

RAPPORT FINAL

ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES RENDUS PAR LES MILIEUX NATURELS DE LA ZONE DE GESTION DE L'EAU D'ABRINORD

Par

habitat

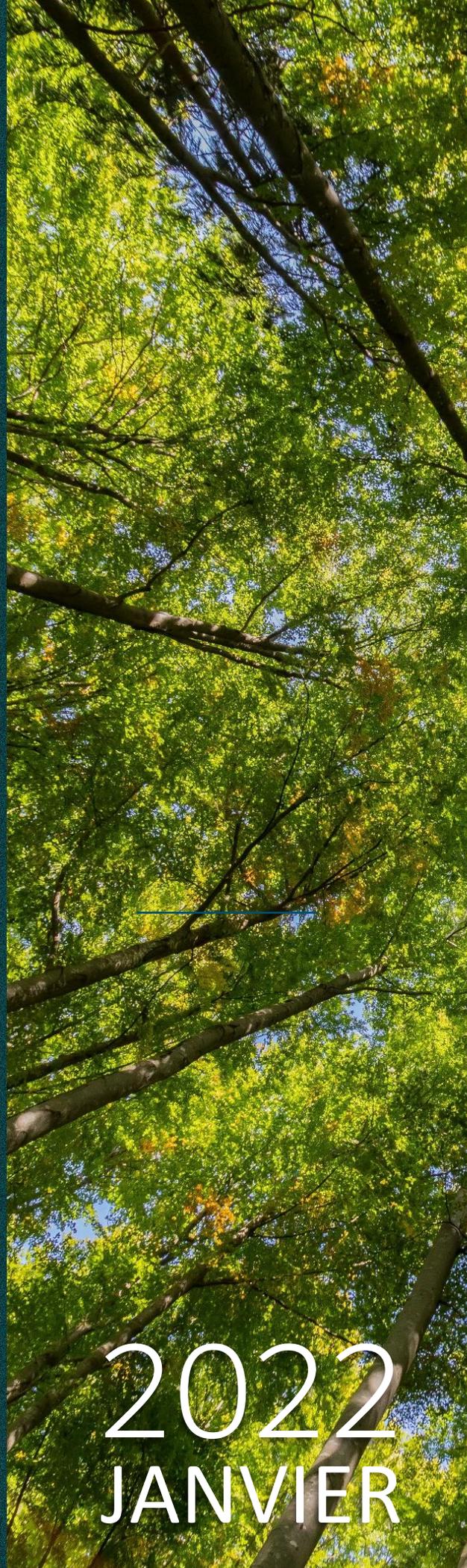
LA NATURE À L'ŒUVRE

Pour



Abrinord
OBV de la rivière du Nord

2022
JANVIER





HABITAT

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

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

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

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

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



Équipe de réalisation

Analyses :	Olivier Tanguy, M. Sc.
Rédaction :	Olivier Tanguy, M. Sc. Ann Lévesque, M. Sc. Lynda Gagné, Ph. D. Caroline Petit, M. Sc. Fanny Maure, Ph. D.
Édition et mise en page :	Fanny Maure, Ph. D. Julie Lebert
Coordination :	Véronique Dumais-Lalonde, M. Sc. Fanny Maure, Ph. D.
Direction scientifique :	Sylvia Wood, Ph. D. Jérôme Dupras, Ph. D.

Citation suggérée :

Habitat (2022). Évaluation des services écosystémiques rendus par les milieux naturels de la zone de gestion intégrée de l'eau d'Abrinord. Pour Abrinord. 33p + annexes.



Sommaire exécutif

Les milieux naturels fournissent de nombreux bénéfices esthétiques, économiques, sociaux et culturels à la société. Ils participent entre autres à la régulation du climat, au contrôle de l'érosion et des polluants, au stockage du carbone, à l'atténuation des inondations et au maintien des habitats pour la biodiversité. Bien qu'essentiels, ces fournisseurs de services sont assujettis à un nombre croissant de menaces et de perturbations, incluant la pression anthropique, et le risque de les voir disparaître est de plus en plus inquiétant. Dans ce contexte, le calcul des services rendus par les milieux naturels (dits services écosystémiques) permet de valoriser de tels milieux, leur rôle et leur importance au sein des écosystèmes, mais aussi de conscientiser la population et les acteurs économiques et politiques de la nécessité de les maintenir et de les conserver.

La présente étude répond à une volonté d'Abrinord, organisme de bassin versant de la rivière du Nord, de valoriser les milieux naturels de son territoire, et particulièrement les milieux humides et hydriques, dans l'optique de mettre en place une meilleure gestion de son patrimoine naturel. Le territoire de la zone de gestion intégrée de l'eau (ZGIE) d'Abrinord se compose de paysages contrastés où les massifs forestiers, les milieux humides, les lacs et les rivières côtoient divers aménagements récréotouristiques tels que des stations de ski, des campings, des plages publiques et des golfs. Les milieux naturels de la ZGIE, et notamment les milieux humides et hydriques, y sont donc sous forte pression anthropique, avec des problématiques telles que l'érosion des sols, la pollution des cours d'eau, la conversion des milieux naturels en milieux anthropisés, la fragmentation des paysages et le risque accru d'inondation. L'objectif de cette étude est ainsi de fournir un premier aperçu de l'état actuel de la valeur des milieux naturels de la ZGIE en se basant sur une évaluation biophysique et/ou économique de plusieurs des services écosystémiques et sur une évaluation de la disposition de la population à faire des dons pour la conservation des milieux humides. L'évaluation de la contribution fournie par les milieux naturels de la ZGIE se base sur les services d'approvisionnement en eau, la séquestration et le stockage de carbone, le contrôle de l'érosion, de l'azote et du phosphore, la valeur d'habitat pour la biodiversité et l'esthétisme des paysages.

Plusieurs résultats saillants découlent de cette étude, notamment :

- + L'évaluation des services rendus par les milieux naturels de la ZGIE permet d'identifier les secteurs où les milieux naturels sont les plus touchés par les activités humaines et où la mise en place de mesures d'atténuation et/ou de restauration devraient être prioritaires.
- + À l'échelle de la ZGIE, la valeur associée aux services écosystémiques évalués (séquestration du carbone, rétention des sédiments, rétention des nutriments (de l'azote et du phosphore), valeur d'habitat pour la biodiversité et esthétisme des paysages) s'élève à 522,7 millions de dollars par année.
- + La valeur totale de carbone stocké pour les milieux naturels de la ZGIE correspond à 6,7 milliards de dollars.
- + Selon un sondage, la population résidant au sein de la ZGIE serait prête à contribuer financièrement à la protection et à la restauration des milieux humides du territoire.

Bien que les enjeux territoriaux au sein de la zone de gestion intégrée de l'eau divergent selon les secteurs, les écosystèmes naturels y jouent un rôle essentiel de fournisseurs de biens et services et nous devons nous assurer le maintien de cet approvisionnement en modifiant nos pratiques de gestion du patrimoine naturel. Cette étude se veut un outil d'aide à la décision et vise à contribuer à l'amélioration de la gestion du territoire compte tenu des divers aspects socio-environnementaux qui le caractérisent.



TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 Contexte et objectifs de l'étude.....	1
1.2 Portrait du territoire à l'étude	2
2. SYNTHÈSE DES DONNÉES ISSUES DE LA LITTÉRATURE SUR LE RÔLE DE RÉGULATION DES MILIEUX HUMIDES	5
2.1 Capacité de séquestration et de stockage du carbone par les milieux humides	5
2.2 Capacité de filtration des polluants par les milieux humides	6
3. ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ACTUELLEMENT RENDUS.....	7
3.1 Approvisionnement total en eau (potable et non potable).....	9
3.2 Séquestration et stockage du carbone	10
3.2.1 Séquestration du carbone	10
3.2.2 Stockage du carbone	11
3.3 Contrôle de l'érosion.....	14
3.4 Contrôle de l'azote et du phosphore	18
3.5 Habitat pour la biodiversité	21
3.6 Valeur esthétique des paysages.....	23
4. ESTIMATION DE LA VOLONTÉ À DONNER DE LA POPULATION POUR PROTÉGER ET RESTAURER LES MILIEUX HUMIDES DU TERRITOIRE DE LA ZGIE.....	24
4.1 Volonté à donner et programmes de conservation préférés	24
4.2 Principales préoccupations en lien avec les milieux humides	27
4.3 Positionnement de la population quant à l'utilisation de l'insecticide <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bti).27	
5. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION	29
6. RÉFÉRENCES	31
7. ANNEXES.....	34
ANNEXE A Revue de la littérature scientifique sur le rôle de régulation des milieux humides.....	35
ANNEXE B Méthodologie utilisée pour l'évaluation des services écosystémiques	40
ANNEXE C1 Méthodologie pour l'approvisionnement en eau potable et non potable	41
ANNEXE C2 Résultats de l'approvisionnement en eau pour les sous-bassins versants de la ZGIE	42
ANNEXE D Méthodologie utilisée pour l'évaluation du carbone stocké dans les milieux forestiers	45



ANNEXE E Méthodologie pour l'évaluation de la disposition des citoyens à faire des dons pour la conservation des milieux humides	46
ANNEXE F Résultats complémentaires de l'étude sur la volonté à donner (VAD)	50

LISTE DES CARTES

Carte 1. Localisation de la zone de gestion intégrée de l'eau d'Abrinord et des différentes classes d'occupation des sols au sein du territoire.	3
Carte 2. Approvisionnement annuel en eau potable et non potable sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	9
Carte 3. Stockage du carbone sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	12
Carte 4. Exportation annuelle des sédiments sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	15
Carte 5. Rétention annuelle des sédiments par les milieux naturels sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	16
Carte 6. Exportation annuelle d'azote vers les lacs et les rivières sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	19
Carte 7. Exportation annuelle de phosphore vers les lacs et les rivières sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.....	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Proportion de la population interrogée en faveur, en défaveur et n'ayant pas d'opinion sur l'utilisation de l'insecticide <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bti) au sein des milieux naturels de la ZGIE d'Abrinord.	28
---	-----------

Liste des figures en Annexe

Figure A1 Exemple de choix entre quatre programmes de conservation hypothétiques proposés aux personnes sondées.	47
Figure A2 Répartition géographique des personnes participantes au sondage.....	50
Figure A3 Résultats de MaxDiff démontrant la part de préoccupation de divers enjeux liés à la conservation des milieux humides.	51
Figure A4 Moyenne de dons acceptés (MDA) selon la mesure dans laquelle le gouvernement du Québec devrait protéger les milieux humides.	52
Figure A5 Moyenne de don acceptés (MDA) par niveau de préoccupation sur la perte des milieux humides.	52
Figure A6 Moyenne de dons acceptés par niveau d'éducation des personnes participantes.	53



Figure A7 Justification des 46 personnes en faveur du Bti.	55
Figure A8 Justifications des 89 personnes en défaveur du Bti.	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Classes d'utilisation des sols de la zone intégrée de l'eau d'Abrinord et superficies relatives. .4	
Tableau 2. Capacité de séquestration et de stockage du carbone par les différents types de milieux humides en forêt tempérée selon une revue de la littérature scientifique (synthèse des données des tableaux A1 et A2 de l'annexe A).	5
Tableau 3. Capacité de filtration de l'azote et du phosphore par les milieux humides en forêt tempérée naturelle selon une revue de la littérature scientifique (valeurs tirées du tableau A3 de l'annexe A ; les unités peuvent différer d'une étude à l'autre).	6
Tableau 4. Synthèse des valeurs biophysiques et monétaires des services écosystémiques actuellement rendus sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	8
Tableau 5. Quantité de carbone séquestré annuellement par les milieux humides de la ZGIE.	11
Tableau 6. Quantité de carbone stocké dans la ZGIE par type de milieu et valeur économique totale (\$2021).	13
Tableau 7. Coût de traitement des sédiments selon les catégories d'usage pour les catégories applicables au territoire de la ZGIE d'Abrinord.	17
Tableau 8. Valeur d'habitat pour la biodiversité pour le territoire de la ZGIE d'Abrinord selon les classes d'occupation des sols.	22
Tableau 9. Valeur d'esthétique des paysages pour le territoire de la ZGIE d'Abrinord selon les classes d'occupation des sols.	23
Tableau 10. Catégories avec leurs options respectives utilisées pour composer de façon aléatoire des programmes de conservation hypothétiques proposés via un questionnaire en ligne pour déterminer la volonté à donner pour la protection et la restauration des milieux humides sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	25
Tableau 11. Résultats de l'analyse de la volonté à donner des 293 personnes participantes ciblant la restauration de milieux humides sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	26
Tableau 12. Importance des catégories dans les réponses au questionnaire ciblant la restauration de milieux humides sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.	26

Liste des tableaux en Annexe

Tableau A1 Capacité de séquestration du carbone par les différents types de milieux humides selon une revue de la littérature scientifique.	36
---	-----------



Tableau A2 Capacité de stockage du carbone par les différents types de milieux humides selon une revue de la littérature scientifique.	37
Tableau A3 Capacité de filtration de l'azote et du phosphore par les milieux humides en milieu naturel selon une revue de la littérature scientifique (les unités peuvent différer d'une étude à l'autre).	38
Tableau A4 Méthodes d'analyses biophysique et économique utilisée pour l'évaluation des SÉ sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.....	40
Tableau A5 Résultats de l'approvisionnement en eau pour les sous-bassins versants de la ZGIE.....	42
Tableau A6 Résultats de l'analyse hiérarchique bayésienne de l'expérience CBC.	54



1. INTRODUCTION

Les changements globaux, c'est-à-dire les changements climatiques combinés aux menaces anthropiques (ex. espèces exotiques introduites, conversion des terres), affectent les écosystèmes à l'échelle mondiale, et le Québec n'est pas épargné. Que les menaces viennent du monde vivant (menaces biotiques) ou qu'elles soient plutôt liées au milieu (menaces abiotiques), elles ne cessent de croître, augmentant par conséquent le risque de voir disparaître les milieux naturels en raison de conditions climatiques plus difficiles ou de l'établissement d'insectes ou de pathogènes exotiques.

Depuis plusieurs années, ces pressions ont mené à une perte généralisée des écosystèmes et de leur connectivité, ayant des effets néfastes pour la biodiversité. Pourtant, les milieux naturels sont essentiels à notre bien-être et notre santé en raison notamment des nombreux services, dits services écosystémiques, qu'ils fournissent. La notion de service écosystémique (SÉ) renvoie à la valeur (monétaire ou non) des écosystèmes, en ce sens que les écosystèmes fournissent à la société des bénéfices via leurs fonctions et processus naturels (IPBES 2019). Les différents milieux naturels d'un territoire (ex. forêts, milieux humides, prairies) contribuent à la régulation du climat en capturant les gaz à effet de serre via le processus de photosynthèse des plantes, limitent l'érosion éolienne et hydrique tout comme la pollution des lacs et rivières et offrent des habitats pour la faune et la flore. Dans l'optique de limiter leur disparition et d'assurer leur pérennité, il est donc nécessaire de mieux valoriser les milieux naturels qui nous entourent et de conscientiser la population quant à leur rôle et leur importance au sein des écosystèmes.

La présente étude répond à une volonté d'Abrinord, organisme de bassin versant de la rivière du Nord, de valoriser les milieux naturels de son territoire, et particulièrement les milieux humides et hydriques, dans l'optique de mettre en place une meilleure gestion de son patrimoine naturel. Les milieux naturels de la zone de gestion intégrée de l'eau (ZGIE) d'Abrinord sont actuellement sous forte pression anthropique, avec des problématiques telles que l'érosion des sols, la pollution des cours d'eau, la conversion des milieux naturels en milieux anthropisés, la fragmentation des paysages et le risque accru d'inondation. L'objectif de cette étude est ainsi de fournir un premier aperçu de l'état actuel de la valeur des écosystèmes naturels de la ZGIE en se basant sur une évaluation biophysique et/ou économique de plusieurs des services écosystémiques fournis et sur une évaluation de la disposition à faire des dons pour la conservation des milieux humides.

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

Consciente des enjeux auxquels font face les milieux naturels de son territoire, l'organisme de bassin versant Abrinord, situé dans la région des Laurentides, a mandaté Habitat pour la réalisation d'une évaluation de plusieurs services écosystémiques associés aux milieux naturels de son territoire, notamment aux milieux humides et hydriques. Le territoire à l'étude correspond à la zone de gestion intégrée de l'eau (ZGIE), composée principalement du bassin versant de la rivière du Nord.

L'approche basée sur l'évaluation des services rendus vise à mieux cerner la contribution actuelle des milieux naturels de la ZGIE et fournir ainsi à Abrinord un argumentaire robuste pour convaincre et sensibiliser les acteurs économiques et politiques de l'importance de conserver et/ou restaurer le patrimoine naturel du territoire. L'intérêt marqué pour les milieux humides et hydriques et les services écosystémiques y étant associés est notamment observé en réponse à l'obligation des municipalités régionales de comté québécoises de soumettre, d'ici juin 2022, un plan régional des milieux humides et hydriques (PRMHH) au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).



Afin de répondre aux objectifs d’Abrinord, l’étude s’articule autour de trois axes.

Revue de la littérature
sur la contribution en
services des milieux
humides

L’objectif de cette revue de littérature est de mieux cerner le rôle des milieux humides en tant qu’écosystèmes de régulation :

- Capacité de chaque type de milieux humides à séquestrer et stocker le carbone (rôle de puits de carbone)
- Capacité de chaque type de milieux humides à améliorer la qualité de l’eau en filtrant les polluants (azote et phosphore).

Évaluation de la
contribution actuelle
en SÉ des milieux
naturels de la ZGIE

La contribution actuelle des milieux naturels se base sur l’évaluation de huit services écosystémiques :

- Approvisionnement en eau
- Séquestration du carbone
- Stockage du carbone,
- Contrôle de l’érosion (exportation et rétention des sédiments),
- Contrôle de l’azote (exportation et rétention),
- Contrôle du phosphore (exportation et rétention),
- Valeur d’habitat pour la biodiversité,
- Esthétisme des paysages.

À l’exception du service d’approvisionnement en eau qui ne peut être évalué qu’avec des valeurs biophysiques, tous les services ont été évalués de façon monétaire.

Étude sur la volonté à
donner (VAD) pour la
conservation des
milieux humides

L’étude réalisée auprès de la population du bassin versant de la rivière du Nord vise à recueillir leur opinion quant à une augmentation des efforts de conservation des milieux humides existant dans l’optique d’accroître leurs superficies et donc les services écosystémiques fournis.

Bien que les enjeux territoriaux au sein de la zone de gestion intégrée de l’eau d’Abrinord divergent selon les secteurs, les écosystèmes naturels y jouent un rôle essentiel de fournisseurs de biens et services et nous nous devons d’assurer le maintien de cet approvisionnement en modifiant nos pratiques de gestion du patrimoine naturel. Cette étude se veut un outil d’aide à la décision et vise à contribuer à l’amélioration de la gestion du territoire compte tenu des divers aspects socio-environnementaux qui le caractérisent.

1.2 Portrait du territoire à l’étude

Située dans la région des Laurentides, au nord-ouest de l’île de Montréal, la zone de gestion intégrée de l’eau (ZGIE) d’Abrinord est principalement composée du bassin versant de la rivière du Nord (carte 1). D’une superficie d’environ 2300 km², la ZGIE est traversée du nord au sud par la rivière du Nord sur une distance de 147 km, puis rejoint la rivière des Outaouais après avoir traversé la municipalité de Saint-André d’Argenteuil.

La majeure partie du territoire est recouvert de milieux forestiers (62,21 %), bien que la portion sud soit principalement dédiée à l'agriculture (12,17 %) (tableau 1). La zone agricole correspond au secteur relativement plat du bassin versant de la rivière du Nord, le reste du territoire étant plus montagneux comme en témoigne la présence de plusieurs stations de ski au nord. On note par ailleurs l'importance des milieux humides puisque ces derniers occupent environ 10 % de la superficie totale de la ZGIE. Au sein de la catégorie des milieux humides, les marécages dominent en proportion, suivis par les tourbières, les zones d'eau peu profondes, les prairies humides et finalement les marais. Les milieux aquatiques (lacs et rivières) représentent quant à eux 5,92 % du territoire. Enfin, les milieux anthropiques, localisés pour l'essentiel le long de la rivière du Nord et de l'autoroute des Laurentides (A15), occupent 8,93 % de la ZGIE.

Carte 1. Localisation de la zone de gestion intégrée de l'eau d'Abrinord et des différentes classes d'occupation des sols au sein du territoire.

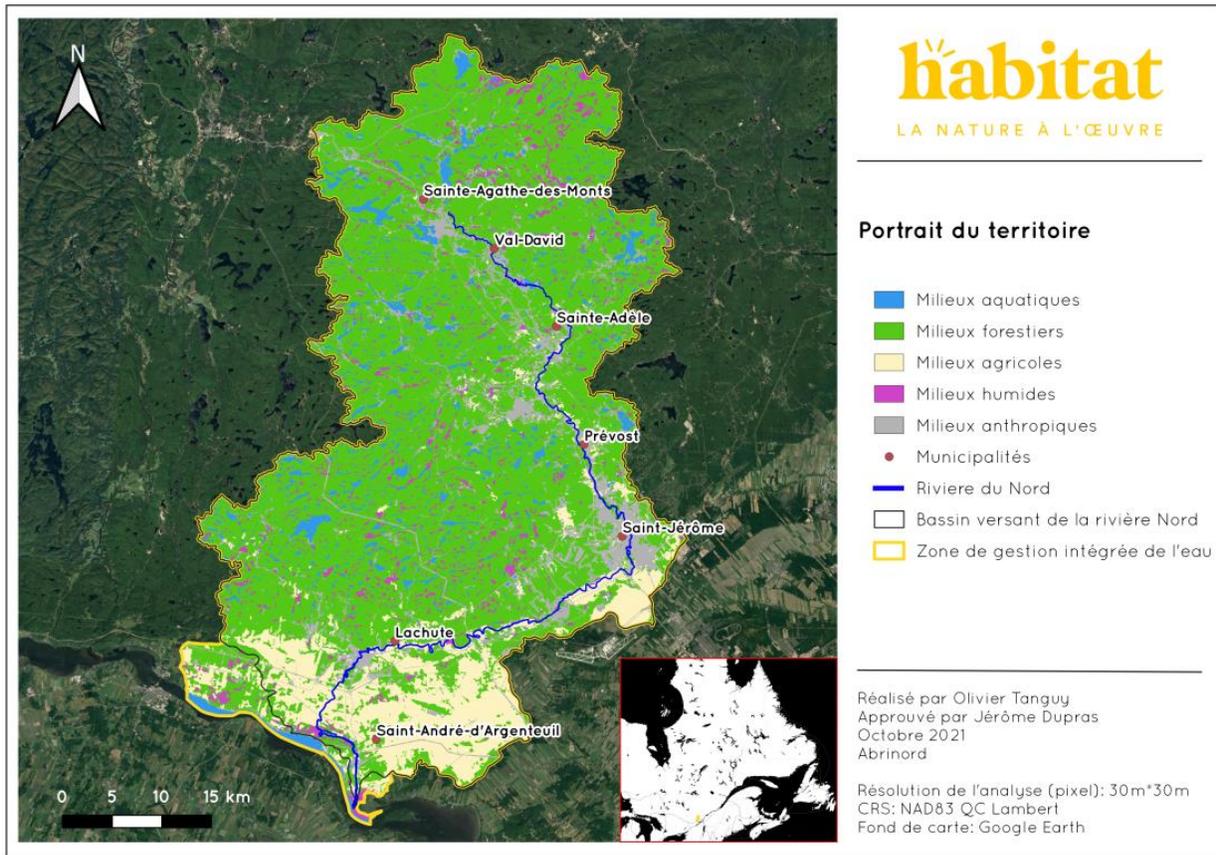




Tableau 1. Classes d'utilisation des sols de la zone intégrée de l'eau d'Abrinord et superficies relatives.

Utilisation des sols ¹	Superficie (ha)	Superficie (%)
Milieux forestiers	142 886	62,21
Milieux humides ²	24 740	10,77
Marais	577	0,25
Tourbière ouverte bog ³	78	0,03
Tourbière ouverte fen ²	3 949	1,71
Tourbière boisée	6 331	2,75
Prairie humide	635	0,27
Eau peu profonde	2 990	1,29
Marécage	10 180	4,42
Milieux aquatiques (lacs et rivières)	13 590	5,92
Milieux anthropiques	20 514	8,93
Milieux agricoles	27 955	12,17
TOTAL	229 685	100,00

¹ Sources des données : Bissonnette et al. 2016 : MDDELCC 2016

² Source des données : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/milieux-humides-du-quebec#>

³ Ces milieux naturels sont désignés comme ouverts puisque le couvert végétal (la canopée) est inférieur à 25 % de la superficie totale de la zone considérée.

2. Synthèse des données issues de la littérature sur le rôle de régulation des milieux humides

Afin d'alléger le contenu du rapport, cette section se limite à une synthèse des principales données issues de la littérature scientifique pour la séquestration et le stockage et la filtration des polluants. Pour de plus amples détails, l'intégralité de la revue de la littérature est fournie en annexe A.

Les milieux humides font partie des écosystèmes les plus importants sur terre, car ils abritent une riche biodiversité et fournissent de nombreux SÉ (Mitsch & Gosselink 2007, Zedler & Kercher 2005). Ils constituent en outre une source majeure de produits alimentaires, de combustibles ou de matériaux de construction et représentent une valeur croissante pour l'écotourisme. Ils sont également reconnus comme des puits de carbone et pour leur importante capacité à purifier l'eau en filtrant les polluants, ils sont d'ailleurs souvent considérés comme les « reins de la Terre » (Mitsch & Gosselink 2007). Pourtant, ils ont aussi été l'un des écosystèmes les plus perturbés par l'activité humaine au cours des dernières décennies (Ramsar, non daté).

Afin de mieux cerner le rôle des milieux humides en tant que système de régulation, nous avons effectué une revue de la littérature scientifique visant à distinguer 1) la capacité de séquestration et de stockage du carbone et 2) la capacité de filtration des polluants (azote phosphore) pour chaque type de milieux humides. Les données ainsi collectées ont été utilisées dans l'évaluation de la contribution des milieux humides de la ZGIE en termes de stockage et de séquestration du carbone (section 3.2). Les données de filtration des polluants collectés n'ont en revanche pas pu être utilisées pour le territoire à l'étude, car le format des données recueillies (pourcentage) ne pouvait pas être utilisé dans le modèle utilisé pour ces analyses (*Nutrient Delivery ratio model*).

2.1 Capacité de séquestration et de stockage du carbone par les milieux humides

Dans l'optique de recueillir des valeurs applicables au territoire d'Abrinord, les données ont été tirées d'études scientifiques aux conditions climatiques et physiques similaires à la ZGIE d'Abrinord. Le tableau 2 ci-dessous présente les principales valeurs issues de la revue de la littérature, sur lesquelles se base l'évaluation de la contribution des milieux humides en séquestration et stockage du carbone sur le territoire de la ZGIE.

Tableau 2. Capacité de séquestration et de stockage du carbone par les différents types de milieux humides en forêt tempérée selon une revue de la littérature scientifique (synthèse des données des tableaux A1 et A2 de l'annexe A).

MILIEUX HUMIDES	Séquestration du carbone (g/m ² /an)			Stockage du carbone (kg/m ²)		
	Min.	Moyenne pondérée	Max.	Min.	Moyenne pondérée	Max.
Bog/Fen	12,61	100,73	276,97	44,60	147,10	475,80
Marais	51	126,75	210	1,10	2,86	4,62
Marécage	-	-	-	3,93	94,39	309,50
Milieux humides (données générales)	65	103,50	473	2,73	15,17	53,90



2.2 Capacité de filtration des polluants par les milieux humides

Comme pour les fonctions de séquestration et de stockage du carbone, les données ont été tirées d'études scientifiques aux conditions climatiques et physiques similaires à la ZGIE d'Abrinord. La revue de la littérature a toutefois révélé le faible nombre d'études effectuées en milieux naturels pour évaluer la capacité de filtration des milieux humides. Bien que la plupart des recherches actuelles mesurent la capacité de filtration des milieux humides en laboratoire dans des milieux humides « construits », les valeurs présentées au tableau 3 ci-dessous sont spécifiques aux milieux humides naturels. À noter que les données obtenues dans le cadre de la revue de littérature n'ont pas pu être utilisées pour l'évaluation du contrôle des nutriments (azote et phosphore) sur le territoire de la ZGIE puisque le modèle utilisé pour les analyses se base sur des valeurs quantitatives et non relatives (pourcentages), comme certaines des valeurs obtenues.

Tableau 3. Capacité de filtration de l'azote et du phosphore par les milieux humides en forêt tempérée naturelle selon une revue de la littérature scientifique (valeurs tirées du tableau A3 de l'annexe A ; les unités peuvent différer d'une étude à l'autre).

Milieux humides	Filtration de l'azote	Filtration du phosphore
Bog/Fen	45 %	2,10 kg/ha/an
Marais	36 %	12,90 kg/ha/an
Marécage	24 %	-
Milieux humides (en général)	37 %	87,70 %



3. ÉVALUATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ACTUELLEMENT RENDUS

Les sections suivantes présentent la contribution actuelle en services fournis par les milieux naturels du territoire de la ZGIE, en se basant sur les huit SÉ retenus dans le cadre de cette étude, soit l’approvisionnement en eau, la séquestration et le stockage du carbone, le contrôle de l’érosion, de l’azote et du phosphore, la valeur d’habitat pour la biodiversité et l’esthétisme des paysages.

L’approche adoptée pour évaluer les SÉ repose sur l’utilisation de données publiques ou obtenues auprès des acteurs du territoire et sur un ensemble d’outils d’analyses géomatiques et/ou de logiciels de modélisation. La modélisation de chacun des SÉ produit des valeurs biophysiques (ex. quantité de carbone séquestré par les végétaux, quantité de sédiments ou de polluants chimiques exportés vers les rivières). Lorsque cela est possible, ces valeurs biophysiques sont converties en valeurs monétaires (voir Somda & Awaiss 2013 pour les méthodes d’évaluation économique des SÉ) afin de faciliter leur compréhension par les aménagistes et notamment mieux saisir la contribution des milieux naturels et l’importance de les conserver. À l’exception du service d’approvisionnement en eau qui ne peut être évalué qu’avec des valeurs biophysiques, tous les services ont ainsi été évalués de façon monétaire. Alors que le tableau 4 ci-dessous présente une synthèse de la contribution du territoire aux différents SÉ retenus, les sections qui suivent détaillent chacun des SÉ et les résultats obtenus.

Toutefois, puisque l’évaluation et la valorisation des SÉ rendus par les milieux naturels peut prendre plusieurs formes, selon les types de valeurs associées aux milieux, il faut garder à l’esprit qu’il demeure difficile de rendre compte de l’ensemble des services rendus par un territoire et de les chiffrer, notamment quand les milieux naturels ont une valeur d’existence ou relationnelle⁴. Il existe en outre plusieurs façons d’évaluer les bénéfices économiques associés aux SÉ selon par exemple l’usage du service. Dans le cas de la ZGIE d’Abrinord, les méthodes d’analyses biophysiques et d’évaluation économique utilisées pour chacun des SÉ évalués sont présentées dans l’annexe B.

À la lumière de ces précisions, la présente étude décrit donc un portrait théorique et non exhaustif de chacun des services écosystémiques évalués sur le territoire d’étude puisque certaines données économiques locales n’étaient pas disponibles.

⁴ La notion de pluralité des valeurs des services fait référence au fait que l’évaluation et la valorisation des services écosystémiques reposent sur trois types de valeurs : la valeur instrumentale (c.-à-d. valeur économique et/ou biophysique associée à un service), la valeur intrinsèque (c.-à-d. valeur inhérente à un milieu naturel comme la valeur d’existence) et la valeur relationnelle (valeur qui repose sur les interactions des humains avec le milieu naturel).

Tableau 4. Synthèse des valeurs biophysiques et monétaires des services écosystémiques actuellement rendus sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.

SERVICES	VALEUR BIOPHYSIQUE	VALEUR MONÉTAIRE ⁵	ÉCHELLE D'ANALYSE
 Approvisionnement en eau	2 350 000 000 m ³ /an	-	BV (niveau 2) et sous BV (niveau 3) de la rivière du Nord
Séquestration du carbone			
 Milieux forestiers	141 733,60 tC/an	27 397 104,9 \$/an	ZGIE
Milieux humides	22 502,41 tC/an	4 349 715,8 \$/an	
Stockage du carbone			
 Milieux forestiers	22 768 863,01 tC	4 401 221 218 \$	ZGIE
Milieux humides	9 463 081,84 tC	1 829 213 720 \$	
Autres milieux	2 863 134,75 tC	553 443 943 \$	
Contrôle de l'érosion			
 Exportation	24 374 t/an	376 931,5 \$/an ⁶	BV de la rivière du Nord (niveau 2)
Rétention	3 214 552 t/an	49 700 000 \$/an ⁶	
Contrôle de l'azote ⁶			
 Exportation	1 358 t/an	10 667 090 \$/an	BV de la rivière du Nord (niveau 2)
Rétention	1 885,7 t/an	14 812 173,5 \$/an	
Contrôle du phosphore			
 Exportation	7,684 t/an	46 104 \$/an	BV de la rivière du Nord (niveau 2)
Rétention	185,7 t/an	1 114 200 \$/an	
 Habitat pour la biodiversité ⁶	-	412 287 276 \$/an	ZGIE
 Esthétisme des paysages ⁶	-	14 116 320,20 \$/an	ZGIE

⁵ Toutes les valeurs du présent rapport sont présentées en CAD pour l'année 2021 (\$2021).

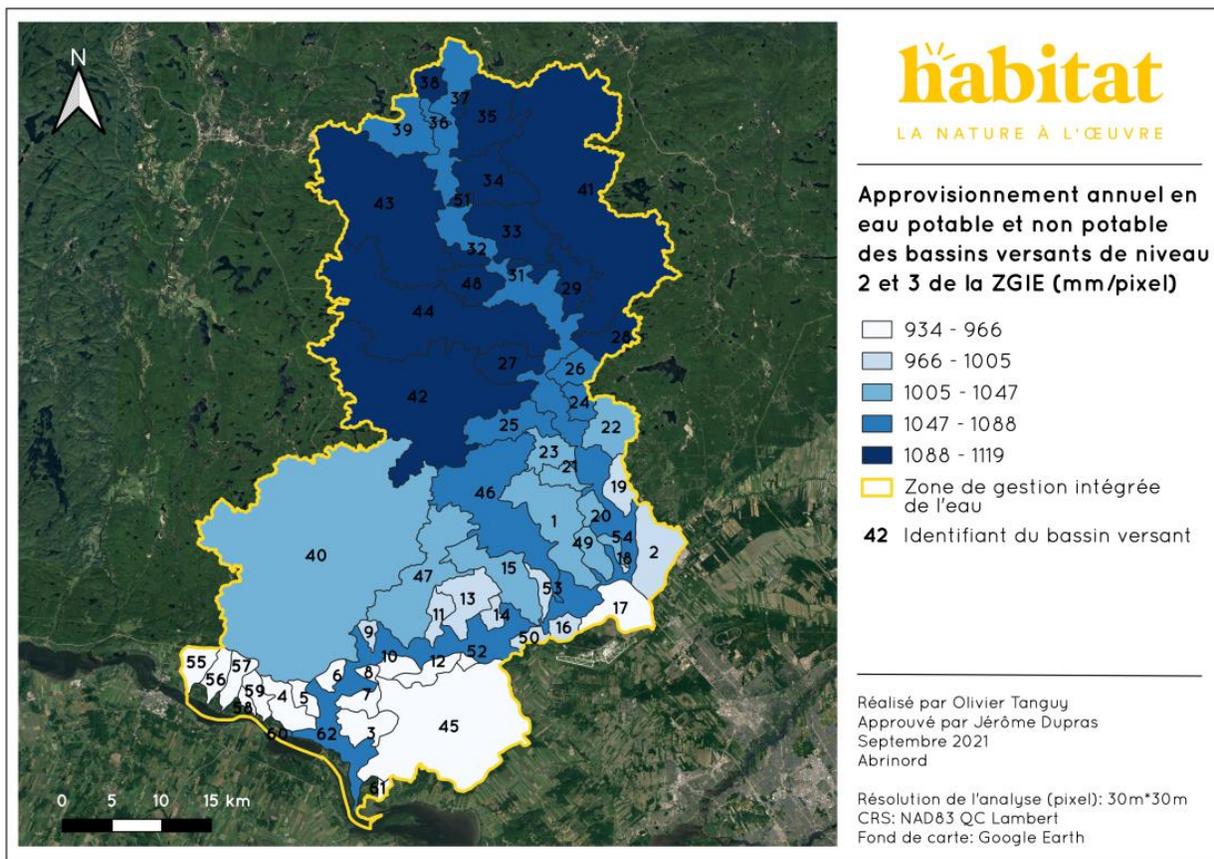
⁶ Par souci de lisibilité seule la valeur monétaire moyenne est indiquée.

3.1 Approvisionnement total en eau (potable et non potable)

Le SÉ d’approvisionnement en eau fait référence à la quantité d’eau totale (en volume), qu’elle soit potable ou non, qui transite dans un bassin versant depuis la ligne de partage des eaux jusqu’aux bords des rivières, et à laquelle on soustrait la quantité d’eau absorbée par la végétation. Ainsi, plus un territoire reçoit une quantité importante d’eau (pluviale et nivale), plus la végétation est utile pour réguler ce volume total d’eau. À l’inverse, une faible couverture végétale associée à de fortes précipitations peut accroître les risques d’inondation et d’érosion.

Le modèle utilisé calcule la quantité d’eau qui ruisselle annuellement dans le bassin versant en fonction de la différence entre les précipitations locales et l’évapotranspiration potentielle des végétaux (voir détails de la méthodologie en annexe C1). L’analyse a été effectuée à l’échelle des bassins versants de niveau 2 et 3 de la ZGIE (carte 2). Les résultats détaillés pour l’ensemble des bassins versants (niveau 2 et 3) sont fournis en annexe C2.

Carte 2. Approvisionnement annuel en eau potable et non potable des BV de niveau 2 et 3 de la ZGIE d’Abrinord.



Il est estimé que les écosystèmes du bassin versant de la rivière du Nord (niveau 2) reçoivent en moyenne 1 091 mm de précipitations par année. Considérant que les écosystèmes captent approximativement 36 mm d’eau qui seront relâchés par le processus d’évapotranspiration, **l’approvisionnement en eau sur le territoire de la ZGIE correspond à 1 056 mm d’eau annuellement (2 350 millions de m³)**. Cette quantité d’eau est ainsi transportée à travers le territoire jusqu’aux lacs et rivières du bassin versant et peut être utilisée par la société (ex. prise d’eau, loisir, énergie) et la faune et la flore (ex. besoins vitaux, habitat).



En termes de répartition spatiale, le nord du territoire, plus montagneux, reçoit davantage de précipitations (carte 2). Il est donc important de bien planifier le développement de cette portion du territoire puisque la conversion des milieux naturels en zone imperméable (ex. route, habitation) diminue la capacité d'absorber les eaux pluviales et risque d'augmenter la quantité et la vitesse de l'eau qui ruisselle vers les lacs et rivières. Ceci peut augmenter, d'une part, les phénomènes d'érosion et d'autre part, donner lieu à une montée des eaux des lacs et rivières plus rapides pouvant conduire à son tour à davantage de crues et d'inondations.

3.2 Séquestration et stockage du carbone

La séquestration et le stockage du carbone sont deux éléments intrinsèquement liés, mais qu'il est important de distinguer. La séquestration du carbone désigne la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) annuellement captée par les végétaux et transformée en tissus vivants, le carbone. Il s'agit donc d'une quantité fluctuant d'une année à l'autre selon la croissance des végétaux. Par ailleurs, le stockage du carbone correspond à la quantité de carbone déjà présente dans les tissus des végétaux depuis des années, des décennies voire des siècles. L'accumulation progressive du carbone au cours du temps dans les plantes (la séquestration) donne ainsi lieu au stockage du carbone. À noter également que le carbone s'observe dans différents réservoirs, soit la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et dans le sol.

3.2.1 Séquestration du carbone

Le SÉ de séquestration du carbone a été calculé pour l'ensemble des peuplements forestiers et milieux humides de la ZGIE. Pour les peuplements forestiers, le calcul se base sur la biomasse aérienne et la biomasse souterraine en excluant le carbone du sol. D'un point de vue méthodologique, la modélisation s'échelonne sur un horizon temporel de 100 ans et est basée sur les courbes de croissance des essences forestières produites par le bureau du forestier en chef du Québec (Bureau du Forestier en Chef 2015). Toutefois, pour faciliter l'analyse, les peuplements forestiers du territoire ont été regroupés en trois types de forêts : des forêts de conifères, des forêts mixtes et des forêts de feuillus. L'analyse réalisée fournit une moyenne du carbone séquestré par hectare dans la biomasse aérienne et souterraine des arbres pour chacun des trois types de forêts. Ces moyennes à l'hectare ont ensuite été multipliées par la superficie relative à chaque type de forêt et selon les classes de maturité du 4^{ième} inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM) afin d'arriver à une valeur totale de carbone séquestré pour le territoire à l'étude.

Selon cette méthode, **141 733,60 tonnes de carbone** (tC) – ou 520 162,30 tonnes de CO₂ – **sont séquestrées annuellement au sein des peuplements forestiers du territoire à l'étude**. Cette quantité représente l'équivalent de 160 000 voitures retirées de la circulation pendant 1 an.

Pour les milieux humides, les valeurs utilisées sont issues de la revue de la littérature réalisée dans le cadre du mandat (section 2). En se basant sur les valeurs converties à l'hectare pour chaque type de milieux humides (tableau 5), **le carbone séquestré annuellement par les milieux humides de la ZGIE équivaut à 22 502,41 tonnes de carbone**, soit l'équivalent de 25 300 voitures retirées de la circulation pendant 1 an.



Tableau 5. Quantité de carbone séquestré annuellement par les milieux humides de la ZGIE.

Milieux humides	Moyenne Séq. carbone (t/ha/an)	Superficie au sein de la ZGIE (ha)	Séquestration carbone à l'échelle de la ZGIE (t/an)
Tourbière	1,007	10 358	10 430,510
Marais	1,267	577	731,059
Marécage	1,035	10 180	10 536,300
Prairie humide ⁷	1,267	635	804,545
Eau peu profonde	-	2 990	-
		TOTAL	22 502,414

D'un point de vue économique, selon ce qu'on appelle le coût social du carbone⁸, la tonne de carbone équivaut en 2021 à 193,30 \$, ou bien 52,67 \$ lorsque les valeurs sont exprimées en tonnes de CO₂ (Environnement et Changement Climatique Canada 2020). Ainsi, selon les valeurs estimées, **le territoire de la ZGIE contribue à hauteur de 31 746 741,5 \$/an en en coût social du carbone.**

3.2.2 Stockage du carbone

Les quantités de carbone stocké ont été calculées pour les peuplements forestiers et milieux humides de la ZGIE ainsi que pour les milieux aquatiques, agricoles et anthropiques (carte 3). Cette quantité de carbone stocké représente le carbone contenu dans la biomasse aérienne et souterraine ainsi que dans le sol.

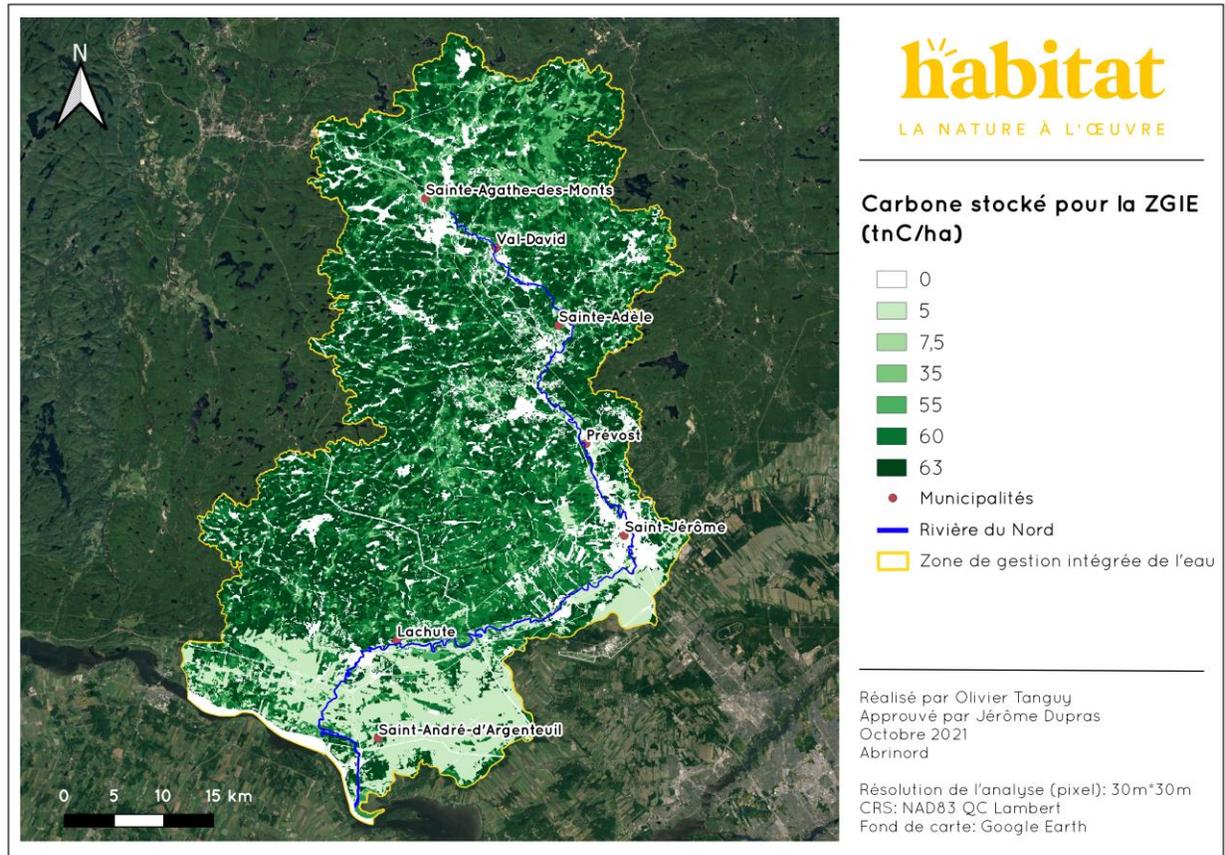
D'un point de vue méthodologique, la modélisation du carbone stocké dans la biomasse aérienne et souterraine des peuplements forestiers a été effectuée à l'aide de la calculatrice de biomasse de l'Inventaire Forestière Nationale⁹ (la méthodologie est détaillée à l'annexe D). Les valeurs de stockage de carbone pour les milieux humides sont issues de la revue de la littérature (annexe A). Enfin, pour les milieux aquatiques, agricoles et anthropiques, les valeurs de stockage de carbone à l'hectare (pour le carbone du sol seulement) proviennent des études de Ruesch et Gibbs 2008 et Wood et al. 2019).

⁷ Les milieux humides « prairie humide » ont été considérés comme des marais pour cette analyse

⁸ Le coût social du carbone représente une estimation théorique des dommages causés à la société à la suite d'une augmentation du carbone atmosphérique (Fankhauser 1994).

⁹ <https://nfi.nfis.org/fr/biomass>

Carte 3. Stockage du carbone sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.



Ainsi, l'estimation de la quantité totale de carbone stocké sur le territoire de la ZGIE s'élève à **35 095 079,60 tonnes de carbone**. La contribution des milieux forestiers (c.-à-d. forêt de conifères, mixte, de feuillus et les forêts en régénération après une coupe) atteint environ **22 768 863 tC** et celle des milieux humides environ **9 463 082 tC** (tableau 6).

D'un point de vue économique, selon les valeurs estimées, le territoire de la ZGIE contribue à hauteur de **6,7 milliards de dollars en coût social du carbone** (tableau 6). À titre d'exemple, cette quantité de carbone équivaut au retrait de la circulation de 40 millions de voitures pendant un an ou à la consommation électrique annuelle de 86 millions de foyers canadiens.

Tableau 6. Quantité de carbone stocké dans la ZGIE par type de milieu et valeur économique totale (\$2021¹⁰).

Usages des sols	Biomasse aérienne (tC)	Biomasse souterraine (tC)	Sol (tC)	TOTAL (tC)
Forêt de conifères	607 121,66	176 065,28	777 493,17	1 560 680,11
Forêt mixte	4 015 300,28	1 043 978,07	4 546 484,64	9 605 762,99
Forêt de feuillus	4 941 249,72	1 136 487,44	5 492 914,92	11 570 652,10
Coupe forestière ou en régénération	7 062,93	1 624,47	23 080,41	31 767,81
Arbustaie	23 009,92	5 292,28	95 453,15	123 755,35
Vergers/vignoble	24,64	5,67	204,13	234,44
Tourbière	178 383,39	37 460,51	5 496 128,65	5 711 972,55
Marécage	206 580,46	53 710,92	3 285 522,66	3 545 814,04
Marais	103 171,95	23 729,55	78 393,75	205 295,25
Agricole	0	0	1 752 268,32	1 752 268,32
Anthropique	0	0	984 079,80	984 079,80
Sols nus et landes	0	0	2 742,03	2 742,03
Non classifié	0	0	54,81	54,81
Routes et chemins	0	0	0	0
Aquatique	0	0	0	0
Tonnes de carbone total	10 081 904,94	2 478 354,19	22 534 820,44	35 095 079,60
Tonne de CO₂¹¹	37 000 591,13	9 095 559,87	82 702 791,01	128 798 942
VALEUR ÉCONOMIQUE TOTALE		6 783 878 881 \$		

À la différence de la séquestration de carbone, ces valeurs représentent un stock et non une valeur annuelle. La quantité de carbone stocké ne change pas significativement en fonction de la composition de la forêt (c.-à-d. de conifères, mixte ou de feuillus), mais plutôt en fonction de la structure d'âge et du type forestier. Les vieilles forêts, et plus particulièrement les vieilles forêts de feuillus, stockent généralement plus de carbone dans leur biomasse que les autres forêts.

Il est intéressant de mentionner que les différents stocks de carbone sont plus ou moins volatiles. Les stocks de carbone du sol et de la biomasse souterraine sont plus stables que le carbone stocké dans la biomasse aérienne puisque ce dernier est davantage sensible aux perturbations naturelles (ex. feu, épidémie d'insectes) et anthropiques (coupe forestière, conversion des terres). Par exemple, lors d'un feu ou d'une coupe forestière, le puits de carbone de la biomasse aérienne peut diminuer au point de s'approcher d'une valeur nulle. Par ailleurs, la jeune forêt qui repoussera par la suite pourra avoir un taux de séquestration plus élevée que la forêt

¹⁰ Dollars canadiens pour l'année 2021. Toutes les valeurs du présent rapport sont présentées en CAD 2021.



précédemment présente étant donnée sa croissance rapide. En revanche, lors d'un déboisement en vue d'un développement immobilier, les peuplements éliminés ne seront pas remplacés par de nouvelles cohortes, il y aura donc une perte nette en superficie forestière et donc en capacité à séquestrer et stocker le carbone pour l'ensemble du territoire.

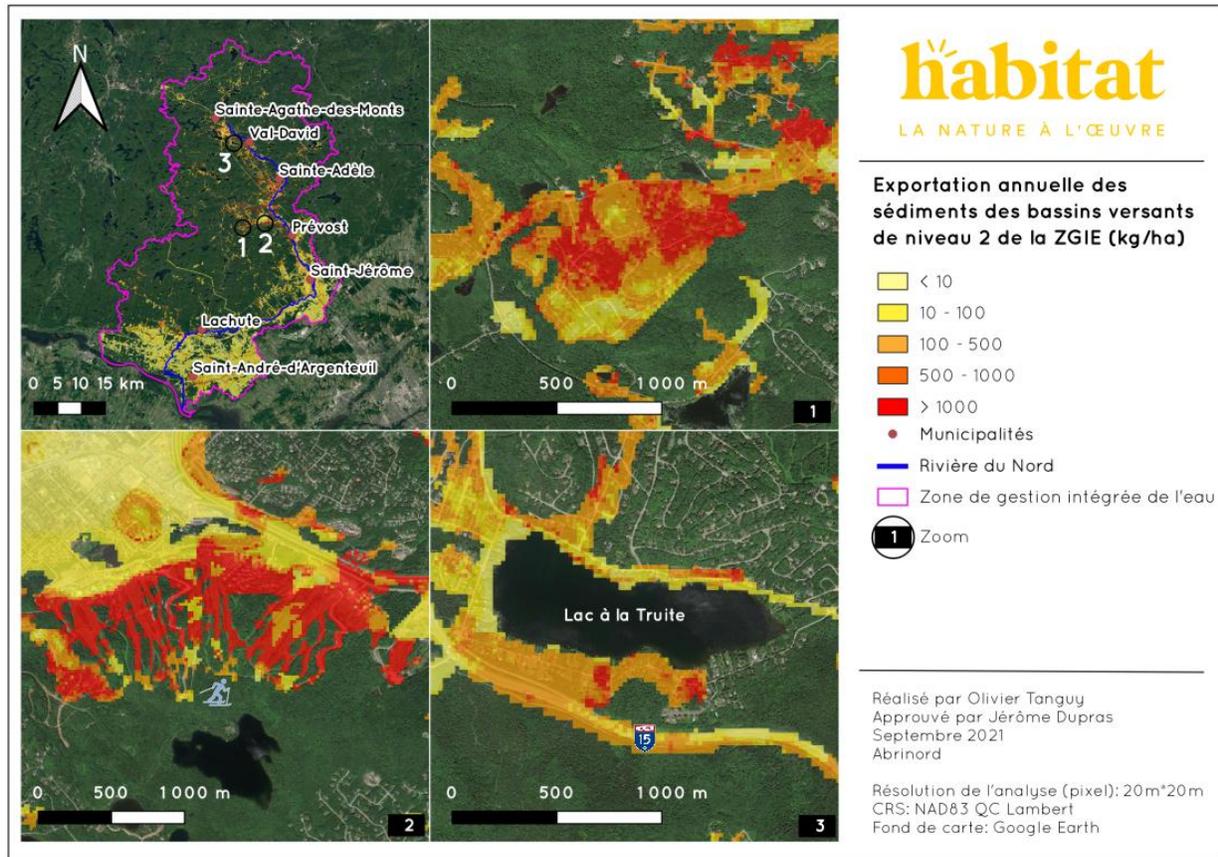
3.3 Contrôle de l'érosion

Le SÉ de contrôle de l'érosion fait référence à la capacité des milieux naturels à retenir les sédiments, ou limiter leur exportation vers les lacs et cours d'eau. Ce service est directement influencé par la couverture végétale des sols, le type des sols et la pente. En effet, la couverture foliaire et le système racinaire étendu des arbres aident à maintenir les sols en place et diminuent l'érosion, notamment dans les pentes raides et aux abords des cours d'eau. Des recherches menées aux États-Unis ont de plus montré que la couverture forestière réduit la turbidité de l'eau ce qui a pour conséquence de réduire entre autres les coûts de traitement de l'eau (Tong & Chen 2002, Ernst et al. 2004). Les milieux forestiers sont ainsi des espaces naturels importants pour limiter le transfert de sédiments vers les milieux aquatiques. À l'inverse, les milieux agricoles sont des espaces où la rétention des sédiments est faible puisqu'à certaines périodes de l'année la couverture végétale du sol est inexistante.

La modélisation du SÉ de contrôle de l'érosion permet d'observer, au sein d'une analyse, la répartition spatiale des sédiments exportés (carte 4) et retenus (carte 5) pour la région d'étude, ce qui permet également d'identifier les zones où le lessivage ou la rétention des sédiments sont les plus importants. L'analyse a été effectuée à l'échelle des bassins versants de niveau 2 de la ZGIE et la calibration du modèle (sa validité) se base sur l'étude de Patoine (2017) qui estime, à partir de prélèvements *in situ*, la quantité de sédiments (matières en suspension) exportée annuellement à l'échelle du bassin versant de la rivière du Nord. Les résultats des bassins versants de niveau 2 le long de la rivière des Outaouais sont illustrés sur les cartes 4 et 5, mais leurs valeurs biophysiques (tonnes de sédiments retenus ou exportés) et économiques ne sont pas incluses puisqu'aucune donnée de calibration n'était disponible pour ces derniers.

Ceci étant dit, les résultats de notre modélisation s'accordent bien avec ceux observés pour le bassin versant de la rivière du Nord (niveau 2) par Patoine (2017), avec une différence d'environ 1 % entre les observations *in situ* (Patoine 2017) et les estimations du total des sédiments exportés. Notre modélisation estime ainsi **la quantité de sédiments exportés des milieux terrestres vers les milieux aquatiques à 24 374 tonnes par année** (carte 4).

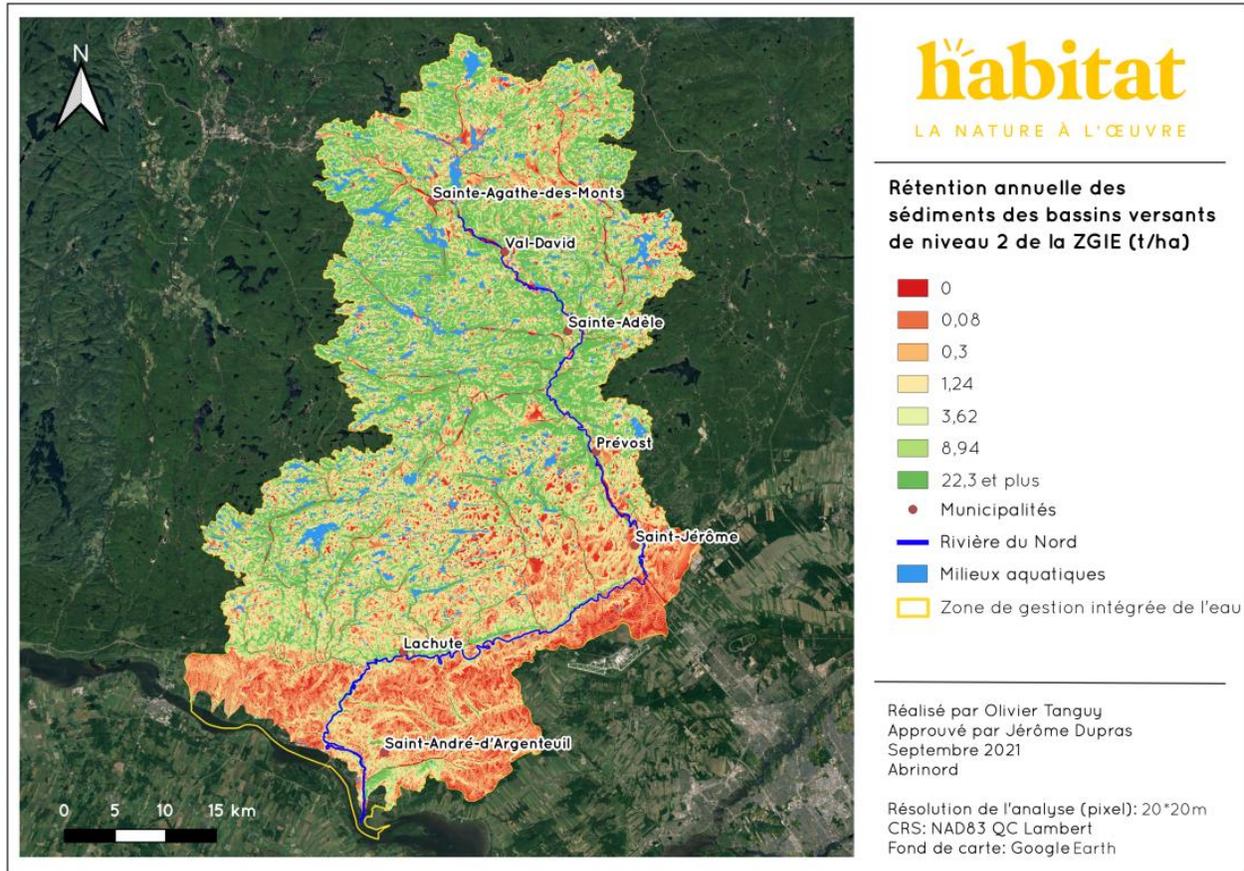
Carte 4. Exportation annuelle des sédiments des bassins versants de niveau 2 de la ZGIE d'Abrinord.



On constate que les zones d'érosion marquées correspondent généralement aux secteurs anthropisés où les pentes sont importantes comme dans le cas de ce quartier résidentiel à l'ouest de Saint-Sauveur (carte 4, zoom 1). Les stations de ski sont aussi des zones d'érosion importantes puisque la couverture végétale du sol est faible et les pentes importantes (carte 4, zoom 2). À noter enfin que certains secteurs urbanisés le long de l'autoroute des Laurentides sont particulièrement sujets aux phénomènes d'érosion comme aux abords du Lac à la Truite au sud de Sainte-Agathe-des-Monts (carte 4, zoom 3).

En parallèle, l'analyse estime que grâce à leur couverture végétale, **les milieux naturels du bassin versant de la rivière du Nord permettent de retenir annuellement 3 214 552 tonnes de sédiments** qui autrement se retrouveraient dans les cours d'eau et lacs de la région (carte 5).

Carte 5. Rétention annuelle des sédiments par les milieux naturels des bassins versants de niveau 2 de la ZGIE d'Abrinord.



À l'échelle du territoire, on observe que les zones de rétention des sédiments coïncident avec les grands milieux forestiers du nord alors qu'à l'inverse, les milieux agricoles au sud et les secteurs urbanisés ont peu voire aucune capacité de rétention des sédiments (carte 5).

Les quantités de sédiments exportés ou retenus par les milieux naturels peuvent ensuite être traduites économiquement selon plusieurs coûts relatifs à l'utilisation du territoire. L'étude de Hansen & Ribaud (2008), réalisée aux États-Unis, a servi de base pour définir les coûts associés au traitement des sédiments pour le territoire de la ZGIE (tableau 7). Dans un contexte géographique, d'autres types d'usages pourraient être ajoutés ou retirés pour moduler le coût.



Tableau 7. Coût de traitement des sédiments selon les catégories d'usage pour les catégories applicables au territoire de la ZGIE d'Abrinord.

Catégories	Bénéfices et/ou bénéficiaires	Étendue de valeurs (\$2021/t)
Loisirs aquatiques	Meilleure qualité de l'eau pour les loisirs	0 à 17,40
Fossés et canaux d'irrigation	Réduction des coûts pour retirer les sédiments et les plantes aquatiques	0,025 à 2,01
Fossés de drainage routier	Moins de dommages et d'inondations sur les routes	0,40
Station d'épuration de l'eau	Coût réduit pour le traitement des sédiments	0,074 à 2,87
Dommages liés aux inondations	Réduction du nombre d'inondations et des dommages associés	0,20 à 1,53
Usage municipal et industriel de l'eau	Réduction des dommages liés aux sels et minéraux dissous provenant des sédiments	0,14 à 2,90
Productivité des sols	Réduction des pertes de productivité des sols	0,59 à 2,39

L'étendue des valeurs proposées dans le tableau 7 est due au fait que pour chaque catégorie les coûts et bénéfices varient selon la taille du cours d'eau, sa localisation, sa fréquentation, le matériel utilisé pour gérer le problème.

Ceci étant dit, selon les variables choisies, **l'exportation annuelle de sédiments dans les cours d'eau du bassin versant de la rivière du Nord occasionne des frais annuels de traitement compris entre 34 830 \$ et 719 033 \$.** Ces frais, spécifiques aux quantités de sédiments exportés chaque année, sont à considérer comme des coûts supportés par la société.

À l'inverse, et à titre purement théorique, il est possible d'estimer la valeur associée à la rétention des sédiments par les milieux naturels, c'est-à-dire le coût de traitement évité à la société grâce à la présence des milieux naturels qui retiennent une part des sédiments, autrement exportés vers les lacs et rivières. Ainsi, en reprenant les mêmes variables de coûts que pour l'exportation (tableau 7), **le coût évité lié au service de rétention des sédiments varie entre 4 593 594 et 94 829 284 dollars annuellement pour le bassin versant de la rivière du Nord.**

Afin, de lutter contre l'érosion et favoriser la rétention des sédiments, plusieurs recommandations peuvent être faites. Il est premièrement recommandé de limiter la conversion de milieux naturels en zones urbanisées, notamment dans les secteurs en pente, et d'assurer une couverture végétale (herbacée ou autre) pour minimiser la perte de sols. Ensuite, il est important de favoriser la conservation des zones tampon le long des milieux aquatiques comme des bandes riveraines de qualité, c'est-à-dire fortement végétalisées et d'une largeur convenable. En effet, les bandes riveraines sont les derniers espaces terrestres parcourus par les sédiments avant que ceux-ci ne finissent dans les milieux aquatiques. Sans ces barrières naturelles qui ralentissent les eaux de ruissellement et retiennent les sédiments, l'exportation de sédiments ne sera pas freinée ce qui nuira aux écosystèmes aquatiques (ex. turbidité de l'eau, ensablement) et aura des conséquences pour les activités récréotouristiques (ex. pêche et navigation) et les coûts de traitement de l'eau



(Tong & Chen 2002; Ernst et al. 2004). La mise en place de culture de couverture en milieu agricole est également une action à promouvoir pour ces nombreux bénéfices (Hoorman 2009). Enfin, le boisement, la revégétalisation et l'élargissement des bandes riveraines sont autant de mesures utiles pour limiter le transfert de sédiments dans les cours d'eau.

3.4 Contrôle de l'azote et du phosphore

Lorsque les nutriments sont présents en trop grand nombre dans l'eau, principalement l'azote et le phosphore, on parle de pollution des cours d'eau et des lacs par les nutriments. Ces nutriments peuvent être issus de l'agriculture, des installations septiques désuètes ou de l'épandage de fertilisants sur terrains privés. L'accumulation progressive de ces polluants peut ainsi mener à l'apparition d'algues bleues/vertes (cyanobactéries) et donc à la dégradation de la qualité de l'eau, ce qui a des répercussions coûteuses sur plusieurs secteurs économiques comme le tourisme, la chasse et la pêche, les loisirs, la valeur immobilière des biens et le traitement des eaux (Gilbert et al. 2010). Puisque les milieux naturels jouent un rôle de contrôle des polluants (azote et phosphore), ils sont d'une grande importance pour limiter l'exportation des polluants vers les milieux aquatiques. En effet, la végétation absorbe directement dans ses tissus les éléments chimiques lors de sa croissance et donc plus la végétation est abondante plus elle capte de nutriments, ce qui limite leur transfert vers les milieux aquatiques. Le réseau racinaire de la végétation ralentit également l'écoulement des eaux de surface et l'écoulement souterrain, ce qui donne davantage de temps à l'absorption des nutriments par les plantes lors de leur croissance. La régulation de l'azote et du phosphore par les végétaux est particulièrement importante dans les territoires très agricoles et gagnerait à être valorisée et utilisée davantage.

La modélisation de ce service permet de quantifier la quantité d'azote et de phosphore exportée vers les milieux aquatiques du territoire, ainsi que les quantités retenues par les milieux naturels. L'analyse permet également de visualiser la répartition spatiale de l'azote (carte 6) et du phosphore (carte 7) exporté et donc d'identifier des zones problématiques (points chauds). L'analyse a été effectuée à l'échelle des bassins versants de niveau 2 de la ZGIE et la calibration du modèle (sa validité) se base sur l'étude de Patoine (2017) qui estime, à partir de prélèvements *in situ*, la quantité d'azote et de phosphore exportée annuellement vers les milieux aquatiques à l'échelle du bassin versant de la rivière du Nord. Les résultats des bassins versants de niveau 2 le long de la rivière des Outaouais sont illustrés sur les cartes 6 et 7, mais leurs valeurs biophysiques (tonnes de sédiments retenus ou exportés) et économiques ne sont pas incluses puisqu'aucune donnée de calibration n'était disponible pour ces derniers.

À noter également que cette évaluation prend uniquement en compte l'azote et le phosphore dont l'origine est agricole, naturelle ou anthropique et exclut l'azote et le phosphore provenant des sources ponctuelles (ex. rejets d'effluents de stations d'épuration) par manque de données précises en milieu urbain ou péri-urbain.

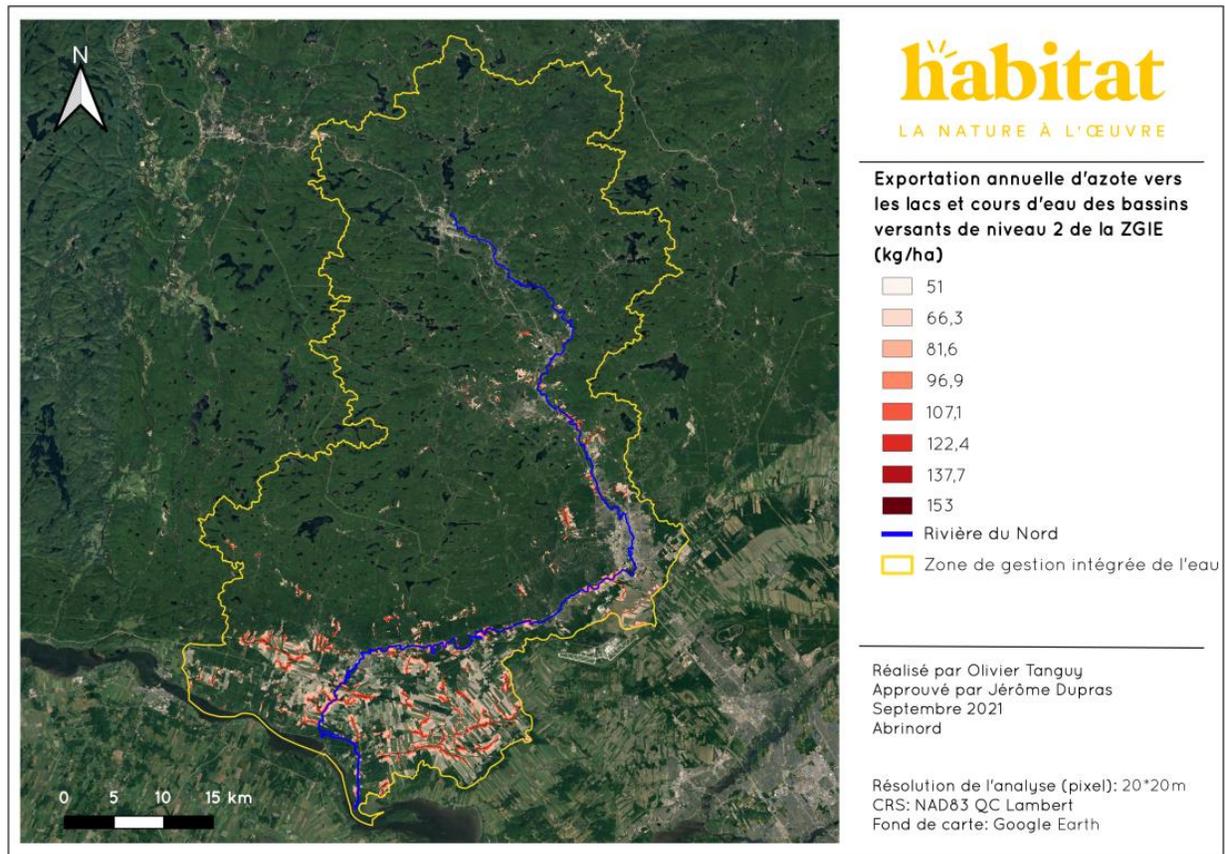
Pour estimer les quantités d'azote et de phosphore épandues dans les milieux agricoles du territoire, nous nous sommes basés sur les recommandations d'application moyennes issues du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ 2010). Comme le dépôt atmosphérique naturel d'azote et de phosphore dans les milieux naturels est négligeable, il n'a pas été considéré.

Ainsi, selon la modélisation, **la quantité d'azote exportée annuellement à l'échelle du bassin versant de la rivière du Nord est estimée à 1 358 tonnes**, soit environ 0,8 % de moins que les observations *in situ* de Patoine (2017) (carte 6). Concernant le phosphore, le modèle utilisé estime **la quantité de phosphore exportée annuellement à 7,684 tonnes**, soit environ 2,3 % de plus que les résultats de Patoine (2017) (carte 7). En

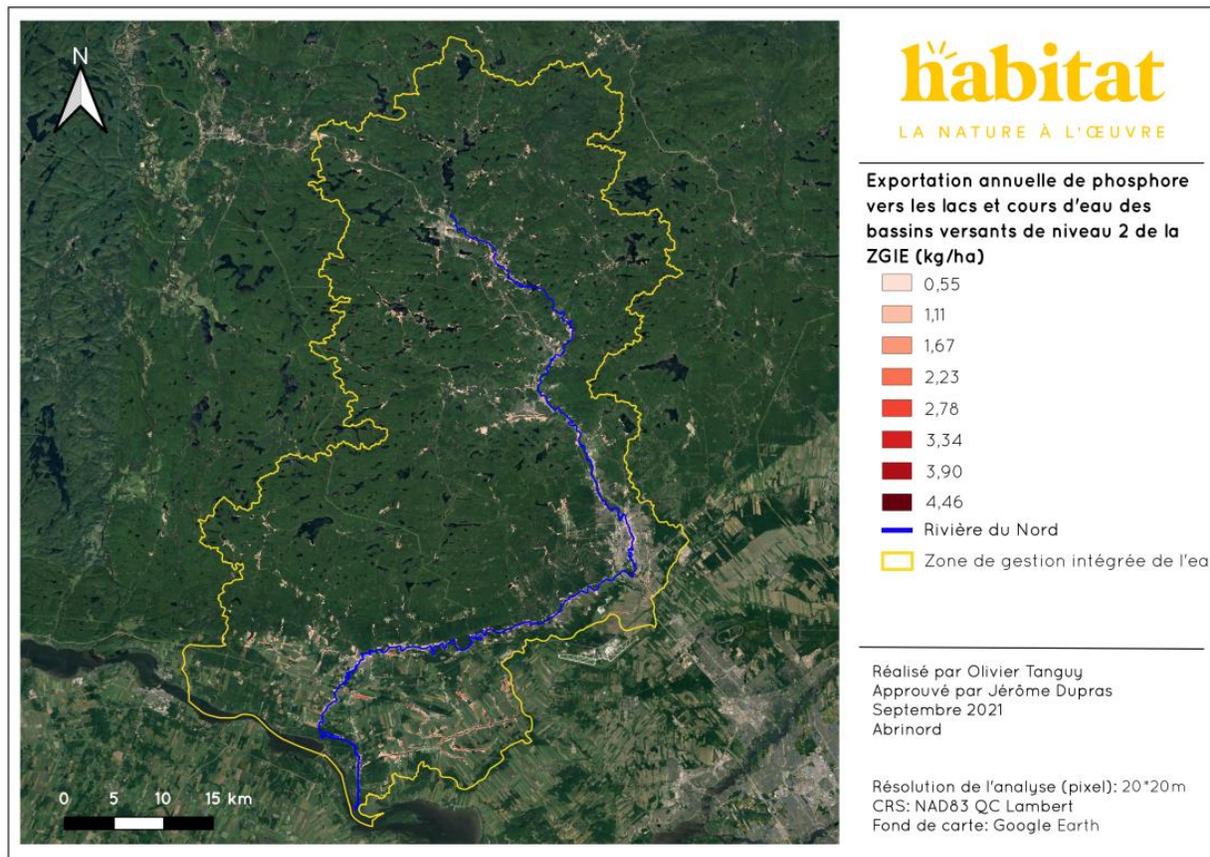
matière de rétention des nutriments, **1 885,7 tonnes d'azote et 185,7 tonnes de phosphore sont annuellement retenus par les milieux naturels du bassin versant de la rivière du Nord.**

Notons que la force de cette analyse réside dans sa capacité à évaluer la répartition spatiale des sources de polluants sur le territoire en plus d'estimer la quantité des polluants déversés dans les milieux aquatiques.

Carte 6. Exportation annuelle d'azote vers les lacs et les rivières des bassins versants de niveau 2 de la ZGIE d'Abrinord.



Carte 7. Exportation annuelle de phosphore vers les lacs et les rivières des bassins versants de niveau 2 de la ZGIE d'Abrinord.



L'exportation des nutriments vers les milieux aquatiques et leur rétention par les milieux naturels peuvent ensuite être évaluées économiquement.

Dans le cas de l'azote, il n'existe pas de valeurs locales pour estimer son coût de traitement. Les valeurs utilisées proviennent donc d'une étude menée à Vancouver (Olewiler 2004). Selon l'étude, le coût de traitement de l'azote par les stations d'épuration de Vancouver s'établissait entre 3,04 \$ et 8,50 \$ par kilogramme en 2004, soit entre 4,14 \$ et 11,57 \$ par kilogramme en 2021, en tenant compte de l'inflation. En utilisant ces valeurs pour le bassin de la rivière du Nord, **le coût de traitement annuel pour éliminer l'intégralité de l'azote exporté vers les milieux aquatiques varierait entre 5 622 120 \$ et 15 712 060 \$.** **Le service de rétention de l'azote permet quant à lui d'éviter un coût théorique annuel supplémentaire compris entre 7 806 798 \$ et 21 817 549 \$.** Il faut toutefois noter qu'une partie de cette rétention est directement réalisée dans les milieux agricoles où les agriculteurs épandent des intrants chimiques afin d'augmenter les rendements et protéger des insectes et des maladies les cultures.

Dans le cas du phosphore, le coût de traitement a été obtenu à partir des données des usines de traitement de l'eau de Saint-Jérôme. Ces dernières ont recours à des procédés chimiques nécessitant l'usage de sulfate ferrique pour la déphosphatation de l'eau. Comme le coût moyen de traitement d'un kilogramme de phosphore est de 6 \$ (J. Duguay, directeur service environnement Ville de Mirabel, échange courriel, 29 septembre 2021), **le coût annuel de traitement de l'intégralité du phosphore exporté dans les lacs et rivières du bassin versant de la rivière du Nord équivaldrait à 46 104 \$/an.** **Le coût de traitement théorique du service de rétention du phosphore s'établit pour sa part à 1 114 200 \$/an.** Si ces derniers n'étaient pas



présents, la société devrait ainsi supporter ce coût de plus d'un million de dollars par an puisqu'une quantité supplémentaire de phosphore serait exportée vers les milieux aquatiques. Ce montant représente donc un coût évité grâce à la présence des milieux naturels, mais comme pour l'azote, une partie de la rétention s'accomplit dans les milieux agricoles où ces intrants sont utilisés.

La répartition spatiale des cultures sur le territoire et des besoins différents en intrants chimiques d'un type de culture à l'autre et l'existence de zones tampons renseignent sur les portions du territoire où la pollution chimique des cours d'eau est la plus forte. En général, les cultures de crucifères, de pommes de terre et de maïs sont les plus gourmandes en azote (CRAAQ 2010). La culture de pommes de terre demande également le plus d'intrants chimiques phosphorés ce qui en fait la culture la plus polluante pour les sols et rivières à proximité (CRAAQ 2010). Puisque la partie sud du bassin versant de la rivière du Nord est majoritairement à vocation agricole, il n'est pas étonnant que les lacs et rivières y soient les plus chargés en azote et en phosphore. Le manque et/ou l'étroitesse des bandes riveraines et/ou la contiguïté des champs aux rivières et canaux ne permettent pas le traitement ou la rétention de ces polluants par les milieux naturels comme les forêts, les prairies ou les friches. Ainsi, comme pour limiter l'érosion, des actions de revégétalisation ou d'élargissement des bandes riveraines peuvent être entreprises pour réduire le transfert de l'azote et du phosphore vers les cours d'eau. Les pratiques agricoles peuvent également être améliorées selon le modèle « 4R », c'est-à-dire la bonne source (*Right source*), au bon taux (*Right rate*), au bon moment (*Right time*) et au bon endroit (*Right place*) (Nutrient Stewardship, non daté; Reetz et al. 2015).

3.5 Habitat pour la biodiversité

Le SÉ d'habitat pour la biodiversité fait référence à la capacité des écosystèmes à fournir un habitat propice aux espèces tant animales que végétales. Lorsqu'il est question d'évaluer la valeur de SÉ moins tangibles comme ceux d'habitat pour la biodiversité ou d'esthétisme, la méthode d'évaluation contingente, aussi appelée étude de volonté à donner (VAD), est souvent utilisée. Cette méthode d'évaluation économique est basée sur des enquêtes (sondages) auprès d'un échantillon représentatif de la population afin de connaître le montant que cette dernière est prête à donner pour certains biens ou services non marchands (comme l'habitat pour la biodiversité ou la beauté des paysages).

Dans le cadre de cette étude, l'analyse s'est basée sur de précédentes études réalisées dans la communauté métropolitaine de Montréal et dans la région de la Capitale Nationale (Dupras et al. 2015, 2016) dont les valeurs sont issues des bases de données *Environmental Valuation Reference Inventory*¹² et *Ecosystem Services Valuation Database*¹³. Des valeurs économiques minimale, maximale et moyenne sont attribuées à plusieurs écosystèmes (forêts, milieux humides, prairies et pâturages et milieux aquatiques) en tant qu'habitat pour la biodiversité selon la technique d'évaluation contingente. La variabilité des valeurs (min, max, moy) pour la plupart des milieux naturels vient du fait que les données sont issues de différentes études où les populations n'attribuent pas une valeur similaire au service. Cette variabilité est en effet sensible à l'échantillon des personnes sondées, ce qui est souvent perçu comme la principale critique de méthode d'évaluation contingente.

En se basant sur la superficie de chaque classe d'occupation des sols au sein du territoire (tableau 1), et sur les valeurs économiques disponibles par type de milieux (Dupras et al. 2015, 2016), l'analyse de ce service a

¹² www.evri.ca

¹³ <https://www.esvd.net/>



consisté à estimer une valeur économique par milieux du territoire (milieux aquatiques, milieux forestiers milieux humides, prairies et pâturages) en fonction de leur capacité à fournir un habitat pour la biodiversité.

Cette évaluation fournit un aperçu global de la valeur potentielle du territoire pour la biodiversité, mais elle ne peut être considérée comme une valeur spécifique au contexte local puisque les valeurs utilisées ne proviennent pas de la ZGIE. Une évaluation contingente spécifique au territoire, comme celle réalisée pour la conservation des milieux humides (voir section 4), serait nécessaire pour caractériser fidèlement la valeur des différents milieux en tant qu'habitat pour la biodiversité.

Ainsi, selon notre analyse, **la valeur d'habitat du territoire de la ZGIE oscille entre 685 874,12 \$ et 1,7 milliard de \$ par an, pour une valeur annuelle moyenne de 412 M\$** (tableau 8).

Tableau 8. Valeur d'habitat pour la biodiversité pour le territoire de la ZGIE d'Abrinord selon les classes d'occupation des sols.

Utilisation des sols	Valeur d'habitat (\$) / ha			Valeur d'habitat appliqué au territoire de la ZGIE	
	Min.	Moy. pondérée	Max.	Superficie des milieux (ha)	Valeur moyenne totale (\$)
Milieux forestiers	2,26	2 653,55	7 909,71	142 886	379 155 145
Milieux humides	2,26	1 326,77	23 692,01	24 740	32 824 289
Milieux aquatiques	-	10,95	-	13 590	148 810
Milieux anthropiques	-	-	-	20 514	-
Milieux agricoles	-	5,66	-	27 954,37	158 221
Prairie et pâturages	5,66	1 288,46	2 565,60	0,63	811
				TOTAL	412 287 276 \$

En parallèle à ces résultats, le territoire de la ZGIE abrite une riche diversité d'espèces fauniques et floristiques qu'il est important de conserver pour maintenir la productivité des écosystèmes naturels et ainsi soutenir les activités humaines (e.g. Balvanera et al. 2006; Cardinale et al. 2011, 2012). Un système naturel plus riche permet également de limiter la prolifération d'espèces potentiellement indésirables telle que la maladie de Lyme, pour laquelle la transmission aux humains augmente avec la diminution de la diversité des animaux hôtes (Suzán et al. 2009).

Certaines des espèces du territoire possèdent un statut de protection comme la tortue géographique (*Graptemys geographica*) ou la pie-grièche migratrice (*Lanius ludovicianus*), ce qui renforce l'importance de conserver les milieux naturels faisant office d'habitat pour ces espèces précaires. Plusieurs portions du territoire sont d'ailleurs protégées pour assurer la pérennité des espèces. On note ainsi la présence d'habitats fauniques, de refuges biologiques, de réserves naturelles et de sites naturels protégés par conservation volontaire. En termes de recommandations, on peut citer le fait de conserver et favoriser de vastes noyaux d'habitat afin de limiter l'effet de bordure. Une bonne connectivité entre les noyaux d'habitats, par l'intermédiaire de corridors écologiques, est également essentielle pour assurer la résilience d'un territoire puisque le mouvement d'organismes et de matériel génétique est nécessaire au maintien et à la création d'une diversité de processus écologique à l'échelle du territoire (Ahern 2011; Gonzalez et al. 2011).

L'identification et la priorisation des habitats et des milieux naturels à conserver dans un réseau de corridors protégés permettraient en outre de faciliter et prioriser les actions de protection et de restauration à mettre



en œuvre pour contribuer davantage au maintien de la connectivité et mieux guider les prises de décisions en matière d'aménagement du territoire.

3.6 Valeur esthétique des paysages

L'esthétisme des paysages est une valeur culturelle importante attribuée aux milieux naturels et elle participe au bien-être des individus (Ulrich 1983). La valeur économique de ce service varie en fonction du type de paysage et en fonction des préférences des personnes et est ainsi généralement estimée par le biais de sondages (évaluation contingente/étude VAD).

Comme dans le cas de l'habitat pour la biodiversité, les valeurs pour l'esthétisme des paysages ont été calculées à l'aide des données des études de Dupras et al. (2015, 2016). Dans le cadre de ces études, des valeurs minimale et maximale à l'hectare pour l'esthétisme des paysages ont été attribuées à différents milieux naturels (aquatiques, forestiers et agricoles).

En se basant sur la superficie de chaque classe d'occupation des sols au sein du territoire (tableau 1), et sur les valeurs économiques disponibles par type de milieu (Dupras et al. 2015, 2016), l'analyse de ce service a consisté à estimer une valeur économique par milieu du territoire (milieux aquatiques, milieux forestiers milieux humides) en fonction de leur valeur esthétique.

Selon notre analyse, **la valeur totale annuelle pouvant être attribuée à l'esthétisme des paysages de la ZGIE se situe entre 12,4 M\$ et 17,7 M\$ par an, pour une moyenne annuelle de 14,1 M\$/an** (tableau 9).

Tableau 9. Valeur d'esthétique des paysages pour le territoire de la ZGIE d'Abrinord selon les classes d'occupation des sols.

Utilisation des sols	Valeur d'esthétisme (\$) / ha			Valeur d'esthétisme appliqué au territoire de la ZGIE	
	Min.	Moy. pondérée	Max.	Superficie des milieux (ha)	Valeur moyenne totale (\$)
Milieux forestiers	-	82,10	-	142 886	11 730 940
Milieux humides	-	-	-	24 740	
Milieux aquatiques	-	4,38	-	13 590	59 524,20
Milieux anthropiques	-	-	-	20 514	
Milieux agricoles	23,77	83,20	211,70	27 955	2 325 856
				TOTAL	14 116 320,20 \$



4. Estimation de la volonté à donner de la population pour protéger et restaurer les milieux humides du territoire de la ZGIE

Afin d'alléger le contenu du rapport, cette section se limite à la présentation des résultats issus de l'étude de la valeur à donner. De plus amples détails sur cette étude, et notamment la méthodologie, sont fournis en annexes E et F.

Dans l'optique d'estimer la valeur sociale des milieux humides de la ZGIE, une étude a été réalisée par Ann Lévesques et Lynda Gagné de la Chaire de recherche du Canada en Économie Écologique de l'Université du Québec en Outaouais au cours de l'automne 2021. Dans le cadre de cette étude, un questionnaire en ligne a été envoyé à la population locale afin d'évaluer les trois éléments suivants :

- + La volonté de la population à donner une certaine somme d'argent annuellement pour la restauration des milieux humides et les préférences pour faire des dons en termes de programmes de restauration;
- + Les principales préoccupations de la population en lien avec les milieux humides;
- + La position de la population concernant l'utilisation du pesticide Bti dans les milieux humides, qui vise à réduire les populations de moustiques pour le confort des riverains, mais au détriment de l'intégrité des milieux naturels.

Ce type de sondage peut avoir d'importantes répercussions puisque la volonté de la population à conserver un certain type de milieux peut initier la mise en place de mesures de protection et restauration supplémentaires. Une telle approche est donc particulièrement pertinente dans le cadre de cette étude compte tenu des importants SÉ offerts par les milieux humides, de leur très grande capacité de stockage du carbone et que leur perte serait lente et difficile à compenser (Moreno-Mateos et al. 2012, 2015).

4.1 Volonté à donner et programmes de conservation préférés

Dans le cadre de cette étude, la volonté à donner (VAD) a été utilisée pour déterminer combien les personnes participantes seraient prêtes à donner annuellement pour favoriser la conservation des milieux humides (c.-à-d. la protection et/ou la restauration selon la terminologie de Limoges et al. 2013) à l'échelle du bassin versant ainsi que pour identifier leurs préférences sur le territoire d'Abrinord (ZGIE) pour la conservation de ce type de milieu. Une enquête auprès de la population locale a alors été faite à l'aide d'un questionnaire en ligne qui a été rempli par 293 personnes résidant sur le territoire de la ZGIE.

Dans le questionnaire, les personnes participantes devaient choisir parmi quatre types de programmes de dons hypothétiques qui leur étaient proposés de façon aléatoire. À l'exception du 4^e programme qui correspondait toujours au statu quo, c'est-à-dire à aucun soutien financier pour la protection ou la restauration de milieux humides, les trois autres programmes proposaient différentes combinaisons de dons (variant de 10 \$ à 100 \$) et d'objectifs (ex. différents choix d'augmentation de la superficie des milieux humides via la restauration, différents choix de SÉ à améliorer via la restauration et différents choix d'utilisation des milieux via la restauration). Le tableau 10 ci-dessous présente l'ensemble des options possible pour chacune des catégories et qui ont été aléatoirement combinées pour former les trois programmes hypothétiques présentés aux personnes participantes (un extrait du questionnaire est également présenté en annexe E). Pour des raisons statistiques, l'exercice de sélection d'un programme parmi une liste de quatre programmes aléatoires (avec toujours le 4^e correspondant au statu quo) était à réaliser 10 fois.

Tableau 10. Catégories avec leurs options respectives utilisées pour composer de façon aléatoire des programmes de conservation hypothétiques proposés via un questionnaire en ligne pour déterminer la volonté à donner pour la protection et la restauration des milieux humides sur le territoire de la ZGIE d’Abrinord.

Catégories	Options
Valeur annuelle du don	10\$
	25\$
	50\$
	100\$
	200\$
Superficie des milieux humides à restaurer	Augmentation de 10 %
	Augmentation de 20 %
	Augmentation de 30 %
Amélioration visée en SÉ grâce à la restauration	Prévention des inondations
	Améliorer la qualité de l’eau potable
	Protéger la biodiversité
	Lutte aux changements climatiques
Utilisation visée par la restauration	Une amélioration équitable de ces quatre SÉ
	Prélèvement (ex. chasse, trappe, cueillette)
	Observation d’oiseaux
	Activités récréatives et éducationnelles
	Pas de préférence en particulier

Les résultats issus du questionnaire ont révélé que 73 % des personnes participantes sont prêtes à faire un don annuel pour la protection et la restauration des milieux humides. Autrement dit, ces personnes ont privilégié un des trois programmes hypothétiques de dons plutôt que le statu quo. De façon générale, la moyenne des dons est de 40 \$ par année. Les personnes participantes semblent aussi disposées à donner un montant plus élevé lorsque la superficie à restaurer augmente, soit 12 \$ pour chaque 10 % de superficie protégée additionnelle, 24 \$ pour 20 % et 36 \$ pour 30 % (tableau 11).

L’étude a également révélé que les personnes ont tendance à favoriser des programmes d’investissements visant l’amélioration de SÉ spécifiques pour leurs dons plutôt que pour des programmes d’investissements qui visent à améliorer de façon équitable les quatre SÉ proposés. En effet, elles sont prêtes à donner 73,10 \$ pour des programmes visant à protéger la biodiversité, 66,34 \$ pour des programmes visant à accroître la qualité de l’eau potable et 61,49 \$ pour des programmes visant à lutter contre les changements climatiques, comparé à des programmes visant une amélioration équitable des quatre SÉ (option qui a servi de référence).

Finalement, les personnes participantes ont privilégié des programmes qui ciblent les activités récréatives et éducationnelles (dons de 25,78 \$) plutôt que des programmes dont l’utilisation n’est pas ciblée (option qui a servi de référence) (tableau 11).



Tableau 11. Résultats de l'analyse de la volonté à donner des 293 personnes participantes ciblant la restauration de milieux humides sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.

Catégories	Valeurs moyennes des dons (\$)
Superficie des milieux humides à restaurer	1,20 (par % d'augmentation)
Amélioration visée en SÉ	
Prévention des inondations	15,57
Accroître la qualité d'eau potable	66,34
Protéger la biodiversité	73,10
Lutte aux changements climatiques	61,49
Utilisation visée des milieux humides restaurés	
Prélèvement	-7,58
Observation d'oiseaux	13,18
Activités récréatives et éducationnelles	25,78

Les chiffres en gras sont statistiquement significatifs au niveau de confiance de 95 %

Les analyses réalisées sur les réponses au questionnaire ont révélé que 45 % des personnes participantes ont fait leurs choix en fonction du coût annuel de contribution à un programme de protection et de restauration des milieux humides. Le coût annuel est ainsi la catégorie qui a le plus influencé les choix de réponses, suivi par l'amélioration visée en SÉ (27 %), l'utilisation visée par la restauration (16 %) et la superficie à restaurer (12 %) (tableau 12). Plus de détails sur l'étude de la volonté à donner sont fournis en annexe E.

Tableau 12. Importance des catégories dans les réponses au questionnaire ciblant la restauration de milieux humides sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.

Catégories	Importance (%)
Valeur annuelle du don	45,37
Superficie des milieux humides à restaurer	12,29
Amélioration visée en SÉ	26,56
Utilisation visée	15,78



4.2 Principales préoccupations en lien avec les milieux humides

Afin de déterminer quelles sont les principales préoccupations de la population en lien avec les milieux humides, il a été demandé aux personnes participantes, toujours via le questionnaire en ligne, de choisir parmi neuf enjeux locaux ceux qui étaient les plus préoccupants pour elles.

L'analyse des réponses a révélé que cinq problématiques englobent 80 % des préoccupations des personnes sondées. Il s'agit des problématiques suivantes classées selon la part (en %) de préoccupation qu'elles occupent :

1. La mauvaise qualité de l'eau potable (22 %);
2. La dégradation ou perte d'habitats pour la végétation et les animaux sauvages (20 %) ;
3. La surconsommation de la ressource en eau (20 %) ;
4. Les inondations (9 %) ;
5. La perte ou dégradation des milieux humides (9 %).

Les résultats de cette analyse sont décrits plus en détail dans l'annexe E.

4.3 Positionnement de la population quant à l'utilisation de l'insecticide *Bacillus thuringiensis* (Bti)

L'insecticide *Bacillus thuringiensis* (plus communément appelé Bti) est utilisé pour réduire les populations de moustiques dans les milieux humides et vise donc à offrir plus de confort à la population locale. Toutefois, bien qu'il s'agisse d'un insecticide dit « biologique » puisque les toxines sont issues d'une bactérie, il n'est pas sans conséquence sur les milieux naturels (Allgeier et al., 2019) et ses impacts sur la faune aquatique notamment sont encore controversés. Pour mieux cerner la valeur accordée aux milieux humides par la population vivant sur le territoire de la ZGIE, il a été demandé aux personnes répondant au questionnaire si elles étaient en faveur ou en défaveur de l'utilisation du Bti au sein du territoire. Plusieurs justifications étaient ensuite proposées suite à leur choix. Par exemple, pour les personnes en défaveur de son utilisation, une des justifications proposées était « Le rôle de l'insecte dans l'écosystème » (figure A8, annexe F). Cette justification a d'ailleurs été la plus fréquemment sélectionnée par les personnes en défaveur de l'utilisation du Bti.

Bien que la majorité des 293 personnes interrogées (51 %) ne préfère pas que le Bti soit appliqué au sein des milieux naturels du territoire, 28 % n'avaient pas d'opinion, ce qui montre un manque d'intérêt et/ou de connaissance à l'égard de l'utilisation de cet insecticide (figure 1).

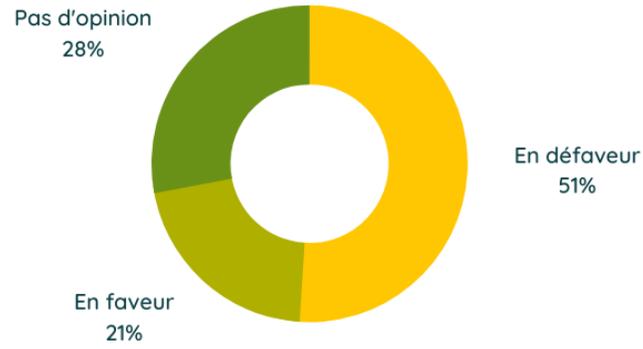


Figure 1. Proportion de la population interrogée en faveur, en défaveur et n'ayant pas d'opinion sur l'utilisation de l'insecticide *Bacillus thuringiensis* (Bti) au sein des milieux naturels de la ZGIE d'Abrinord.

5. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION

La présente étude visait à évaluer la valeur biophysique et/ou monétaire d'un ensemble de services écosystémiques pour le territoire de la zone de gestion intégrée de l'eau d'Abrinord (synthèse des résultats fournis au tableau 4).

L'évaluation économique des services écosystémiques, bien qu'elle ne soit pas exempte de tout défaut et ne capture pas la valeur globale des écosystèmes (Maris & Revérêt 2010), sert à exprimer différentes valeurs (ex. écologique, culturelle) dans une unité commune intelligible pour les décideurs et décideuses politiques. Il devient alors possible de guider l'aménagement du territoire en évaluant les coûts et bénéfices associés à la restauration ou à la dégradation des écosystèmes. L'étude réalisée fournit également un ensemble de cartes et données géomatiques permettant de spatialiser et localiser les zones à fortes valeurs écologiques (ex. milieu forestier pour le stockage du carbone) ou au contraire problématiques et pour lesquels des mesures doivent être prises (ex. zone d'érosion, polluée par l'azote et/ou le phosphore).

Au regard des enjeux et problématiques observées, une liste de recommandations non exhaustives est proposée.

- **Planifier le développement urbain dans la portion nord du territoire**

Il y a davantage de précipitation dans la section nord du territoire que dans la portion sud et elle coïncide avec la partie la plus montagneuse du territoire. Il convient de tenir compte de ces paramètres lors du développement pour deux principales raisons. Premièrement, l'imperméabilisation des territoires (routes, habitation), notamment dans les pentes fortes, aux abords des cours d'eau ou dans les secteurs reconnus pour être sujets à l'érosion, augmente les risques d'érosion dans les zones contiguës. Cette érosion a un coût économique direct (ex. nettoyage des cours d'eau, augmentation des coûts dans les stations d'épuration de l'eau) et indirect (ex. l'augmentation de la turbidité de l'eau a des conséquences négatives sur l'habitat et la présence d'espèces fauniques ce qui entraîne ensuite une baisse de l'attrait touristique du territoire). Deuxièmement, un développement urbain substituant les surfaces naturelles perméables à des surfaces imperméables risque d'augmenter la quantité et la vitesse de l'eau qui ruissellera vers les lacs et rivières. Ceci peut donner lieu à une montée des eaux des lacs et rivières plus rapides pouvant conduire à son tour à des crues subites et inondations, notamment en aval.

- **Identifier et conserver les milieux forestiers et humides participant le plus aux retombées des services écosystémiques**

Certains écosystèmes du territoire, selon leur position spatiale, peuvent avoir une valeur plus importante que le même écosystème situé ailleurs. Avec les données géomatiques produites, notamment pour les services de contrôle de l'érosion et de polluants, il est possible d'évaluer spatialement si le développement urbain futur se localise dans une zone d'importance pour les services écosystémiques de régulation mentionnés. Autrement, de façon plus générale, il convient de favoriser la protection ou la restauration des zones tampons le long des milieux aquatiques comme des bandes riveraines de qualité, c'est-à-dire fortement végétalisées et d'une largeur convenable. Il en va de même pour les forêts et milieux humides situés entre des pistes de ski et des milieux aquatiques. Ces actions limiteraient le transfert de polluants et de sédiments vers les cours d'eau. La mise en place de haies brise-vent et de cultures de couverture en milieu agricole est également préconisée pour réduire l'érosion éolienne et hydrique. Enfin, dans le même ordre d'idée, il est suggéré de limiter la conversion de milieux naturels en zones urbanisées surtout dans les secteurs en pente et assurer une couverture végétale (herbacée ou autre) pour minimiser la perte de sols.



- **Conserver les milieux humides naturels existants, notamment ceux à proximité des villes et milieux agricoles et éviter leur destruction au profit d'une création de nouveaux milieux humides**

Les milieux humides sont des écosystèmes fragiles possédant une très grande valeur écologique. Bien que la loi 132 encadre davantage la protection des milieux humides, il est préférable de conserver les milieux humides présents plutôt que de créer de nouveaux milieux pour contrebalancer les pertes. Les milieux humides sont en effet régis par des processus biogéochimiques extrêmement lents et la création d'un nouveau milieu humide ne contrebalance pas la perte de certaines fonctions, comme le stock de carbone présent ou la biodiversité. La localisation des milieux humides est également importante puisque ces milieux offrent d'importants services de filtration de l'eau (utile en contexte agricole et urbain) et de refuges pour la biodiversité (habitat, nourriture).

- **Sensibiliser et mobiliser la population pour la conservation des milieux humides**

L'étude de la volonté à donner réalisée révèle la disposition de la population locale à faire des dons pour la protection et la restauration des milieux humides. Il s'agit également d'un argument important à amener auprès des personnes élues notamment pour la création de programmes de protection et restauration de milieux humides. Toutefois, bien que certaines préoccupations associées aux milieux humides soient ressorties suite au sondage, un travail de sensibilisation semble nécessaire afin de mieux informer la population quant au rôle de ces milieux dans nos écosystèmes et à leurs grandes valeurs écologiques, économiques, sociale et culturelle. Il s'avère aussi utile d'informer la population des effets négatifs de l'insecticide Bti sur les écosystèmes et leur dynamique puisque de nombreuses personnes n'avaient pas d'opinion sur le sujet.

- **Maintenir et améliorer la connectivité des paysages pour assurer la résilience des écosystèmes**

Le territoire de la ZGIE compte déjà un ensemble de territoires protégés abritant des espèces à statut. Cette protection de noyaux d'habitat pourrait s'accompagner d'une identification des corridors écologiques régionaux, notamment dans la portion sud de la ZGIE, puisque les milieux naturels y sont déjà fragmentés par l'urbanisation et l'agriculture. L'identification de corridors écologiques permettrait en outre de mieux les intégrer lors de la planification territoriale et le cas échéant, de mettre en place des mesures d'atténuation afin de ne pas nuire à la circulation des espèces. En créant un réseau d'aires protégées reliées par des corridors écologiques, on assure ainsi la bonne circulation des espèces et donc la résilience des écosystèmes, un enjeu important en contexte de changements climatiques.

Bien que les enjeux territoriaux au sein de la zone de gestion intégrée de l'eau divergent selon les secteurs, les écosystèmes naturels y jouent un rôle essentiel de fournisseurs de biens et services et nous devons nous assurer le maintien de cet approvisionnement en modifiant nos pratiques de gestion du patrimoine naturel. L'approche basée sur l'évaluation des services rendus vise à mieux cerner la contribution actuelle des milieux naturels de la ZGIE et à repenser les rapports des sociétés humaines avec les écosystèmes dont elles dépendent. Cette étude se veut un outil d'aide à la décision ainsi qu'un argumentaire robuste pour convaincre et sensibiliser les acteurs économiques et politiques de l'importance de conserver et/ou restaurer le patrimoine naturel du territoire.



6. RÉFÉRENCES

- Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341-343p.
- Allgeier, S., Friedrich, A., Brühl, C. A. 2019. Mosquito control based on *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) interrupts artificial wetland food chains. *Science of The Total Environment* (686), 1173-1184, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.358>.
- Andersson, J. L., Wittgren, H. B., Kallner, S., Ridderstolpe, P., Hägermark, I. (2002). Wetland Oxeloesund, Sweden- The first five years of operation. *Advances in Ecological Sciences*, 12, 9-28p.
- Balvanera, P., A. B. Pfisterer, N. Buchmann, J. S. He, T. Nakashizuka, D. Raffaelli, and B. Schmid. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9, 1146-1156p.
- Bissonnette, Demers & Lavoie (2016). Utilisation du territoire: Méthodologie et description de la couche d'information géographique. MDDELCC. 37p.
- Bureau du forestier en chef. (2015). Effet de la stratégie d'aménagement sur la quantité de carbone séquestré sur le territoire forestier aménagé québécois. FEC-AVIS-06-2015. Roberval, Qc, 18 p. + annexes
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67p.
- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., ... & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. *American journal of botany*, 98(3), 572-592p.
- Cheng, C., Li, M., Xue, Z., Zhang, Z., Lyu, X., Jiang, M., & Zhang, H. (2020). Impacts of Climate and Nutrients on Carbon Sequestration Rate by Wetlands: A Meta-analysis. *Chinese Geographical Science*, 30(3), 483-492p.
- Christie, M., Hanley, N., Warren, J., Murphy, K., Wright, R., & Hyde, T. (2006). Valuing the diversity of biodiversity. *Ecological Economics*, 58(2), 304-317. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.034>
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). (2010). Guide de référence en fertilisation (2e ed.). Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 473p.
- Clark, W.C. (ed.). (1982). Carbon dioxide review: 1982. Oxford University Press, NY. 467p.
- Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau (RAMSAR). (Non daté). Les zones humides: avis de disparition mondiale. Fiche technique 3. Consulté à : https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet3_fr.pdf
- Dupras, J., Alam, M., & Révéret, J. P. (2015). Economic value of Greater Montreal's non-market ecosystem services in a land use management and planning perspective. *Le géographe canadien*, 59(1), 93-106p.
- Dupras, J., L'Ecuyer-Sauvageau, C., Auclair, J., He, J. et Poder, T. (2016). Capital naturel : la valeur économique de la trame verte de la commission de la capitale nationale. Fondation David Suzuki et partenaires.
- Environnement et Changement Climatique Canada. (2020). A healthy environment and a healthy economy canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet, annex carbon pollution pricing, 79p. Consulté à : https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/annex_pricing_carbon_pollution.pdf
- Ernst, C., Gullick, R. & Nixon, K. (2004). Conserving forests to protect water. *Opflow*, 30(5),1-7p.



- Fennessy, M. S., Wardrop, D. H., Moon, J. B., Wilson, S., & Craft, C. (2018). Soil carbon sequestration in freshwater wetlands varies across a gradient of ecological condition and by ecoregion. *Ecological Engineering*, 114, 129-136p.
- Fankhauser, S. (1994). The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach. *The Energy Journal*, 15(2), 157-184p.
- Gilbert, M.; Madden, C.J.; Boynton, W.; Flemer, D.; Heil, C.; Sharp, D. (2010). *Nutrients in Estuaries: Summary Report of National Estuarine Experts Workgroup 2005–2007*; EPA Contract No. 68-C-02-91 and EP-6-07-025; United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 188p.
- Gonzalez, A., Rayfield, B., & Lindo, Z. (2011). The disentangled bank: How loss of habitat fragments and disassembles ecological networks. *American Journal of Botany*, 98(3), 503–516p.
- Hansen, L. & Ribaud, M. (2008). Economic measures of soil conservation benefits: Regional values for policy assessment. *USDA Technical Bulletin*, 25p.
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., ... & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS one*, 12(2), e0169748.
- Hoorman, J. J. (2009). *Using cover crops to improve soil and water quality*. Lima, Ohio: Agriculture and Natural Resources, The Ohio State University Extension, 4p.
- Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (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. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56p.
- Limoges, B., Boisseau, G., Gratton, L. et Kasisi, R. (2013). Terminologie relative à la conservation de la biodiversité in situ. *Le Naturaliste canadien*, 137(2), 21–27. <https://doi.org/10.7202/1015490a>
- Major, P. (2020). *Modélisation spatiale des stocks en carbone, azote et phosphore des tourbières laurentiennes*. [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Papyrus. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/24224>
- Maris, V., & Revérêt, J. P. (2010). L'évaluation économique de la biodiversité et des biens et services écologiques: regards croisés économiques et philosophiques. In *La Convention internationale sur la biodiversité—enjeux et mise en œuvre*, Paris: La documentation Française, Paris, 53-76p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2016). *Utilisations du Territoire. Dataset V1.4*.
- Mitsch, W. J. & Gosselink, J. G. (2007). *Wetlands*. Fourth edition. JohnWiley and Sons, New York, New York, USA.
- Moreno-Mateos, D., Meli, P., Vara-Rodríguez, M. I., & Aronson, J. (2015). Ecosystem response to interventions: lessons from restored and created wetland ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), 1528-1537p.
- Moreno-Mateos, D., Power, M. E., Comín, F. A., & Yockteng, R. (2012). Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS biology*, 10(1), e1001247.
- Nutrient Stewardship. (Non daté). *The Nutrient Stewardship 4R Pocket Guide*. 32p. Consulté à : <https://nutrientstewardship.org/4r-pocket-guide/>
- Olewiler, N. (2004). *The Value of Natural Capital in Settled Areas of Canada*. Ducks Unlimited Canada and the Nature Conservancy of Canada. 36p.



Patoine, M. (2017). Charges de phosphore, d'azote et de matières en suspension à l'embouchure des rivières du Québec – 2009 à 2012. Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 25 p + annexes.

Reetz, H. F., Heffer, P., & Bruulsema, T. W. (2015). 4R nutrient stewardship: A global framework for sustainable fertilizer management. *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*, 65-86p.

Ressources naturelles Canada. (En ligne). Information topographique. Consulté à : <https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/science-et-recherche/sciences-terre/geographie/information-topographique/10803>

Ruesch, A. & Gibbs, H.K. (2008). New IPCC Tier-1 global biomass carbon map for the year 2000. Available online from the Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Consulté à : <http://cdiac.ornl.gov>.

Soilgrids Team. (2020). SoilGrids — global gridded soil information. Consulté à : <https://www.isric.org/explore/soilgrids>

Somda, J. & Awaïss, A. (2013). Economic valuation of ecological functions and services of natural ecosystems: Guide on the use of simple methods. Ouagadougou, Burkina Faso: IUCN. 32p.

Suzán, G., Marcé, E., Giermakowski, J. T., Mills, J. N., Ceballos, G., Ostfeld, R. S., ... & Yates, T. L. (2009). Experimental evidence for reduced rodent diversity causing increased hantavirus prevalence. *PloS one*, 4(5), e5461.

Tong, S.T. & Chen, W. (2002). Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of environmental management*, 66(4), 377-393p.

Ulrich, R. S. (1983). Aesthetic and affective response to natural environment. Dans *Behavior and the natural environment* (pp. 85-125). Springer, Boston, MA.

Walton, C. R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R. J., Lange, J., Oehmke, C., ... & Hoffmann, C. C. (2020). Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, 727, 138709.

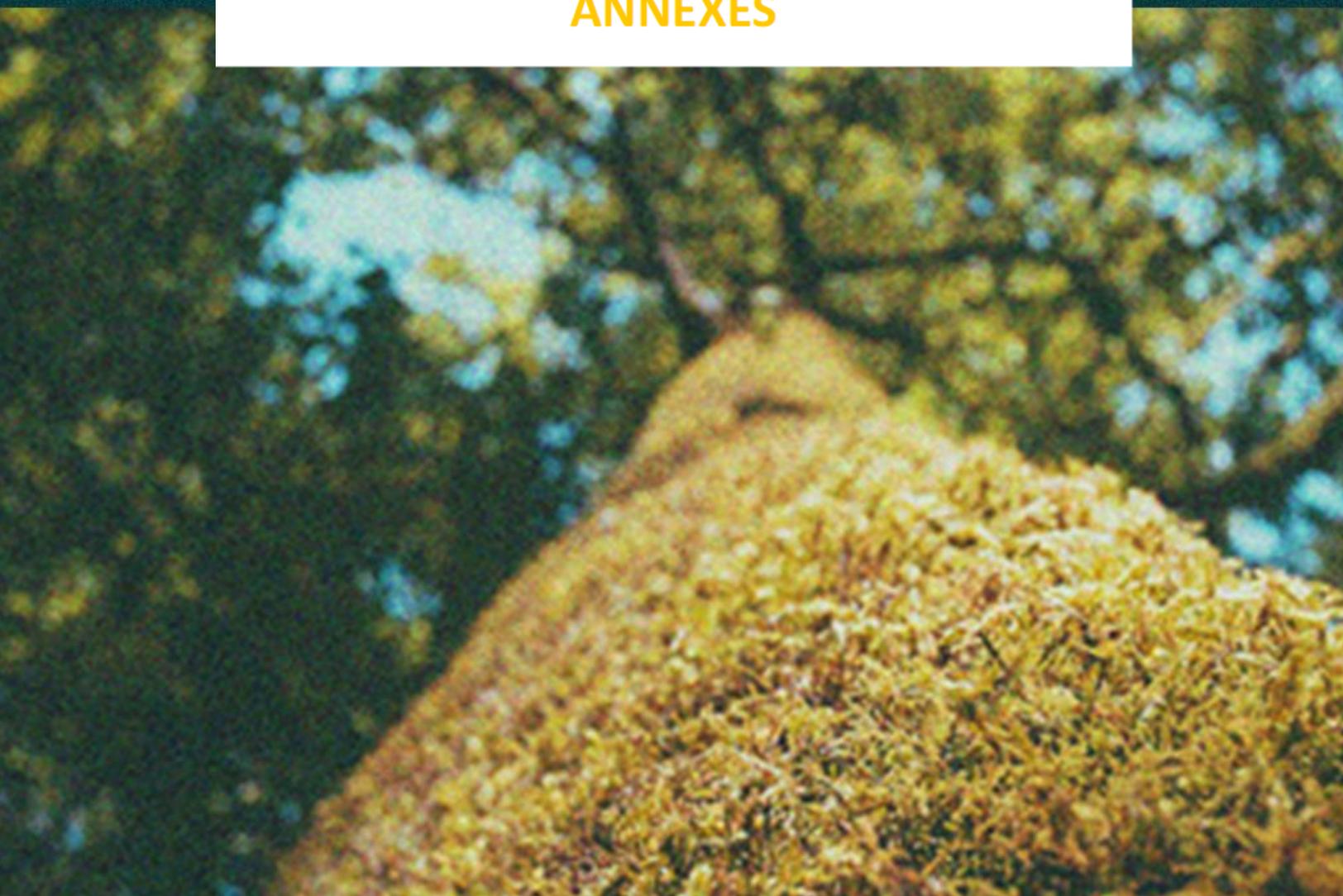
Wood, S.L.R., Dupras, J., Bergevin, C., Kermagoret, C. (2019). La valeur économique des écosystèmes naturels et agricoles de la Communauté métropolitaine de Québec et de la Table de concertation régionale pour la gestion intégrée du Saint-Laurent. *Ouranos*. 75 p.

Zedler, J. B. & Kercher, S. (2005). Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources* 30, 39–74p.

h'abitat

LA NATURE À L'ŒUVRE

ANNEXES



ANNEXE A

Revue de la littérature scientifique sur le rôle de régulation des milieux humides

Afin de mieux le rôle des milieux humides en tant que système de régulation, nous avons effectué une revue de la littérature scientifique visant à distinguer 1) la capacité de séquestration et de stockage du carbone et 2) la capacité de filtration des polluants (azote phosphore) pour chaque type de milieux humides.

Basé sur le système de classification canadien (Warner & Rubec, 1997), on différencie 5 types de milieux humides : bog (tourbière ombrotrophe), fen (tourbière minérotrophe), marais, marécage et eau peu profonde. À noter toutefois que la revue de la littérature n'a pas toujours permis d'évaluer la capacité de séquestration et de stockage du carbone ou la capacité de filtration de tous les types de milieux par manque de données.

Bog Tourbière caractérisée par une accumulation de tourbe d'au moins 40 cm d'épaisseur dont la surface est surélevée ou au niveau du terrain avoisinant. Contrairement aux fens ou aux marais, les bogs ne sont pas alimentés par les eaux souterraines (nappe phréatique), mais uniquement par des eaux de ruissellement issues des précipitations, du brouillard et de l'eau de fonte. On parle alors de milieux ombrotrophes. Les bogs sont généralement couverts de sphaignes et d'éricacées, qu'il y ait des arbres ou non.

Fen Tourbière caractérisée par une accumulation de tourbe d'au moins 40 cm et alimentée par les eaux de ruissellement et par la nappe phréatique. Les eaux des fens sont ainsi riches en minéraux dissous, ce qui en fait des milieux dits minérotrophes. La circulation de surface peut se faire par des canaux, des mares et d'autres plans d'eau libre. En général, une végétation graminéoïde et quelques bryophytes dominent les fens les plus aqueux, tandis que les arbustes prédominent dans les fens plus secs.

Marais Zone humide caractérisée par la présence d'une nappe phréatique peu profonde dont le niveau d'eau change généralement sur une base quotidienne, saisonnière ou annuelle. La végétation des marais se compose principalement de plantes aquatiques émergentes (ex. joncs, roseaux, quenouilles), de plantes aquatiques flottantes et partiellement submergées, et de plantes non vasculaires (ex. mousses brunes, algues macroscopiques).

Marécage Zone humide généralement caractérisée par une nappe phréatique élevée – ils sont généralement inondés – et dominée par des arbres ou de grands arbustes (au moins 30 % de la couverture végétale). Les marécages se trouvent aussi bien sur les sols minéraux que sur la tourbe.

Eau peu profonde Zones humides distinctes faisant la transition entre les terres humides et les cours d'eau et plans d'eau profonds et pérennes. Le niveau de l'eau ne dépasse pas deux mètres de profondeur en plein été. L'eau libre doit occuper au moins 75 % de la surface d'un bassin confiné ou d'une zone saturée, y compris les zones humides environnantes.

a. Capacité de séquestration et de stockage du carbone par les milieux humides

Afin d'avoir des valeurs applicables au territoire d'Abrinord, les chiffres proposés sont issus d'articles scientifiques aux conditions climatiques et physiques similaires à la ZGIE d'Abrinord. Des valeurs plus globales

ont également été ajoutées à titre de comparaison. Les valeurs pour la séquestration du carbone sont exprimées en gramme par mètre carré par an (g/m²/an) (tableau A1) et celles pour le stockage en kilogramme par mètre carré (kg/m²) (tableau A2). Les valeurs présentées ci-dessous ont été utilisées pour évaluer les quantités de carbone stocké dans les différents milieux humides de la ZGIE (section 3.)

Tableau A1 Capacité de séquestration du carbone par les différents types de milieux humides selon une revue de la littérature scientifique.

Biome	Milieu humide	Min. séq. carbone (g/m ² /an)	Max. séq. carbone (g/m ² /an)	Moy. pondérée séq. carbone (g/m ² /an)	Source
Boréale /Taïga	Bog/Fen	-68,52	179,04	35,06	Garneau & Van Bellen 2016; Gorham 1991; Loisel et al. 2014; Robitaille et al. 2021; Webster et al. 2018
Forêt tempérée	Bog/Fen	12,61	276,97	100,73	Webster et al. 2018
Global	Bog	-	-	76,90	Cheng et al. 2020
Forêt tempérée	Marais	51	210	126,75	Bernal & Mits 2012; Loder & Finkelstein 2020
Global	Marais	-	-	196,70	Cheng et al. 2020
Forêt tempérée	Marécage	-	-	-	
Forêt tempérée	Milieux humides (généraux)	65	473	103,50	Bernal & Mits 2012; Fennesey et al. 2018
Global	Milieux humides (généraux)	-	-	185,20	Cheng et al. 2020

Tableau A2 Capacité de stockage du carbone par les différents types de milieux humides selon une revue de la littérature scientifique.

Biome	Milieu humide	Min. stock carbone (kg/m ²)	Max. stock carbone (kg/m ²)	Moy. pondéré stock carbone (kg/m ²)	Source
Toundra	Bog	38,20	126,20	63,42	Garneau & Van Bellen 2016
Boréale/ Taïga	Bog/Fen	63,40	126,20	95,72	Garneau & Van Bellen 2016; Robitaille et al. 2021
Forêt tempérée	Bog/Fen	44,60	475,80	147,10	Garneau & Van Bellen 2016; Major 2020; Webster et al. 2018
Forêt tempérée	Marais	1,10	4,62	2,86	Bernal & Mits 2012
Forêt tempérée	Marécage	3,93	309,50	94,39	Bernal & Mits 2012; Fennessy et al. 2018; Nahlik & Fennessy 2016; Mazurczyk & Brooks 2018
Forêt tempérée	Milieux humides (généraux)	2,73	53,90	15,17	Bernal & Mits 2012; Major 2020

On constate à travers cette revue de la littérature que le taux de séquestration annuel du carbone varie d'un milieu humide à l'autre, mais aussi selon le biome où se localise le milieu humide. La variabilité est également marquée en termes de stockage de carbone.

Cette variabilité s'explique principalement par la vitesse de croissance et de décomposition des végétaux. Par exemple, la végétation des milieux forestiers croît plus vite et en plus grande abondance que celle des milieux humides. Dès lors le rythme de séquestration des milieux forestiers est plus grand que celui des milieux humides. En revanche la décomposition des végétaux (et donc le relâchement du carbone dans l'atmosphère) est plus rapide en milieu forestier qu'en milieu humide dû aux conditions physico-chimiques des milieux humides. Les forêts peuvent stocker le carbone pendant les décennies ou des siècles, mais les milieux humides peuvent séquestrer et accumuler le carbone pendant des millénaires, ce qui conduit à des niveaux de carbone stocké beaucoup plus élevés.

Ainsi, la disparition des milieux humides existants entraînerait, entre autres, une hausse marquée des quantités du dioxyde de carbone dans l'atmosphère et contribuerait aux changements climatiques. Les milieux humides sont des écosystèmes clés en matière de régulation du climat, il est primordial de les conserver.

b. Capacité de filtration des polluants par les milieux humides

La revue de la littérature a révélé le faible nombre d'études effectuées en milieux naturels pour évaluer la capacité de filtration des milieux humides. La plupart des recherches actuelles mesurent plutôt la capacité de filtration des milieux humides en laboratoire dans des milieux humides « construits » puisqu'il est plus facile d'étudier les processus en action. Les résultats présentés au tableau A3 fournissent des valeurs spécifiques aux milieux humides naturels. À noter que les données obtenues n'ont pas été utilisées dans le cadre de l'évaluation du contrôle des nutriments (azote et phosphore) sur le territoire de la ZGIE puisque le modèle nécessite l'utilisation de valeurs quantitatives et non relatives (pourcentages) comme certaines des valeurs obtenues.

Tableau A3 Capacité de filtration de l'azote et du phosphore par les milieux humides en milieu naturel selon une revue de la littérature scientifique (les unités peuvent différer d'une étude à l'autre).

Biome	Milieux humides	Filtration de l'azote	Filtration du phosphore	Nombre de relevés	Source
Forêt tempérée	Bog/Fen	45 %	2,10 kg/ha/an	-	Walton et al. (2020)
Forêt tempérée	Marais	36 %	12,90 kg/ha/an	24	Walton et al. (2020)
Forêt tempérée	Marécage	23,71 %	-	1	Xu (2006)
Toundra	Eau peu profonde	-	89,83 %	6	Yates et al. (2012)
Forêt tempérée	Milieux humides (généraux)	37 %	87,70 %	5	Andersson et al. (2002)

Il existe une grande variabilité de valeurs dans la littérature compte tenu le nombre de paramètres influençant la capacité de filtration des milieux humides naturels. La quantité de polluants entrant dans le milieu humide, l'hydrologie du milieu, les processus biogéochimiques, les caractéristiques du sol et de la végétation, l'échelle temporelle, le niveau de dégradation du milieu (Walton et al. 2020) sont autant de paramètres à considérer pour évaluer précisément la capacité de filtration des nutriments par les milieux humides et seules des analyses terrain pourraient affiner les résultats présentés dans le tableau A3.

RÉFÉRENCES

Andersson, J. L., Wittgren, H. B., Kallner, S., Ridderstolpe, P., Hägermark, I. (2002). Wetland Oxeloesund, Sweden- The first five years of operation. *Advances in Ecological Sciences*, 12, 9-28p.

Bernal, B. & Mitsch, W. J. (2012). Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities. *Global Change Biology*, 18(5), 1636-1647p.



- Fennessy, M. S., Wardrop, D. H., Moon, J. B., Wilson, S., & Craft, C. (2018). Soil carbon sequestration in freshwater wetlands varies across a gradient of ecological condition and by ecoregion. *Ecological Engineering*, 114, 129-136p.
- Garneau, M., & Van Bellen, S. (2016). Synthèse de la valeur et la répartition du stock de carbone terrestre au Québec. Rapport final présenté au Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques du Québec.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological applications*, 1(2), 182-195p.
- Loder, A. L., & Finkelstein, S. A. (2020). Carbon accumulation in freshwater marsh soils: A synthesis for temperate North America. *Wetlands*, 40(5), 1173-1187p
- Loisel, J., Yu, Z., Beilman, D. W., Camill, P., Alm, J., Amesbury, M. J., ... & Zhou, W. (2014). A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. *The Holocene*, 24(9), 1028-1042p.
- Major, P. (2020). Modélisation spatiale des stocks en carbone, azote et phosphore des tourbières laurentiennes. [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Papyrus. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/24224>
- Mazurczyk, T., & Brooks, R. P. (2018). Carbon storage dynamics of temperate freshwater wetlands in Pennsylvania. *Wetlands Ecology and Management*, 26(5), 893-914p.
- Nahlik, A. M., & Fennessy, M. S. (2016). Carbon storage in US wetlands. *Nature Communications*, 7(1), 1-9p.
- Robitaille, M., Garneau, M., van Bellen, S., & Sanderson, N. K. (2021). Long-term and recent ecohydrological dynamics of patterned peatlands in north-central Quebec (Canada). *The Holocene*, 31(5), 844-857p.
- Walton, C. R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R. J., Lange, J., Oehmke, C., ... & Hoffmann, C. C. (2020). Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, 727, 138709.
- Warner, B. G. & Rubec, C. D. A. (1997). Système de classification des terres humides du Canada. Centre de recherche sur les terres humides, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Webster, K. L., Bhatti, J. S., Thompson, D. K., Nelson, S. A., Shaw, C. H., Bona, K. A., ... & Kurz, W. A. (2018). Spatially-integrated estimates of net ecosystem exchange and methane fluxes from Canadian peatlands. *Carbon balance and management*, 13(1), 1-21p.
- Xu, Y. J. (2006). Total nitrogen inflow and outflow from a large river swamp basin to the Gulf of Mexico. *Hydrological sciences journal*, 51(3), 531-542p.
- Yates, C. N., Wootton, B. C., & Murphy, S. D. (2012). Performance assessment of arctic tundra municipal wastewater treatment wetlands through an arctic summer. *Ecological Engineering*, 44, 160-173p.

ANNEXE B

Méthodologie utilisée pour l'évaluation des services écosystémiques

Tableau A4 Méthodes d'analyses biophysique et économique utilisée pour l'évaluation des SÉ sur le territoire de la ZGIE d'Abrinord.

Service écosystémique	Méthode d'analyse biophysique	Logiciel d'analyse	Méthode d'évaluation économique
Approvisionnement en eau (potable et non potable)	Modélisation	Water Yield model ¹⁴	NA (évaluation biophysique seulement)
Séquestration du carbone	Modélisation	CBM-CFS3 ¹⁵	Coût social du carbone ¹⁶
Stockage du carbone	Modélisation	NFI ¹⁷ / CBM-CFS3	Coût social du carbone
Contrôle de l'érosion - Exportation - Rétention	Modélisation	Sediment Delivery Ratio model ¹⁸	- Coût de traitement (transfert de bénéfice) - Coût évité
Contrôle de l'azote - Exportation - Rétention	Modélisation	Nutrient Delivery ration model ¹⁴	- Coût de traitement (transfert de bénéfice) - Coût évité
Contrôle du phosphore - Exportation - Rétention	Modélisation	Nutrient Delivery ration model	- Coût de traitement - Coût évité
Habitat pour la biodiversité	Analyse géomatique	QGIS ¹⁹	Volonté à payer (transfert de bénéfice)
Esthétisme des paysages	Analyse géomatique	QGIS	Volonté à payer (transfert de bénéfice)

¹⁴ <https://invest-userguide.readthedocs.io/en/latest/reservoirhydropowerproduction.html>

¹⁵ Operational-scale Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3) version 1.2: user's guide. 2019. Kull, S.J.; Rampley, G.J.; Morken, S.; Metsaranta, J.; Neilson, E.T.; Kurz, W.A. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. Edmonton, AB. 348 p.

¹⁶ Le coût social du carbone traduit en termes monétaires les dommages provoqués par la libération dans l'atmosphère d'une tonne supplémentaire de carbone (ou de tout autre gaz à effet de serre) (Fankhauser 1994).

¹⁷ Calculatrice de biomasse de l'Inventaire Forestière Nationale <https://nfi.nfis.org/fr/biomass>

¹⁸ <https://invest-userguide.readthedocs.io/en/latest/sdr.html>

¹⁹ <https://www.qgis.org/en/site/>



ANNEXE C1

Méthodologie pour l'approvisionnement en eau potable et non potable

Nous estimons la quantité d'eau captée et relâchée par les milieux naturels à l'aide du modèle InVEST pour le rendement annuel en eau. Ce modèle estime la contribution relative des écosystèmes et des classes d'utilisation des sols à l'approvisionnement de l'eau total dans un bassin versant pour les débits de base, de surface et souterrain. Il calcule le débit d'eau annuel qui ruisselle pour différents types de surface en fonction de la différence entre les précipitations locales et l'évapotranspiration potentielle à l'aide de la courbe de Budyko. Nous appliquons les données sur la précipitation annuelle moyenne entre 2000 et 2015 et les données de référence pour l'évapotranspiration pendant la même période de McKenney et al. (2011) disponible pour l'étendu du Canada à une résolution de 10 km. Afin de bien cibler la végétation et les sols à l'échelle locale, le modèle est calibré en fonction des données locales portant sur l'enracinement des végétaux et la capacité de rétention d'eau des sols. Cette analyse est réalisée à l'échelle du bassin versant pour estimer le déversement total dans les rivières.

RÉFÉRENCES

Fankhauser, S. (1994). The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach. *The Energy Journal*, 15(2), 157-184p.

McKenney, D.W., Hutchinson, M.F., Papadopol, P., Lawrence, K., Pedlar, J., Campbell, K., ... & Owen, T. (2011). Customized spatial climate models for North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(12), 1611-1622p.

ANNEXE C2

Résultats de l'approvisionnement en eau pour les sous-bassins versants de la ZGIE

Tableau A5 Résultats de l'approvisionnement en eau pour les sous-bassins versants de la ZGIE.

ID	Bassin versant	Superficie (km ²)	Précipit. annuelle moy. ²⁰ (mm)	Évapotransp. annuelle potentielle moy. ²¹ (mm)	Approv. annuel moyen en eau ¹⁸ (mm)	Volume d'eau annuel total ²² (m ³)
1	Rivière Bellefeuille	47,68	1 071	37	1 034	49 317 956
2	Rivière Saint-Antoine	30,68	1 018	31	989	30 329 758
3	Ruisseau Geneva	15,70	971	36	936	14 698 046
4	Ruisseau Robert	15,85	979	37	944	14 964 977
5	Ruisseau Laurin	6,39	983	38	947	6 052 858
6	ND	5,74	981	33	949	5 453 296
7	Ruisseau Saint-André-Saint-Jérusalem	8,31	981	37	946	7 863 674
8	Ruisseau Walker	2,79	981	24	957	2 667 034
9	ND	3,94	1 046	44	1 003	3 955 823
10	Ruisseau Lachute	7,58	987	37	952	7 214 855
11	ND	9,28	1 045	42	1 005	9 322 660
12	Cours d'eau Silverson	9,89	987	40	948	9 375 859
13	ND	23,12	1 041	42	1 000	23 113 757
14	ND	5,27	1 035	43	993	5 230 467
15	ND	34,48	1 069	39	1 031	35 546 028
16	Ruisseau Laurin	6,80	1 013	35	978	6 657 382
17	Rivière Sainte-Marie	23,88	998	34	966	23 081 156
18	ND	0,48	1 037	37	1 002	479 007
19	Ruisseau des Hauteurs	11,70	1 037	34	1 004	11 742 141
20	Ruisseau de la Boucane	6,09	1 055	35	1 020	6 210 376

²⁰ L'échelle d'analyse pour ces valeurs est de 30 m x 30 m.

²¹ <https://www.isric.org/explore/soilgrids>

²² L'échelle d'analyse pour ces valeurs est le sous-bassin versant.



ID	Bassin versant	Superficie (km ²)	Précipit. annuelle moy. ²⁰ (mm)	Évapotransp. annuelle potentielle moy. ²¹ (mm)	Approv. annuel moyen en eau ¹⁸ (mm)	Volume d'eau annuel total ²² (m ³)
21	La Petite Rivière	8,31	1 071	39	1 032	8 573 398
22	ND	23,22	1 081	34	1 047	24 316 286
23	Ruisseau Marois	13,72	1 075	36	1 039	14 258 367
24	ND	9,37	1 106	42	1 065	9 981 662
25	Le Grand Ruisseau	24,75	1 113	30	1 084	26 827 551
26	ND	13,04	1 112	40	1 072	13 984 775
27	Ruisseau Saint-Louis	19,41	1 132	37	1 095	21 258 078
28	Ruisseau à Régimbald	17,08	1 144	38	1 107	18 907 552
29	ND	19,57	1 150	38	1 112	21 766 256
30	ND	3,46	1 157	39	1 119	3 869 924
31	ND	2,00	1 149	38	1 112	2 219 698
32	ND	6,47	1 147	31	1 116	7 220 136
33	ND	37,70	1 149	38	1 112	41 923 330
34	ND	32,14	1 145	38	1 107	35 582 864
35	ND	40,45	1 135	35	1 100	44 495 492
36	ND	3,36	1 125	38	1 088	3 649 662
37	ND	2,01	1 131	37	1 095	2 198 391
38	ND	9,82	1 131	38	1 094	10 740 259
39	ND	28,50	1 123	39	1 085	30 924 628
40	Rivière de l'Ouest	369,62	1 082	39	1 044	385 905 312
41	Rivière Doncaster	226,02	1 148	38	1 111	251 160 385
42	Rivière à Simon	165,57	1 134	37	1 098	181 812 416
43	Rivière Noire	140,10	1 134	36	1 099	153 910 979
44	Rivière aux Mulets	137,70	1 145	36	1 110	152 877 485
45	Rivière Rouge	142,62	981	37	946	134 943 598
46	Ruisseau Bonniebrook	86,63	1 097	39	1 059	91 746 997
47	Ruisseau Williams	61,81	1 079	40	1 040	64 306 705
48	Ruisseau Lachapelle	18,44	1 147	35	1 113	20 524 379
49	ND	11,09	1 050	31	1 020	11 308 517
50	Ruisseau Morand	4,83	1 018	42	977	4 718 587
51	ND	2,64	1 146	39	1 108	2 927 121
52	Cours d'eau Silverson	2,08	989	39	951	1 975 266



ID	Bassin versant	Superficie (km ²)	Précipit. annuelle moy. ²⁰ (mm)	Évapotransp. annuelle potentielle moy. ²¹ (mm)	Approv. annuel moyen en eau ¹⁸ (mm)	Volume d'eau annuel total ²² (m ³)
53	ND	6,19	1 029	38	992	6 136 141
54	ND	3,83	1 037	22	1 016	3 894 441
55	ND	10,91	978	40	939	10 244 058
56	Ruisseau Laughren	9,11	978	39	940	8 566 228
57	Ruisseau McVean	10,02	979	40	940	9 413 044
58	Rivière Watson	2,51	982	42	940	2 356 707
59	Ruisseau Cushing	7,90	983	41	943	7 452 621
60	ND	0,51	972	26	947	486 229
61	ND	2,15	972	40	934	2 011 868
62	Rivière du Nord	2 224,15	1 092	37	1 056	2 348 752 404



ANNEXE D

Méthodologie utilisée pour l'évaluation du carbone stocké dans les milieux forestiers

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour évaluer le carbone stocké dans les milieux forestiers de la ZGIE. Dans un premier temps, nous avons quantifié le carbone stocké dans la biomasse végétative aérienne des peuplements forestiers. Pour ce faire, nous avons collecté les données de volume de bois marchand (m^3/ha) par espèce d'arbre pour chaque peuplement à l'aide de données provenant du 4^{ième} inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM). La biomasse sèche (t/ha) a ensuite été calculée selon les estimations de volume de bois marchand à l'aide du calculateur de biomasse (<https://nfi.nfis.org/en/biomass>) mis à disposition par l'Inventaire forestier national du Canada (IFN). Nous avons par la suite converti ces estimations de biomasse en kilogrammes de carbone stocké selon la formule de Goslee et al. (2014). Le carbone stocké a finalement été converti en équivalent de CO_2 selon le facteur de conversion de 3,67 (Clark 1982) qui permet d'exprimer les stocks de carbone en tonne équivalent CO_2 par hectare (tCO_2/ha).

Le stockage de carbone végétatif souterrain (racines des arbres) a par sa part été calculé en multipliant les estimations des stocks de carbone aériens selon le rapport racine : pousse, suivant les valeurs issues de Ruesch et Gibbs (2008).

Enfin, pour le stockage du carbone souterrain, les données du carbone organique du sol (tonne d'eq CO_2/ha) à une profondeur de 0-30 cm ont été utilisées. Ces données ont été téléchargées à partir de SoilGridsTM, un système de cartographie numérique mondiale des sols²³.

RÉFÉRENCES

Goslee, K., Walker, S.M., Grais, A., Murray, L., Casarim, F. & Brown, S. (2014). Technical guidance series: Module C-CS: Calculation for estimating carbon stocks. Leaf technical guidance series for the development of a forest carbon monitoring system for REDD+. Winrock International: Consulté à : https://www.leafasia.org/sites/default/files/resources/Winrock_LEAF_REDD_TechSeries_C-CS.pdf

Ruesch, A. & Gibbs, H.K. (2008). New IPCC Tier-1 global biomass carbon map for the year 2000. Available online from the Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Consulté à : <http://cdiac.ornl.gov>.

Soilgrids Team. (2020). SoilGrids — global gridded soil information. Consulté à : <https://www.isric.org/explore/soilgrids>

²³ <https://www.isric.org/explore/soilgrids>



ANNEXE E

Méthodologie pour l'évaluation de la disposition des citoyens à faire des dons pour la conservation des milieux humides

a. La modélisation de choix (MDC)

La modélisation de choix (MDC) fait partie d'un groupe de modélisation économique appelé « préférences déclarées ». Elle tente d'imiter le marché libre qui, en sciences de l'économie, est utilisé pour dériver les valeurs sociales des biens et services (Atkinson et al., 2018). La MDC est une méthode favorisée pour les études qui cherchent à déterminer des valeurs économiques pour les biens et services sans valeur marchande (Christie et al., 2006 ; Rudd et al., 2016), par exemple pour la valorisation d'espèces ou d'habitats d'aires protégées.

Ce type de modélisation est mis en œuvre en utilisant des sondages représentatifs de la population d'intérêt, c'est-à-dire la population qui va bénéficier du programme. On vise ainsi les personnes adultes qui habitent la zone d'étude et qui pourraient financer les programmes hypothétiques. La MDC propose des programmes alternatifs aux personnes sondées, chacun associé à un coût, prix, ou don, et leur demande de choisir une alternative.

Dans le cadre de l'étude, cette méthode a permis de déterminer la disposition de la population locale à faire un don à un organisme environnemental local pour un programme de restauration de milieux humides et leur préférence en termes de programme. Ainsi, à dix reprises, les personnes participantes devaient choisir parmi quatre programmes. Trois des options étaient des choix avec dons combinant des options aléatoires pour chacune des trois catégories suivantes : superficie à restaurer (10 %, 20 % ou 30 %), type de service écosystémique visé (prévention des inondations, accroître la qualité de l'eau potable, protéger la biodiversité, lutte contre les changements climatiques ou une intervention balancée), et utilisation visé (prélèvement, observation des oiseaux, activités récréatives et éducationnelles ou pas de préférence en particulier). La quatrième option était une option sans don où aucun effort ne serait fait pour restaurer les milieux humides. Le montant des dons (10 \$, 25 \$, 50 \$, 100 \$, et 200 \$) était associé de façon aléatoire à des options de services écosystémiques et d'utilisations. La figure A1 présente un exemple de choix entre quatre programmes hypothétiques proposés aux personnes sondées :

Pour soutenir la restauration et la protection des milieux humides de votre région, laquelle de ces options choisiriez-vous?

Les coûts pour réaliser ces options seraient financés par un don annuel fait à un organisme environnemental de votre région.

Pour des raisons statistiques, vous devez faire cet exercice 10 fois.

OPTION 1	OPTION 2	OPTION 3
Superficie des milieux humides	Superficie des milieux humides	Superficie des milieux humides
Augmentation de 20%	Augmentation de 30%	Augmentation de 20%
Amélioration visée par l'intervention	Amélioration visée par l'intervention	Amélioration visée par l'intervention
Protéger la biodiversité	Lutte au changement climatique	Pas de préférence en particulier
Usage souhaité par l'intervention	Usage souhaité par l'intervention	Usage souhaité par l'intervention
Activité de prélèvement (chasse, cueillette...)	Pas de préférence en particulier	Observation d'oiseaux
Coût annuel	Coût annuel	Coût annuel
100 \$	25 \$	50 \$
Sélectionner	Sélectionner	Sélectionner

OPTION 4
Je préfère la situation actuelle soit de ne pas soutenir financièrement la conservation et la restauration de milieux humides de ma région
Sélectionner

Figure A1 Exemple de choix entre quatre programmes de conservation hypothétiques proposés aux personnes sondées.

Les réponses collectées permettent de calculer une volonté à donner (VAD) marginale, pour la superficie et les bénéfices ciblés. Ils permettent aussi d'évaluer la valeur moyenne de dons acceptés soit pour l'ensemble des personnes sondées, soit par catégorie. Dans un contexte de finances publiques, la moyenne de dons acceptés peut être agrégée, servant de valeur sociale justifiant un investissement égal à cette agrégation pour un programme de réhabilitation de milieux humides.

- **Volonté à donner (VAD) et moyenne de dons acceptés**

L'évaluation de la valeur moyenne de dons acceptés a été réalisé en utilisant *mixed logit (wtp)* dans le logiciel Stata (Hole, 2015). La moyenne a aussi été calculée par catégorie des personnes participantes et par sous-groupes des 293 personnes (voir annexe F).

- **Analyse conjointe basée sur les choix (CBC)**

Afin de connaître les préférences individuelles de la population, la MDC a été couplée à une analyse conjointe basée sur les choix (CBC). Cette méthode est souvent utilisée pour réaliser des études de marché, car elle permet d'identifier les caractéristiques auxquelles les personnes sondées sont les plus sensibles et réceptives.



Dans le cadre de l'étude, cette analyse a été utilisée pour identifier les catégories ayant le plus influencé le choix des personnes sondées entre les différents programmes proposés (c.-à-d. valeur du don, superficie à restaurer, améliorée en SÉ visée ou utilisation visée). L'analyse CBC a été réalisée en se basant sur l'approche hiérarchique bayésienne (HB). Il s'agit d'une méthode d'estimation statistique adaptée pour mettre en évidence l'hétérogénéité des préférences à l'intérieur d'un échantillon d'une population. Le terme hiérarchique fait référence à sa caractéristique de travailler à deux niveaux différents, soit le niveau de l'échantillon (c.-à-d. la population) et le niveau individuel (Netzer et al., 2008). Au niveau de l'échantillon, cette approche suppose que les valeurs d'utilité partielle des individus sont décrites par une distribution normale multivariée. Au niveau individuel, cette approche suppose que la probabilité qu'une personne choisisse une option parmi d'autres est régie par un modèle logit multinomial. Ces deux niveaux permettent à l'algorithme « d'emprunter » les informations manquantes du niveau individuel au niveau de l'échantillon (Orme & Chrzan, 2017). Dans cette étude, l'estimation HB a été réalisée à l'aide du logiciel Lighthouse Studio 9.10.0 basé sur l'algorithme Monte Carlo Markov Chain (Orme et Chrzan, 2017).

b. La méthode Maxdiff

La méthode Maxdiff (*Maximum Difference Scaling*) est utilisée dans plusieurs domaines de recherche, tels que les sciences du marketing, sociales et environnementales (Dekhili et al. 2010 ; Pérez y Pérez et al. 2019). Basée sur la théorie de l'utilité aléatoire (*Random utility theory*), cette méthode vise à déterminer l'importance relative que les individus accordent à un ensemble d'options (Erdem et al., 2012) en demandant aux personnes participantes d'identifier les options qui sont selon elles les meilleures et les pires. En plus d'être une méthode valide pour mesurer les préférences d'une population vis-à-vis différents choix, elle facilite la prise de décision chez les personnes sondées (Cohen 2003).

Dans le cadre de l'étude, cette méthode a notamment été utilisée pour identifier les principales préoccupations de la population en lien avec les milieux humides. Ainsi, à six reprises, les personnes participantes ont identifié parmi cinq options, celle qui était la plus préoccupante et celle qui était la moins préoccupante. Les cinq options présentées de façon aléatoire étaient tirées de cette liste :

1. Destruction/dégradation des milieux humides;
2. Érosion des berges/érosion côtière;
3. Présence d'algues bleu-vert;
4. Inondations;
5. Surconsommation de la ressource en eau;
6. Mauvaise qualité de l'eau potable;
7. Sécheresse;
8. Dégradation ou perte d'habitats pour la végétation et les animaux sauvages;
9. Présence d'espèces exotiques envahissantes.

RÉFÉRENCES

Atkinson, G., Braathen, A., Groom, B., & Mourato, S. (2018). Cost-benefit analysis and the environment: Further developments and policy use. Organisation for Economic Co-operation and Development. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264085169-en>

Christie, M., Hanley, N., Warren, J., Murphy, K., Wright, R., & Hyde, T. (2006). Valuing the diversity of biodiversity. *Ecological Economics*, 58(2), 304–317. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.034>



Cohen, S. H. (2003). Maximum difference scaling: Improved measures of importance and preference for segmentation. www.sawtoothsoftware.com

Dekhili, S., Cohen, E., & Sirieix, L. (2010). Apports de la méthode « Best Worst » à l'analyse interculturelle des critères de choix des consommateurs : cas de l'huile d'olive (No. 2010-06). <https://hal.inrae.fr/view/index/identifiant/hal-02823522>

Erdem, S., Rigby, D., & Wossink, A. (2012). Using best-worst scaling to explore perceptions of relative responsibility for ensuring food safety. *Food Policy*, 37(6), 661–670. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.07.010>

Hole, A. R. (2015). MIXLOGITWTP: Stata module to estimate mixed logit models in WTP space. Statistical Software Components S458037, Boston College Department of Economics, revised 20 Apr 2016.

Netzer, O., Toubia, O., Bradlow, E. T., Dahan, E., Evgeniou, T., Feinberg, F. M., Feit, E. M., Hui, S. K., Johnson, J., Liechty, J. C., Orlin, J. B., & Rao, V. R. (2008). Beyond conjoint analysis: Advances in preference measurement. *Marketing Letters*, 19(3–4), 337–354. <https://doi.org/10.1007/s11002-008-9046-1>

Orme, B. K., & Chrzan, K. (2017). *Becoming an expert in conjoint analysis: Choice modeling for pros*. Sawtooth Software, Inc.

Pérez y Pérez, L., Egea, P., & de-Magistris, T. (2019). When agrarian multifunctionality matters: identifying heterogeneity in societal preferences for externalities of marginal olive groves in Aragon, Spain. *Land Use Policy*, 82, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.052>

Rudd, M. A., Andres, S., & Kilfoil, M. (2016). Non-use economic values for little-known aquatic species at risk: Comparing choice experiment results from surveys focused on species, guilds, and ecosystems. *Environmental Management*, 58(3), 476–490. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0716-0>

ANNEXE F

Résultats complémentaires de l'étude sur la volonté à donner (VAD)

a. Répartition géographique des personnes participantes

Il y a eu 293 personnes sondées pour cette étude dont environ 40 provenaient de l'extérieur de la zone d'étude. Selon les chercheuses, cela n'a toutefois pas eu d'impact significatif sur les résultats pour la ZGIE.

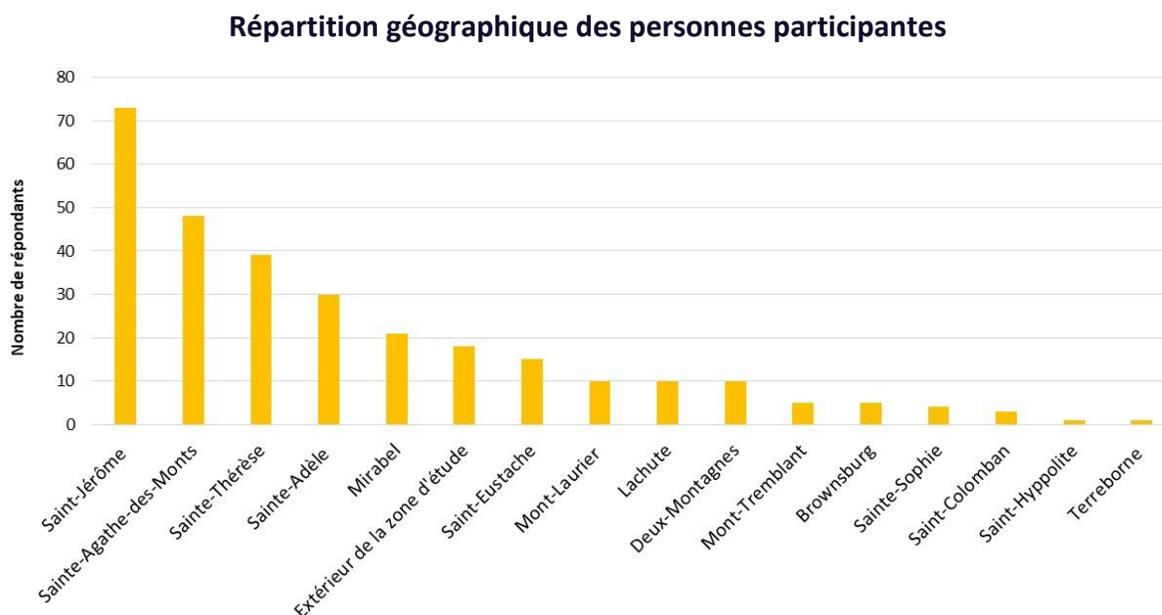


Figure A2 Répartition géographique des personnes participantes au sondage.

b. Résultats MaxDiff : préoccupations des personnes participantes

La figure A3 correspond à la place occupée par diverses préoccupations pour les personnes sondées, concernant des problématiques environnementales présentes sur leur territoire tel qu'écrit dans le rapport : la mauvaise qualité de l'eau potable, la dégradation ou perte d'habitats pour la végétation et les animaux sauvages, la surconsommation de la ressource en eau, les inondations et la perte ou dégradation des milieux humides englobent 80 % des préoccupations exprimées.

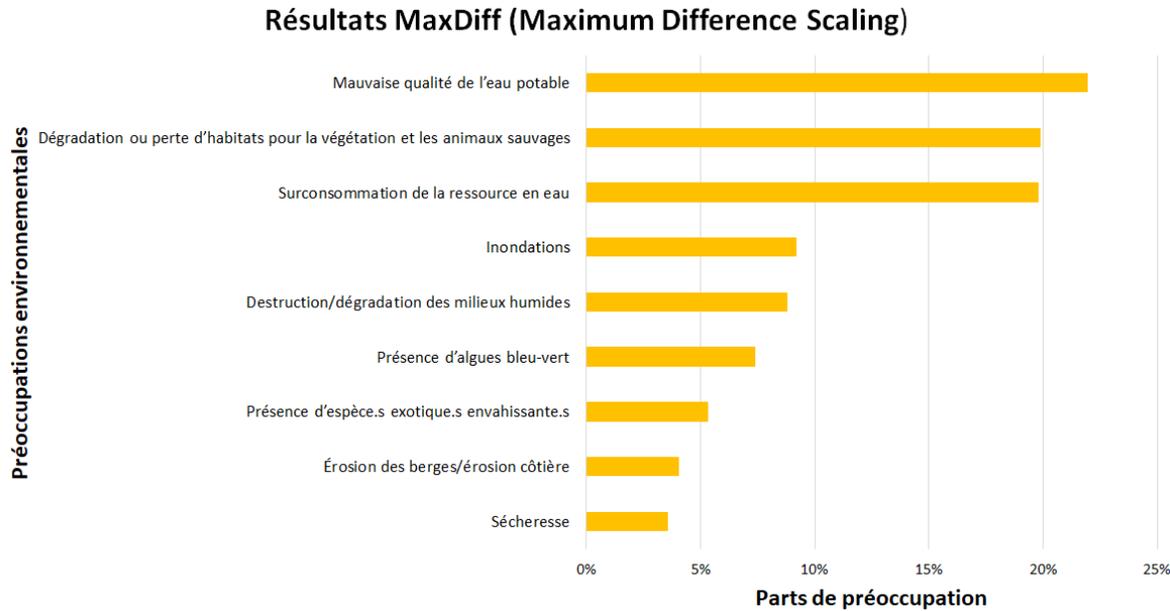


Figure A3 Résultats de MaxDiff démontrant la part de préoccupation de divers enjeux liés à la conservation des milieux humides.

c. Moyenne de dons acceptés (MDA)

Dans l'étude sur la volonté à donner, des moyennes de dons acceptés ont été calculées pour des sous-catégories de réponses à des questions posées dans le sondage. Plus précisément :

- Dans quelle mesure le gouvernement du Québec devrait-il protéger les milieux humides ? À partir des réponses à cette question, la MDA a été calculée par réponse (figure A4).
- Quel est votre niveau de préoccupation sur la perte des milieux humides (figure A5)
- Quel est votre niveau d'éducation ? (Figure A6).

La moyenne de dons acceptés pour l'ensemble des 293 personnes participantes est de 40 \$ annuellement. Néanmoins, cette moyenne varie selon le choix de réponse des personnes pour certaines questions. En effet, les personnes qui supportent beaucoup plus de protection gouvernementale pour les milieux humides ont une MDA de 48 \$ comparé à 7 \$ et 12 \$ pour celles qui ne souhaitent aucun changement dans ce domaine et celles qui en souhaitent moins. On observe aussi que les personnes se disant "extrêmement" préoccupées de la perte des milieux humides sont prêtes à payer 58 \$ annuellement, comparé à 4 \$ pour celles se disant "pas du tout" préoccupées.

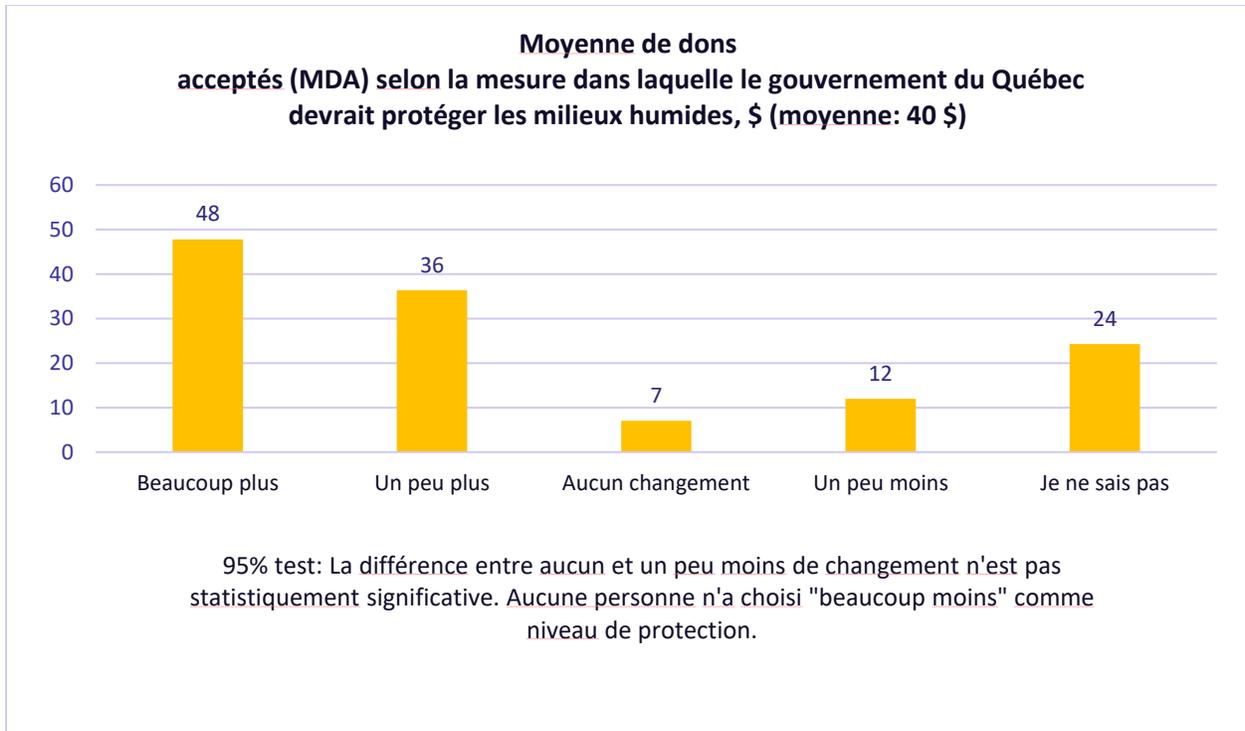


Figure A4 Moyenne de dons acceptés (MDA) selon la mesure dans laquelle le gouvernement du Québec devrait protéger les milieux humides.

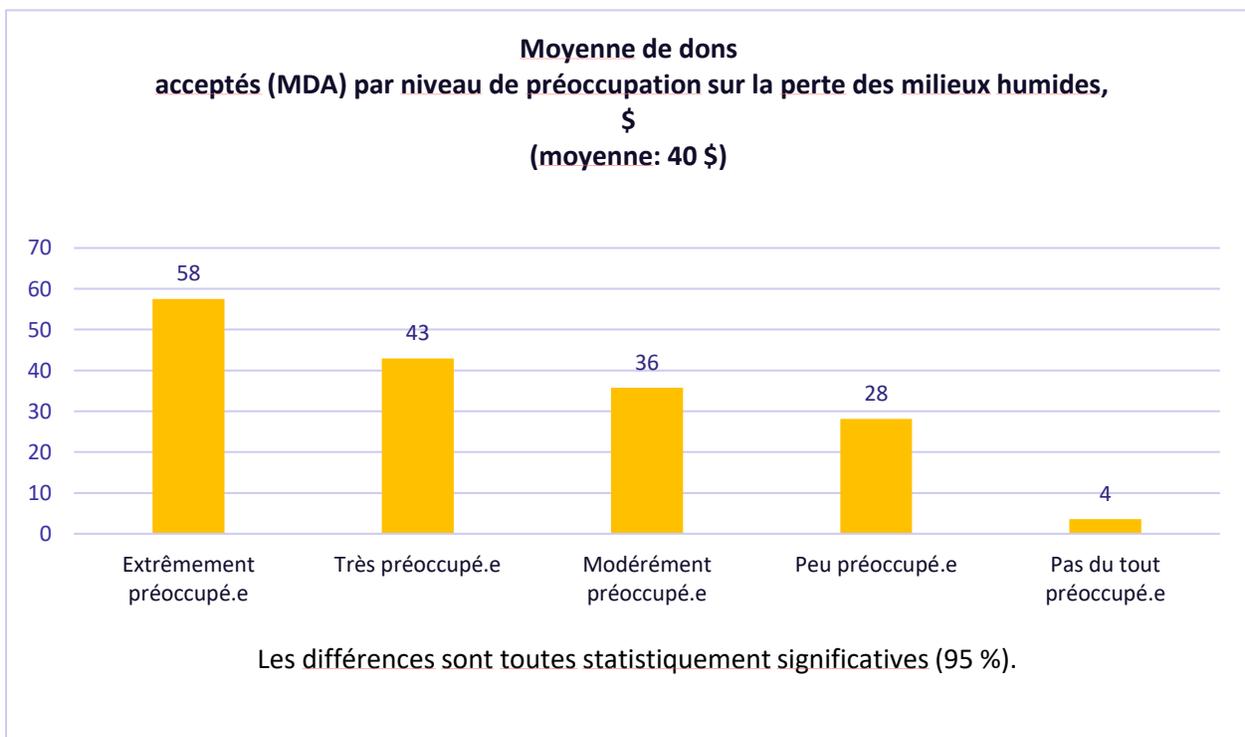


Figure A5 Moyenne de don acceptés (MDA) par niveau de préoccupation sur la perte des milieux humides.

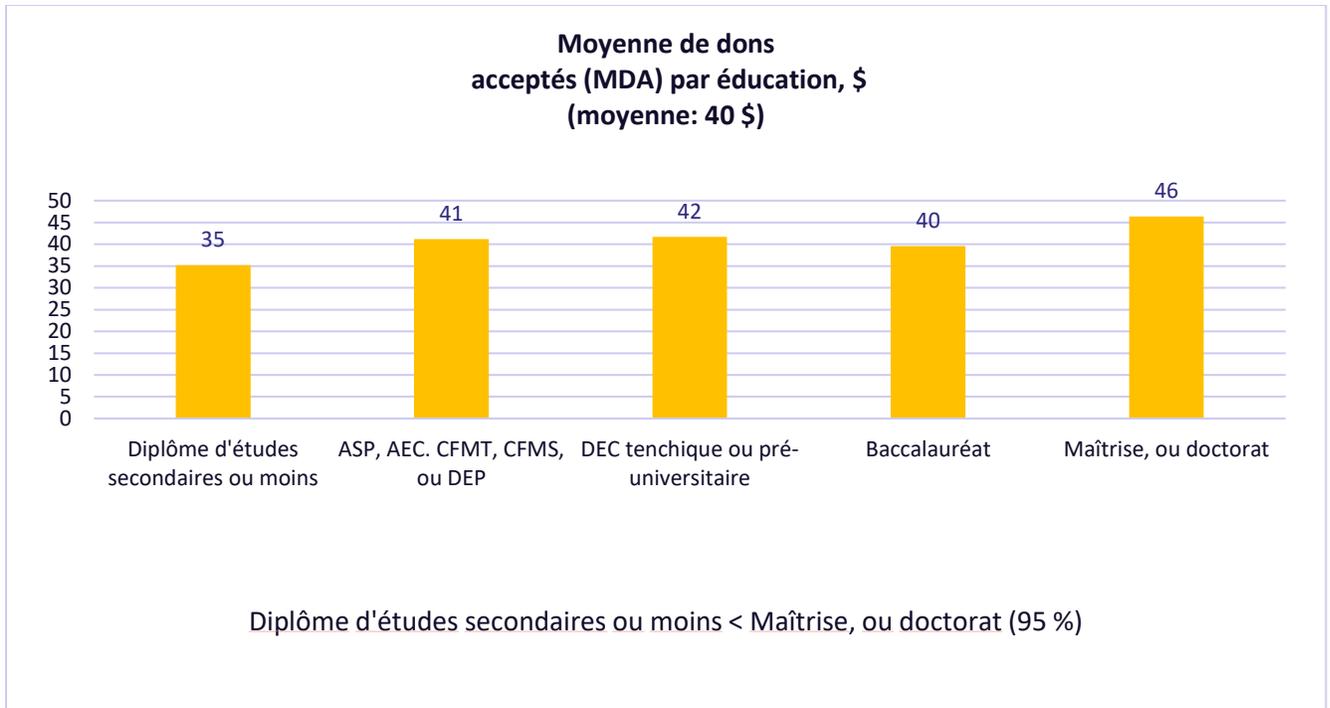


Figure A6 Moyenne de dons acceptés par niveau d'éducation des personnes participantes.

d. Résultats de l'expérience CBC

Les résultats de l'analyse hiérarchique bayésienne de l'expérience CBC sont présentés dans le tableau A6. La moyenne (échelle de 0 à 100) des scores a été redimensionnée pour faciliter la lecture. Ce tableau présente les coefficients d'utilité partielle de chaque option par catégorie. Il est important de noter qu'une valeur d'utilité partielle négative ne signifie pas nécessairement une préférence négative, mais elle indique que ce niveau est généralement moins attractif que les autres options.

Tableau A6 Résultats de l'analyse hiérarchique bayésienne de l'expérience CBC.

Catégorie # 1 : Coût annuel	Valeur d'utilité
10 \$	66,56
25 \$	46,26
50 \$	17,91
100 \$	-38,82
200 \$	-91,92
Statu quo	-49,17
Catégorie # 2 : superficie des milieux humides	Valeur d'utilité
10%	-9,65
20%	6,76
30%	2,88
Catégorie # 3 : Amélioration visée	Valeur d'utilité
Un mélange équilibré	-29,98
Prévention des inondations	-26,21
Accroître la qualité d'eau potable	22,09
Protéger la biodiversité	19,32
Lutte aux changements climatiques	14,78
Catégorie # 4 : usage souhaité	Valeur d'utilité
Pas de préférence en particulier	0,48
Prélèvement	-14,26
Observation d'oiseaux	-2,64
Activités récréatives et éducationnelles	16,43

e. Préférences des personnes participantes sur l'utilisation du Bti

Dans l'analyse des préférences des personnes participantes concernant l'utilisation du Bti, plusieurs propositions, selon si elles étaient en faveur ou défaveur, leur ont été soumises dans le sondage pour justifier leur choix. La thématization du contenu qualitatif a été faite avec NVivo et une approche en mode continu pour identifier les propositions (et les fusionner parfois) afin de synthétiser les données, selon Paillé et Mucchielli (2016).

La figure A7 illustre les propositions pour les personnes participantes en faveur de l'utilisation du Bti ainsi que le nombre de personnes qui ont choisi chacune d'elles. La figure A8 indique quant à elle les propositions soumises aux personnes en défaveur ainsi que le nombre de personnes qui les ont choisies.

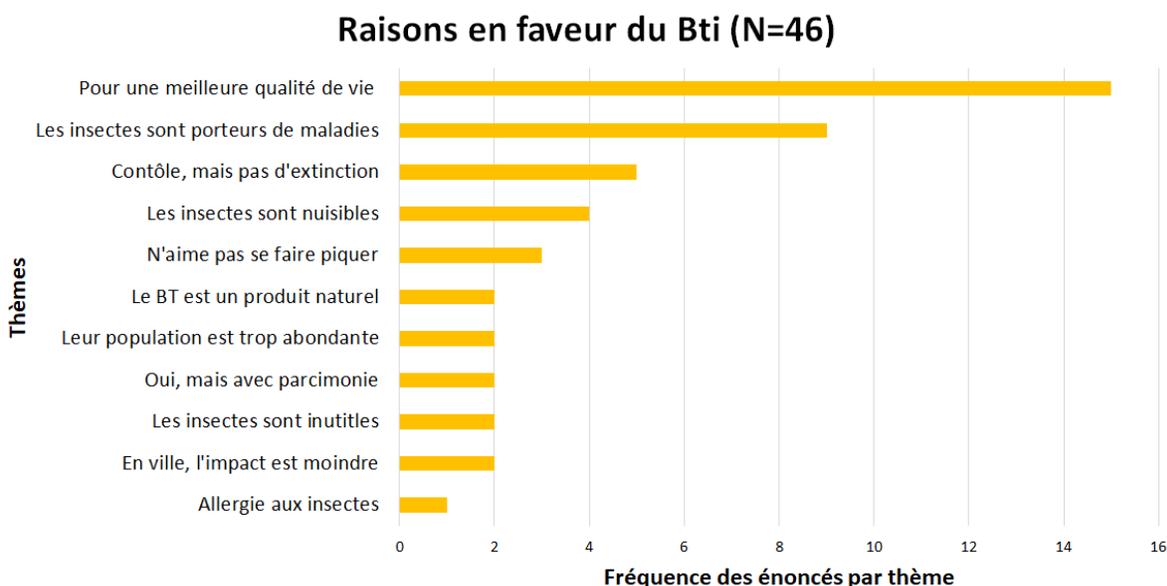


Figure A7 Justification des 46 personnes en faveur du Bti.

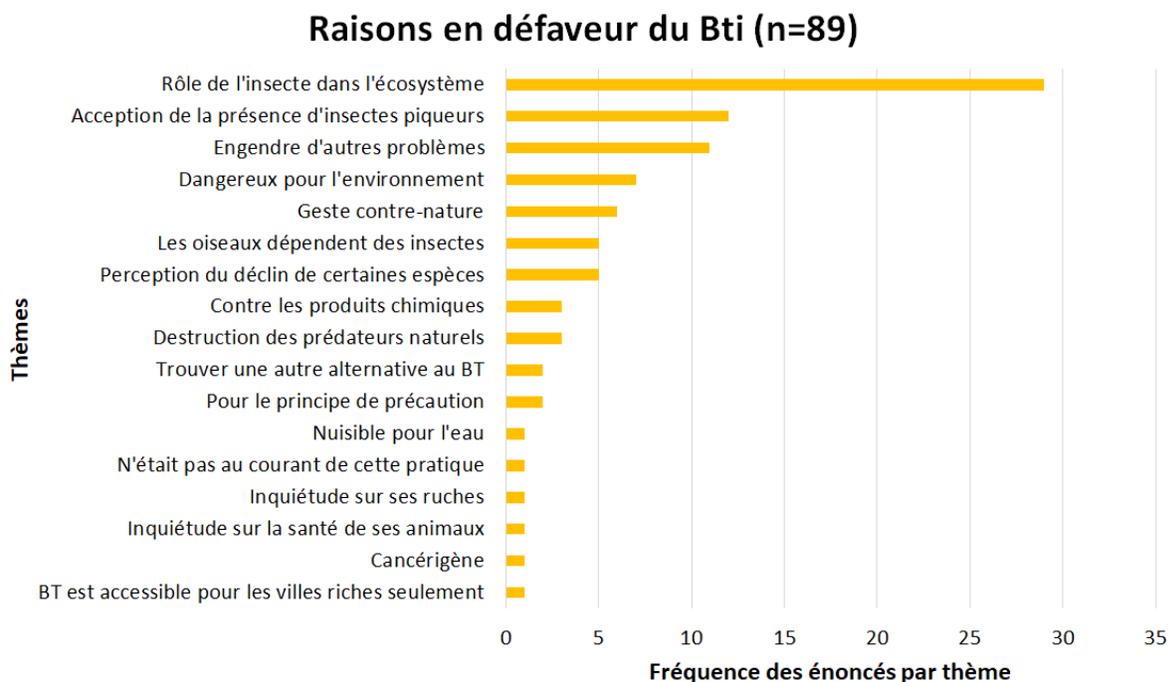


Figure A8 Justifications des 89 personnes en défaveur du Bti.



RÉFÉRENCES

Paillé, P. et Mucchielli, A. (2016). L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales (4ème édition, p.432) [Livre]. Armand Colin.



www.habitat-nature.com
5818 Blvd Saint-Laurent, Montréal, H2T 1T3, QC
info@habitat-nature.com | (438) 825-4445