente les changements d'usages des sols inspirés des objectifs du PMAD de la CMQ (PMAD, 2013). De manière générale, on y simule une extension et une densification de l'occupation des sols urbains dans le périmètre urbain désigné ainsi que des changements mineurs dans d'autres couvertures comme l'agrandissement d'un terrain de golf à Lévis. Les actions identifiées par les parties prenantes à travers l'exercice de cartographie participative sont indiquées en bleu sur la figure 4 ci-dessous. Les changements d'occupation des sols associés à ces actions sont indiqués en couleurs vives et détaillés par la légende. Dans certains cas, des classes de couverture terrestre supplémentaires ont été créées pour mieux représenter ces changements.

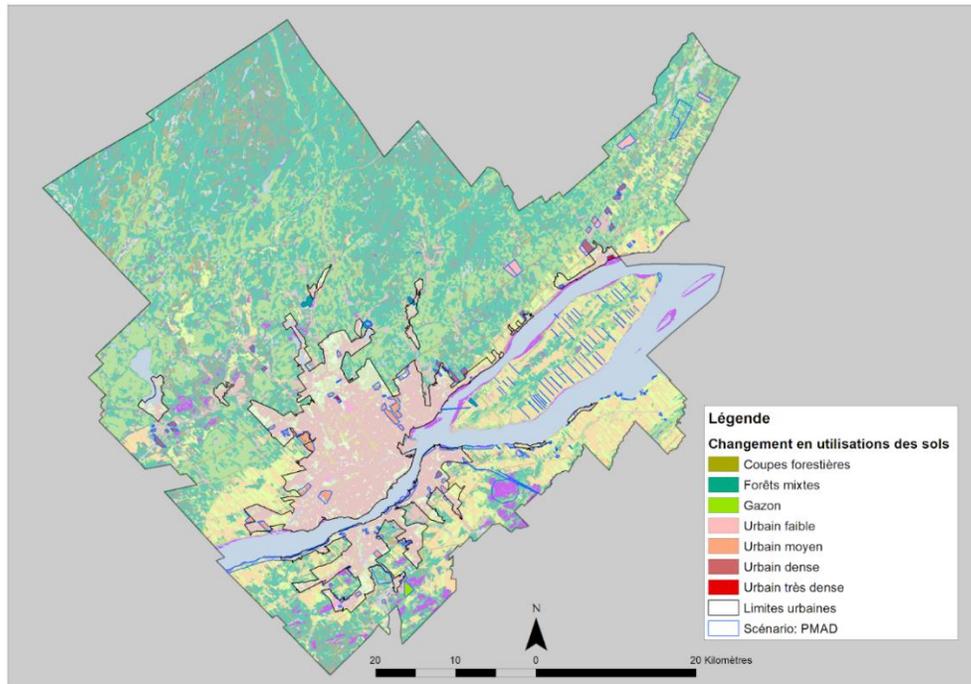


Figure 4. Répartition des nouvelles utilisations des sols selon le scénario PMAD dans la CMQ et TCRQ indiqué en bleu royal

Voici quelques changements hypothétiques d’usage des sols ayant été identifiés par les parties prenantes lors de l’atelier sur la cartographie participative:

- **MRC de La Jacques-Cartier:** Le bouclage de l’autoroute entre Sainte-Brigitte et Lac-Beauport sans développement accompagnant la nouvelle route, la reconversion des terrains de golf en milieu naturel, et la reconfiguration des certains périmètres urbains à Fossambault et Saint-Gabriel.
- **MRC de la Côte-de-Beaupré:** Le développement des plusieurs secteurs de villégiature dans l’est de la MRC et l’agrandissement du périmètre urbain dans les zones agricoles.
- **Ville de Québec:** Conversion de 60-70% de la superficie de plusieurs parcelles de terres agricoles, forêts ou en friche dans le périmètre urbain pour des nouveaux développements résidentiels ou industriels.
- **MRC de L’Île-d’Orléans:** La construction d’un nouveau pont sur l’ouest de l’île liant la rive nord à la Côte-de-Beaupré, la reconstruction du quai sur la rive nord de l’île et la construction d’une promenade riveraine sur la rive sud pour mettre en valeur l’accès au fleuve, et un sentier piétonnier à Félix Leclerc.
- **Lévis:** La densification et le développement de nouvelles zones urbaines dans plusieurs secteurs, agrandissement du terrain de golf La Tempête, le développement de la zone de récréation à Saint-Grégoire, de nouveaux développements résidentiels hors du périmètre urbain, et la conservation des zones de marais/intertidaux, la tourbière de la “Grand Plée Bleue” et le secteur des Crans.
- **MRC Bellechasse:** La conversion de milieux agricoles et/ou écosystème naturel pour un développement résidentiel à faible densité

5.2.2. Scénario 2 : l’étalement urbain intensif

Dans le scénario d’étalement urbain intensif, les parties prenantes de la CMQ ont identifié un certain nombre de changements hypothétiques d’utilisation des terres qui pourrait mener à l’expansion et à l’augmentation de la densité de la couverture des terres à vocations urbaines, comme indiqué dans le contour rouge de la figure 5 ci-dessous. En particulier, les parties prenantes ont identifié la construction d’un troisième pont (troisième lien) reliant les rives nord et sud via l’île d’Orléans comme un élément clé de ce scénario. La

construction du pont entraînerait une augmentation de la densité urbaine à proximité du pont ainsi qu'un vaste étalement urbain dans la MRC de Bellechasse en raison de l'amélioration de la connexion avec la ville de Québec. De plus, les MRC ont identifié des superficies supplémentaires de terres agricoles, de friches et d'espaces verts urbains qui seraient converties en couvertures foncières urbaines et/ou densifiées davantage.

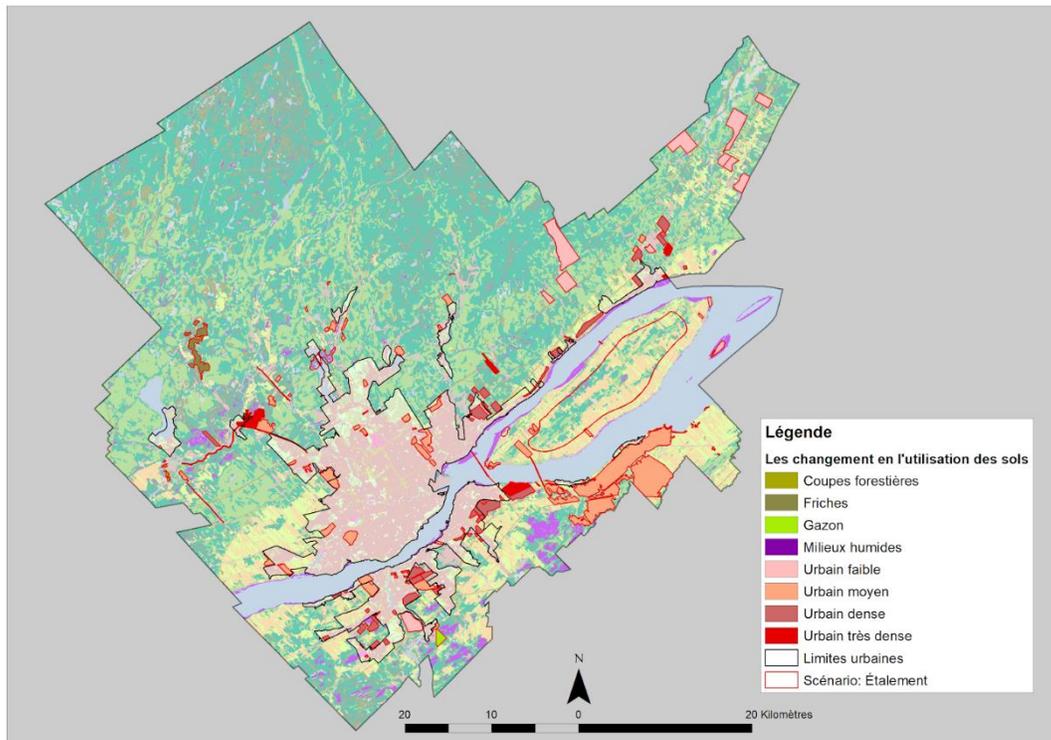


Figure 5. Répartition des nouvelles utilisations des sols selon un scénario “d’étalement urbain” dans la CMQ et TRCQ indiqué en rouge

Voici quelques actions d’étalement urbain ayant été identifié par les parties prenantes lors de l’atelier sur la cartographie participative :

- **MRC de La Jacques-Cartier:** Le développement de la villégiature autour du lac Saint Thomas; l’élargissement de la route 367 avec de l’aménagement commercial et résidentiel, le bouclage de l’autoroute entre Sainte-Brigitte et Lac-Beauport, l’utilisation plus intensive de la forêt sur la base militaire, le passage à la culture intensive de la pomme de terre dans le sud-ouest, et l’exploitation d’une sablière à Sainte-Catherine.
- **MRC de la Côte-de-Beaupré:** Le développement de la villégiature dans de nombreux endroits et la densification des zones urbaines, entraînant la perte de marécages le long du rivage.
- **Ville de Québec:** Le développement d’infrastructures urbaines à haute densité dans tous les espaces restants et dédiés à l’expansion urbaine.
- **MRC de L’Île-d’Orléans:** Le développement d’une nouvelle piste cyclable autour de l’île en plus d’un nouveau pont en construction la reliant à la rive sud. En outre, le développement de la villégiature à l’extrémité Est de l’île ainsi qu’un quai sur la rive nord pour favoriser les déplacements en traversiers, pouvant conduire à une expansion du périmètre urbain dans de nombreux endroits.
- **Lévis:** L’ouverture d’une nouvelle infrastructure routière et portuaire pour développer les activités industrielles liées au nouveau pont. La création d’un nouveau terrain de golf ainsi qu’un site de loisirs pour les véhicules de tout terrain.

- **MRC Bellechasse:** La conversion majeure de terres agricoles et d'écosystèmes naturels en développements urbains de densité moyenne en réponse à l'établissement d'un nouveau pont les reliant à l'île d'Orléans et à la rive nord.

5.2.3. Scénario 3 : La conservation au cœur des priorités

Dans le scénario axé sur la conservation, les intervenants ont identifié des actions visant l'amélioration et l'extension des aires de conservation existantes sur l'ensemble du territoire de la CMQ. Ceux-ci sont indiqués en vert dans la figure 6 ci-dessous. Les corridors écologiques précédemment identifiés (Wood et al. 2019) ont été maintenus et des zones supplémentaires ont été placées sous conservation par l'entremise de la cartographie participative.

Pour représenter les nouveaux changements dans les couches d'utilisation des terres, les emplacements actuellement développés (agriculture, développement urbain, terrains de golf...) qui sont à l'intérieur des zones de conservation nouvellement identifiées ont été remplacés par une couverture naturelle, principalement des forêts mixtes de feuillus et de conifères, sauf lors d'indication contraire de la part des parties prenantes. De plus, les zones désignées comme étant en friche dans ces zones de conservation ont également été ciblées comme des forêts mixtes de feuillus et de conifères en devenir, à mesure que la perturbation de ces terres diminue. Dans certains cas, comme pour la MRC de La Côte-de-Beaupré et la MRC de L'Île-d'Orléans, les acteurs du milieu ont indiqué la mise en valeur des terres agricoles. Comme cela ne correspondait pas à un changement d'affectation des terres, il n'a pas été possible de représenter précisément ces actions sur le paysage ni dans les modèles utilisés à cet effet.

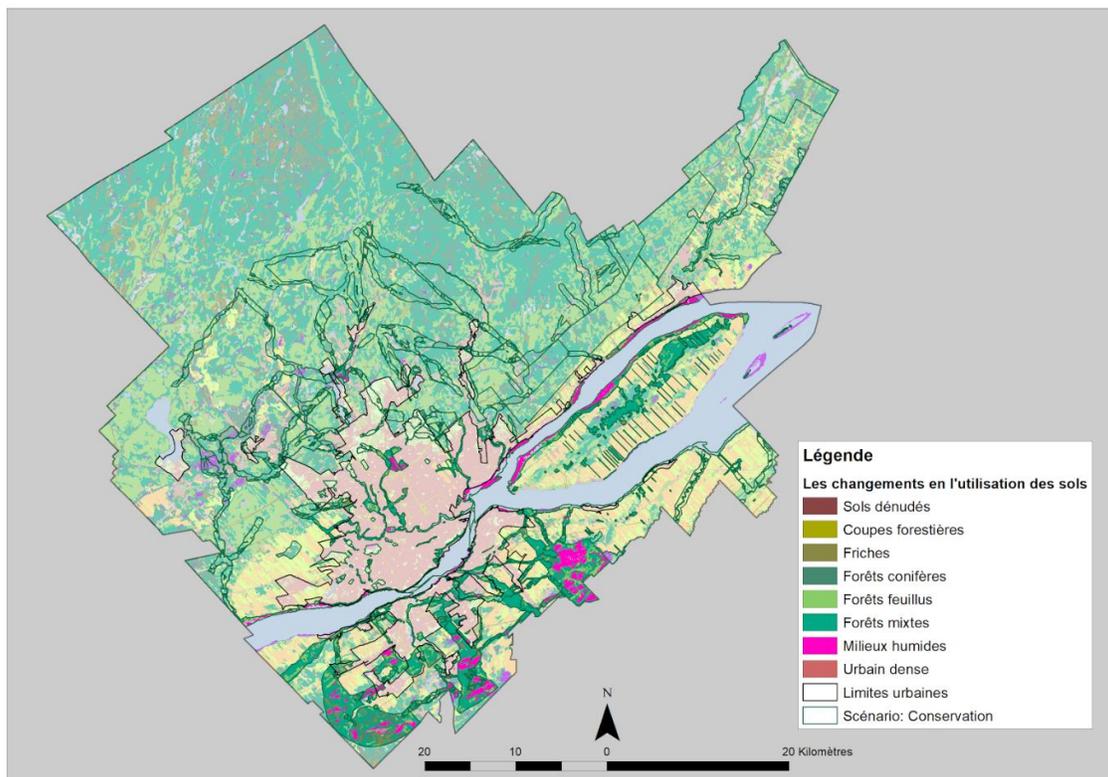


Figure 6. Répartition des nouvelles utilisations des sols selon un scénario de “conservation” dans la CMQ et TRCQ indiqué en vert

Voici quelques exemples d'actions de conservation sur les territoires de la CMQ et de la TCRQ ayant été identifiés lors de l'atelier avec les parties prenantes :

- **MRC de La Jacques-Cartier** : La protection du Marais du nord, la reconversion d'un terrain de golf et une zone de développement urbain à Stoneham en milieu naturel.
- **MRC de La Côte-de-Beaupré** : La consolidation et la mise en valeur des zones marécageuses le long du fleuve.
- **Ville de Québec** : La conservation des espaces verts et le retrait des zones urbaines et terres agricoles dans les corridors écologiques urbains.
- **MRC de L'Île-d'Orléans**: La formalisation et la consolidation d'un noyau de conservation au centre de l'île et le long de la rive nord, l'établissement des haies brise-vent dans les zones agricoles, la conversion d'un ancien terrain de golf en milieu naturel et la transformation de milieux urbains en milieux naturels.
- **Lévis**: La décanalisation et la restauration d'un cours d'eau urbain, l'élargissement des bandes riveraines sur les rivières en milieu urbain et le retrait des terres agricoles des zones en milieux humides.
- **MRC de Bellechasse**: L'implantation et le renforcement dans bandes riveraines le long de la rivière Etchemin, la protection du bord du fleuve comme élément intégral des corridors écologiques et la protection des milieux humides.

5.3. Changement de l'utilisation des terres

Chacun des scénarios évalués a donné lieu à des modèles uniques de changement d'utilisation des terres sur l'ensemble de la CMQ (tableau 4). Dans les scénarios inspirés du PMAD et de l'étalement urbain, il y a eu une augmentation globale de la superficie des terres consacrées au développement urbain, résultant de l'expansion urbaine planifiée et prévue au cours de la prochaine décennie. Dans ces scénarios, le développement urbain provient principalement de la conversion d'écosystèmes naturels et de terres à vocation agricole. Le développement était plus étendu dans le scénario d'étalement urbain dans lequel les parties prenantes étaient invitées à envisager un avenir où il y avait peu de limites politiques en place pour contraindre un tel développement. La perte d'écosystèmes naturels au profit du développement urbain est moins sévère dans le scénario PMAD, mais diffère de façon importante entre les MRC ayant la plus grande perte d'écosystèmes naturels, soit la MRC de Bellechasse et la ville de Québec, et la MRC de La Jacques-Cartier. En revanche, le scénario axé sur la conservation a vu une légère diminution de la superficie du territoire dédié aux infrastructures urbaines et aux activités agricoles. En revanche, ce scénario prévoit une augmentation de l'étendue des forêts rurales et urbaines, ainsi que des zones humides urbaines.

Tableau 4. Changement net de la couverture terrestre de l'utilisation des terres par rapport à l'état actuel pour chaque scénario en hectares

Écosystème	État actuel (ha)	PMAD (%)	Étalement (%)	Conservation (%)
Eau	35 664	37 018 (+3,8%)	35 428 (+0,7%)	35 664 (0%)
Sol dénudé	126	123 (-2,8%)	127 (+0,4%)	127 (+0,6%)
Friches rurales	19 475	19 297 (-0,9%)	19 176 (-1,5%)	18 700 (-4,0%)
Friches urbaines	2 381	2 249 (-5,5%)	2 203 (-7,5%)	2 304 (-3,2%)
Prairies et pâturages	22 023	21 645 (-1,7%)	18 811 (-14,6%)	20 099 (-8,7%)
Terres agricoles	29 033	28 476 (-1,7%)	25 164 (13,3%)	26 101 (-10,1%)
Forêts de conifères rurales	31 974	31 790 (-0,6%)	31 345 (-2,0%)	31 981 (0%)
Forêts de feuillus rurales	71 456	70 685 (-1,1%)	69 502 (-2,7%)	71 427 (0%)
Forêts mixtes rurales	111 398	111 247 (-0,1%)	109 077 (-2,1%)	117 524 (+5,5%)
Forêts de conifères urbaines	699	683 (-2,2%)	648 (-7,2%)	701 (+0,3%)
Forêts de feuillus urbaines	4 563	4 200 (-8,0%)	4 054 (-11,2%)	4 578 (+0,3%)
Forêts mixtes urbaines	5 928	5 765 (-2,8%)	5 421 (-8,6%)	7 060 (+19,1%)
Milieux humides ruraux	7 979	7 886 (-1,2%)	7 791 (-2,4%)	7 965 (-0,2%)
Milieux humides urbains	581	586 (+0,7%)	564 (-3,0)	595 (+2,3%)
Zone développée	42 960	44 981 (+7,2%)	55 931 (+33,3%)	40 482 (-3,5%)

5.4. Différences dans la fourniture de SE selon les 3 scénarios de changement d'utilisation des terres

L'estimation des arbitrages s'est faite en comparant les résultats de la modélisation entre les trois scénarios identifiés par les parties prenantes. L'utilisation de scénarios fortement contrastés avait pour but d'illustrer les différences, en termes de production de SE, entre les différents scénarios.

Étant donné les incertitudes liées à la densité de population, à l'inflation et à la demande d'un SE dans le temps, il nous est impossible de réaliser une évaluation économique de la fourniture de SE pour l'année 2030. En revanche, il est possible de voir l'évolution et la contribution à chaque service en fonction du changement d'utilisation des terres. Pour y arriver, nous avons calculé la superficie totale des écosystèmes naturels soutenant la fourniture de neuf SE dans chacun des trois scénarios comme une approximation de son niveau de fourniture. Un ensemble d'écosystèmes peut contribuer à la production d'un service, et leur importance relative pour un service dépend à la fois de leur niveau de fonction écologique (c'est-à-dire leur contribution à l'offre) et du fait qu'ils se trouvent dans des zones urbaines ou rurales (c'est-à-dire l'intensité de la demande locale). Pour simplifier, nous avons additionné la superficie totale (ha) de tous les types d'écosystèmes (forêts, zones humides, champs agricoles, friches et écosystèmes aquatiques) qui ont été jugés comme des contributeurs à un service particulier dans Wood et al. (2019) (Tableau 5).

Par rapport à la situation actuelle, deux scénarios (PMAD et Étalement urbain) génèrent une perte de superficie des écosystèmes soutenant la fourniture de la plupart des SE. Ceci est particulièrement le cas pour les services de soutien (contrôle biologique et habitat favorisant la biodiversité) et de régularisation (cycle des nutriments) qui ont respectivement perdu environ 9 000, 10 000 et 13 000 ha d'écosystèmes entre le scénario d'étalement urbain par rapport à la situation actuelle. En comparaison, le scénario de conservation a pu étendre la superficie des écosystèmes naturels sous-jacents à la plupart des SE clés, à l'exception de la production agricole.

Tableau 5. Superficie totale des écosystèmes d'approvisionnement des SE dans les trois scénarios (ha) et la situation actuelle

Service écosystémique	État actuel	PMAD	Étalement	Conservation
Approvisionnement en eau	234 579	232 843	228 403	241 831
Production agricole	29 033	28 476	25 164	26 101
Qualité de l'air	226 018	224 371	220 048	233 271
Contrôle biologique	269 897	267 562	260 237	274 374
Traitement des polluants	270 243	268 471	263 831	277 429
Cycle des nutriments	298 931	296 038	285 401	300 475
Prévention des Inondations	226 018	224 371	220 048	233 271
Habitat favorisant la biodiversité	314 122	311 663	304 021	318 532
Esthétisme du paysage	57 520	57 175	56 806	56 601

Cependant, lorsque nous examinons la perte de ces écosystèmes en pourcentage d'approvisionnement de chaque service, il existe des tendances différentes. En particulier pour le SE relié à la production agricole. En effet, la superficie des terres soutenant la production agricole a diminué d'environ 4000 ha dans le scénario de l'étalement urbain, par rapport à aujourd'hui. Ceci représente une baisse de 13% de la superficie disponible pour la production agricole (Figure 7). Cette diminution peut potentiellement avoir un impact majeur sur l'économie et le patrimoine rural dans certaines parties de la CMQ et de la TCRQ.

En revanche, le déclin relativement important de ~ 3000-13000 ha de la superficie des habitats soutenant la biodiversité représente seulement un déclin de 0,8 à 3,2% de la superficie totale contribuant à ce service dans les deux premiers scénarios (PMAD et Étalement urbain respectivement) en raison du grand nombre d'écosystèmes contribuant au soutien des habitats pour la biodiversité. Cependant, sur la base des valeurs monétaires utilisées pour quantifier les valeurs des SE dans Wood et al. (2019), les habitats favorisant la biodiversité étaient l'un des services les plus importants en termes de capital naturel (11 \$/ha à 2 753 \$/ha), ce qui suggère que même une petite réduction de la superficie de l'écosystème est susceptible d'avoir un impact économique important.

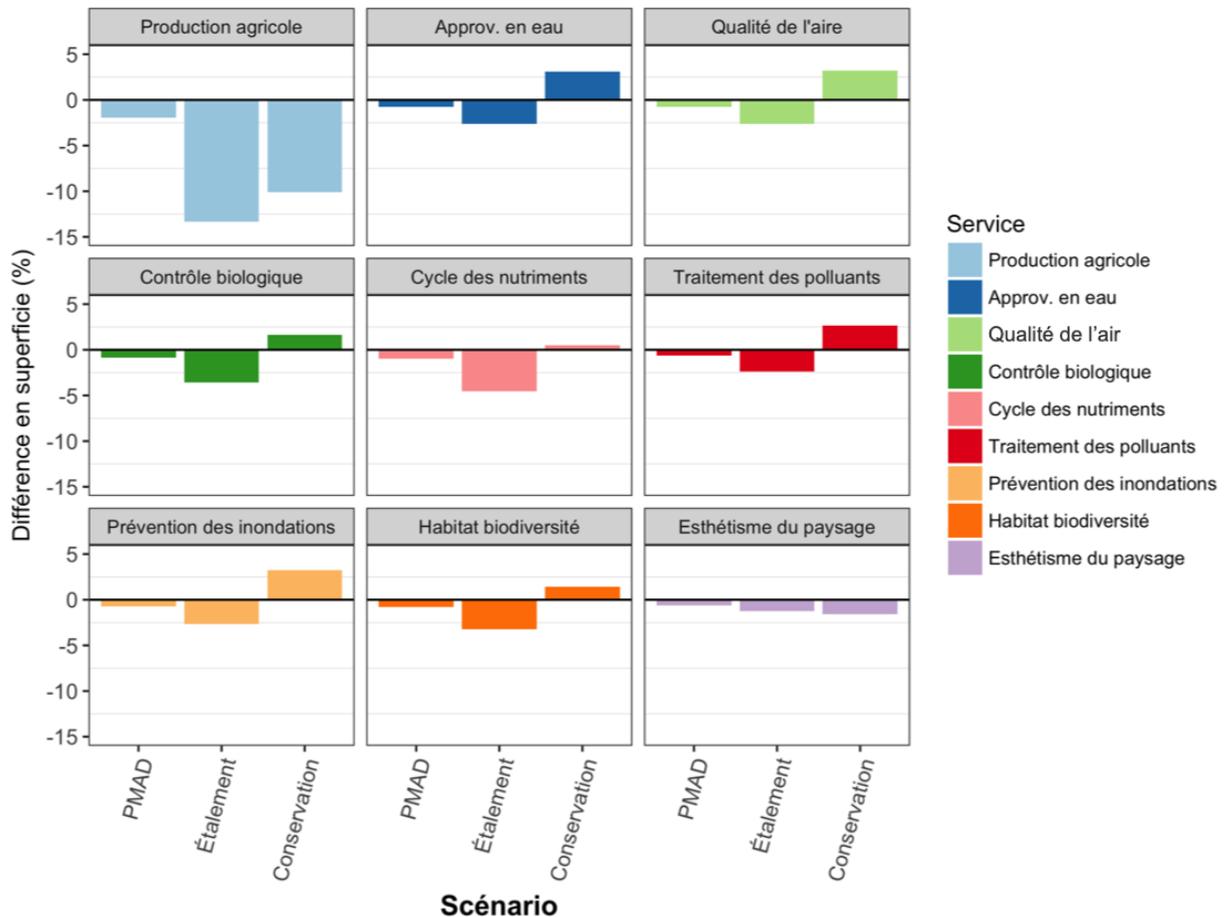


Figure 7. La différence (%) en superficie des écosystèmes contribuant à chaque SE entre les trois scénarios de développement et la situation actuelle dans la CMQ et la TCRQ.

5.5. La modélisation des services écosystémiques

À l'aide des cartes produites par les parties prenantes lors de l'atelier de février 2018, nous avons pu développer de nouvelles cartes d'occupation des sols pour la CMQ et la TCRQ comme indiqué dans la section 3.2. En utilisant ces nouvelles cartes avec les mêmes paramètres biophysiques que ceux appliqués dans Wood et al. (2019) nous avons été en mesure de modéliser les changements attendus dans les services de séquestration du carbone, de stockage du carbone, de rétention des sédiments et de pollinisation par les pollinisateurs sauvages sur l'ensemble du territoire à l'étude (Figure 8).

Dans l'ensemble, les efforts pour reconvertir les terres à vocation urbaine ou agricole en milieux forestiers ou autres milieux naturels ont un impact significatif à la fois sur la séquestration du carbone et les taux de rétention des sédiments dans le scénario de conservation. Une fois restaurés et matures, ces milieux naturels pourront contribuer de façon significative au stockage du carbone. En revanche, la perte d'écosystèmes importants au profit du développement urbain dans le scénario sur l'étalement urbain a eu des effets négatifs importants sur chacun des services modélisés, avec des pertes de stockage de carbone particulièrement importantes sur le territoire. Cela était particulièrement le cas lorsque les zones humides et les marais ont été convertis en milieu urbain, car les sols des milieux humides ont une capacité de stockage de carbone extrêmement élevée.

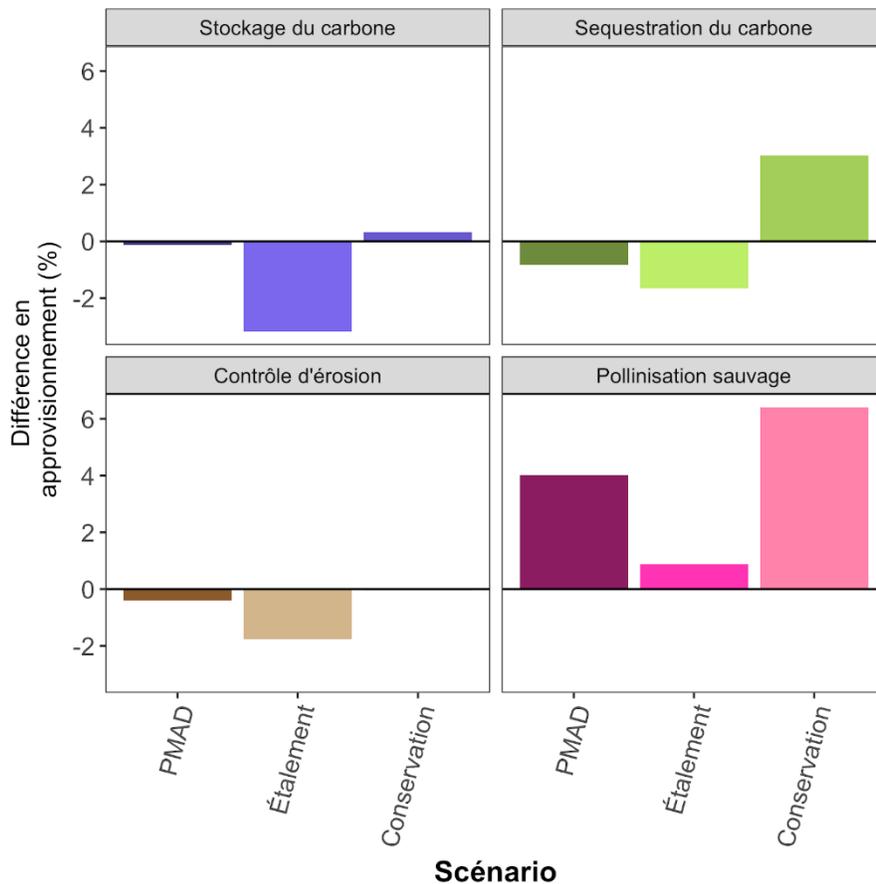


Figure 8. Les différences (%) dans l’approvisionnement d’une sélection des SE modélisés avec des logiciels biophysique d’InVEST : A) Stockage de carbone (tn), B) Séquestration de carbone (tn/an), C) Contrôle d’érosion (tn/an) et D) Contribution (%) de la pollinisation sauvage au rendement agricole potentiel/an.

6. Analyse et discussion

Après avoir pris connaissance des différences en pourcentage selon les changements de SE, nous avons pu constater une perte de stockage de carbone considérable pour le scénario sur l'étalement urbain par rapport à sa perte de séquestration de carbone de rétention des sols. Comme souligné ci-dessus, cela est causé principalement par la perte de zones humides qui sont d'importants puits de carbone, tandis que la perte de capacité de séquestration et de rétention des sédiments est plus fortement associée à la perte du couvert forestier.

Pour le scénario portant sur la conservation, le gain de séquestration du carbone généré par les activités de restauration ne correspond pas nécessairement à une plus grande maîtrise de l'érosion. Ceci est en partie dû à la topographie plane des terrains ciblés pour la restauration (dont la ville de Lévis et l'Île-d'Orléans), et à leur emplacement par rapport aux points de prélèvement d'eau potable. Ainsi, nous avons considéré seulement les services de rétention de sédiments qui se produisent en amont des points de prise d'eau, car cela contribue à la réduction des coûts de filtration de l'eau.

Les scénarios du PMAD et de celui axé sur la conservation ont augmenté la contribution de la pollinisation par les pollinisateurs sauvages sur les rendements agricoles (sur une base par hectare agricole). Cette hausse de rendement est principalement due à la mise en place de haies brise-vent de compositions mixtes dans les terres agricoles de l'Île-d'Orléans dans les deux scénarios. L'Île-d'Orléans est une région importante pour la culture des baies et de vergers qui dépendent fortement de la pollinisation. Les haies brise-vent sont des habitats d'importance pour plusieurs espèces de pollinisateurs, car ceux-ci hivernent et nichent dans les tiges et les débris ligneux. En revanche, il y avait très peu de changement dans le taux de pollinisation par les insectes pollinisateurs par hectare dans le cas du scénario axé sur l'étalement urbain. Cependant, dus à la forte perte de terres agricoles dans les scénarios de l'étalement urbain et aussi de conservation, les rendements agricoles totaux possibles sur le territoire de la CMQ liés à la pollinisation sauvage ont diminué de -12% et -4% respectivement en comparaison avec l'état actuel.

De façon générale, le scénario du PMAD, qui représente le futur probable et/ou planifié, apporterait une légère réduction en approvisionnement en SE sur le territoire de la CMQ et de la TCRQ. Ces pertes seraient surtout localisées dans les secteurs urbains où la perte des espaces verts, due à la densification résidentielle et à l'étalement urbain, réduirait le fonctionnement de ces écosystèmes urbains et de leurs services rendus. Il est probable que ces pertes aient un impact économique important, particulièrement dans les cas de la prévention des inondations et du maintien de la qualité de l'air, dans lesquels les écosystèmes urbains jouent un rôle important. En milieu urbain, ces SE sont d'autant plus importants compte tenu du nombre-personnes au mètre carré. Dans les milieux ruraux, les services rendus seront moins impactés étant donné le développement faible prévu dans ces secteurs.

En revanche, le scénario axé sur l'étalement urbain générera des impacts fortement négatifs sur l'approvisionnement de plusieurs SE. Ces pertes de SE seraient surtout liées à la conversion de terres agricoles en zone urbaine, spécialement sur la rive sud de Québec. Cette conversion réduit la capacité du paysage à soutenir la production agricole, la pollinisation par les pollinisateurs sauvages et le cycle des nutriments. Ce scénario aurait aussi comme conséquence une diminution du stockage du carbone provoquée par la conversion des milieux humides en zones dédiées au développement. Cette perte des écosystèmes naturels affecte non seulement la population locale, mais la population globale par l'émission des gaz à effet de serre qui contribue aux changements climatiques.

Dans le scénario orienté vers la conservation des milieux naturels, il a été possible de constater l'impact des actions locales de conservation sur l'approvisionnement des SE. La protection et la restauration des écosystèmes naturels, particulièrement en milieu urbain, peut avoir un impact majeur sur

l'approvisionnement des SE dans ces zones où la demande pour de tels services est très élevée. De plus, le reboisement de plusieurs secteurs sensibles, par exemple en zones riveraines, les haies brise-vent en milieu agricole ou la création d'un noyau de conservation sur l'île-d'Orléans, contribueraient à l'approvisionnement de plusieurs services de manière simultanée, incluant la séquestration du carbone, l'amélioration de la qualité de l'air, le contrôle biologique et de l'érosion ainsi que les habitats favorisant la biodiversité. En revanche, la réalisation de ce scénario demanderait une densification du périmètre urbain au lieu d'un étalement, ce qui pourrait avoir un impact négatif sur l'approvisionnement de quelques SE en ville comme le contrôle du ruissellement, l'amélioration de la qualité de l'air ou la réduction des îlots de chaleurs (Grêt-Regamey et al. 2020). Ceci impliquerait de repenser l'aménagement du territoire pour répondre à la fois à la population croissante prévue pour 2030 et au bien-être des collectivités présentes et futures en matière de SE rendus.

7. Conclusion et recommandations

La richesse des espaces terrestres se reflète dans la diversité, l'abondance et la valeur des avantages procurés par les écosystèmes naturels à la population. L'analyse des arbres de la Ville de Québec a démontré que les arbres municipaux, qui représentent seulement 6,7% de la canopée urbaine, fournissent des SE fonctionnels d'une valeur de 629 818 \$/an et de 6,9 M\$/an en services structurels. L'étude a aussi mis en lumière la forte dépendance de l'approvisionnement de ces services par une minorité d'espèces. Celles-ci sont surreprésentées sur le territoire, notamment l'érable de Norvège, l'érable argenté et les frênes. Cette situation rend la canopée de la ville de Québec vulnérable aux changements globaux, spécialement avec l'arrivée d'insectes ravageurs comme l'agrile du frêne. L'utilisation d'indicateurs basés sur la diversité fonctionnelle de la canopée urbaine est fortement recommandée pour assurer la résilience des SE face aux menaces des changements globaux. Étant donné qu'une grande partie des arbres urbains sont en terres privées, une meilleure connaissance de leur composition permettrait de marier les efforts des milieux municipaux à ceux de leurs résidents en matière d'adaptation aux changements climatiques.

Notre analyse du flux de SE et de leur valeur économique nous permet de constater que le capital naturel de la CMQ génère plus de 1,1 milliard de dollars de bénéfices annuels provenant de 14 des SE évalués. De plus les arbres, les terres humides et les sols de la CMQ permettent de stocker du carbone pour un total d'environ 19 milliards de dollars (Wood et al., 2019). Parmi les SE à l'étude, citons notamment les services d'approvisionnement en eau, de prévention des inondations, de pollinisation, d'esthétisme des paysages et de récréotourisme. Les SE identifiés prioritaires par les acteurs du milieu sont l'approvisionnement en eau, les activités récréotouristiques, le traitement des polluants dans l'eau et la production agricole.

Cette étude nous a également permis de constater qu'il y a un intérêt marqué des parties prenantes à utiliser le concept des SE pour améliorer la prise de décision relative à l'aménagement et la gestion du territoire. L'évaluation des scénarios de développement a permis d'explorer et d'approfondir la compréhension des parties prenantes de la CMQ et de la TCRQ sur l'impact de l'étalement urbain et des actions de conservation sur l'approvisionnement des SE. La préservation des écosystèmes naturels dans les espaces interstitiels des villes joue un rôle important dans l'approvisionnement de plusieurs SE. Ces espaces naturels deviendront encore plus importants dans un avenir où l'accroissement de la population et les changements globaux sont présents. Le scénario de conservation, qui focalise sur la densification des secteurs résidentiels et la reforestation de milieux transformés, a démontré qu'il est possible d'améliorer l'approvisionnement des services tout en permettant une hausse de la population à travers une densification des zones urbaines, sans avoir à réaliser de forts compromis.

Par l'existence d'un grand nombre de programmes et politiques en matière d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement, le concept des SE peut facilement s'intégrer au sein des structures municipales et territoriales. Dans le cas de la CMQ par exemple, 25 outils et programmes ont été identifiés par les acteurs du milieu, dont le plan de gestion des milieux hydriques, le plan de développement de la zone agricole, le programme de mise en valeur des milieux forestiers et le schéma d'aménagement et de développement (Wood et al. 2019). Mieux situés ces outils par rapport aux SE rendus par le capital naturel permettrait d'accroître les possibilités d'actions des décideurs en matière d'aménagement du territoire orienté vers le développement durable et la conservation des ressources renouvelables.

Pour finir, voici une liste de recommandations pour favoriser l'intégration du concept des SE dans la planification et l'aménagement du territoire. Celles-ci visent également à accroître la résilience des villes et des communautés rurales face aux changements globaux.

1) Accroître ou maintenir la diversité fonctionnelle des forêts urbaines

Une forêt saine et résiliente dépend d'une grande diversité d'espèces adaptées aux conditions biotiques et abiotiques locales pour résister à de telles pressions. La diversité fonctionnelle, c'est-à-dire la diversité des espèces en termes de leurs caractéristiques fonctionnelles, s'inscrit aujourd'hui comme un critère de gestion d'une canopée urbaine durable et résiliente (Craven et al., 2016). Une diversité fonctionnelle élevée aide à maintenir la résilience de la forêt face à des pressions multiples, notamment des conditions climatiques extrêmes ou de nouveaux ravageurs (Wood et al., 2018).

Étant donné que l'étude de Wood et al. (2018) a estimé une valeur totale de 7,5M\$/an pour seulement 6,7% de la canopée urbaine de la ville du Québec, il serait intéressant d'étudier les relations entre la canopée publique et celle privée en termes de SE rendus. Mieux comprendre la composition des arbres municipaux en boisé et ceux plantés par les résidents des villes permettrait d'affiner nos connaissances en foresterie urbaine et de pouvoir mieux s'ajuster aux défis de demain en termes d'aménagement du territoire.

2) Protéger et mettre en valeur des milieux naturels en ville et dans la campagne

Les milieux humides et les superficies arborées sont essentiels pour accroître la résilience des villes face aux changements globaux. Dans cette ère de perte de biodiversité et d'incertitude climatique, l'augmentation de leur présence et de leur distribution est un choix judicieux en matière d'aménagement du territoire. En effet, ceux-ci apportent beaucoup de co-bénéfices aux collectivités dont notamment le maintien de la biodiversité, le stockage de carbone, la qualité de l'air, la purification de l'eau et le contrôle des inondations. En plus de les protéger, il est aussi important d'encourager leur restauration soit par la plantation des forêts urbaines ou la restauration de certains milieux humides et hydriques. Ainsi, il faut miser à la fois sur la conservation des milieux présents sur le territoire et l'expansion des superficies des milieux naturels en ville, car ceux-ci sont hautement importants (et de hautes valeurs) pour le bien-être des résidents.

3) Sensibiliser les citoyens, les acteurs et les décideurs municipaux à la notion de SE

Tous les êtres humains bénéficient des biens et des services générés par les écosystèmes naturels. Que ce soit par les services d'approvisionnement, les services de régulation, les services culturels ou les services de support, les SE sont vitaux pour l'humanité. Accroître la sensibilisation des citoyens au concept des SE permet non seulement une prise de conscience de l'importance du capital naturel sur le bien-être des collectivités, mais aussi de favoriser une meilleure acceptabilité sociale en matière d'aménagement et d'investissements axés sur la conservation et la restauration des habitats naturels.

Pour les acteurs et les décideurs municipaux, la notion des SE permet de les outiller pour qu'ils puissent atteindre leurs objectifs en matière de développement durable. Celle-ci permet notamment de les soutenir dans l'identification d'enjeux relatifs à la conservation de la biodiversité, à la valorisation du capital naturel, à la qualité de l'eau et au bien-être des collectivités présentes et futures. L'implication des parties prenantes dans un processus d'exploration des SE permet de développer une expertise en cohérence avec leurs enjeux territoriaux et de faciliter leur mise en place par les gestionnaires et décideurs du milieu (Drakou et al., 2018). En complément, l'évaluation des SE permet d'anticiper les changements futurs, de conceptualiser les options de gestion, de faciliter l'intégration des compromis ou de comparer les options de gestion possibles (Wood et al., 2019). Plusieurs approches pour impliquer les acteurs dans ce type de démarche sont possibles notamment l'approche par triage et l'analyse AFOM (Avantages - Faiblesses - Opportunités - Menaces) discutée par Wood et ses collaborateurs (2019).

4) Adopter une approche basée sur la notion de SE en gestion et planification du territoire

Les arbres municipaux de la ville de Québec, ainsi que la canopée urbaine, et les écosystèmes naturels périurbains sont des ressources de grande valeur qui doivent être gérées de façon à pérenniser les SE qui sont fournis (Wood et al., 2018, 2019). Selon le type d'écosystème et sa composition des espèces, les flux de SE locaux et leur valeur économique varient d'un aménagement à l'autre. En prenant en compte les pressions croissantes du changement climatique, des ravageurs et du développement urbain, une approche ciblée sur la notion des SE peut soutenir la pérennisation des écosystèmes et leurs bénéfices aux résidents.

Selon les travaux de consultation menés par l'équipe de Wood et ses collaborateurs (2019), il existe plus d'une vingtaine de programmes, politiques et outils de gouvernance actuels capables d'intégrer les SE en milieu urbain. Mieux connaître ces outils et politiques permettrait non seulement d'intégrer la notion de SE dans la planification du territoire, mais aussi d'influencer le niveau des SE jugés importants par les parties prenantes. Selon les SE privilégiés par le milieu, certains programmes ou outils peuvent travailler autant en synergie qu'en compétition. À titre d'exemple, la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles (LPTAA) assure l'utilisation des terres arables à des fins agricoles. Bien que cette loi soit nécessaire pour protéger les terres agricoles du développement immobilier ou commercial, celle-ci peut limiter certaines activités de conservation ou de restauration de milieux humides et hydriques en milieu agricole.

8. Références

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

CIMA+, 2018. Analyse de la connectivité écologique sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent (TCRQ). Rapport préparé pour la Communauté métropolitaine de Québec. 64 p. + annexes

Craven, D., Filotas, E., Angers, V. A. et Messier, C. (2016). Evaluating resilience of tree communities in fragmented landscapes: linking functional response diversity with landscape connectivity. *Diversity and Distributions*, 22(5):505-518.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.

Daily, G. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC: Island Press.

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

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

Dupras, J., Revéret, J.P. (eds.) (2015). *Nature et économie : un regard sur les écosystèmes du Québec*. Presses de l'Université du Québec, 314 p.

Drakou, E. G., Kermagoret, C., Liqueste, C., Ruiz-Frau A, Burkhard K, Lillebø AI, Oudenhoven AP, Ballé-Béganton J, Rodrigues JG, Nieminen E, Oinonen S, Ziemba A, Gissi E, Depellegrin D, Veideman K, Ruskule A, Delangue J, Böhnke-Henrichs A, Boon A, Wenning R, Martino S, Hasler B, Termansen M, Rockel M, Hummel H, GEI S, Peev P (2018). Marine and coastal ecosystem services on the science–policy–practice nexus: challenges and opportunities from 11 European case studies. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 13 (3): 51-67. <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1417330>

Grêt-Regamey, A., Galleguillos-Torres, M., Dissegna, A. and Weibel, B., 2020. How urban densification influences ecosystem services—a comparison between a temperate and a tropical city. *Environmental Research Letters*, 15(7), p.075001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab7acf/meta>

He, J., Moffette, F., Fournier, R., Revéret, J.P., Théau, J., Dupras, J., Boyer, J.P., Varin, M. (2015). Meta-Analysis for the Transfer of Economic Benefits of Ecosystem Services Provided by Wetlands within Two Watersheds in Quebec, Canada. *Wetland Ecology and Management* 23 (4): 707-725.

He, J., Dupras, J., Poder, T. (2016). The value of Wetlands in Quebec: a comparison between contingent valuation and choice experiment. *Journal of Environmental Economics and Policy*. doi: 10.1080/21606544.2016.1199976

IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

I-Tree, 2014. *i-Tree Software Suite v4.0 User's Manual Version 5.0*.

Poder, T., Dupras, J., Ndefo, F., He, J. (2016). The economic value of the Greater Montreal Blue Network (Quebec, Canada): a contingent ranking study to estimate non market-aquatic ecosystem services benefits. *PlosOne*, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0158901>

PMAD (2013). Plan métropolitain d'aménagement et de développement du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec. Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), 188 pages. <https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/11/pm-pmad-en-vigueur.pdf>

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

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington.

Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D., Bennett, E. M. (2010). Ecosystem services bundles for analyzing trade-offs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 5242-7.

Rosenberger, R. S., and J. B. Loomis. 2001. Benefit transfer of outdoor recreation use values: A technical document supporting the Forest Service Strategic Plan (2000 revisions). General Technical Report RMRS-GTR-72. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Statistics Canada (2016). Recensement de la population : <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/index-fra.cfm>

TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Edward Elgar.

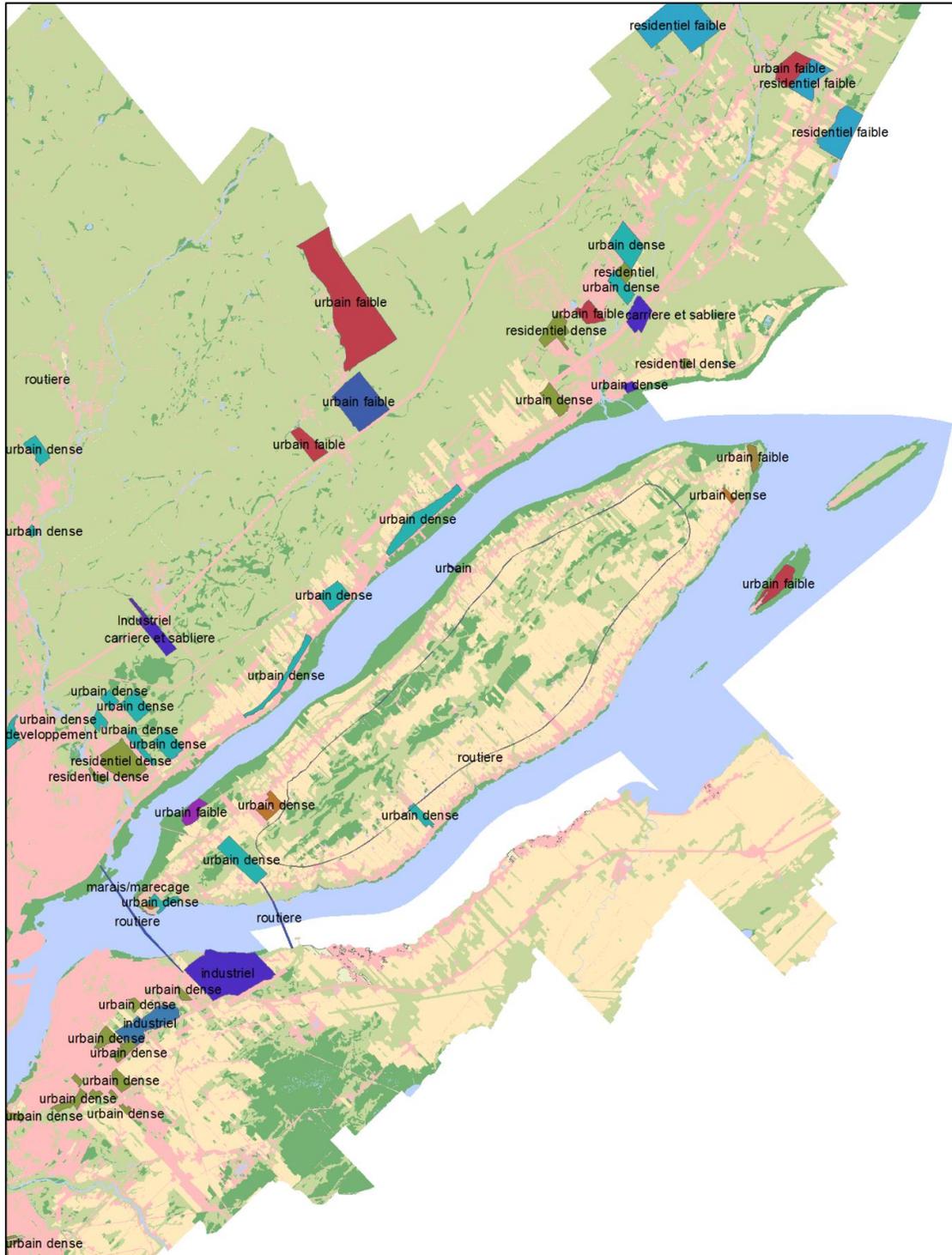
TD Bank, (2014). Special Report – TD Economics. The value of urban forests in cities across Canada. September 24, 2014.

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

Wood, S.L.R., Dupras, J., Delagrangé, S., Voyer, A., Gélinas, N., Da Silva, L. (2018). *La valeur économique des services écosystémiques rendus par les arbres municipaux de la Ville de Québec* Ouranos. 40 p. + annexes. Lien direct : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportVilleQuebec2019.pdf>

Wood, S.L.R., Dupras, J., Bergevin, C., Kermagoret, C. (2019). *La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent*. Ouranos. 75 p. Lien direct : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportCMQ2019.pdf>

B) Translation en données numériques



C) Intégration des données numériques dans la couche existante d'utilisation des terres

