

Répertoire bibliographique concernant les fonctions écologiques des milieux humides et hydriques : sélection de références pertinentes

Décembre 2024

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction des milieux humides du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN xxx-x-xxx-xxxxx-x (imprimé)

ISBN xxx-x-xxx-xxxxx-x (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2024

Table des matières

Contexte _____	1
Métadonnées _____	3
Références par famille de fonctions _____	5
Général (fiches n° 1 à 17)	
Filtre contre la pollution, captation des sédiments (fiches n° 18 à 37)	
Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines (fiches n° 38 à 70)	
Conservation de la diversité biologique (fiches n° 71 à 81)	
Écran solaire, brise vent, protection des sols (fiches n° 82 à 87)	
Séquestration de carbone (fiches n° 88 à 106)	
Qualité des paysages (fiches n° 107 à 119)	

Contexte

La littérature scientifique traitant des milieux humides et hydriques et de leurs fonctions écologiques est vaste et hétérogène. Ce répertoire bibliographique vise à partager une sélection de références scientifiques pertinentes à la compréhension des fonctions écologiques des milieux humides, principalement, mais aussi des milieux hydriques. Il est présenté sous la forme de fiches et regroupe plusieurs références en lien avec les fonctions écologiques qui y sont associées. Ce répertoire permettra aux professionnels de l'environnement qui le consultent de sélectionner des lectures afin de mieux comprendre les fonctions écologiques de ces milieux. Les références suggérées peuvent aussi servir à étoffer et uniformiser la caractérisation des milieux humides et hydriques et de leurs fonctions.

Les fonctions écologiques des milieux naturels représentent les rôles joués dans les processus qui permettent le fonctionnement et le maintien des écosystèmes. Dans la littérature scientifique, ces processus sont regroupés en grandes catégories, par exemple, les processus hydrologiques, les cycles biogéochimiques, les interactions écologiques, la circulation des flux, la sédimentation et l'érosion. Les fonctions varient selon l'écosystème et plusieurs autres facteurs spatiotemporels. Le concept de services écologiques, quant à lui, réfère aux bénéfiques que les populations humaines tirent de ces fonctions.

À l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (ci-après « Loi sur l'eau »), les éléments énumérés constituent des ensembles de processus, de fonctions et de services écologiques sans ordre hiérarchique, le but étant plus largement lié à une compréhension générale.

Ces familles de fonctions (et leurs bénéfiques associés) sont :

1° de filtre contre la pollution, de rempart contre l'érosion et de rétention des sédiments, en permettant, entre autres, de prévenir et de réduire la pollution en provenance des eaux de surface et souterraines et l'apport des sédiments provenant des sols;

2° de régulation du niveau d'eau, en permettant la rétention et l'évaporation d'une partie des eaux de précipitation et des eaux de fonte, réduisant ainsi les risques d'inondation et d'érosion et favorisant la recharge de la nappe phréatique;

3° de conservation de la diversité biologique par laquelle les milieux ou les écosystèmes offrent des habitats pour l'alimentation, l'abri et la reproduction des espèces vivantes;

4° d'écran solaire et de brise-vent naturel, en permettant, par le maintien de la végétation, de préserver l'eau d'un réchauffement excessif et de protéger les sols et les cultures des dommages causés par le vent;

5° de séquestration du carbone et d'atténuation des impacts des changements climatiques;

6° liées à la qualité du paysage, en permettant la conservation du caractère naturel d'un milieu et des attributs des paysages associés, contribuant ainsi à la valeur des terrains voisins.

Ainsi, les éléments de l'article 13.1 seront présentés ici comme de grandes familles de fonctions et de bénéfiques, à des fins d'arrimage entre la Loi sur l'eau et la littérature scientifique. Lorsque cela est requis, des subdivisions identifiant les fonctions plus précises qui y sont associées ont été faites.

Le répertoire contient des articles révisés par les pairs et de la littérature grise issue de rapports gouvernementaux, de guides, de livres ainsi que des mémoires et thèses dont les sections introductives sont sous la forme de revue de littérature. Les articles scientifiques trop pointus ou trop généraux ont été volontairement écartés. Divers outils ont été utilisés pour faire ressortir la littérature pertinente, dont les moteurs de recherche ScienceDirect, Research Gate et Google Scholar, en sélectionnant « revue de littérature », en filtrant selon la pertinence et en consultant les cent premières références, ainsi que la base

de données canadienne des thèses du gouvernement du Canada. Un premier tri a été effectué en lisant le résumé et en évaluant la pertinence des informations. Un second tri a été effectué après une lecture sommaire des références. Certaines familles de fonctions bénéficient d'une meilleure couverture scientifique, notamment la régulation des débits et la séquestration de carbone. D'autres familles de fonctions devront faire l'objet d'une recherche plus ciblée. Quoique cela soit plus rare, dans de tels cas, de la littérature mettant de l'avant d'autres écosystèmes peut apporter de l'information complémentaire et se transposer aux milieux humides et hydriques.

La création de ce document est une première étape dans l'identification des principales sources bibliographiques, en vue de produire des fiches synthèses présentant de l'information plus complète à propos des fonctions écologiques des milieux humides et hydriques. Ce document se veut évolutif et sera mis à jour lors de la publication de ces fiches sur les fonctions écologiques, qui est prévue en 2025. Une version en format tableau Excel présentant chacune de ces références est également disponible sur le site Web du Ministère (<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/references-fonction-ecologiques-milieux-humides-hydriques-decembre-2024.xlsx>).

Métadonnées

La structure générale et le contenu des fiches est présenté ci-dessous.

Famille de fonctions : principal regroupement de fonctions écologiques qui est abordé dans la référence. Une nomination abrégée pour chaque famille de fonctions est utilisée à des fins d'allègement. Les familles de fonctions se basent sur l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (C-6.2). La catégorie « Général » a été ajoutée lorsque la référence comprend de l'information sur plus de trois familles de fonctions.

Titre : titre de la publication

Référence complète en format bibliographique suivant les recommandations de l'Office québécois de la langue française (<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/23245/la-redaction-et-la-communication/bibliographie-et-citations/bibliographie-et-notices-bibliographiques/elements-des-notices-bibliographiques>)

Aperçu : principaux éléments qui ont motivé l'inclusion du document dans le répertoire

Fonction(s) : précisions sur la fonction écologique, lorsqu'elles sont disponibles et autres familles de fonctions abordées dans la référence

Type(s) de MHH : type de milieu humide ou hydrique concerné par le document. Parfois général, c'est-à-dire qu'il s'applique à plusieurs types.

Région(s) : lieu de l'étude. S'il y a lieu, le terme « général » désigne plusieurs régions ou est applicable à plusieurs régions.

Mots-clés : de deux à huit mots-clés permettant de mieux identifier le sujet de la référence

Résumé provenant de la référence: copie du résumé provenant directement de la référence dans sa langue d'origine, soit en anglais ou en français. En l'absence d'un résumé, le sommaire exécutif ou une autre section du document servant à résumer le contenu ont pu être utilisés et pourraient avoir été tronqués en raison de leur longueur.

Lien internet : Lien vers le document ou son résumé, au moment de la construction de ce répertoire (décembre 2024)

Références par famille de fonctions

Général

Cette catégorie est utilisée lorsque la référence comprend de l'information sur plus de trois familles de fonctions.

Titre : **An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices**

Smith, R. D., Ammann, A., Bartoldus C. et M. M. Brinson. An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-9, 1995. 90p. [Rapport produit avec l'appui du U.S. Army Corps of Engineers, Washington D. C.]

Aperçu	Le rapport présente les approches de développement et d'application pour l'évaluation des fonctions des milieux humides. Un profil fonctionnel est élaboré pour décrire les principales caractéristiques de ces approches et identifier les fonctions les plus susceptibles d'être remplies et discuter des caractéristiques qui influent sur la manière dont ces fonctions sont remplies. Des milieux humides de référence sont sélectionnés pour représenter la gamme de variabilité et calibrer des normes de référence associées aux conditions. Les indices fonctionnels résultant des modèles d'évaluation fournissent une mesure de la capacité d'un milieu humide à remplir des fonctions par rapport à d'autres milieux humides d'une même région.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Classement hydrogéomorphologique, indicateur, valeur écologique, écosystème de référence

Résumé provenant de la référence

« This report outlines an approach for assessing wetland functions in the 404 Regulatory Program as well as other regulatory, planning, and management situations. The approach includes a development and application phase. In the development phase, wetlands are classified into regional subclasses based on hydrogeomorphic factors. A functional profile is developed to describe the characteristics of the regional subclass, identify the functions that are most likely to be performed, and discuss the characteristics that influence how those functions are performed. Reference wetlands are selected to represent the range of variability exhibited by the regional subclass in a reference domain, and assessment models are constructed and calibrated by an interdisciplinary team based on reference standards and data from these reference wetlands. Reference standards are the conditions exhibited by the undisturbed, or least disturbed, wetlands and landscapes in the reference domain. The functional indices resulting from the assessment models provide a measure of the capacity of a wetland to perform functions relative to other wetlands in the regional subclass. The application phase of the approach, or assessment procedure, includes the characterization of the wetland, assessing its functions, analyzing the results of the assessment, and applying them to a specific project. The assessment procedure can be used to compare project alternatives, determine the impacts of a proposed project, avoid and minimize impacts, determine mitigation requirements or success, as well as other applications requiring the assessment of wetland functions. »

<https://www.semanticscholar.org/paper/Hydrogeomorphic-Approach-to-Assessing-Wetland-for-Smith-Wakeley/7439dbc35fa43e76ec8f2da050761ae9a0bfd36fhttps://www.semanticscholar.org/paper/Hydrogeomorphic-Approach-to-Assessing-Wetland-for-Smith-Wakeley/7439dbc35f>

Titre : **The value of wetlands: importance of scale and landscape setting**

Mitsch, W. J. et J. G. Gosselink (2000). « The value of wetlands: importance of scale and landscape setting ». *Ecological Economics*, vol. 35, Issue 1, p. 25-33. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00165-8).

Aperçu	Les auteurs de l'article décrivent plusieurs facteurs à prendre en considération pour attribuer une valeur écologique et économique à un milieu humide. La perception humaine dans l'attribution de la valeur écologique est importante et peut dépendre de la position du milieu humide dans le paysage. Les auteurs suggèrent un pourcentage du paysage qui devrait être occupé par les milieux humides pour diverses fonctions. Par exemple, entre 3 % et 7 % des bassins versants des zones tempérées devraient être constituées de milieux humides pour assurer un contrôle adéquat des inondations et de la qualité de l'eau.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Écologie du paysage, valeur écologique, valeur économique, gestion de l'eau, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Wetlands have value because their functions have proved to be useful to humans. The unit value for some wetlands also increases with human development (agriculture and urban) because of increased use and/or increased scarcity. Yet, paradoxically, its functions can easily be overwhelmed in areas of heavy human development, thus lessening those values. Thus wetlands appear to work best in the landscape as spatially distributed systems. Also, the value is partially dependent on where they are found in the landscape, e.g., the degree to which a wetland is open to hydrologic and biological fluxes with other systems, including urban and agricultural landscapes. A paradox of assigning values to wetlands and other ecosystems is that it can argue for the replacement of one system with another if a landscape view is not taken. Estimates of percent of landscape for various functions, e.g. water quality or flood control, are presented. It is suggested that a range of 3–7% of temperate-zone watersheds should be in wetlands to provide adequate flood control and water quality values for the landscape. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800900001658>

Titre : **Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability**

Zedler, J. B. et S. Kercher (2005). « Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability ». Annual Review of Environment and Resources, vol. 30, n° 1, p. 39-74. doi: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144248

Aperçu	La revue de littérature aborde de manière assez générale différentes fonctions des milieux humides et la manière dont ceux-ci rendent divers services écologiques. Les auteurs discutent d'approches adaptatives selon lesquelles des techniques alternatives sont testées à grande échelle sur des sites de restauration réels.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Perturbation, service écologique, conservation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Estimates of global wetland area range from 5.3 to 12.8 million km². About half the global wetland area has been lost, but an international treaty (the 1971 Ramsar Convention) has helped 144 nations protect the most significant remaining wetlands. Because most nations lack wetland inventories, changes in the quantity and quality of the world's wetlands cannot be tracked adequately. Despite the likelihood that remaining wetlands occupy less than 9% of the earth's land area, they contribute more to annually renewable ecosystem services than their small area implies. Biodiversity support, water quality improvement, flood abatement, and carbon sequestration are key functions that are impaired when wetlands are lost or degraded. Restoration techniques are improving, although the recovery of lost biodiversity is challenged by invasive species, which thrive under disturbance and displace natives. Not all damages to wetlands are reversible, but it is not always clear how much can be retained through restoration. Hence, we recommend adaptive approaches in which alternative techniques are tested at large scales in actual restoration sites. »

<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>

Titre : **Broad-scale ecosystem services of European wetlands—overview of the current situation and future perspectives under different climate and water management scenarios**

Okruszko, T., Duel, H., Acreman, M., Grygoruk, M., Flörke, M., et C. Schneider (2011). « Broad-scale ecosystem services of European wetlands—overview of the current situation and future perspectives under different climate and water management scenarios ». *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 56, p. 1501-1517. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631188>.

Aperçu	Les auteurs utilisent la modélisation afin de déterminer l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie des milieux humides, qui réduit les services écologiques rendus. Six services écologiques rendus par les milieux humides, à savoir la biodiversité en termes de plantes et d'animaux, la production de biomasse, la transformation des nutriments, le stockage du carbone et la production de poissons, sont examinés.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Europe
Mots-clés	Changements climatiques, service écologique, gestion de l'eau, conservation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« An appropriate hydrological regime within a wetland is essential to maintain its goods and services. This regime is related to the source of the water, which differs for particular kinds of wetlands. This paper presents an overview of the ecosystem services of European wetlands, based on a representative sample of 102 protected wetlands larger than 5000 ha, and the implications of hydrological alterations caused by future climate and socioeconomic changes. Six major ecosystem services of wetlands were assessed namely: biodiversity in terms of plants and animals, biomass production, nutrient removal, carbon storage and fish production. Data showed that, on average, four services were present in each wetland. The impact of climate change, water management and land-use change was examined under different future scenarios. Major potential changes in hydrological regime (i.e. precipitation, groundwater recharge and river flow) were quantified up to the 2050s using simulated runoff and river flow data of the WaterGAP model driven by the climate input of two different general circulation models (GCMs), IPCM4 and MIMR. Thresholds of hydrological change that would endanger each ecosystem service were identified. The impacts of future scenarios were distributed across Europe with potential threats to ecosystem services of European wetlands resulting in the loss of between 26 and 46% of all identified ecosystem services in 2050. The models and scenarios suggest that the most significant loss of ecosystem services is likely to occur in Central Europe (Hungary, Germany, France, Belarus, Poland). In general, the most fragile services (the largest number lost) are projected to be those connected to the surface water dynamics—mostly the services of wetland birds and fish spawning. Ecosystem services dependent on groundwater dynamics and water balance changes are seemingly more buffered against the expected hydrological stress. »

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2011.631188>

Titre : **Le drainage des tourbières: impacts et techniques de remouillage**

Landry, J. et L. Rochefort. Le drainage des tourbières : impacts et techniques de remouillage. Groupe de recherche en écologie des tourbières, Université Laval, Québec. 2011, 53 p. [Rapport produit avec l'appui du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec].

Aperçu	Le rapport passe en revue les impacts du drainage sur les fonctions écologiques des tourbières et propose différentes techniques de remouillage afin de restaurer l'écosystème.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Général
Mots-clés	Perturbation, drainage, remouillage, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Le but de cette revue de la littérature est de fournir un outil permettant de bien comprendre les impacts du drainage dans les tourbières et les techniques permettant de contrer ces effets. La littérature au sujet du drainage dans les tourbières est aussi vaste que le phénomène l'est au niveau mondial. Dans ce document, vous trouverez un condensé des renseignements disponibles au sujet du drainage. Plus de 166 ouvrages scientifiques ont été consultés pour compléter cette revue. La lecture des ouvrages eux-mêmes pour un supplément d'information est fortement encouragée, particulièrement pour les détails techniques au sujet de la construction des barrages. »

https://biblio.cbnpmp.fr/doc_num.php?explnum_id=8820

Titre : **Les bandes riveraines et la qualité de l'eau : une revue de la littérature.**

Centre de conservation des sols et de l'eau de l'est du Canada. « Les bandes riveraines et la qualité de l'eau: une revue de la littérature ». Grand-Sault, Nouveau-Brunswick, 2011, 8p. [Document interne]

Aperçu	Le rapport présente une revue générale des différents rôles écologiques des bandes riveraines, de leur performance, de leur gestion et de leur établissement par le choix d'une communauté végétale, dans une perspective d'amélioration de la qualité de l'eau.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Canada
Mots-clés	Qualité d'eau, sédiment, érosion, communauté végétale, restauration, entretien

Résumé provenant de la référence

« Le but de ce document est d'effectuer une revue de la littérature sur les bandes riveraines et de présenter des informations sur leur rôle, performance, établissement et gestion, dans une perspective de protection de la qualité de l'eau. »

[C:ccse-swccpublications rancais andes.PDF \(cantondehatley.ca\)](#)

Titre : **Temporary wetlands: challenges and solutions to conserving a 'disappearing' ecosystem**

Calhoun, A. J. K., Mushet, D. M., Bell, K. P., Boix, D., Fitzsimons, J. A. et F. Isselin-Nondedeu. (2017). « Temporary wetlands: challenges and solutions to conserving a 'disappearing' ecosystem ». *Biological Conservation*. vol. 211, part B, p. 3-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.024>.

Aperçu	La revue de littérature générale aborde les fonctions des étangs vernaux (milieux humides temporaires), dont la biodiversité, la connectivité et l'hydrologie, ainsi que les défis de leur conservation. L'article fait état du besoin de considérer les milieux humides temporaires de manière holistique dans une stratégie de conservation, puisque ces derniers sont en relation étroite avec leur environnement et n'agissent pas en tant qu'entités individuelles.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide temporaire (étang vernal)
Région(s)	Général
Mots-clés	Habitat faunique, valeur sociale, connectivité, perturbation, conservation

Résumé provenant de la référence

« Frequent drying of ponded water, and support of unique, highly specialized assemblages of often rare species, characterize temporary wetlands, such as vernal pools, gilgais, and prairie potholes. As small aquatic features embedded in a terrestrial landscape, temporary wetlands enhance biodiversity and provide aesthetic, biogeochemical, and hydrologic functions. Challenges to conserving temporary wetlands include the need to: (1) integrate freshwater and terrestrial biodiversity priorities; (2) conserve entire 'pondscapes' defined by connections to other aquatic and terrestrial systems; (3) maintain natural heterogeneity in environmental gradients across and within wetlands, especially gradients in hydroperiod; (4) address economic impact on landowners and developers; (5) act without complete inventories of these wetlands; and (6) work within limited or non-existent regulatory protections. Because temporary wetlands function as integral landscape components, not singly as isolated entities, their cumulative loss is ecologically detrimental yet not currently part of the conservation calculus. We highlight approaches that use strategies for conserving temporary wetlands in increasingly human-dominated landscapes that integrate top-down management and bottom-up collaborative approaches. Diverse conservation activities (including education, inventory, protection, sustainable management, and restoration) that reduce landowner and manager costs while achieving desired ecological objectives will have the greatest probability of success in meeting conservation goals. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320716308825>

Titre : **The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services**

Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z. et A. Cerdà. (2018). « The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services ». *Science of The Total Environment*, vol. 610-611, p.997-1009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077>.

Aperçu	La revue de littérature aborde la gestion des écosystèmes et décrit diverses fonctions écologiques (filtre contre la pollution, conservation de la diversité et régulation hydrologique, séquestration de carbone) de manière générale. L'utilité des milieux humides est reconnue de manière générale en tant que solution basée sur la nature dans les mesures d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Changements climatiques, adaptation, infrastructures vertes et bleues, conservation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« The rehabilitation and restoration of land is a key strategy to recover services -goods and resources- ecosystems offer to the humankind. This paper reviews key examples to understand the superior effect of nature based solutions to enhance the sustainability of catchment systems by promoting desirable soil and landscape functions. The use of concepts such as connectivity and the theory of system thinking framework allowed to review coastal and river management as a guide to evaluate other strategies to achieve sustainability. In land management NBSs are not mainstream management. Through a set of case studies: organic farming in Spain; rewilding in Slovenia; land restoration in Iceland, sediment trapping in Ethiopia and wetland construction in Sweden, we show the potential of Nature based solutions (NBSs) as a cost-effective long term solution for hydrological risks and land degradation. NBSs can be divided into two main groups of strategies: soil solutions and landscape solutions. Soil solutions aim to enhance the soil health and soil functions through which local ecosystem services will be maintained or restored. Landscape solutions mainly focus on the concept of connectivity. Making the landscape less connected, facilitating less rainfall to be transformed into runoff and therefore reducing flood risk, increasing soil moisture and reducing droughts and soil erosion we can achieve the sustainability. The enhanced ecosystem services directly feed into the realization of the Sustainable Development Goals of the United Nations. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717320752>

Titre : **Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les Basses-terres du Saint-Laurent**

Jobin, B., Gratton, L., Côté, M.-J., Pfister, O., Lachance, D., Mingelbier, M., Blais, D., Blais A. et D. Leclair. Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation dans les Basses-terres du Saint-Laurent - Rapport méthodologique version finale, incluant la région de l'Outaouais, Québec. 2019, 203 p. [Rapport produit avec l'appui d' Environnement et Changement climatique Canada, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Plan d'action Saint-Laurent]

Aperçu	Le rapport méthodologique présente la démarche d'identification de territoires d'intérêt dans la région des basses-terres du Saint-Laurent, notamment une méthodologie de priorisation basée sur le calcul sommaire des fonctions écologiques et des caractéristiques des milieux humides, hydriques, forestiers et de friche.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Québec
Mots-clés	Conservation, outil géomatique, indicateur, priorisation, méthodologie, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« L'un des projets identifiés sous le thème de la conservation de la biodiversité du Plan d'action Saint-Laurent est l'élaboration d'un plan intégré de conservation des milieux naturels et de la biodiversité du Saint-Laurent. Pour les Basses-terres du Saint-Laurent, il a été convenu dans un premier temps de produire un Atlas des territoires d'intérêt pour la conservation afin de déterminer les sites où les besoins de conservation sont les plus criants. Les cibles de conservation (filtre grossier) retenues sont les milieux forestiers, les milieux humides, les milieux ouverts (friches, cultures pérennes) et les milieux aquatiques. Ce document méthodologique expose la démarche soutenant la production de cet Atlas. Pour chacun des éléments composant les cibles retenues, des sites à considérer pour la conservation ont été déterminés jusqu'à l'atteinte d'un seuil de 20% de représentativité par unité spatiale de référence (ex. contextes de mise en place). Pour y parvenir, une sélection des milieux ayant une plus haute valeur de conservation a été réalisée, soit ceux hébergeant des occurrences prioritaires et des habitats essentiels d'espèces en péril, des aires protégées, des écosystèmes forestiers exceptionnels et des sites irremplaçables. Ensuite, des analyses de priorisation multicritère ont été effectuées si le seuil de 20% de représentativité n'était pas atteint suite à l'analyse de sélection. De plus, s'ajoutent des éléments ponctuels d'importance pour la biodiversité (filtre fin), soit des habitats ou des occurrences reconnus scientifiquement et n'étant pas considérés dans l'analyse des cibles de conservation. On parle ici de milieux aquatiques exceptionnels associés au couloir du Saint-Laurent (ex. frayères), des alvars, des colonies d'oiseaux, des éléments fauniques (ex. sites de nidification d'Hirondelle de rivage et du Martinet ramoneur, etc.) et des occurrences floristiques d'importance. Enfin, une analyse multicible a été produite afin de déterminer des territoires où se concentrent des sites d'intérêt déterminés pour les cibles de conservation du filtre grossier. Les données géospatiales associées aux sites d'intérêt déterminés dans cet Atlas sont disponibles. Les utilisateurs pourront donc les consulter pour connaître de façon plus précise la répartition spatiale des sites d'intérêt et la valeur de conservation s'y associant. Les utilisateurs pourront ainsi adapter l'analyse de ces données à leur réalité territoriale et en fonction d'objectifs particuliers. La conservation des milieux naturels et des espèces en situation précaire étant une responsabilité partagée, cet Atlas permettra de rejoindre les priorités des nombreuses organisations impliquées dans la conservation des milieux naturels dans les Basses-terres du Saint-Laurent, soit les organismes de conservation, les municipalités, les MRC, les organisations gouvernementales et les institutions académiques. De plus, parce que cet Atlas se veut être un outil d'aide à l'aménagement du territoire, le développement de stratégies de conservation des milieux naturels permettra d'orienter les actions concrètes aux endroits où les besoins sont les plus pressants. Il sera, entre autres, utile à la préparation des plans régionaux des milieux humides et hydriques qui devront être produits suite à l'entrée en vigueur de la Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques. »

<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/atlas-des-territoires-interet-conservation-btsl>

Titre : **Guide des saines pratiques d'interventions forestières en milieu humide boisé des forêts privées du Québec**

Agence forestière des Bois-Francs, ouvrage collectif sous la coordination de C. Annecou. Guide des saines pratiques d'interventions forestières en milieu humide boisé des forêts privées du Québec, Victoriaville, 2021, 47 p.

Aperçu	Le guide passe en revue, de façon résumée et accessible, l'ensemble des fonctions des milieux humides boisés. Le guide mise sur les pratiques forestières adaptées pour assurer l'utilisation durable des milieux humides boisés.
Fonction(s)	Général
Type(s) de MHH	Marécage, tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Aménagement forestier, perturbation, utilisation durable

Résumé provenant de la référence

« Les milieux humides boisés forment des écosystèmes qui maintiennent des fonctions écologiques et qui génèrent des services naturels à la population. En effet, la dynamique particulière de ces milieux favorise la biodiversité en offrant une diversité d'habitats à plusieurs espèces animales et végétales et aux communautés naturelles forestières associées. Ce guide vise à offrir des recommandations pratiques aux professionnelles et professionnels du milieu forestier, aux propriétaires et aux entrepreneuses et entrepreneurs appelés à intervenir dans les milieux humides tout en considérant le rôle des fonctions et des services écologiques de ces écosystèmes particuliers. Les saines pratiques d'interventions forestières en milieu humide boisé peuvent contribuer au maintien de l'intégrité écologique en réduisant l'empreinte des activités forestières tout en soutenant le plein potentiel du site exploité. Elles peuvent aider à réaliser des activités d'aménagement forestier visant la mise en valeur durable des ressources forestières dans les milieux humides boisés. Le chapitre 1 introduit le contexte et les mots clés du document permettant de poursuivre la lecture avec une compréhension globale des notions abordées dans les prochains chapitres. Le chapitre 2 présente une revue des principales caractéristiques hydrologiques, écologiques et forestières de chacune des catégories de milieux humides boisés ciblés dans ce guide. Le chapitre 3 dévoile, par catégories d'activités forestières, la liste complète des saines pratiques à mettre en œuvre en milieu humide boisé. Finalement, le chapitre 4 fait la synthèse des recommandations et explique dans les grandes lignes les fondements scientifiques derrière celles-ci. »

https://www.foretprivee.ca/wp-content/uploads/2022/04/Guide-saines-pratiques-en-milieu-humide-AFBF_version-31-mars-2022.pdf

Titre : **Fonctions écologiques des cours d'eau et de leurs bandes riveraines**

Association des gestionnaires régionaux des cours d'eau du Québec. Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec. Québec 2024, (Version originale 2017). Disponible [en ligne] : <https://agrcq.ca/guide-gestion-cours-eau/>.

Aperçu	Le guide résume les fonctions des écosystèmes riverains et les pratiques pour l'entretien durable des milieux hydriques.
Fonction(s)	Général,
Type(s) de MHH	Milieu hydrique
Région(s)	Québec
Mots-clés	Qualité des cours d'eau, bande riveraine, sédimentation, érosion, perturbation, occupation agricole, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« L'AGRCQ offre le Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec (2017, révisé en 2024) afin d'outiller les employés du monde municipal qui doivent assumer les responsabilités qui leur incombent depuis l'entrée en vigueur de la Loi sur les compétences municipales. »

<https://agrcq.ca/guide-gestion-cours-eau/>

Titre : **Quand l'habitat est-il suffisant?**

Environnement Canada. Quand l'habitat est-il suffisant? Troisième édition. Environnement Canada, Toronto (Ontario), 2013, 141 p.

Aperçu	Le rapport gouvernemental, sous la forme d'une revue littérature, porte sur divers aspects concernant les bénéfices des milieux humides pour un bassin versant et examine comment conserver l'intégrité de ces milieux humides, notamment en prévoyant une bande tampon d'une largeur suffisante.
Fonction(s)	Général, conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Canada
Mots-clés	Habitat faunique, connectivité, bande de protection, intégrité, conservation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Un défi important pour l'ensemble de la société canadienne en ce qui concerne la protection des milieux naturels –l'une des trois composantes de la durabilité de l'environnement, en plus de la société et de l'économie – consiste à faire en sorte que les habitats humides, riverains, forestiers et de prairie soient assez nombreux pour supporter des populations fauniques minimales et viables et qu'ils facilitent le maintien des fonctions et des caractéristiques de certains écosystèmes. La série Quand l'habitat est-il suffisant? a pour objectif de fournir des lignes directrices et des renseignements de nature scientifique relativement à ces systèmes naturels et à la biodiversité dont nous sommes tous les intendants. L'information s'adresse tout particulièrement aux spécialistes de la restauration gouvernementaux et non gouvernementaux, aux planificateurs et autres intervenants du domaine de la conservation, de la préservation et de la planification du patrimoine naturel. Les lignes directrices offrent des renseignements afin d'aider les décideurs des secteurs préoccupants des Grands Lacs à établir les critères de radiation afférents à l'altération des utilisations bénéfiques de l'habitat des poissons et d'autres espèces sauvages et à atteindre les objectifs de rétablissement de ces utilisations. Elles servent également à orienter les activités de restauration de l'habitat dans les secteurs qui ne sont plus considérés comme des secteurs préoccupants. Cette troisième édition présente 21 lignes directrices sur les habitats humides, riverains, forestiers et de prairie, accompagnées des justifications connexes. Elles font généralement l'objet d'une discussion sur d'autres enjeux ou lignes directrices possibles. La section relative aux Prairies est un nouveau chapitre qui constitue une première tentative pour aborder ces habitats complexes. Plus que tout autre type d'habitat, les Prairies dépendent fortement de l'activité humaine. Cette section évoluera certainement dans l'avenir étant donné que bon nombre des espèces préoccupantes en matière de conservation nouvellement inscrites sont présentes dans les habitats de prairie. Dans la section relative aux habitats forestiers, on observe un important changement vers une approche fondée sur les risques, laquelle est susceptible d'être appliquée dans d'autres habitats dans les années à venir. Dans l'ensemble, les lignes directrices sont bien plus étoffées, tant du point de vue des discussions étayant chaque sujet que du point de vue des études scientifiques de référence qui ont été examinées. Le cadre d'orientation et le texte à l'appui faisant partie du document Quand l'habitat est-il suffisant? constituent en fait un « dossier public » destiné à être amélioré et adapté selon les conditions locales actuelles et passées. Nous espérons que ce cadre continuera à servir de point de départ pour élaborer des stratégies permettant d'assurer la conservation de l'habitat, de mettre au point des systèmes de patrimoine naturel et de discuter des besoins en matière de recherche en tenant compte de ces habitats. Tout cela vise à conserver les espèces communes, tout en restaurant les écosystèmes pour les espèces les plus en péril — les espèces sensibles, les espèces en voie de disparition, les espèces menacées et les espèces rares. »

https://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/CW66-164-2013-fra.pdf

Titre : **Tradeoffs and synergies in wetland multifunctionality: A scaling issue**

Hambäck, P.A., Dawson, L., Geranmayeh, P., Jarsjö, J., Kačergytė, I., Peacock, M., Collentine, D., Destouni, G., Futter, M., Hugelius, G., Hedman, S., Jonsson, S., Klatt, B. K., Lindström, A., Nilsson, J. E., Pärt, T., Schneider, L. D., Strand, J. A., Urrutia-Cordero, P., Åhlén, D., Åhlén, I. et M. Blicharska. (2023). « Tradeoffs and synergies in wetland multifunctionality: A scaling issue ». *Science of The Total Environment*, vol. 862, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160746>.

Aperçu	La revue de littérature décrit plusieurs fonctions des milieux humides en contexte d'occupation agricole et les auteurs proposent une réflexion sur les synergies entre les fonctions. On décrit l'échelle du paysage humide, soit plusieurs milieux humides voisins, y compris leurs bassins versants et les caractéristiques du paysage environnant. Les auteurs concluent qu'il est nécessaire de changer d'échelle dans une stratégie de conservation régionale ou nationale et d'éviter de prendre en compte un milieu humide unique.
Fonction(s)	Général, filtre contre la pollution, régulation hydrologique, conservation de la diversité biologique, connectivité, qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Multifonctionnalité, paysage, écohydrologie, biodiversité, changements climatiques, occupation agricole, conservation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Wetland area in agricultural landscapes has been heavily reduced to gain land for crop production, but in recent years there is increased societal recognition of the negative consequences from wetland loss on nutrient retention, biodiversity and a range of other benefits to humans. The current trend is therefore to re-establish wetlands, often with an aim to achieve the simultaneous delivery of multiple ecosystem services, i.e., multifunctionality. Here we review the literature on key objectives used to motivate wetland re-establishment in temperate agricultural landscapes (provision of flow regulation, nutrient retention, climate mitigation, biodiversity conservation and cultural ecosystem services), and their relationships to environmental properties, in order to identify potential for tradeoffs and synergies concerning the development of multifunctional wetlands. Through this process, we find that there is a need for a change in scale from a focus on single wetlands to wetlandscapes (multiple neighboring wetlands including their catchments and surrounding landscape features) if multiple societal and environmental goals are to be achieved. Finally, we discuss the key factors to be considered when planning for re-establishment of wetlands that can support achievement of a wide range of objectives at the landscape scale. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722078494>

Titre : **Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology**

Ward, J. V. et K. Tockner (2001). « Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology ». *Freshwater Biology*, vol. 46, p. 807-819. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00713.x>.

Aperçu	L'article traite de l'écologie des milieux hydriques, qui devrait englober l'hétérogénéité spatio-temporelle de l'ensemble des composantes des milieux hydriques (littoral, écosystème riverain, écotones avec les milieux adjacents, eaux de surface et souterraines), les processus fonctionnels et la diversité en espèces.
Fonction(s)	Général, régulation hydrologique, connectivité, conservation de la diversité biologique, qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu hydrique
Région(s)	Général
Mots-clés	Habitat aquatique, connectivité, perturbation

Résumé provenant de la référence

« 1. A broadened concept of biodiversity, encompassing spatio-temporal heterogeneity, functional processes and species diversity, could provide a unifying theme for river ecology.2. The theoretical foundations of stream ecology often do not reflect fully the crucial roles of spatial complexity and fluvial dynamics in natural river ecosystems, which has hindered conceptual advances and the effectiveness of efforts at conservation and restoration.3. Inclusion of surface waters (lotic and lentic), subsurface waters (hyporheic and phreatic), riparian systems (in both constrained and floodplain reaches), and the ecotones between them (e.g. springs) as interacting components contributing to total biodiversity, is crucial for developing a holistic framework of rivers as ecosystems.4. Measures of species diversity, including alpha, beta and gamma diversity, are a result of disturbance history, resource partitioning, habitat fragmentation and successional phenomena across the riverine landscape. A hierarchical approach to diversity in natural and altered river-floodplain ecosystems will enhance understanding of ecological phenomena operating at different scales along multidimensional environmental gradients.5. Re-establishing functional diversity (e.g. hydrologic and successional processes) across the active corridor could serve as the focus of river conservation initiatives. Once functional processes have been reconstituted, habitat heterogeneity will increase, followed by corresponding increases in species diversity of aquatic and riparian biota. »

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2427.2001.00713.x>

Titre : **Questioning ten common assumptions about peatlands**

Bacon, K. L., Baird, A. J., Blundell, A., Bourgault, M-A., Chapman, P. J., Dargie, G., Dooling, G. P., Gee, C., Holden, J., Kelly, T., McKendrick-Smith, K. A., Morris, P. J., Noble, A., Palmer, S. M., Quillet, A., Swindles, G.T., Watson, E. J. et D. M. Young. (2017). « Questioning ten common assumptions about peatlands ». *Mires and Peat*, vol. 19, p. 1-23. (Online: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map19/map1912.php>); 10.19189/MaP.2016.OMB.253

Aperçu	L'article collaboratif traite de dix mythes véhiculés à propos des tourbières, dont certains sur la séquestration de carbone et l'hydrologie des tourbières.
Fonction(s)	Général, régulation hydrologique, conservation de la diversité biologique, séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Général
Mots-clés	Changements climatiques, niveau d'eau, cycle biogéochimique, sol organique, communauté végétale, écologie historique, perturbation

Résumé provenant de la référence

« Peatlands have been widely studied in terms of their ecohydrology, carbon dynamics, ecosystem services and palaeoenvironmental archives. However, several assumptions are frequently made about peatlands in the academic literature, practitioner reports and the popular media which are either ambiguous or in some cases incorrect. Here we discuss the following ten common assumptions about peatlands: 1. the northern peatland carbon store will shrink under a warming climate; 2. peatlands are fragile ecosystems; 3. wet peatlands have greater rates of net carbon accumulation; 4. different rules apply to tropical peatlands; 5. peat is a single soil type; 6. peatlands behave like sponges; 7. Sphagnum is the main 'ecosystem engineer' in peatlands; 8. a single core provides a representative palaeo-archive from a peatland; 9. water-table reconstructions from peatlands provide direct records of past climate change; and 10. restoration of peatlands results in the re-establishment of their carbon sink function. In each case we consider the evidence supporting the assumption and, where appropriate, identify its shortcomings or ways in which it may be misleading. »

https://www.researchgate.net/publication/318463118_Questioning_ten_common_assumptions_about_peatlands

Titre : **Étude des zones d'influence hydrologique et de leurs fonctions écologiques pour l'ajustement d'outils de cartographie hydrographique dérivée du LiDAR.**

Jutras, S., Perreaults, N., Lessard, F., Pommeau, E. et R.-A. Tremblay. Étude des zones d'influence hydrologique et de leurs fonctions écologiques pour l'ajustement d'outils de cartographie hydrographique dérivée du LiDAR. Rapport final, Université Laval, 2023, 88 p. [Rapport produit avec l'appui du Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs].

Aperçu	Le rapport de recherche a pour objectif de développer une méthodologie pour identifier, cartographier et caractériser les fonctions écologiques, notamment la régulation des débits et la captation des sédiments associés aux écosystèmes riverains (littoral, rive et plaine inondable) et humides. Un nouveau vocabulaire est utilisé, notamment l'expression « milieu humide en zone d'influence aquatique », qui équivaut sommairement à l'expression « littoral et milieu humide adjacent » et désigne les milieux humides qui sont en position riveraine ou en plaine inondable, mais sans être hydrologiquement connectés au littoral du milieu hydrique.
Fonction(s)	Général, régulation hydrologique, filtre contre la pollution
Type(s) de MHH	Milieu humide riverain
Région(s)	Québec
Mots-clés	Écohydrologie, écotone, laminage des crues, sédiment, outil géomatique, méthodologique

Résumé provenant de la référence

« L'objectif du présent projet est de cartographier et de caractériser les fonctions écologiques associées aux zones de transitions (milieux humides inondables ou écotones riverains) qui se situent entre les milieux hydriques et les milieux terrestres ou entre les milieux hydriques et les milieux humides non inondables, et qui peuvent être en mesure de recevoir les eaux de débordement des cours d'eau et plans d'eau en crue. »

[Disponible sur demande auprès du MELCCFP](#)

Titre : **Synergies and trade-offs among ecosystems functions and services for three types of lake-edge wetlands**

Loiselle, A., Proulx, R., Larocque, M. et S. Pellerin (2023). « Synergies and trade-offs among ecosystems functions and services for three types of lake-edge wetlands ». *Ecological Indicators*, vol. 154. doi: 110547. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110547>.

Aperçu	L'étude a pour but de comparer les fonctions et services écologiques de trois types de milieux humides lacustres (en bordure d'un plan d'eau). Un effort est consacré à la quantification de plusieurs indicateurs afin d'étudier différentes catégories de fonctions et de services.
Fonction(s)	Général, régulation hydrologique, filtre contre la pollution, conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Marécage, tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Multifonctionnalité, synergie, indicateur, service écologique, conservation

Résumé provenant de la référence

« Wetlands are the world's most important providers of ecosystem functions and services (EFS) and the most threatened ecosystems. Systematic conservation planning strategies are urgently needed to identify efficient strategies that optimize EFS provisioning in wetlands. Evaluating synergies and trade-offs among EFS indicators provides an ideal framework, as they highlight the challenges faced by conservationists. However, associations between indicators often vary across region, scale, and ecosystem type. In this study, we compared the provisioning of eight EFS of three types of wetlands to evaluate the influence of indicator choice and aggregation on synergies and trade-offs. We quantified 25 EFS indicators in 37 lake-edge wetlands consisting of 12 peatlands, 8 alder swamps, and 17 ash swamps. We analyzed the synergies and trade-offs among wetland types and among EFS indicators, as well as the general EFS provisioning patterns of each type using cosine similarities and multivariate analysis. We showed that wetland type strongly influences the strength and direction of associations, with peatlands and ash swamps showing opposing patterns. While some EFS categories are less sensitive to indicator choice and aggregation, others, such as biodiversity, show important trade-offs. Our results revealed that synergies and trade-offs are strongly influenced by indicator choice and that protecting a diversity of wetland types is necessary to support multiple EFS categories. »

[Synergies and trade-offs among ecosystems functions and services for three types of lake-edge wetlands - ScienceDirect](https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/32131)<https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/32131>

Filtre contre la pollution, captation des sédiments

La section suivante est associée à ce libellé provenant de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés – version de septembre 2024 :

13.1. Le ministre peut définir les orientations fondamentales d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

Il élabore et propose également au gouvernement les orientations ainsi que les objectifs à poursuivre en matière de protection des milieux humides et hydriques, de manière à assurer et mettre en valeur les différents bénéfices résultant de la présence de ces milieux, notamment par leurs fonctions :

[...]

1° de filtre contre la pollution, de rempart contre l'érosion et de rétention des sédiments, en permettant, entre autres, de prévenir et de réduire la pollution en provenance des eaux de surface et souterraines et l'apport des sédiments provenant des sols [...].

Titre : **The cumulative effects of wetlands on stream water quality and quantity. A landscape approach**

Johnston, C. A., Detenbeck, N. E. et G. J. Niemi (1990). «The cumulative effects of wetlands on stream water quality and quantity. A landscape approach. ». *Biogeochemistry*, vol. 10, p. 105-141.

Aperçu	L'article se concentre sur l'effet cumulatif de la présence de milieux humides sur la qualité de l'eau des milieux hydriques à l'échelle d'un bassin versant. La diminution des concentrations de certains éléments polluants dépend du débit de l'eau.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Qualité d'eau, pollution diffuse, matière en suspension, nutriment, impacts cumulatifs, occupation urbaine

Résumé provenant de la référence

« A method was developed to evaluate the cumulative effect of wetland mosaics in the landscape on stream water quality and quantity in the nine-county region surrounding Minneapolis—St. Paul, Minnesota. A Geographic Information System (GIS) was used to record and measure 33 watershed variables derived from historical aerial photos. These watershed variables were then reduced to eight principal components which explained 86% of the variance. Relationships between stream water quality variables and the three wetland-related principal components were explored through stepwise multiple regression analysis. The proximity of wetlands to the sampling station was related to principal component two, which was associated with decreased annual concentrations of inorganic suspended solids, fecal coliform, nitrates, specific conductivity, flow-weighted NH₄ flow-weighted total P, and a decreased proportion of phosphorus in dissolved form ($p < 0.05$). Wetland extent was related to decreased specific conductivity, chloride, and lead concentrations. The wetland-related principal components were also associated with the seasonal export of organic matter, organic nitrogen, and orthophosphate. Relationships between water quality and wetlands components were different for time-weighted averages as compared to flow-weighted averages. This suggests that wetlands were more effective in removing suspended solids, total phosphorus, and ammonia during high flow periods but were more effective in removing nitrates during low flow periods. »

https://link.springer.com/article/10.1007/BF00002226https://www.academia.edu/23656652/The_cumulative_effect_of_wetlands_on_stream_water_quality_and_quantity_A_landscape_approach

Titre : **Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: Effects on surface water quality**

Johnston, C. A. (1991). « Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: Effects on surface water quality ». *Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 21, n° 5–6, p. 491–565. doi: <https://doi.org/10.1080/10643389109388425>.

Aperçu	L'article aborde les différents mécanismes d'interaction entre les milieux humides, la végétation et les communautés microbiennes qui entraînent l'amélioration de la qualité de l'eau des milieux hydriques. Ces mécanismes incluent la sédimentation, l'absorption par les plantes, la décomposition de la litière, la rétention dans le sol et les processus microbiens. L'intensité du processus varie selon le type de milieu humide.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Pollution diffuse, nutriment, sédiment, qualité d'eau, cycle biogéochimique, communauté microbienne

Résumé provenant de la référence

« Freshwater wetlands alter surface water quality in ways which benefit downstream use. This review summarizes the mechanisms of freshwater wetland interaction with sediment and nutrients that affect surface water quality. The mechanisms vary in magnitude and reversibility, and differ among wetland types. They include sedimentation, plant uptake, litter decomposition, retention in the soil, and microbial processes. Sedimentation is a relatively permanent retention mechanism whereby particulates and associated contaminants are physically deposited on the wetland soil surface. Plant uptake and litter decomposition provide short-to long-term retention of nutrients, depending on rates of leaching, translocation to and from storage structures, and the longevity of plant tissues. Plant litter can also provide a substrate for microbial processing of nutrients. Wetland soils sorb nutrients, and provide the environment for aerobic and anaerobic microorganisms that process nutrients. Wetland storage compartments, fluxes, and net retention rates are discussed for nitrogen and phosphorus. »

https://www.researchgate.net/publication/236273559_Sediment_and_nutrient_retention_by_freshwater_wetlands_Effects_on_surface_water_quality

Titre : **Sediment and nutrient accumulation in floodplain and depressional freshwater wetlands of Georgia, USA**

Craft, C. B. et W. P. Casey (2000). « Sediment and nutrient accumulation in floodplain and depressional freshwater wetlands of Georgia, USA ». *Wetlands*, vol. 20, n° 2, p. 323-332. doi: [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2000\)020\[0323:SANAIF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2000)020[0323:SANAIF]2.0.CO;2)

Aperçu	Les auteurs de l'étude mesurent la sédimentation et la concentration en nutriments sur des périodes de 30 et 100 ans dans les milieux humides isolés et ceux situés dans une plaine inondable. Il n'y a pas de différence significative dans le taux de sédimentation, la concentration de carbone organique et la concentration d'azote, mais le phosphore est plus élevé dans les milieux humides des plaines inondables. Par contre, il y a une variabilité dans le taux de sédimentation des milieux humides isolés. L'utilisation agricole des terres adjacentes entraîne un taux de sédimentation plus élevé dans ces milieux.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Sédimentation, occupation des sols, nutriment, bassin versant

Résumé provenant de la référence

« Soil accretion, sediment deposition, and nutrient (N, P, organic C) accumulation were compared in floodplain and depressional freshwater wetlands of southwestern Georgia, USA to evaluate the role of riverine (2600 km² catchment) versus depressional (<10 km² catchment) wetlands as sinks for sediment and nutrients. Soil cores were collected from three floodplain (cypress-gum) and nine depressional (three each from cypress-gum forest, cypress-savannah, and herbaceous marsh) wetlands and analyzed for radionuclides (¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb), bulk density, N, P, and organic C to quantify recent (30-year) and long-term (100-year) rates of sediment and nutrient accumulation. There was no significant difference in organic C, N, or sediment accumulation between depressional and floodplain wetlands. However, P accumulation was 1.5 to three times higher in the floodplain (0.12–0.75 g/m²/yr) than in the depressional wetlands (0.08–0.25 g/m²/yr). Sediment and nutrient accumulations were highly variable among depressional wetland types, more so than between depressional and floodplain wetlands. This variability likely is the result of differences in historical land use, hydrology, vegetation type, NPP, and perhaps fire frequency. Mean (n = 12) one-hundred-year rates of sediment deposition (1036 g/m²/yr), organic C (79 g/m²/yr), N (6.0 g/m²/yr), and P accumulation (0.38 g/m²/yr) were much higher than 30-year rates (sediment = 118 g/m²/yr, C = 20 g/m²/yr, N = 1.5 g/m²/yr, P = 0.09 g/m²/yr). Higher 100-year (²¹⁰Pb) sediment and nutrient accumulations likely reflect the greater numbers of farms, greater grazing by livestock, and the absence of environmentally sound agricultural practices in southwestern Georgia at the turn of the century. Our findings suggest that the degree of anthropogenic disturbance within the surrounding watershed regulates wetland sediment, organic C, and N accumulation. Phosphorus accumulation also is greater in floodplain wetlands that have large catchments containing fine textured (clay) sediments that are co-deposited with P. »

[https://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212\(2000\)020%5B0323:SANAIF%5D2.0.CO;2](https://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212(2000)020%5B0323:SANAIF%5D2.0.CO;2)

Titre : **Vegetated Stream Riparian Zones: Their Effects on Stream Nutrients, Sediments, and Toxic Substances; An Annotated and Indexed Bibliography of the world literature**

Correll, D. Vegetated Stream Riparian Zones: Their Effects on Stream Nutrients, Sediments, and Toxic Substances; An Annotated and Indexed Bibliography of the world literature, including buffer strips and interactions with hyporheic zones and floodplains, [En ligne], 2003.

[<https://www.fs.usda.gov/nac/resources/tools/riparian-bibliography.shtml>] (Consulté en septembre 2024).

Aperçu	Le site web présente un répertoire bibliographique sur la fonction de captation des sédiments et polluants exercée par les écosystèmes riverains. Le répertoire date de 2003, mais des recherches de citations peuvent être faites à partir de ces références.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Rive, plaine inondable
Région(s)	Général
Mots-clés	Bande riveraine, qualité d'eau, érosion, sédiment, nutriment, perturbation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« The goal of this document is to comprehensively cite and subject index the World literature on vegetated stream riparian zone water quality effects. The scope of the bibliography has been expanded to include literature on hyporheic zone and floodplain/stream channel interactions. Buffer strip research is also included, since these studies seem easily transferable. Unless denoted by an asterisk, each citation has been obtained, studied for content, and cross-indexed for other relevant citations. Only publications which were readily obtained through a research library system were included. Publications on tidally-influenced wetlands and exclusively lake riparian zones were excluded. »

<https://www.fs.usda.gov/nac/resources/tools/riparian-bibliography.shtml>

Titre : **Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives**

Gagnon, É. et G. Gangbazo. Efficacité des bandes riveraines: analyse de la documentation scientifique et perspectives. 2007, 17 p. [Rapport produit avec l'appui du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Direction des politiques de l'eau, Québec, Canada].

Aperçu	Le rapport passe en revue les différents rôles écologiques des bandes riveraines, leur performance, leur gestion et leur établissement par le choix d'une communauté végétale, dans une perspective d'amélioration de la qualité de l'eau.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Québec
Mots-clés	Bande riveraine, habitat, pollution diffuse, qualité d'eau, perturbation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« La présente fiche vise trois objectifs : 1. résumer la documentation scientifique relative à l'efficacité des bandes riveraines à réduire les apports de certains contaminants dans l'eau de ruissellement (fonction d'assainissement) et à protéger les habitats aquatiques et riverains (fonction écologique); 2. déterminer dans quelle mesure on peut se fier aux bandes riveraines pour résoudre les problèmes liés à l'eau et aux écosystèmes associés; 3. faire connaître la politique et le programme existants relatifs aux bandes riveraines. »

https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/643/1/Gagnon_2007_bandes-riv_A.pdf

Titre : **A review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agricultural areas**

Yuan Y., Bingner R. L. et M. A. Locke. (2009). « A review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agricultural areas ». *Ecohydrology*, vol. 2, p. 321-336. doi : 10.1002/eco.82

Aperçu	L'article passe en revue les facteurs affectant l'efficacité des rives (bandes riveraines) pour piéger les sédiments et polluants avant qu'ils atteignent l'eau, dans un contexte d'occupation agricole.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Général
Mots-clés	Bande riveraine, pollution diffuse, qualité d'eau, ruissellement, sédiment, communauté végétale

Résumé provenant de la référence

« In recent years, there has been growing recognition of the importance of riparian buffers between agricultural fields and waterbodies. Riparian buffers play an important role in mitigating the impacts of land use activities on water quality and aquatic ecosystems. However, evaluating the effectiveness of riparian buffer systems on a watershed scale is complex, and watershed models have limited capabilities for simulating riparian buffer processes. Thus, the overall objective of this paper is to develop an understanding of riparian buffer processes towards water quality modelling/monitoring and nonpoint source pollution assessment. The paper provides a thorough review of relevant literature on the performance of vegetative buffers on sediment reduction. It was found that although sediment trapping capacities are site- and vegetation-specific, and many factors influence the sediment trapping efficiency, the width of a buffer is important in filtering agricultural runoff and wider buffers tended to trap more sediment. Sediment trapping efficiency is also affected by slope, but the overall relationship is not consistent among studies. Overall, sediment trapping efficiency did not vary by vegetation type and grass buffers and forest buffers have roughly the same sediment trapping efficiency. This analysis can be used as the basis for planning future studies on watershed scale simulation of riparian buffer systems, design of effective riparian buffers for nonpoint source pollution control or water quality restoration and design of riparian buffer monitoring programs in watersheds. »

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eco.82https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/35278/Yuan%20et%20al%2009%20Ecohydrology%20%20321-336.pdf>

Titre : **The Role of Riparian Vegetation in Protecting and Improving Chemical Water Quality in Streams**

Dosskey, M. G., Vidon, P., Gurwick, N. P., Allan, C. J., Duval, T. P. et R. Lowrance. (2010). « The Role of Riparian Vegetation in Protecting and Improving Chemical Water Quality in Streams ». Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), vol. 46, n° 2, p. 261-277. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x

Aperçu	La revue de littérature informe sur les processus et fonctions des écosystèmes riverains qui interceptent les polluants et améliorent la qualité de l'eau du milieu hydrique adjacent.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Général
Mots-clés	Écosystème riverain, pollution diffuse, santé des sols, bassin versant, qualité d'eau, gestion intégrée de l'eau, cycle biogéochimique, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« We review the research literature and summarize the major processes by which riparian vegetation influences chemical water quality in streams, as well as how these processes vary among vegetation types, and discuss how these processes respond to removal and restoration of riparian vegetation and thereby determine the timing and level of response in stream water quality. Our emphasis is on the role that riparian vegetation plays in protecting streams from nonpoint source pollutants and in improving the quality of degraded stream water. Riparian vegetation influences stream water chemistry through diverse processes including direct chemical uptake and indirect influences such as by supply of organic matter to soils and channels, modification of water movement, and stabilization of soil. Some processes are more strongly expressed under certain site conditions, such as denitrification where groundwater is shallow, and by certain kinds of vegetation, such as channel stabilization by large wood and nutrient uptake by faster-growing species. Whether stream chemistry can be managed effectively through deliberate selection and management of vegetation type, however, remains uncertain because few studies have been conducted on broad suites of processes that may include compensating or reinforcing interactions. Scant research has focused directly on the response of stream water chemistry to the loss of riparian vegetation or its restoration. Our analysis suggests that the level and time frame of a response to restoration depends strongly on the degree and time frame of vegetation loss. Legacy effects of past vegetation can continue to influence water quality for many years or decades and control the potential level and timing of water quality improvement after vegetation is restored. Through the collective action of many processes, vegetation exerts substantial influence over the well-documented effect that riparian zones have on stream water quality. However, the degree to which stream water quality can be managed through the management of riparian vegetation remains to be clarified. An understanding of the underlying processes is important for effectively using vegetation condition as an indicator of water quality protection and for accurately gauging prospects for water quality improvement through restoration of permanent vegetation. »

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x>

Titre : **The influence of historical forestry practices and climate on the sediment retention function of wetlands**

Caley, Katrina. The influence of historical forestry practices and climate on the sediment retention function of wetlands. Mémoire (M. A.). University of Northern British Columbia. 2011, 130p.

Aperçu	Les auteurs de ce mémoire examinent le rôle des milieux humides dans les processus sédimentaires des bassins versants, entre autres en interceptant une partie des sédiments présents dans les eaux de ruissellement. On calcule les taux de sédimentation dans un milieu humide situé en bordure d'un lac et on mesure l'effet des activités forestières réalisées en amont du bassin versant.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Tourbière, lac
Région(s)	Canada (Colombie-Britannique)
Mots-clés	Sédiment, érosion, ruissellement, bassin versant, aménagement forestier

Résumé provenant de la référence

« Wetlands provide beneficial functions and services (e.g. sediment retention, nutrient sequestration) to downstream aquatic environments. The resiliency of these functions under disturbance conditions is, however, not fully understood. Two wetland-lake systems (Boswell and Viewland) in the central interior of British Columbia whose contributing catchments have historically been impacted by forestry practices were selected to examine how wetland sediment retention responds to disturbance. Core chronologies and sedimentation rates were calculated from unsupported ^{210}Pb measurements using the Constant Rate of Supply (CRS) model, and sediment source contributions were determined using a multivariate unmixing model, for both wetlands and their downstream lakes. Sedimentation rates did not significantly change post-logging in either lake; however, the dominant source to Viewland Lake changed from channel bank material to subsurface material. The increase in the proportion subsurface material consistent with increases in dry density and magnetic susceptibility, and decreases in median grain size and C:N. The bordering wetland was not found to contain any material other than channel bank material. The ephemeral nature of the wetland channel, as well as the length of the channel and the significant decrease in median grain size are thought to have prevented sediment deposition, or increased the potential for resuspension and further transport. Sedimentation rates were greatest near the inflow of Boswell wetland, however, the strongest responses to forestry practices were observed near the wetland outflow. Similarly, significantly lower median grain sizes could have limited deposition in the upstream areas of the wetland. Increases in precipitation as snow and stream discharge in addition to effects associated with forestry practices are thought to have been responsible for driving sedimentation rates in both catchments; however, changes in source contributions were likely the result of active forestry practices. »

<https://dam-oclc.bac-lac.gc.ca/fra/bee5fc69-0ffb-4dc9-9f6b-190eef90c783>

Titre : **Biogeochemical hotspots: role of small water bodies in landscape nutrient processing**

Cheng, F. Y. et N. B. Basu. (2017). « Biogeochemical hotspots: Role of small water bodies in landscape nutrient processing ». *Water Resour. Res.*, vol. 53, p.5038–5056. doi: 10.1002/2016WR020102.

Aperçu	L'article aborde la contribution des milieux humides et hydriques aux cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore, notamment l'interception et la transformation de nutriments (azote et phosphore). La méta-analyse réalisée à l'échelle du paysage conclut que les petits milieux humides et hydriques ont un effet très marqué, voire disproportionné, sur la transformation des nutriments.
Fonction(s)	Filtre contre la pollution, captation des sédiments
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, nutriment, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Increased loading of nitrogen and phosphorus from agricultural and urban intensification has led to severe degradation of inland and coastal waters. Lakes, reservoirs, wetlands, and streams retain and transform these nutrients, thus regulating their delivery to downstream waters. While the processes controlling nitrogen and phosphorus removal from the water column are relatively well-known, there is a lack of quantitative understanding of how these processes manifest across spatial scales. This thesis explores the relationship between hydrologic and biogeochemical controls on nutrient processing in a lentic water body (lakes, reservoirs, and wetlands). Here, our work revolves around three research questions: 1) What are the emergent patterns between nutrient processing rates and residence times in lentic systems? 2) What are the underlying mechanisms contributing to the observed patterns? 3) What is the relative magnitude of nutrient retention as a function of wetland size? These questions are addressed through a meta-analysis of existing literature, the development of a modelling framework, and an analysis through upscaling of the results. Within the meta-analysis, we synthesized data from 600 sites across the world and various lentic systems (wetlands, lakes, reservoirs) to gain insight into the relationship between hydrologic and biogeochemical controls on nutrient retention. Our results indicate that the first-order reaction rate constant, k [T⁻¹], is inversely proportional to the hydraulic residence time, τ [T], across six orders of magnitude in residence time for total nitrogen, total phosphorus, nitrate, and phosphate. This behavior prompted the hypothesis that the consistency of the relationship points to a strong hydrologic control on biogeochemical processing. Specifically, we hypothesized that small systems have a higher sediment surface area to water volume ratio that would facilitate the biogeochemical processes of the system. To validate the hypothesis, we developed a two-compartment model that links the major nutrient processes with system size: the water column and the reactive sediment zone are coupled through a mass exchange process, with nitrogen being removed through denitrification in the sediments and phosphorus transferring to long term storage via particle settling. The model analyses validated our hypothesis by replicating the empirical inverse k - τ relationship through deterministic modelling. Additionally, we demonstrated the inverse relationship between the sediment surface area to water volume ratio and size through an analysis of the bathymetric relationships. Finally, we focused on wetland systems that have been relatively less studied, and upscaled the k - τ relationships to the landscape scale using a wetland size-frequency distribution. Results highlight the disproportionately large role of small wetlands in landscape scale nutrient processing, such that for the same wetland area removed, the nutrient removal potential lost is larger when smaller wetlands are lost. The disproportionately larger role of small wetlands in landscape scale nutrient processing is important given previous research on the preferential loss of smaller wetlands from the landscape. [...] Our study highlights the need for a stronger focus on small lentic systems as potential nutrient sinks in the landscape due to their high reactivity rates in comparison to larger water bodies. With a growing recognition that wetlands play a critical role in landscape nutrient cycling, our work will help policy makers and water managers to better understand the suite of functions that is associated with the different size classes and types of wetlands. »

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2016WR020102>

Titre : **Sediment accretion and accumulation of P, N and organic C in depressional wetlands of three ecoregions of the United States**

Lane, C. R. et B. C. Autrey (2017). « Sediment accretion and accumulation of P, N and organic C in depressional wetlands of three ecoregions of the United States ». *Marine Freshwater Research*, vol. 68, n° 12, p. 2253–2265. doi: 10.1071/MF16372.

Aperçu Les auteurs de l'étude mesurent la sédimentation dans les milieux humides isolés et concluent que ces écosystèmes peuvent séquestrer des quantités substantielles de nutriments et de carbone. À l'échelle du paysage ou du bassin versant, selon l'abondance de milieux humides isolés, leur contribution cumulée à retenir les sédiments peut affecter de manière significative la dynamique des nutriments et du carbone.

Fonction(s) Filtre contre la pollution, captation des sédiments

Type(s) de MHH Milieu humide isolé

Région(s) États-Unis

Mots-clés Cycle biogéochimique, ruissellement, sédiment, nutriment, activité microbienne

Résumé provenant de la référence

« Wetland depressions without surface channel connections to aquatic systems are substantial sinks for nitrogen (N), phosphorus (P) and organic carbon (org. C). We assessed accretion, N, P and org.-C accumulation rates in 43 depressional wetlands across three ecoregions of the USA (Erie Drift Plain, EDP; Middle Atlantic Coastal Plain, MACP; Southern Coastal Plain, SCP) using caesium-137 (¹³⁷Cs). The mean sediment accretion rate in minimally affected (reference) sites was 0.6 ± 0.4 mm year⁻¹ and did not differ among ecoregions. Accumulation rates for N and org. C averaged 3.1 ± 3.1 g N m⁻² year⁻¹ and 43.4 ± 39.0 g org. C m⁻² year⁻¹ respectively, and did not differ across minimally affected sites. Phosphorus accumulation rates were significantly greater in EDP (0.10 ± 0.10 g P m⁻² year⁻¹) than MACP (0.01 ± 0.01 g P m⁻² year⁻¹) or SCP (0.04 ± 0.04 g P m⁻² year⁻¹) sites. Land-use modality and wetland-type effects were analysed in SCP, with few differences being found. Depressional wetlands sequester substantive amounts of nutrients and C; their cumulative contributions may significantly affect landscape nutrient and C dynamics because of the abundance of wetland depressions on the landscape, warranting further investigation and potential watershed-scale conservation approaches. »

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30505203/>

Titre : **Modeling sediment accumulation in North American playa wetlands in response to climate change, 1940–2100**

Burris, L. et S. K. Skagen (2013). « Modeling sediment accumulation in North American playa wetlands in response to climate change, 1940–2100 ». *Climatic Change*, vol. 117, p. 69–83. doi: 10.1007/s10584-012-0557-7.

Aperçu	Le contexte de l'article concerne la vulnérabilité des milieux humides situés dans les Prairies américaines à la sédimentation. Certains résultats peuvent s'appliquer au contexte québécois. Les auteurs de l'article calculent le taux d'érosion des terres cultivées dans la région des Prairies, et considèrent dans leur modélisation différents facteurs comme la pente, la texture des sols, l'utilisation des sols et l'augmentation des précipitations liée aux scénarios des changements climatiques. La conséquence est le remplissage par la sédimentation dans les milieux humides, suivi de la perte de ces écosystèmes.
Fonction(s)	Captation des sédiments
Type(s) de MHH	Marais
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Changements climatiques, érosion, sédimentation, sol, occupation agricole, perturbation

Résumé provenant de la référence

« Playa wetlands on the west-central Great Plains of North America are vulnerable to sediment infilling from upland agriculture, putting at risk several important ecosystem services as well as essential habitats and food resources of diverse wetland-dependent biota. Climate predictions for this semi-arid area indicate reduced precipitation which may alter rates of erosion, runoff, and sedimentation of playas. We forecasted erosion rates, sediment depths, and resultant playa wetland depths across the west-central Great Plains and examined the relative roles of land use context and projected changes in precipitation in the sedimentation process. We estimated erosion with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) using historic values and downscaled precipitation predictions from three general circulation models and three emissions scenarios. We calibrated RUSLE results using field sediment measurements. RUSLE is appealing for regional scale modeling because it uses climate forecasts with monthly resolution and other widely available values including soil texture, slope and land use. Sediment accumulation rates will continue near historic levels through 2070 and will be sufficient to cause most playas (if not already filled) to fill with sediment within the next 100 years in the absence of mitigation. Land use surrounding the playa, whether grassland or tilled cropland, is more influential in sediment accumulation than climate-driven precipitation change. »

https://www.researchgate.net/publication/257547950_Modeling_Sediment_Accumulation_in_North_American_Playa_Wetlands_in_Response_to_Climate_Change_1940-2100

Titre : **Impact of current riparian land on sediment retention in the Danube River Basin**

Vigiak, O., Malagó, A., Bouraoui, F., Grizzetti, B., Weissteiner, C. J. et M. Pastori (2016). « Impact of current riparian land on sediment retention in the Danube River Basin ». *Sustainability of Water Quality and Ecology*, vol. 8, p. 30-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2016.08.001>.

Aperçu	Les auteurs de l'article utilisent la modélisation pour estimer la quantité de charge sédimentaire provenant de l'amont d'un cours d'eau enlevée par les écosystèmes comme les milieux humides et les rives dans les plaines inondables. La captation des sédiments implique un déplacement à basse vitesse de l'eau en crue au-dessus des plaines inondables afin de permettre le dépôt d'une partie de la charge sédimentaire d'un cours d'eau.
Fonction(s)	Captation des sédiments, écran solaire, haie brise vent, protection des sols
Type(s) de MHH	Milieu humide riverain, rive, plaine inondable
Région(s)	Europe
Mots-clés	Bande riveraine, sédiment, bassin versant, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Riparian land supports multiple ecosystem services that are essential for good water quality and aquatic biodiversity, providing habitat and hydrological connectivity, and retaining pollutants and sediments. Riparian land reduces sediment fluxes in the freshwater systems by trapping sediments generated on the hillslopes before they reach the stream network, and by stabilizing stream banks. The aim of this study was to assess the impact of current riparian land in reducing sediment fluxes in the stream network of the Danube River Basin. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model was used to assess sediment yields across the basin and quantify sediment retention by riparian vegetation. Europe-wide spatial information on riparian land type and extent was used to set up agricultural to riparian land ratio and the streambank reach vegetation cover. SWAT sediment simulations for current conditions, i.e. including riparian land parameterization, were calibrated and validated for the period 1995–2009. The impact of riparian land was quantified by analyzing differences in mean annual specific sediment yields between scenarios without riparian land and current conditions. Sediment yield reductions and efficiency of riparian land were quantified at several spatial scales across the basin, considering hillslopes, stream order, and administrative regions. The impact of riparian filtering in reducing sediment fluxes to the stream network at the hillslope scale was always positive, with median efficiency of 50%. Efficiency was higher where incoming sediment and water yields per unit of area were larger, and in smaller HRUs (areas lower than 10 km²). Sediment filtering in riparian buffers was more efficient in smaller reaches, and decreased from about 17% to 5% with Strahler's order. Streambank protection was important locally in about 8% of reaches characterized by high stream power, where current streambank protection reduced potential sediment yields by more than 5 t/km²/y, and in large reaches, like in the Sava and Danube Rivers. At the Danube outlet to the Black Sea, the reduction in sediment yield attributable to current riparian land was estimated at 480 kt/y. Although riparian efficiency declined with spatial scale in terms of sediment yield reduction, filtering of sediments in riparian buffers abated in-stream sedimentation substantially. While occupying only about 2% of the Basin, current riparian land in the Danube Basin reduces sediment fluxes in river networks by about 8% regionally, and contributes to the improvement of the ecological conditions of freshwater ecosystems. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212613916300307>

Titre : **The role of urban wetland diversity and function in contaminant fate**

Gilbert, Nicolas. The role of urban wetland diversity and function in contaminant fate. Mémoire (M. A.), University of Ontario Institute of Technology, 2011, 110p.

Aperçu	Le mémoire présente le travail des communautés microbiennes colonisant les milieux humides urbains dans la fonction de captation et de transformation des polluants organiques. Les milieux humides urbains reçoivent des eaux de ruissellement contaminées par les pesticides et métaux lourds, ce qui entraîne une transformation des communautés microbiennes en communautés plus homogènes. Ces communautés atteignent une limite fonctionnelle selon les polluants reçus.
Fonction(s)	Filtre (nutriment et pesticide)
Type(s) de MHH	Marais
Région(s)	Canada (Ontario)
Mots-clés	Pollution diffuse, pesticide, biodégradation, diversité microbienne, occupation urbaine

Résumé provenant de la référence

« It is recognized that microbial transformations are the primary mechanism of organic contaminant removal in natural and constructed wetland systems. However, not much is known about urban wetland microbial communities or their functional capacity to process contaminants. The objective of this research was to first characterize the physiological and phylogenetic diversity of microbial communities of different urban wetland types using the BILOG™ method and through DGGE of 16S rRNA sequences. The capacity of urban wetlands to attenuate model chlorinated aromatic compounds (2,4-D and 3-CBA) was assessed by UPLC biodegradation and 14C mineralization experiments. Toxicity tests were conducted to assess microbial tolerance to pollutant addition. In general, results indicate that urbanization has a homogenizing effect on microbial community structure and distribution within urban wetland systems, regardless of type. Urban wetlands also appear to have a limited capacity to remove chlorinated organic pollutants. Microbial community tolerance to chlorinated organic pollutants is relatively high, whereas heavy metal tolerance was found to coincide with history of contaminant exposure. »

https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=TC-OOSH DU-192&op=pdf&app=Library&oclc_number=1033020016

Titre : **Potential Efficiency of Grassy or Shrub Willow Buffer Strips against Nutrient Runoff from Soybean and Corn Fields in Southern Quebec, Canada**

Hénault-Ethier, L., Lucotte, M., Smedbol, É., Gomes, M. P., Maccario, S., Laprise, M. E. L., Perron, R., Larocque, M., Lepage, L., Juneau, P. et M. Labrecque (2019). « Potential Efficiency of Grassy or Shrub Willow Buffer Strips against Nutrient Runoff from Soybean and Corn Fields in Southern Quebec ». Canada. J. Environ. Qual., vol. 48, p. 352-361. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2016.10.0391>.

Aperçu	L'étude vise à quantifier l'effet des bandes riveraines (herbacées et boisées avec saule à deux densités) sur la qualité de l'eau en mesurant les concentrations de phosphore, d'azote et de pesticides dans un contexte d'utilisation agricole intensive à grand interligne (maïs ou soya). L'un des sites est sur sol organique. Les auteurs concluent que peu importe la communauté végétale, la bande riveraine est trop étroite pour avoir un effet positif global sur la qualité de l'eau du milieu hydrique adjacent.
Fonction(s)	Filtre (nutriment et pesticide)
Type(s) de MHH	Tourbière, rive
Région(s)	Québec
Mots-clés	Bande riveraine, communauté végétale, pollution diffuse, nutriment, pesticide, qualité d'eau, occupation agricole

Résumé provenant de la référence

« Riparian buffer strips (RBS) are encouraged to control agricultural diffuse pollution. In Quebec Province, Canada, a policy promotes 3-m-wide RBS. Abiding farmers minimally maintain herbaceous vegetation, but nutrient retention efficiency could be improved with woody biomass. This work aimed to assess if fast-growing willows (*Salix miyabeana* Seemen 'SX64') could reduce nutrient loads to a stream, in addition to yielding biomass. Triplicate treatments of two *Salix* stem densities and a herbaceous control plot were monitored from 2011 to 2013 in a randomized block design on agricultural fields of the St. Lawrence Lowlands with sandy loam (Saint-Roch-de-l'Achigan [SR]) and organicrich (Boisbriand [BB]) soils. Runoff, interstitial water, and water from the saturated zone were sampled 16 (SR) and 14 (BB) times to quantify nutrient buffering (NO_3^- , NH_4^+ , P, and K). Sampling campaigns followed (i) snowmelt or 315-mm natural precipitation events after (ii) fertilization and (iii) glyphosate based herbicide applications. Concentration reduction before and after the RBS was highest for nitrates (77–81% in runoff at BB, 92–98% at 35- to 70-cm depth at SR) just after fertilization, when edge-of-field concentrations peaked. Total P removal was observed in runoff after fertilization at SR, and K removal was punctually witnessed at BB. Riparian buffer strips were inefficient for NH_4 and dissolved P removal, and RBS effluents exceeded aquatic life protection standards. *Salix* plantations, irrespective of stem density, were not more efficient than herbaceous RBS. This shows that without fertilizer input reductions, narrow RBS are insufficient to protect streams from excess nutrients in corn (*Zea mays* L.) and soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] crops. »

<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/jeq2016.10.0391>

Titre : **Wetland Nutrient Removal: A Review of the Evidence**

Fisher, J. et M. C. Acreman. (2004). « Wetland nutrient removal: a review of the evidence », *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 8, p. 673–685, doi: <https://doi.org/10.5194/hess-8-673-2004>, 2004.

Aperçu	La revue de littérature compile plusieurs études concernant l'effet des milieux humides et des rives sur la présence de nutriments tels que l'azote et le phosphore dans les milieux hydriques.
Fonction(s)	Filtre (nutriment)
Type(s) de MHH	Milieu humide riverain, rive
Région(s)	Europe
Mots-clés	Cycle biogéochimique, qualité d'eau, nutriment

Résumé provenant de la référence

« Data from 57 wetlands from around the world have been collated to investigate whether wetlands affect the nutrient loading of waters draining through them; the majority of wetlands reduced nutrient loading and there was little difference in the proportion of wetlands that reduced N to those that reduced P loading. However, some wetlands increase nutrient loadings by increasing the loading of soluble N and P species thus potentially driving aquatic eutrophication. Studies conducted over a period of a year or more, or that involved frequent sampling during high flow events, were more likely to indicate that the wetland increased nutrient loadings. Swamps and marshes differed from riparian zones in their nutrient function characteristics by being slightly more effective at nutrient reduction than riparian zones. The attributes that enable wetlands to be effective in reducing N and P loadings need consideration when constructing or managing wetlands to reduce nutrient loadings. Their wise use will be an important strategy for meeting the Water Framework Directive requirements for many water bodies. »

<https://hess.copernicus.org/articles/8/673/2004/>

Titre : **Do on-farm natural, restored, managed and constructed wetlands mitigate agricultural pollution in Great Britain and Ireland?**

Newman, J.R., Duesnas-Lopez, M.A., Acreman, M.C., Palmer-Felgate, E.J., Verhoeven, J.T.A., Scholz, M. et E. Maltby. Do on-farm natural, restored, managed and constructed wetlands mitigate agricultural pollution in Great Britain and Ireland? A Systematic Review. Final report WT0989. Centre for Ecology and Hydrology, Royaume-Uni, 2015, 81 p. [Rapport produit avec l'appui du Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, Royaume-Uni].

Aperçu	Le rapport gouvernemental, sous la forme d'une revue de littérature, propose un tour d'horizon de l'utilisation et de l'efficacité des milieux humides naturels et construits pour atténuer les effets de l'azote, du phosphore et des matières en suspension dans les milieux hydriques dans un contexte agricole.
Fonction(s)	Filtre (nutriment) et captation de sédiments
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Europe
Mots-clés	Cycle biogéochimique, qualité d'eau, nutriment, pesticide, occupation agricole, création, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Wetlands in agricultural landscapes offer a number of benefits to the landscape function in which they are set, reducing nutrient runoff, providing additional habitat mosaics and offering various ecosystem services. They require careful planning and maintenance in order to perform their optimum design function over a prolonged period of time. They should be treated as functional units of farm infrastructure rather than fit-and-forget systems. Nutrient loss from agricultural land has been suggested as a major cause of elevated nutrient concentrations in surface waters in the UK. Nitrogen (N) and phosphorus (P) are of particular concern as an excess of either nutrient can lead to eutrophication of freshwater systems and coastal waters. Agriculture has also been identified as a significant source of suspended sediment (SS) concentrations in UK rivers and agriculturally derived sediment has been identified as a source of increased bed-sediment P concentrations in rivers. High bed sediments loads have other negative impacts, such as clogging river gravels reducing fish spawning. There is considerable evidence in the published and grey literature that wetlands have the ability to remove nutrients and sediment and thus reduce the load on receiving waters. This systematic review assesses the available evidence on the performance of various wetland types on farms to reduce nutrient input and suspended sediments to receiving waters. It provides a defensible evidence base on which to base policy. The studies reviewed cover different input loads and the analysis compares performance of these wetland systems in respect of % reduction efficiency. The overall finding of the review was that all wetland types are very effective at reducing major nutrients and suspended sediments, with the exception of nitrate in integrated constructed wetland systems (open ponds). The data synthesis showed consistently high levels of removal were found for Total Nitrogen, ammonium / ammonia, nitrate and nitrite, Total Phosphorus (TP) and Soluble Reactive Phosphorus (SRP), Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD) and Suspended Sediments (SS). All these parameters were reduced by large amounts and therefore it can be concluded that agricultural wetland systems are good for reduction of all of these parameters. Conservation, restoration or construction of on-farm wetlands provides a very effective solution for reducing ammonium and ammonia, total nitrogen, soluble reactive phosphate, total phosphorus, suspended sediments and both chemical oxygen demand and biological oxygen demand. »

<https://salford-repository.worktribe.com/output/1418554/>

Titre : **Impact of adjacent land use on coastal wetland sediments**

Karstens, S., Buczko, U., Jurasinski, G., Peticzka, R., et S. Glatzel (2016). « Impact of adjacent land use on coastal wetland sediments ». *Science of The Total Environment*, vol. 550, p. 337-348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.079>.

Aperçu	L'article présente une étude comparative de deux milieux humides côtiers adjacents à une occupation agricole de culture intensive et de culture en pâturage. Les milieux humides côtiers jouent un rôle important dans la captation des métaux lourds et nutriments issus des engrais et pesticides. La mer influence peu le contenu en nutriments et métaux lourds des milieux humides. La capacité des milieux humides à capter et stocker les polluants ainsi qu'à lutter contre la pollution de l'eau n'est cependant pas infinie, puisqu'un dépassement de capacité de charge peut être atteint.
Fonction(s)	Filtre (nutriment) et captation de sédiments
Type(s) de MHH	Marais côtier
Région(s)	Europe
Mots-clés	Sédimentation, pollution diffuse, métaux lourds, nutriment, cycle biogéochimique, occupation agricole

Résumé provenant de la référence

« Coastal wetlands link terrestrial with marine ecosystems and are influenced from both land and sea. Therefore, they are ecotones with strong biogeochemical gradients. We analyzed sediment characteristics including macronutrients (C, N, P, K, Mg, Ca, S) and heavy metals (Mn, Fe, Cu, Zn, Al, Co, Cr, Ni) of two coastal wetlands dominated by *Phragmites australis* at the Darss-Zingst Bodden Chain, a lagoon system at the Southern Baltic Sea, to identify the impact of adjacent land use and to distinguish between influences from land or sea. In the wetland directly adjacent to cropland (study site Dabitz) heavy metal concentrations were significantly elevated. Fertilizer application led to heavy metal accumulation in the sediments of the adjacent wetland zones. In contrast, at the other study site (Michaelsdorf), where the hinterland has been used as pasture, heavy metal concentrations were low. While the amount of macronutrients was also influenced by vegetation characteristics (e.g. carbon) or water chemistry (e.g. sulfate), the accumulation of heavy metals is regarded as purely anthropogenic influence. A principal component analysis (PCA) based on the sediment data showed that the wetland fringes of the two study sites are not distinguishable, neither in their macronutrient status nor in their concentrations of heavy metals, whereas the interior zones exhibit large differences in terms of heavy metal concentrations. This suggests that seaside influences are minor compared to influences from land. Altogether, heavy metal concentrations were still below national precautionary and action values. However, if we regard the macronutrient and heavy metal concentrations in the wetland fringes as the natural background values, an accumulation of trace elements from agricultural production in the hinterland is apparent. Thus, coastal wetlands bordering croplands may function as effective pollutant buffers today, but the future development has to be monitored closely to avoid breakthroughs due to exceeded carrying capacities. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716300857>

Titre : **Descriptive and experimental studies on the biotic and abiotic determinants of selected pesticide concentrations in prairie wetland water columns**

Friesen-Pankratz, Bruce. Descriptive and experimental studies on the biotic and abiotic determinants of selected pesticide concentrations in prairie wetland water columns. Thèse (Ph. D.). University of Manitoba. 2011, 343 p.

Aperçu	La thèse présente les résultats d'une étude sur la présence et le cycle des pesticides dans les milieux humides en zone agricole de la région des Prairies.
Fonction(s)	Filtre (pesticide)
Type(s) de MHH	Marais
Région(s)	Canada (région des Prairies)
Mots-clés	Pollution diffuse, pollution ponctuelle, pesticides, ruissellement, qualité d'eau, cycle biogéochimique, occupation agricole

Résumé provenant de la référence

« The determinants of high use agricultural pesticide concentrations in the water columns of Prairie Pothole Region (PPR) wetlands were examined to evaluate if these ecosystems had characteristics of pesticide sinks. For an ecosystem to function as a pesticide sink it needs to receive, retain, and reduce pesticides. A survey of sixty PPR wetlands (distance between two farthest sites 1,700 km) was conducted to determine the extent to which they received high use pesticides (atrazine and lindane). Sixty-two percent of the wetlands were contaminated with either atrazine or lindane. Pesticide presence was directly related to wetland proximity to pesticide use and precipitation prior to sampling. In June-July lindane presence was positively correlated with phytoplankton concentration; however, in August lindane presence was negatively correlated with phytoplankton concentration. Laboratory and in situ (Della Marsh, MB) experiments showed that phytoplankton can determine pesticide water column concentrations. For instance, phytoplankton can sorb lindane and remove it from the water column through sedimentation. The extent of pesticide sorption to phytoplankton (*Selenastrium capricornutum*) was directly related to the pesticides' octanol-water partition coefficient. Sorption to phytoplankton decreased volatilization of the pesticide trifluralin. The presence of wetland water column conditions (such as phytoplankton and other particulate matter) increased degradation of atrazine, lindane, and glyphosate. In silico experiments did not detect any atrazine or lindane photolysis. The limited amount of ultraviolet penetration, due to attenuation by aquatic macrophytes, suspended particulates, and dissolved organic carbon, prevented photolysis from being a significant pesticide reduction mechanism in the studied wetlands. PPR wetlands do possess characteristics of pesticide sinks in that they can receive, retain, and reduce pesticide concentrations. This understanding of wetlands as pesticide sinks will be useful in managing natural and constructed wetlands. Wetland managers should be aware of the high percentage of wetlands that are at risk of receiving pesticides as these may alter ecosystem dynamics. Furthermore, knowledge of the role of algae in determining pesticide concentrations could be used to manage constructed wetlands so as to maximize pesticide retention and reduction. »

<https://mspace.lib.umanitoba.ca/items/1792109e-a3e4-4ad5-a8be-6818b84c4d8d>

Titre : **Role of wetlands in reducing structural loss is highly dependent on characteristics of storms and local wetland and structure conditions**

Sheng, Y. P., Rivera-Nieves, A. A., Zou, R. et V .A. Paramygin, V.A. (2021). « Role of wetlands in reducing structural loss is highly dependent on characteristics of storms and local wetland and structure conditions ». Sci Rep, vol. 11 n° 5237. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84701-z>

Aperçu	Les auteurs de l'étude modélisent la contribution des marais côtiers à l'atténuation des dommages faits par les vagues sur la côte nord-est américaine lors de tempêtes et d'événements d'inondation. La présence de marais permet de réduire les dommages causés aux zones habitées. Le modèle permet de cibler des territoires pour la restauration de marais côtiers.
Fonction(s)	Rempart contre l'érosion
Type(s) de MHH	Marais côtier
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Érosion côtière, inondation, tempête, vague, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Coastal communities in New Jersey (NJ), New York (NY), and Connecticut (CT) sustained huge structural loss during Sandy in 2012. We present a comprehensive science-based study to assess the role of coastal wetlands in buffering surge and wave in the tri-state by considering Sandy, a hypothetical Black Swan (BS) storm, and the 1% annual chance flood and wave event. Model simulations were conducted with and without existing coastal wetlands, using a dynamically coupled surge-wave model with two types of coastal wetlands. Simulated surge and wave for Sandy were verified with data at numerous stations. Structural loss estimated using real property data and latest damage functions agreed well with loss payout data. Results show that, on zip-code scale, the relative structural loss varies significantly with the percent wetland cover, the at-risk structural value, and the average wave crest height. Reduction in structural loss by coastal wetlands was low in Sandy, modest in the BS storm, and significant in the 1% annual chance flood and wave event. NJ wetlands helped to avoid 8%, 26%, 52% loss during Sandy, BS storm, and 1% event, respectively. This regression model can be used for wetland restoration planning to further reduce structural loss in coastal communities. »

<https://www.nature.com/articles/s41598-021-84701-z>

Titre : **Sediment Accumulation in Prairie Wetlands under a Changing Climate: the Relative Roles of Landscape and Precipitation**

Skagen, S. K., Burris, L. E. et D. A. Granfors, (2016). « Sediment Accumulation in Prairie Wetlands under a Changing Climate: the Relative Roles of Landscape and Precipitation ». *Wetlands*, vol. 36 (Suppl 2), p. 383–395. doi: <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0748-5>.

Aperçu	Les auteurs de l'article modélisent le taux de sédimentation dans les milieux humides isolés dans la région des Prairies en tenant compte des changements climatiques, des patrons de précipitations, du bassin versant, de la topographie et de l'utilisation des terres. Ces milieux humides sont vulnérables au remplissage et des stratégies de conservation sont suggérées selon le contexte paysager.
Fonction(s)	Rempart contre l'érosion et captation des sédiments
Type(s) de MHH	Milieu humide isolé
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Changements climatiques, érosion des sols, érosion des rives, sédimentation, modélisation, occupation agricole

Résumé provenant de la référence

« Sediment accumulation threatens the viability and hydrologic functioning of many naturally formed depressional wetlands across the interior regions of North America. These wetlands provide many ecosystem services and vital habitats for diverse plant and animal communities. Climate change may further impact sediment accumulation rates in the context of current land use patterns. We estimated sediment accretion in wetlands within a region renowned for its large populations of breeding waterfowl and migrant shorebirds and examined the relative roles of precipitation and land use context in the sedimentation process. We modeled rates of sediment accumulation from 1971 through 2100 using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) with a sediment delivery ratio and the Unit Stream Power Erosion Deposition model (USPED). These models predicted that by 2100, 21–33 % of wetlands filled completely with sediment and 27–46 % filled by half with sediments; estimates are consistent with measured sediment accumulation rates in the region reported by empirical studies. Sediment accumulation rates were strongly influenced by size of the catchment, greater coverage of tilled landscape within the catchment, and steeper slopes. Conservation efforts that incorporate the relative risk of infilling of wetlands with sediments, thus emphasizing areas of high topographic relief and large watersheds, may benefit wetland-dependent biota. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-016-0748-5>

Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines

La section suivante est associée à ce libellé provenant de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés – version de septembre 2024 :

13.1. Le ministre peut définir les orientations fondamentales d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

Il élabore et propose également au gouvernement les orientations ainsi que les objectifs à poursuivre en matière de protection des milieux humides et hydriques, de manière à assurer et mettre en valeur les différents bénéfices résultant de la présence de ces milieux, notamment par leurs fonctions :

[...]

2° de régulation du niveau d'eau, en permettant la rétention et l'évaporation d'une partie des eaux de précipitation et des eaux de fonte, réduisant ainsi les risques d'inondation et d'érosion et favorisant la recharge de la nappe phréatique [...].

Titre : **A hydrogeomorphic classification for wetlands**

Brinson, M. M. A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-4. East Carolina University, Greenville, NC, États-Unis, 1993, 103 p. [Rapport produit avec l'appui du U.S. Army Corps of Engineers, Washington D. C.].

Aperçu	Le guide de référence américain classe les milieux humides sur une base hydromorphologique.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Hydrogéomorphologie, classification, connectivité, apport en eau

Résumé provenant de la référence

« Wetlands can be classified by methods that range from the use of commonly recognized vegetation or cover types, to systems based on hydrology, geomorphology, or some combination of the two. The classification presented here is based on the hydrogeomorphic functions of wetlands. There are three basic properties that are used to provide insight into wetland functions: (1.) Geomorphic setting — The three categories are depressional, riverine, and fringe. Extensive peatlands constitute a separate category because of their unique topographic and hydrologic conditions. Depressional wetlands can be open or closed to surface flows, and can be tightly or loosely connected to groundwater flows, Riverine wetlands range from those associated with steep to low gradient streams and are represented by floodplains. Fringe wetlands are sea level or lake level controlled. Peat lands normally initiate their development in depressions. If peat lands develop beyond the original depression, they can create their own unique geomorphic settings. Each of these four types roughly corresponds with limited combinations of water sources and hydrodynamic conditions. (2.) Water source — The three sources are precipitation, lateral flows from upstream or upslope, and ground water. Respectively these correspond to transport from the atmosphere, transport by surface or near-surface flows, and subsurface transport by flow of groundwater from unconfined aquifers. Each of these sources tends to have different water chemistry. This influences how the wetland functions. If precipitation is the sole source, evapotranspiration must necessarily be low enough to maintain water storage. Transport by surface flows allows sediment to be delivered to the wetland surface, as in floodplains. Groundwater sources are often rich in minerals. The flushing common in groundwater flows often counterbalances stressful conditions otherwise expected under waterlogged conditions. (3.) Hydrodynamics-Velocities can vary within each of three flow types: primarily vertical, primarily unidirectional and horizontal, and primarily bidirectional and horizontal. Vertical movements are due to evapotranspiration and precipitation, unidirectional flows are down slope movement that occurs from seeps and on floodplains, and bidirectional are astronomic tides or wind driven seiches. Where the vertical flow type dominates, the wetland has characteristically low hydraulic energy. Sediment accretion in such low energy environments is necessarily restricted to peat accumulation. Where flows are primarily unidirectional and horizontal, they may range from erosive, as occurs during the cutoff process in meandering streams, to depositional, as occurs in most floodplain environments. The bidirectional movement of tidal regimes creates predictable flooding and cumulatively long hydroperiods which are conducive habitat conditions for many estuarine organisms. Indicators of function are discussed also, but they are considered derivatives of the three basic properties. Indicators range between short-term and ephemeral to long-term and stable. Short term indicators are high water marks, the annual plants, debris piles, etc. Long term indicators are geomorphic structure, forest canopy species composition, and geomorphic features that can be determined from topographic maps and aerial photographs. The ecological significance of each of the properties is quantified, if possible, from published studies on similar ecosystems, or the significance is developed through logic. For the properties possessed by a particular wetland, a “profile” is developed that reveals probable functions carried out by the wetland, both within the wetland and as a landscape entity. Profiles are the end point of this classification. It is recommended that a number of wetland profiles be developed in a geographic region which will constitute a reference wetland population. Reference wetlands should typify the functions of a given type as well as the probable variations of these functions within a wetland type. Such reference wetlands represent the basis of comparison for any assessment procedures. Reference sites or types may also be established to recursively validate or correct the classification and to serve as benchmarks for additional functional studies. The classification can be adapted to any geographic region and is easy to modify as additional information becomes available. [...] »

Titre : **L'Hydrologie**

Price, J. S. « L'hydrologie ». dans Payette, S. et L. Rochefort (éditeurs). Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Québec, Les Presses de l'Université Laval, 2001, p. 141-158. doi: <https://doi.org/10.2307/jj.8816099.10>

Aperçu	Le chapitre de livre explique l'hydrologie des tourbières et aborde notamment le bilan hydrique et l'influence des niveaux d'eau sur différents processus.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Général
Mots-clés	Bilan hydrique, niveau d'eau, écohydrologie, sol organique

Résumé provenant de la référence

« Les milieux humides sont caractérisés par une nappe phréatique située près ou au-dessus de la surface du sol. Il s'y développe des sols hydriques, une végétation hydrophile et des activités biologiques, adaptés aux conditions particulières de ces environnements. Même si les différents milieux humides (tourbières, marais, marécages, plans d'eau peu profonde) partagent un trait commun, soit l'abondance de l'eau, leur régime hydrologique diffère. »

[Écologie des tourbières du Québec-Labrador | Presses de l'Université Laval](#)

Titre : **The Role of Wetlands in the Hydrological Cycle**

Bullock, A. et M. C. Acreman. (2003). « The Role of Wetlands in the Hydrological Cycle ». Hydrology and Earth System Sciences. Vol. 7, n° 3, p. 358-399. doi: 10.5194/hess-7-358-2003.

Aperçu	La revue de littérature, qui couvre la période avant 2003, porte sur les liens entre la fonction hydrologique de régulation des débits et les milieux humides. Les connaissances sur cette fonction ont certes évolué, mais il s'agit de l'un des premiers constats basés sur des articles scientifiques.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Changements climatiques, bilan hydrique, recharge, évaporation, crue, étiage

Résumé provenant de la référence

« It is widely accepted that wetlands have a significant influence on the hydrological cycle. Wetlands have therefore become important elements in water management policy at national, regional and international level. There are many examples where wetlands reduce floods, recharge groundwater or augment low flows. Less recognised are the many examples where wetlands increase floods, act as a barrier to recharge, or reduce low flows. This paper presents a database of 439 published statements on the water quantity functions of wetlands from 169 studies worldwide. This establishes a benchmark of the aggregated knowledge of wetland influences upon downstream river flows and groundwater aquifers. Emphasis is placed on hydrological functions relating to gross water balance, groundwater recharge, base flow and low flows, flood response and river flow variability. The functional statements are structured according to wetland hydrological type and the manner in which functional conclusions have been drawn. A synthesis of functional statements establishes the balance of scientific evidence for particular hydrological measures. The evidence reveals strong concurrence for some hydrological measures for certain wetland types. For other hydrological measures, there is diversity of functions for apparently similar wetlands. The balance of scientific evidence that emerges gives only limited support to the generalised model of flood control, recharge promotion and flow maintenance by wetlands portrayed throughout the 1990s as one component of the basis for wetland policy formulation. That support is confined largely to floodplain wetlands, while many other wetland types perform alternate functions partly or fully. This paper provides the first step towards a more scientifically defensible functional assessment system. »

<https://www.researchgate.net/publication/29626943> The Role of Wetlands in the Hydrological Cycle

Titre : **A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based 'natural' flood management in the UK**

Dadson, S. J., Hall, J. W., Murgatroyd, A., Acreman, M., Bates, P., Beven, K., Heathwaite, L., Holden, J., Holman, I. P., Lane, S. N., O'Connell, E., Penning-Rowsell, E., Reynard, N., Sear, D., Thorne, C. et R. Wilby. (2017). « A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based 'natural' flood management in the UK ». Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 473, p. 2-19. doi: 20160706. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2016.0706>.

Aperçu	Dans la foulée de l'application de mesures d'adaptation aux changements climatiques, les auteurs fournissent un résumé basé sur les connaissances scientifiques concernant l'efficacité de la gestion « naturelle » des inondations par bassin versant. Les auteurs mettent de l'avant la contribution des milieux humides à l'atténuation des épisodes d'inondation.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Europe
Mots-clés	Changements climatiques, gestion des risques, bassin versant, infrastructure verte, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Flooding is a very costly natural hazard in the UK and is expected to increase further under future climate change scenarios. Flood defences are commonly deployed to protect communities and property from flooding, but in recent years flood management policy has looked towards solutions that seek to mitigate flood risk at flood-prone sites through targeted interventions throughout the catchment, sometimes using techniques which involve working with natural processes. This paper describes a project to provide a succinct summary of the natural science evidence base concerning the effectiveness of catchment-based 'natural' flood management in the UK. The evidence summary is designed to be read by an informed but not technically specialist audience. Each evidence statement is placed into one of four categories describing the nature of the underlying information. The evidence summary forms the appendix to this paper and an annotated bibliography is provided in the electronic supplementary material. »

https://www.researchgate.net/publication/315175579_A_restatement_of_the_natural_science_evidence_concerning_catchment-based_'natural'_flood_management_in_the_UK [accessed Apr 29 2024].

Titre : **Influence des propriétés hydrodynamiques, des variations météorologiques et des contextes hydrogéologiques sur l'hydrologie de sept tourbières de la vallée du Saint-Laurent, Québec, Canada**

Bourgault, Marc.-André. Influence des propriétés hydrodynamiques, des variations météorologiques et des contextes hydrogéologiques sur l'hydrologie de sept tourbières de la vallée du Saint-Laurent, Québec, Canada. Thèse (Ph. D.). Université du Québec à Montréal, 2018, 225 p.

Aperçu	La thèse inclut trois articles scientifiques publiés sur l'hydrologie des tourbières dans la région des basses-terres du Saint-Laurent, plus précisément sur la compréhension des processus qui contribuent à maintenir les niveaux dans les tourbières, y compris l'influence des propriétés hydrodynamiques, des variations météorologiques et des contextes hydrogéologiques sur le niveau d'eau.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Hydrogéologie, hydroconnectivité, niveau d'eau, changements climatiques, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Les tourbières sont des écosystèmes saturés en eau souvent connectés aux aquifères. Leur intégrité hydrologique et le maintien de leurs fonctions hydrologiques reposent sur leurs capacités à maintenir leurs niveaux de nappe près de la surface. La compréhension des processus qui contribuent à maintenir les niveaux est donc indispensable pour les protéger. L'objectif principal de cette thèse est de comprendre l'influence des propriétés hydrodynamiques, des variations météorologiques et des contextes hydrogéologiques sur le niveau d'eau de sept complexes tourbeux de la vallée du Saint-Laurent, Québec, Canada. Le premier chapitre de la thèse a permis d'adapter, tester et valider la méthode Water Table Fluctuation permettant de quantifier les coefficients d'emmagasinement des tourbières. Des coefficients d'emmagasinement entre 0.13 et 0.99 variant sur 20 cm ont été calculés. Les valeurs les plus élevées correspondent au niveau maximal de la nappe et diminuent rapidement avec la profondeur, suivant une équation logarithmique. Une différence significative des capacités d'emmagasinement a été observée entre les sites. Cette différence suit un gradient géographique régional du sud-ouest vers le nord-est, ce qui concorde avec le gradient des degrés jour de croissance entre les sept tourbières. Le deuxième chapitre a permis de quantifier l'influence des propriétés hydrodynamiques des dépôts organiques comme facteurs explicatifs des variations des profondeurs de nappe. Pour tous les sites, les densités sèches apparentes varient entre 0.02 et 0.22 g/cm³ et les conductivités hydrauliques varient entre 1.4 cm/s et 3.0*10⁻⁶ cm/s. Aucune variation significative des propriétés hydrodynamiques n'a été identifiée intra- et inter-sites. Cependant, les niveaux de nappe montrent des différences significatives d'un site à l'autre. Ceci est une indication que les propriétés hydrodynamiques ne sont pas le seul facteur qui contrôle le niveau des nappes et que les contextes météorologiques et hydrogéologiques pourraient être des facteurs explicatifs importants. Trois relations mathématiques ont été développées liant les coefficients d'emmagasinement à la profondeur, à la densité apparente sèche et à la conductivité hydraulique des dépôts tourbeux. Ces équations permettront aux modélisateurs de quantifier de manière plus fiable les propriétés hydrodynamiques de la tourbe dans des modèles éco-hydrologiques. Le troisième chapitre a permis de mieux comprendre l'influence des conditions météorologiques et des contextes hydrogéologiques sur les niveaux de nappe et leurs fluctuations dans les tourbières. Les conductivités hydrauliques des zones de recharge varient entre 1.4*10⁻⁷ et 8.5*10⁻³ cm/set sont fortement corrélées au niveau annuel de la nappe dans les tourbières. Les augmentations mensuelles des niveaux de nappe des tourbières sont fortement corrélées aux précipitations mensuelles. De manière similaire, les diminutions mensuelles des niveaux de nappe sont fortement corrélées aux températures moyennes mensuelles. Les résultats ont permis d'identifier qu'une baisse de 1 mm/mois dans les précipitations peut entraîner une baisse de 2 mm de la nappe de la tourbière, tandis qu'une augmentation de température de 1 °C/mois peut entraîner une baisse de 1 cm du niveau de nappe. L'application de cette méthode sur d'autres tourbières localisées dans des contextes climatiques différents permettra de mieux comprendre la vulnérabilité des tourbières aux changements climatiques. De plus, les analyses d'autocorrélation et de corrélation croisée ont permis de confirmer la présence d'un équilibre hydrique entre la zone ombrotrophe des tourbières et leurs contextes hydrogéologiques. Cela concorde avec le contrôle qu'exercent les zones de recharge sur les niveaux de nappe des tourbières démontré par la présence d'une forte corrélation entre la conductivité hydraulique des zones de recharge et les niveaux de nappe des tourbières. En ce sens, on distingue les tourbières dépendantes des eaux souterraines, ou fortement connectées, par une fluctuation accentuée de leur niveau d'eau et les tourbières indépendantes des eaux souterraines, ou faiblement connectées, par des variations limitées de leur niveau d'eau. Jusqu'ici, aucune étude n'avait encore démontré l'importance des conditions

météorologiques et des contextes hydrogéologiques sur l'hydrologie des tourbières. Cette thèse apporte de nouvelles données, une meilleure compréhension et un nouvel éclairage du contrôle des facteurs externes sur les niveaux d'eau des tourbières. Les résultats de cette thèse pourront être utilisés pour quantifier les fonctions hydrologiques des tourbières et leur connectivité avec les aquifères, et pour évaluer la vulnérabilité des tourbières aux pressions apportées par les changements climatiques. »

<https://archipel.uqam.ca/11405/>

Titre : **Advances in wetland hydrology: the Canadian contribution over 75 years**

Price, J. S., Sutton, O. F., McCarter, C. P. R., Quinton, W. L., Waddington, J. M., Whittington, P. N., Strack, M. et R. M. Petrone. (2023). « Advances in Wetland Hydrology: The Canadian Contribution over 75 Years ». Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne des Ressources Hydriques, vol. 48, n° 4, p. 379–427. doi:10.1080/07011784.2023.2269137.

Aperçu	La revue de littérature présente une vue d'ensemble de l'avancement des connaissances dans la compréhension de l'hydrologie des milieux humides au Canada, en faisant référence aux conséquences des perturbations.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Canada
Mots-clés	Bilan hydrique, connectivité, cycle biogéochimique, perturbation, restauration écologique, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Les milieux humides font partie intégrante du paysage canadien, offrant des services écohydrologiques essentiels avec des avantages d'importance mondiale. Au cours des 75 dernières années, les chercheurs canadiens se sont imposés comme des leaders internationaux dans la recherche hydrologique sur les milieux humides, contribuant à une meilleure compréhension de leur forme et de leur fonction. Les premières recherches canadiennes ont joué un rôle clé dans l'élaboration d'un système de classification qui a servi de fondement à des études ultérieures sur les processus de la zone non saturée, le transport des solutés, l'évapotranspiration, la dynamique de la glace du sol, le cycle biogéochimique et la modélisation. Ces travaux ont mené à une meilleure compréhension des facteurs qui contribuent à la présence et à la durabilité des milieux humides dans le paysage, les processus internes qui donnent lieu à leurs fonctions uniques de séquestration du carbone, de stockage de l'eau, de mitigation des inondations, d'amélioration de la qualité de l'eau, et d'habitats fauniques. Au Canada et partout dans le monde, les milieux humides sont menacés à diverses échelles et intensités par des perturbations telles que le changement climatique, l'extraction de ressources, les feux de forêt, l'utilisation des terres modifiée et la contamination. En réponse, les chercheurs canadiens sont devenus des leaders mondiaux dans la caractérisation des impacts des perturbations sur la fonction des milieux humides et ont été à l'avant-garde de techniques innovantes de restauration et de remise en état. À mesure que la valeur des milieux humides est de plus en plus reconnue par les parties prenantes et les décideurs, le besoin de recherche sur les milieux humides basée sur des preuves ne fera que croître. Les chercheurs canadiens sont bien positionnés pour continuer à diriger la recherche en hydrologie des milieux humides au cours des 75 prochaines années. »

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07011784.2023.2269137>

Titre : **Technical Support Document for the Proposed “Revised Definition of ‘Waters of the United States’” Rule**

U.S. Environmental Protection Agency. Connectivity of Streams and Wetlands to Downstream Waters: A Review and Synthesis of the Scientific Evidence. Rapport final EPA/600/R-14/475F, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, National Health and Environmental Effects Research Laboratory et le National Exposure Research Laboratory. 2015, 408 p. [Rapport produit avec l'appui du U.S. Environmental Protection Agency et résumé dans le « Technical Support Document for the Proposed “Revised Definition of ‘Waters of the United States’” Rule ». 2021, 250 pp.]

Aperçu	Le rapport présente une revue de littérature réalisée dans un contexte légal avec des assises scientifiques concernant la connectivité physique, biologique et chimique entre les milieux humides situés en tête de bassin et les milieux hydriques en aval. Il s'agit d'une mise à jour d'un premier rapport publié en 2015 et qui offrait davantage de supports visuels.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines, connectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Connectivité, bassin versant, qualité d'eau

Résumé provenant de la référence

« EPA's 2015 report “Connectivity of Streams and Wetlands to Downstream Waters: A Review and Synthesis of the Scientific Evidence” (hereafter the Science Report) summarizes and assesses relevant scientific literature that is part of the administrative record for this proposed rule. In addition, the agencies considered other sources of scientific information and literature, particularly for topics that were not addressed in the Science Report. This includes peer-reviewed literature, federal and state government reports, and other relevant information. The agencies also conducted a literature search for scientific literature that had been published since the Science Report's publication, which is described in more detail in section II.C. Section II.A.i of this document provides the conclusions of the Science Report. Section IV provides additional detail of the scientific literature and the agencies' reasoning in support of the rule. The agencies' interpretation of the Clean Water Act's scope in this proposed rule is guided by the best available peer-reviewed science, including on the connectivity and effects that streams, wetlands, and open waters have on the chemical, physical, and biological integrity of traditional navigable waters, interstate waters, or the territorial seas. The Science Report reviews and synthesizes the peer-reviewed scientific literature on the connectivity or isolation of streams and wetlands relative to large water bodies such as rivers, lakes, estuaries, and oceans. The purpose of the review and synthesis is to summarize current scientific understanding about the connectivity and mechanisms by which streams and wetlands, singly or in aggregate, affect the physical, chemical, and biological integrity of downstream waters. Specific types of connections considered in the Science Report include transport of physical materials and chemicals such as water, wood, and sediment, nutrients, pesticides, and mercury; movement of organisms or their seeds or eggs; and hydrologic and biogeochemical interactions occurring in surface and groundwater flows, including hyporheic zones and alluvial aquifers. The Science Report presents evidence of those connections from various categories of waters, evaluated singly or in combination, which affect downstream waters and the strength of that effect. The objectives of the Science Report are (1) to provide a context for considering the evidence of connections between downstream waters and their tributary waters, and (2) to summarize current understanding about these connections, the factors that influence them, and the mechanisms by which the connections affect the function or condition of downstream waters. »

<https://assessments.epa.gov/risk/document/&deid=296414>

Titre : **A Function-Based Framework for Stream Assessment and Restoration Projects**

Harman, W., Starr, R., Carter, M., Tweedy, K., Clemmons, M., Suggs, K., et C. Miller. A Function-Based Framework for Stream Assessment and Restoration Projects. Rapport DC EPA 843-K-12-006, 2012, 344 p. [Rapport produit avec l'appui de US Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington]

Aperçu	Le document présente les principales fonctions des milieux hydriques afin d'améliorer le processus de restauration écologique. Il est mis en forme dans un cadre conceptuel hiérarchique où la fonction à un niveau supérieur est soutenue par celle à un niveau inférieur.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines, connectivité, conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Milieu hydrique
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Connectivité, restauration écologique, hydraulique, géomorphologie, physicochimie

Résumé provenant de la référence

[...] « Today stream corridor restoration efforts seek to improve or restore these lost functions. A variety of federal, state and local programs, along with efforts from non-profit organizations, provide funding for these programs. The goals are varied and range from simple streambank stabilization projects to watershed scale restoration. For these projects to be successful it is important to know why the project is being completed and what techniques are best suited to restore the lost functions. Knowing why a project is needed requires some form of functional assessment followed by clear project goals. To successfully restore stream functions, it is necessary to understand how these different functions work together and which restoration techniques influence a given function. It is also imperative to understand that stream functions are interrelated and build on each other in a specific order, a functional hierarchy. If this hierarchy is understood, it is easier to establish project goals. And with clearer goals, it is easier to evaluate project success. [...] In order to address the central stream restoration issues delineated above, this document presents three primary goals: 1. Help the restoration community understand that stream functions are interrelated and generally build on each other in a specific order, a functional hierarchy, and understand that parameters can be used to assess those functions even if some parameters are functions and others are structural measures. 2. Place reach scale restoration projects into watershed context and recognize that site selection is as important as the reach scale activities themselves. 3. Provide informal guidance and ideas on how SOPs might incorporate stream functions into debit/credit determination methods, function-based assessments and performance standards. Stream Functions Pyramid Framework : The Framework used in this document was inspired by Fischenich (2006), where the USACE and a group of scientists and practitioners developed functional objectives for stream restoration projects. »

https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/a_function_based_framework_for_stream_assessment_3.pdf

Titre : **Ecologically Functional Floodplains: Connectivity, Flow Regime, and Scale**

Opperman, J. J., Luster, R., McKenney, B. A., Roberts, M. et A. Wrona Meadows (2010). «Ecologically Functional Floodplains: Connectivity, Flow Regime, and Scale ». Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), vol. 46, n° 2, p. 211-226. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010.00426.x.

Aperçu	Les auteurs passent en revue les fonctions écologiques des plaines inondables et leur contribution à l'hydrologie des milieux hydriques. Ils traitent des défis techniques, scientifiques et socioéconomiques qui sont observés lors du développement des projets de restauration écologique.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines, conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Plaine inondable
Région(s)	Général
Mots-clés	Écohydrologie, débit, connectivité hydrologique, changements climatiques, qualité d'eau, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« This paper proposes a conceptual model that captures key attributes of ecologically functional floodplains, encompassing three basic elements: (1) hydrologic connectivity between the river and the floodplain, (2) a variable hydrograph that reflects seasonal precipitation patterns and retains a range of both high and low flow events, and (3) sufficient spatial scale to encompass dynamic processes and for floodplain benefits to accrue to a meaningful level. Although floodplains support high levels of biodiversity and some of the most productive ecosystems on Earth, they are also among the most converted and threatened ecosystems and therefore have recently become the focus of conservation and restoration programs across the United States and globally. These efforts seek to conserve or restore complex, highly variable ecosystems and often must simultaneously address both land and water management. Thus, such efforts must overcome considerable scientific, technical, and socioeconomic challenges. In addition to proposing a scientific conceptual model, this paper also includes three case studies that illustrate methods for addressing these technical and socioeconomic challenges within projects that seek to promote ecologically functional floodplains through river-floodplain reconnection and/or restoration of key components of hydrological variability. »

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2010.00426.x?msocid=15759ac201df69983d4d8ee100f56812>

Titre : **Fonctions hydrologiques des milieux humides boisés soumis à l'aménagement forestier : une revue de la littérature**

Jutras, S. et A. P. Plamondon. (2020). « Fonctions hydrologiques des milieux humides boisés soumis à l'aménagement forestier : une revue de la littérature ». *Écoscience*, vol. 28, n° 1, p. 1-31. doi: <https://doi.org/10.1080/11956860.2020.1772612>.

Aperçu	Les auteurs de la revue de littérature regroupent l'information sur les fonctions hydrologiques et de captation des sédiments des différents milieux humides forestiers, en mettant l'accent sur les impacts de l'aménagement forestier et du retour des conditions hydrologiques préalables à la perturbation par la coupe forestière.
Fonction(s)	Régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines, filtre contre la pollution
Type(s) de MHH	Marécage, tourbière, plaine inondable
Région(s)	Québec
Mots-clés	Aménagement forestier, perturbation, niveau d'eau, qualité d'eau, sédiment, érosion, résilience

Résumé provenant de la référence

« La protection des fonctions écologiques des marécages boisés et des tourbières arborescentes fait l'objet de mesures légales et réglementaires. Au Québec et ailleurs au Canada, la récolte de bois est pratiquée sur les marécages et les tourbières supportant des forêts commerciales. Quel est l'impact des pratiques forestières sur les fonctions hydrologiques de ces milieux humides telles que la rétention des sédiments, la recharge de la nappe phréatique, la réduction des crues et l'augmentation des débits d'étiage? La réponse à cette question est complexe car la contribution des milieux humides à ces fonctions hydrologiques varie avec chaque type de milieu humide comme le souligne les experts. Dans le but de cerner la contribution des milieux humides et d'inférer les effets de l'aménagement forestier sur les tourbières et marécages boisés, nous avons effectué une revue de la littérature. Les revues actuelles couvrent seulement une partie du sujet où dans le cas des tourbières, elles portent essentiellement sur les sites drainés. Dans notre revue, les liens entre les fonctions hydrologiques et la récolte forestière sont traités par catégorie de milieux humides afin de tenir compte de leur contribution spécifique anticipée. »

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11956860.2020.1772612>

Titre : **Impact assessment of wetlands: focus on hydrological and hydrogeological issue**

Acreman, M. C. et F. M. Miller. Impact assessment of wetlands: focus on hydrological and hydrogeological issues. Technical Report W6-091/TR1. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Royaume-Uni, 2004, 149 p. [Rapport produit avec l'appui de Environment Agency, Royaume-Uni].

Aperçu	Le rapport présente la démarche du gouvernement britannique pour identifier les lacunes dans les connaissances concernant l'hydrologie, l'hydroconnexion et les prélèvements d'eau ainsi que les perturbations des milieux humides. Des axes de recherche sont suggérés.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Europe
Mots-clés	Écohydrologie, bassin versant, perturbation, aménagement du territoire, besoins de recherche

Résumé provenant de la référence

« Wetlands are a fundamental part of the UK landscape, embracing a diverse range of habitats including marshes, fens, bogs, wet grasslands, wet woodland (carrs), floodplains, mudflats, estuaries and ponds. Wetlands are important regulators of the hydrological cycle and provide vital habitat for rare and endangered species. However, wetlands are vulnerable to many influences, which include changes in water availability caused by abstraction of near-by surface or groundwater, flood management (such as operation of weirs and dams) and internal management of ditch water levels and vegetation. The Environment Agency is required under various UK and European legislation to assess the anthropogenic impacts at individual wetland sites in England and Wales, in a consistent and defensible way. For many wetlands, there is a lack of understanding of how the water (rainfall, river flows, groundwater) interacts with the rocks, soils and organisms. In such cases, it is difficult to assess how any impacts will change the wetland's hydrology and ecology. In addition, there is no widely accepted method for carrying out an assessment. Consequently, there is a need to establish what is required to improve our conceptual understanding of these sites, as well as to provide guidelines to carry out assessments. This could take the form of, for example, technical guidance on monitoring or new assessment tools. This project was established to review the impact assessment of wetlands in two phases. The first phase was aimed at defining the Agency's specific business needs for impact assessment and to identify basic and applied research requirements. It was expected that this would highlight issues related to many different parts of the Agency's business including water resources, water quality, biology and ecology. Key recommended areas for basic research included: • Relationships between plant communities, soil moisture and micro-topography. • Evaporation processes in grasses, reeds and wetland trees. • Hydraulic connectivity between aquifers and wetlands Recommended areas for applied research included: • Methods and tools for restoring wetlands • Conceptualising and modelling connectivity between aquifers and wetlands • The role of wetland functions in achieving 'good ecological status' of the Water Framework Directive. »

[Microsoft Word - W6-091 Proof 5 \(publishing.service.gov.uk\)https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7cc34b40f0b65b3de0b04f/scho0206blao-b-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7cc34b40f0b65b3de0b04f/scho0206blao-b-e.pdf)

Titre : **Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides**

Groupe d'évaluation scientifique et technique. Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides. Kampala, Ouganda, 2005, 44 p. Rapport produit dans le cadre de la Résolution IX.1 Annexe C ii de la Convention de Ramsar, Iran, 1971 et de la COP8, Espagne, 2002)

Aperçu	Le rapport scientifique regroupe les informations pertinentes sur l'hydroconnectivité entre les eaux souterraines et les milieux humides
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Connectivité hydrologique, aquifère, recharge, aménagement du territoire, conservation

Résumé provenant de la référence

« Le présent document fournit des lignes directrices générales pour aider les Parties à assurer la gestion des eaux souterraines en vue du maintien des fonctions des écosystèmes des zones humides. Il vise à orienter les responsables tant de la gestion des ressources en eau (eaux souterraines et eaux superficielles) que de la gestion des zones humides. Ces demandes de conseils techniques témoignent de ce que le rôle des eaux souterraines dans le maintien des caractéristiques écologiques des zones humides, et celui des zones humides dans la recharge des eaux souterraines sont nettement moins bien compris que le rôle des eaux superficielles. Il est pourtant indispensable que les administrateurs de zones humides et autres personnes concernées comprennent comment la gestion, tant des eaux souterraines que des eaux superficielles, influence une zone humide si la planification de la gestion vise le maintien des caractéristiques écologiques d'une zone humide. En particulier, on dispose aujourd'hui de nouvelles connaissances et techniques (telles que l'utilisation avancée de traceurs isotopiques) susceptibles d'améliorer la quantification des liens hydrologiques et écologiques entre les nappes souterraines et les écosystèmes des zones humides associés. Ces questions seront traitées dans les documents techniques proposés par le GEST : i) un document technique détaillé donnant une vue d'ensemble des aspects hydrologiques et écologiques de l'interaction entre les eaux souterraines et les zones humides ; et ii) un document technique détaillé offrant des conseils pratiques pour l'utilisation et la gestion des ressources en eau souterraine/aquifères en vue du maintien des fonctions des écosystèmes. »

<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/guide/guide-groundwater-f.pdf>

Titre : **Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau entre tourbière et aquifère**

Munger, J. L., Pellerin, S., Larocque, M. et M. Ferlatte (2014). « Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau entre tourbière et aquifère ». *Le Naturaliste canadien*, vol. 138, n° 1, p. 4–12. doi: <https://doi.org/10.7202/1021038ar>.

Aperçu	Les auteurs utilisent des indicateurs simples d'espèces végétales indicatrices dans le but d'estimer la connectivité hydrologique entre les tourbières et l'aquifère.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Bilan hydrique, aquifère, mouvement d'eau, conductivité hydraulique, indicateur chimique, indicateur de végétation

Résumé provenant de la référence

« Les tourbières jouent plusieurs rôles dans l'hydrologie de surface. Les liens hydrologiques entre les tourbières et les eaux souterraines (aquifères) demeurent toutefois peu connus, ce qui rend les zones d'interaction difficiles à identifier. Ce projet avait pour but d'identifier des espèces et des associations d'espèces floristiques indicatrices de zones d'échanges tourbière-aquifère. Ainsi, des suivis piézométriques et des inventaires floristiques ont été réalisés dans 9 tourbières situées dans le Centre-du-Québec et en Abitibi-Témiscamingue. Les échanges tourbière-aquifère ont été identifiés à l'aide de gradients de charges hydrauliques et les espèces indicatrices à l'aide de l'indice de valeur indicatrice INDVAL. Cette méthode a entre autres permis d'identifier 2 espèces (*Carex limosa* et *Sphagnum russowii*) et 4 associations d'espèces indicatrices d'un apport en eau souterraine à la tourbière. Les espèces indicatrices pourraient devenir un outil utile, rapide et peu coûteux pour prédire les zones d'interactions tourbière-aquifère et ainsi faciliter la tâche des gestionnaires du territoire. »

<https://www.erudit.org/fr/revues/natcan/2014-v138-n1-natcan01049/1021038ar/>

Titre : **Chemical and botanical indicators of groundwater inflow to Sphagnum-dominated peatlands**

Larocque, M., Ferlatte, M., Pellerin, S., Cloutier, V., Munger, J. L., Paniconi, C. et A. Quillet (2016). « Chemical and botanical indicators of groundwater inflow to Sphagnum-dominated peatlands ». *Ecological Indicators*, vol. 64, p. 142-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.012>.

Aperçu	Les auteurs de l'étude estiment la connectivité hydrologique entre les tourbières et l'aquifère en utilisant des indicateurs simples de conductivité électrique (élément solide dissous total) et d'espèces végétales indicatrices.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Hydroconnectivité, aquifère, conductivité hydraulique, indicateur

Résumé provenant de la référence

« Knowledge of whether a peatland is fed by a surface aquifer or is providing water to the aquifer can lead to different aquifer and wetland management strategies. Few studies have been conducted to investigate aquifer-peatland connections, because flow connections are difficult to measure and can be spatially and temporally variable. The objective of this study was to combine chemical and botanical indicators of groundwater inflow to Sphagnum-dominated peatlands for a better classification of their water sources. Available knowledge of peatland geomorphic setting, water chemistry, and vegetation data for 12 aquifer-peatland systems of the Abitibi-Temiscamingue region and of the St. Lawrence Lowlands, two contrasting regions of southern Quebec (Canada), were used to derive indicators of groundwater inflow. Total dissolved solids (TDS) is identified as a comprehensive indicator of water mineralization. Threshold values of 16 mg/l (Abitibi-Temiscamingue) and 22 mg/l (St. Lawrence Lowlands) were found to indicate the presence of groundwater within the peatland. Results show that combining chemical (TDS) and botanical indicators can detect the presence of groundwater inflow into most of the studied peatlands. The indicators are more efficient on slope peatlands, where groundwater inflow is more substantial and less spatially variable, than in basin peatlands. A two-step approach is proposed: (1) identify the geomorphic setting of the peatland, and (2) estimate the chemical and botanical indicators. This approach is low-cost and easy to implement, and thus can be used on a large number of sites to assess the presence of groundwater inflow to peatlands. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X15007177>

Titre : **Role of the geomorphic setting in controlling groundwater-surface water exchanges in riverine wetlands: A case study from two southern Québec rivers (Canada)**

Larocque, M., Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T., Needelman, M., Cloutier, C. A. et J. M. McKenzie (2016). « Role of the geomorphic setting in controlling groundwater–surface water exchanges in riverine wetlands: A case study from two southern Québec rivers (Canada) ». Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques, vol. 41, n° 4, p. 528-542. doi: 10.1080/07011784.2015.1128360.

Aperçu	L'étude porte sur les types d'hydroconnexion entre un milieu humide riverain et un milieu hydrique. La connexion aux cours d'eau peut se faire par l'emmagasinement en surface ou par des connexions souterraines, et dépend du contexte géomorphologique du corridor riverain.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide riverain
Région(s)	Québec
Mots-clés	Bilan hydrique, hydroconnectivité, géomorphologie, niveau d'eau, crue, étiage

Résumé provenant de la référence

« There is great interest worldwide to reconnect floodplain wetlands to their rivers. Whilst the surface water connection between rivers and wetlands is fairly well understood, the linkages via groundwater are not well known. In this study, it is hypothesized that the significance of the groundwater pathways between rivers and wetlands is largely determined by the geomorphic setting of the riverine corridor. This was tested by measuring the response of water levels and temperatures in floodplain groundwater and in wetlands to river pulses in two geomorphologically distinct riverine corridors in Southern Québec. In the De la Roche River (DLR; 145 km²), the floodplain is narrow and the alluvial sediments consist of sandy silt (wetland A; abandoned meander) or clayey silt (wetland B; stable floodplain), depending on the location. During within-channel floods, exchanges of water between the river and the floodplain are limited to some bank recharge where the alluvial sediments are permeable, and over-bank storage where the sediments are finer. Water levels in the DLR floodplain wetlands were controlled by a combination of over-bank flow and groundwater discharge from adjacent uplands. In the Matane River (1678 km²), the floodplain substrate is coarser, and the floodplain is wider and has a meandering planform geometry. The response of the Matane River wetland during floods shows storage of water due to a groundwater flood wave. This response of the wetland to within-channel flood pulses could play a role in downstream flood attenuation. In this river, the presence of river infiltration in this floodplain was also illustrated by the warming of floodplain groundwater during flood pulses. This study has shown with three distinct examples how riverine wetlands can be connected to their rivers via either a surface or subsurface pathway depending on the geomorphic setting of the riverine corridor. »

[Full article: Role of the geomorphic setting in controlling groundwater–surface water exchanges in riverine wetlands: A case study from two southern Québec rivers \(Canada\) \(tandfonline.com\)](https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1128360)

Titre : **A graphical approach for documenting peatland hydrodiversity and orienting land management strategies**

Rosa, E., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Cloutier, V., Veillette, J., van Bellen, S. et M. Larocque (2018). « A graphical approach for documenting peatland hydrodiversity and orienting land management strategies ». *Hydrological Processes*, vol. 32, p. 873-890. doi: 10.1002/hyp.11457

Aperçu	L'article propose une méthodologie reposant sur des critères hydrogéologiques et hydrographiques largement applicables afin d'établir la connectivité entre une tourbière, l'aquifère et les eaux de surface. L'étude fournit un outil qui pourrait être utilisé pour évaluer l'hydrodiversité des tourbières et permettrait de mieux cibler les tourbières à préserver dans un bassin versant en visant une diversité dans les interactions entre milieux humides et alimentation en eau souterraine et de surface.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Géomorphologie, hydrodiversité, hydroconnectivité, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« This study focuses on the development of an approach to document the hydrological characteristics of peatlands and understand their potential influence on runoff processes and groundwater flow dynamics. Spatial calculations were performed using geographic information systems data in order to evaluate the distribution of peatlands according to (a) neighbouring hydrogeological units and (b) their position within the hydrographic network. The data obtained from these calculations were plotted in a multiple trilinear diagram (two ternary plots projected into a diamond-shaped diagram) that illustrates the position of a given peatland within the hydrogeological environment. The data allow for the segregation of peatlands according to groups sharing similarities as well as the identification of peatlands that are most likely to have similar hydrological functions. The approach was tested in a 19,549 km² region of the southern portion of the Barlow-Ojibway Clay Belt (in Abitibi-Témiscamingue, Canada) and led to a conceptual model representing the hydrological interactions between peatlands, aquifers, and surface waters. This approach allows for a geographic information systems-based differentiation of headwater peatland complexes that are likely to interact with aquifers and to supply continuous baseflow to small streams from lowland peatland complexes of the clay plain that are isolated from surrounding aquifers but that can act as storage reservoirs within the hydrographic network. The typology is further used to discuss land management strategies aimed at preserving peatland hydrodiversity within the study region. The proposed approach relies on widely applicable hydrogeological and hydrographic criteria and provides a tool that could be used for assessing peatland hydrodiversity in other regions of the planet. »

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.11457https://archipel.uqam.ca/11211/1/Rosa_et_al_2018_HydrolProc_87_3-890.pdf

Titre : **Dynamique hydrique de milieux humides temporaires dans la forêt du Québec méridional.**

Roux, Marjolaine. Dynamique hydrique de milieux humides temporaires dans la forêt du Québec méridional. Mémoire (M. A.), Université du Québec à Montréal, 2019, 154 p.

Aperçu	L'auteur du mémoire caractérise la géomorphologie et l'hydrologie ainsi que l'hydropériode des étangs vernaux situés dans la région de l'Outaouais.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide temporaire (étang vernal)
Région(s)	Québec
Mots-clés	Habitat faunique, étangs vernaux forestiers, hydropériode, eau souterraine, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Les étangs vernaux sont des milieux humides géographiquement isolés communément trouvés dans les forêts tempérées du nord-est de l'Amérique du Nord. Ces milieux sont aussi reconnus pour être isolés du réseau hydrographique de surface et connectés à la nappe phréatique locale si les conditions le permettent. Ceux-ci s'inondent à capacité maximale au printemps à la fonte de la neige et subissent des périodes sèches au courant de l'été. Leur hydropériode affecte la composition et la reproduction faunique et pourrait aussi influencer l'hydrologie forestière. Les milieux avoisinants sont aussi susceptibles d'influencer leur hydrologie. Les objectifs spécifiques de cette étude sont 1) de caractériser la géomorphologie des étangs vernaux forestiers, 2) de comprendre les processus hydrologiques contrôlant l'hydropériode de ces milieux humides et 3) de développer des modèles hydrologiques simples selon les caractéristiques spécifiques des sites. Seize étangs vernaux de la réserve de Kenauk Nature (Outaouais, Québec) ont été caractérisés et suivis hydrologiquement d'avril 2016 à novembre 2017. Tous les étangs vernaux se situent dans une dépression du roc recouverte d'une couche de sédiments fins d'épaisseur moyenne variable (0,10 m à 1,03 m). Une couche de matière organique sous une litière de feuilles recouvre ces sédiments. Les sites ont un niveau d'eau maximal entre 0,17 et 1,77 m. Ils ont une superficie variant entre 26,4 et 753,6 m². Les étangs vernaux présentent des périodes d'activités hydrologiques très variables. Les sites SI, S2, S3, SS, S6, HP3, HP5, HP8 et HPIO ont une plus longue hydropériode (109 à 126 j). Ces valeurs proviennent d'une année hydrologique (octobre 2016 à septembre 2017) présentant des conditions météorologiques humides. Le bilan hydrique des étangs vernaux est principalement influencé par les précipitations, l'évapotranspiration et l'infiltration. Malgré l'absence de connexion en eau de surface avec les milieux humides, lacs et rivières, les observations de terrain, les analyses au 222Rn et les modèles hydrologiques montrent que l'apport en eau souterraine est présent au printemps et à l'automne. Les niveaux d'eau montrent qu'il y a infiltration de l'eau de surface vers la nappe phréatique en été et que les étangs vernaux sont liés au réseau hydrologique local. La conservation du milieu naturel entourant les étangs vernaux forestiers est essentielle pour conserver l'intégrité du milieu, mais une meilleure compréhension des impacts des changements climatiques est tout aussi importante pour maintenir leurs fonctions hydrologiques. »

<https://archipel.uqam.ca/12653/>

Titre : **Impact des activités anthropiques de drainage et de pompage d'eau souterraine sur la pérennité des milieux humides - Rapport final.**

Larocque M. et S. Bruneau Impact des activités anthropiques de drainage et de pompage d'eau souterraine sur la pérennité des milieux humides Rapport final. Université du Québec à Montréal, Montréal, 2020, 117 p. [Rapport produit avec l'appui déposé au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques]

Aperçu	Le rapport met en lumière les effets des prélèvements d'eau souterraine et du drainage sur les milieux humides situés à proximité. Les auteurs font état des changements dans la chimie de l'eau, de l'abaissement de la nappe, du relargage de carbone et des changements dans la diversité.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Connectivité hydrologique, perturbation, prélèvement d'eau, drainage, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

[...] « Le but de ce projet était d'établir l'état des connaissances au sujet de l'effet sur les milieux humides du pompage de l'eau souterraine et du drainage réalisés à proximité. Les milieux humides visés sont ceux de tous types, mais principalement ceux qui sont connectés de près ou de loin à la nappe. Une revue de la littérature scientifique et une synthèse des exigences légales utilisées pour minimiser l'effet de ces activités dans certaines juridictions où les conditions sont similaires à celles du Québec ont été réalisées. Des recommandations ont été émises à la lumière des informations recueillies. Les effets du pompage et du drainage sur le niveau d'eau dans le milieu humide se reflètent dans les flux échangés entre l'aquifère et le milieu humide, la chimie de l'eau ou la végétation du milieu humide, et la subsidence des dépôts tourbeux. »

[Disponible sur demande auprès du MELCCFP](#)

Titre : Évaluation d'approches complémentaires pour déterminer la connectivité entre les milieux humides et l'eau souterraine et de surface

Laplante, Rachel. Évaluation d'approches complémentaires pour déterminer la connectivité entre les milieux humides et l'eau souterraine et de surface. Mémoire (M. A.), Université du Québec à Montréal, 2021, 128 p.

Aperçu	Le mémoire présente une méthodologie pour la quantification de l'hydroconnectivité entre aquifères et milieux humides en utilisant des paramètres physico-chimiques de l'eau, la géomorphologie et les espèces végétales indicatrices.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Hydroconnectivité, aquifère, géomorphologie, conductivité hydraulique, indicateur

Résumé provenant de la référence

« Les milieux humides sont définis comme des écosystèmes saturés en eau pendant une période de l'année, ayant une végétation hygrophyte et un sol hydromorphe. Ils subissent des pressions grandissantes en raison des changements climatiques et des activités humaines, ce qui a un impact sur leurs fonctions hydrologiques. Il est difficile d'estimer cet impact et donc de cibler les milieux humides à protéger prioritairement. Peu de méthodes permettent d'identifier la connexion entre les milieux humides et les aquifères, mais elles sont nécessaires pour assurer la protection des milieux humides et la gestion durable de la ressource en eau. L'objectif de cette recherche était d'évaluer différentes méthodes pour déterminer la connectivité entre les milieux humides et l'eau souterraine afin d'identifier les milieux humides à protéger prioritairement à l'échelle régionale. La zone d'étude correspond à la région des Laurentides (12 550 km²; Québec, Canada). Elle est principalement couverte par le Bouclier canadien, mais d'importants aquifères granulaires se trouvent dans de nombreuses vallées. Les milieux humides couvrent 8% de la région. La première méthode est une méthode de terrain qui permet d'évaluer la connectivité entre l'eau souterraine et les tourbières à partir des solides totaux dissous et d'indicateurs biologiques. Les solides totaux dissous ont été mesurés et les indicateurs biologiques ont été échantillonnés dans 46 tourbières durant les étés 2019 et 2020. Les résultats suggèrent qu'il existe une connexion potentielle avec l'eau souterraine dans la majorité des tourbières étudiées. Toutefois, la méthode ne permet pas d'identifier les connexions pour les tourbières individuelles. La deuxième méthode qui est utilisée est une approche d'analyse spatiale (SIG) permettant d'évaluer l'hydrodiversité des milieux humides, soit la diversité dans le réseau hydrographique et de leur connectivité avec les sédiments avoisinants. La plupart des milieux humides dans les Laurentides sont connectés aux dépôts de till ainsi qu'au roc. Aussi, ils sont connectés au réseau hydrographique par des rivières. Le principal inconvénient de cette méthode est que la qualité des couches utilisées pour l'analyse spatiale affecte directement la qualité des résultats. Finalement, les résultats des deux méthodes suggèrent l'importance d'assurer la protection des milieux humides dans la région des Laurentides puisque leur connectivité à l'eau souterraine et l'eau de surface les rend vulnérables aux pressions qui s'exercent sur le cycle de l'eau. »

<https://archipel.uqam.ca/14850/1/M17219.pdf>

Titre : **Aquifer-Peatland Hydrological Connectivity and Controlling Factors in Boreal Peatlands**

Lambert, C., Larocque M., Gagné, S., et M. Garneau (2022) « Aquifer-Peatland Hydrological Connectivity and Controlling Factors in Boreal Peatlands ». Front. Earth Sci., vol. 10. doi: 10.3389/feart.2022.835817.

Aperçu	Les auteurs étudient le bilan hydrique de tourbières en quantifiant la connectivité hydrologique entre un aquifère de surface et une tourbière et identifient les facteurs de contrôle dans les tourbières boréales.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Connectivité hydrologique, aquifère, recharge, conductivité hydraulique, niveau d'eau, modélisation

Résumé provenant de la référence

« The conditions in which groundwater inflow occurs in boreal peatlands and its contribution to peatland water balance are still poorly understood. The objectives of this research were to quantify the hydrological connectivity between a surficial aquifer and a peatland, and to identify the controlling factors in boreal peatlands of north-central Quebec (Canada). The peatlands were instrumented with piezometers and groundwater levels were monitored during two growing seasons. Hydraulic conductivities were measured on peat cores and in situ, groundwater inflows and outflows were calculated using the Darcy equation. The peatland water budgets were simulated for the two peatlands with a steady-state groundwater flow model to verify flow hypotheses, to quantify unmeasured flows and to explore recharge scenarios leading to changes in connectivity. The two peatlands have contrasted water budgets, with recharge representing the largest inflow (78%) and subsurface runoff representing the largest outflow (85%) the peatland with the smallest catchment area (Misask). The peatland with the largest catchment area (Cheinu) is also located downgradient within the regional watershed. Its inflows are dominated by groundwater (56%) and its outflows are mostly towards subsurface runoff (74%). The two peatlands are in conditions of precipitation excess and a recharge reduction would not affect their peatland heads markedly (<10 cm). However, recharge changes could induce larger modifications in groundwater inflows and outflows for the peatland with a larger catchment area. The dominating peatland hydrological functions are thus contrasted at the two sites, and it is hypothesized that the water table depths thresholds triggering changes between storage, transmission and runoff functions are also different. Although further studies remain to be done to understand how hydrological conditions change through time, and ultimately what are the long-term impacts of a changing climate on hydrology, vegetation and carbon accumulation, this work shows that understanding peatland hydrology requires to consider hydrological conditions beyond the peatland limits. »

https://archipel.uqam.ca/15754/1/Lambert_et_al_FrontiersEarthScience-2002-10-835817.pdf

Titre : **Émergence de l'eau souterraine dans les portions amont des cours d'eau - exemple de quatre bassins versants des Laurentides**

Dubois, Frédérique. Émergence de l'eau souterraine dans les portions amont des cours d'eau - exemple de quatre bassins versants des Laurentides. Mémoire (M. A.), Université du Québec à Montréal, 2023, 160 p.

Aperçu	Le mémoire permet d'identifier in situ les zones d'émergence de l'eau souterraine dans les milieux hydriques, de quantifier l'apport en eau souterraine pendant la période d'étiage des cours d'eau étudiés et de lier l'émergence d'eau souterraine à des facteurs géomorphologiques.
Fonction(s)	Hydroconnectivité
Type(s) de MHH	Littoral
Région(s)	Québec
Mots-clés	Géomorphologie, hydroconnectivité, étiage, résurgence, apport en eau

Résumé provenant de la référence

« Les zones amont des bassins versants jouent un rôle important dans le soutien des étiages des cours d'eau, mais sont peu étudiées et peu protégées. Cet apport est crucial pour la faune et la flore riveraine afin de préserver les conditions nécessaires à leur survie, telle qu'une température faible et stable, la présence d'eau à des périodes critiques de leur développement et l'apport en nutriments, mais également pour maintenir les débits en aval sur les cours d'eau qui servent parfois pour l'alimentation en eau potable. Le but de ce projet de maîtrise est de mieux comprendre l'émergence de l'eau souterraine dans les portions amont des cours d'eau. Les objectifs spécifiques sont 1) d'identifier in situ les zones d'émergence sur quatre sous-bassins amont, 2) de quantifier par bilan de masse l'apport d'eau souterraine en étiage à ces cours d'eau et 3) de lier l'émergence d'eau souterraine à des facteurs géomorphologiques. Quatre sous-bassins versants ont été étudiés, soit ceux de la rivière à Simon, du ruisseau des Vases, de la rivière Saguy et du ruisseau Lanthier, tous situés dans la région des Laurentides. Des mesures de débits et de traceurs d'eau souterraine, soit l'activité ^{222}Rn , la conductivité électrique ainsi que la composition isotopique de l'eau, ont été réalisées sur les bassins étudiés. Les évolutions amont-aval des débits et des traceurs d'eau souterraine ont été comparées et des bilans de masse de l'activité ^{222}Rn retrouvée sur les cours d'eau et leurs tributaires ont permis de calculer les apports d'eau souterraine aux quatre bassins versants. La calibration de tous les bilans de masse a été jugée satisfaisante. Un indicateur simple reliant l'émergence de l'eau souterraine en cours d'eau et des paramètres géomorphologiques facilement disponibles a été développé. »

<https://archipel.uqam.ca/17034/>

Titre : **Simulated wetland conservation-restoration effects on water quantity and quality at watershed scale**

Wang, X., Shang, S., Qu, Z., Liu, T., Melesse, A. M., et W. Yang (2010). « Simulated wetland conservation-restoration effects on water quantity and quality at watershed scale ». *Journal of Environmental Management*, vo. 91, n° 7, p. 1511-1525. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.023>.

Aperçu	L'article présente les résultats d'une modélisation hydrologique expliquant la contribution des milieux humides à l'atténuation des inondations et de l'étiage à l'échelle du bassin versant. Des projections prennent en considération les processus du bassin versant et les caractéristiques des milieux humides (par exemple, la taille et la morphologie). Des pertes simulées de milieux humides auraient pour conséquences d'augmenter considérablement le débit de pointe et les charges de sédiments, de phosphore total (TP) et d'azote total (TN). À l'inverse, dans un autre bassin versant, la restauration d'un grand pourcentage de milieux humides détruits serait nécessaire afin d'améliorer les fonctions hydrologiques et de captation des polluants.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide isolé
Région(s)	Canada et États-Unis
Mots-clés	Modélisation hydrologique, bassin versant, gestion intégrée de l'eau, débit, sédiment, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Wetlands are one of the most important watershed microtopographic features that affect hydrologic processes (e.g., routing) and the fate and transport of constituents (e.g., sediment and nutrients). Efforts to conserve existing wetlands and/or to restore lost wetlands require that watershed-level effects of wetlands on water quantity and water quality be quantified. Because monitoring approaches are usually cost or logistics prohibitive at watershed scale, distributed watershed models such as the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), enhanced by the hydrologic equivalent wetland (HEW) concept developed by Wang [Wang, X., Yang, W., Melesse, A.M., 2008. Using hydrologic equivalent wetland concept within SWAT to estimate streamflow in watersheds with numerous wetlands. *Trans. ASABE* 51 (1), 55-72.], can be a best resort. However, there is a serious lack of information about simulated effects using this kind of integrated modeling approach. The objective of this study was to use the HEW concept in SWAT to assess effects of wetland restoration within the Broughton's Creek watershed located in southwestern Manitoba, and of wetland conservation within the upper portion of the Otter Tail River watershed located in northwestern Minnesota. The results indicated that the HEW concept allows the nonlinear functional relations between watershed processes and wetland characteristics (e.g., size and morphology) to be accurately represented in the models. The loss of the first 10-20% of the wetlands in the Minnesota study area would drastically increase the peak discharge and loadings of sediment, total phosphorus (TP), and total nitrogen (TN). On the other hand, the justifiable reductions of the peak discharge and loadings of sediment, TP, and TN in the Manitoba study area may require that 50-80% of the lost wetlands be restored. Further, the comparison between the predicted restoration and conservation effects revealed that wetland conservation seems to deserve a higher priority while both wetland conservation and restoration may be equally important. »

[Simulated wetland conservation-restoration effects on water quantity and quality at watershed scale - ScienceDirect](#)

Titre : **Outils d'analyses hydrologique, économique et spatiale des services écologiques procurés par les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent : adaptations aux changements climatiques**

Fournier, R., Poulin, M., Revéret, J.-P., Rousseau, A. N. et J. Théau. Outils d'analyses hydrologique, économique et spatiale des services écologiques procurés par les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent : adaptations aux changements climatiques. Rapport final, Université de Sherbrooke et institutions multiples, 2013, 114 p.

Aperçu	Le rapport présente une modélisation hydrologique de deux bassins versants des basses-terres du Saint-Laurent en tenant compte de la contribution des milieux humides pour l'atténuation des inondations et de l'étiage. Des scénarios de changements climatiques et d'occupation du territoire sont également présentés. Le rapport inclut également une étude sur les communautés végétales des marécages (voir le mémoire de Bisson-Gauthier, 2014, pour plus de détails) ainsi qu'un calcul de la valeur économique des biens et services écologiques fournis par les milieux humides.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Modélisation hydrologique, débit, sédiment, habitat faunique, végétation, marécage, changements climatiques

Résumé provenant de la référence

« Les basses-terres du Saint-Laurent (BTSL) sont caractérisées par la plus forte densité démographique du Québec (Canada) dont les activités telles que l'agriculture et l'urbanisation viennent perturber de nombreux écosystèmes. Parmi ceux-ci, les milieux humides (MH) sont les plus fortement touchés. La réduction du nombre de MH mène à la dégradation des fonctions écologiques telle que la biodiversité, et mène aussi à un manque de résilience face aux impacts négatifs causés par les changements climatiques (CC) (Wang et al., 2008b). Dans un contexte de CC, le rôle des MH pourrait devenir encore plus critique, notamment en ce qui concerne les fonctions hydrologiques telles que la rétention et la répartition des eaux de surface qui assurent le contrôle des crues et des sécheresses dans les cours d'eau. La perte de milieux humides pourrait aussi affecter le régime des tempêtes et inondations en rendant celles-ci plus fréquentes et plus intenses en régions tempérées (Brinson et Malvárez, 2002). Il devient indispensable de rétablir et de conserver certains MH afin de réduire l'impact des changements environnementaux. L'objectif du projet consiste à développer des outils d'analyses spatiale et économique pour évaluer les services produits par les MH et quantifier leur rôle dans l'adaptation aux changements climatiques. Les objectifs spécifiques ont été définis selon quatre volets: écologique, hydrologique, économique et géomatique. Notre étude propose des outils d'analyse concrets pour quantifier les apports des MH dans un contexte de mitigation des impacts négatifs liés aux CC. Trois fonctions écologiques fournies par les MH ressortent des nombreuses autres disponibles : la régulation des crues et des étiages, la capacité de rétention des sédiments et la fonction d'habitat pour une plus grande biodiversité. Le volet biologique a permis de mieux comprendre les MH. Les résultats de ce volet ont permis entre autres de mieux paramétrer les MH dans un contexte de modélisation hydrologique. La connaissance des MH a aussi aidé à mieux choisir les indicateurs spatiaux les plus liés aux fonctions écologiques rendues. Similairement, les analyses du volet économique ont alimenté la mise en place d'indicateurs spatiaux pour s'assurer de l'usage d'indices les plus complémentaires possible pour tenir compte des critères de développement durable. Les volets de modélisation hydrologique et géomatique proposent donc un ensemble d'outils d'analyse pour quantifier le rôle des MH pour l'adaptation au CC. À la lumière des CC prévus, les résultats de notre étude montrent que le maintien du niveau actuel de MH apportera une diminution des fonctions écologiques qu'ils rendent. Ceci implique qu'il est prévisible de voir, même dans un scénario de maintien des MH, plusieurs situations de dégradation de notre milieu : (i) une augmentation des situations de crues et d'étiages, (ii) une plus grande turbidité des eaux de rivières et (iii) une perte nette de biodiversité. Pourtant, le scénario présentement en cours consiste plutôt en une diminution des MH, ce qui implique des conditions encore plus défavorables. Notre étude permet de statuer fermement que selon les CC prévus, nous pouvons nous prononcer sur une augmentation de conséquences environnementales négatives associées à la diminution des fonctions écologiques fournies par les MH. En conséquence, nous croyons urgent de poursuivre les travaux scientifiques pour mieux documenter les pistes concrètes de solutions afin de s'adapter aux CC. Vu l'urgence de mieux documenter les pistes pour appuyer la gestion des MH, nous suggérons trois axes pour une continuité de l'approche multidisciplinaires entamé dans notre projet : (1) établir les moyens pour généraliser les outils existants sur

plus de BV, (2) approfondir les questions critiques à une meilleure compréhension des MH et de leur rôle, et (3) poursuivre l'amélioration des outils d'analyse, principalement par la modélisation hydrologique et géomatique. »

<https://www.ouranos.ca/fr/projets-publications/outils-danalyses-hydrologique-economique-et-spatiale-des-services-ecologiques>

Titre : **Can isolated and riparian wetlands mitigate the impact of climate change on watershed hydrology? A case study approach**

Fossey, M. et A. N. Rousseau (2016). « Can isolated and riparian wetlands mitigate the impact of climate change on watershed hydrology? A case study approach ». *Journal of Environmental Management*, vol. 184, n° 2, p. 327-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.043>.

Aperçu	L'article fait état des résultats d'une modélisation hydrologique sur la contribution des milieux humides riverains et isolés à l'échelle d'un bassin versant pour l'atténuation des inondations et de l'étiage. Des projections incluant des changements climatiques confirment l'importance d'un pourcentage minimal de superficie de milieux humides dans un bassin versant.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Changements climatiques, indicateur hydrologique, bassin versant, modélisation

Résumé provenant de la référence

« The effects of wetlands on stream flows are well established, namely mitigating flow regimes through water storage and slow water release. However, their effectiveness in reducing flood peaks and sustaining low flows is mainly driven by climate conditions and wetland type with respect to their connectivity to the hydrographic network (i.e. isolated or riparian wetlands). While some studies have demonstrated these hydrological functions/services, few of them have focused on the benefits to the hydrological regimes and their evolution under climate change (CC) and, thus, some gaps persist. The objective of this study was to further advance our knowledge with that respect. The PHYSITEL/HYDROTEL modelling platform was used to assess current and future states of watershed hydrology of the Becancour and Yamaska watersheds, Quebec, Canada. Simulation results showed that CC will induce similar changes on mean seasonal flows, namely larger and earlier spring flows leading to decreases in summer and fall flows. These expected changes will have different effects on 20-year and 100-year peak flows with respect to the considered watershed. Nevertheless, conservation of current wetland states should: (i) for the Becancour watershed, mitigate the potential increase in 2-year, 20-year and 100-year peak flows; and (ii) for the Yamaska watershed, accentuate the potential decrease in the aforementioned indicators. However, any loss of existing wetlands would be detrimental for 7-day 2-year and 10-year as well as 30-day 5-year low flows. »

<https://espace.inrs.ca/id/eprint/5163/>

Titre : **Depressional wetlands affect watershed hydrological, biogeochemical, and ecological functions**

Evenson, G. R., Golden, H. E., Lane, C. R., McLaughlin, D. L. et E. D'Amico (2018). « Depressional wetlands affect watershed hydrological, biogeochemical, and ecological functions ». *Ecol Appl*, vol. 28, p. 953-966. doi: <https://doi.org/10.1002/eap.1701>.

Aperçu	Les auteurs utilisent la modélisation afin d'établir la contribution des milieux humides isolés à la régulation hydrologique à l'échelle d'un bassin versant. Les auteurs notent l'importance des petits milieux humides qui stockent des quantités considérables de précipitations et de neige fondue et influent sur les facteurs d'inondation (superficie inondée, temps de séjour de l'eau et amplitude). Les milieux humides de plus grande taille agissent comme des « gardiens » hydrologiques, empêchant le ruissellement de surface d'atteindre les milieux hydriques. Leur perte a un effet important sur le débit des cours d'eau en raison des changements dans la connectivité du bassin versant.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide isolé
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Cycle biogéochimique, connectivité hydrologique, bassin versant, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Depressional wetlands of the extensive U.S. and Canadian Prairie Pothole Region afford numerous ecosystem processes that maintain healthy watershed functioning. However, these wetlands have been lost at a prodigious rate over past decades due to drainage for development, climate effects, and other causes. Options for management entities to protect the existing wetlands, and their functions, may focus on conserving wetlands based on spatial location vis-à-vis a floodplain or on size limitations (e.g., permitting smaller wetlands to be destroyed but not larger wetlands). Yet the effects of such management practices and the concomitant loss of depressional wetlands on watershed-scale hydrological, biogeochemical, and ecological functions are largely unknown. Using a hydrological model, we analyzed how different loss scenarios by wetland size and proximal location to the stream network affected watershed storage (i.e., inundation patterns and residence times), connectivity (i.e., streamflow contributing areas), and export (i.e., streamflow) in a large watershed in the Prairie Pothole Region of North Dakota, USA. Depressional wetlands store consequential amounts of precipitation and snowmelt. The loss of smaller depressional wetlands (<3.0 ha) substantially decreased landscape-scale inundation heterogeneity, total inundated area, and hydrological residence times. Larger wetlands act as hydrologic “gatekeepers,” preventing surface runoff from reaching the stream network, and their modeled loss had a greater effect on streamflow due to changes in watershed connectivity and storage characteristics of larger wetlands. The wetland management scenario based on stream proximity (i.e., protecting wetlands 30 m and ~450 m from the stream) alone resulted in considerable landscape heterogeneity loss and decreased inundated area and residence times. With more snowmelt and precipitation available for runoff with wetland losses, contributing area increased across all loss scenarios. We additionally found that depressional wetlands attenuated peak flows; the probability of increased downstream flooding from wetland loss was also consistent across all loss scenarios. It is evident from this study that optimizing wetland management for one end goal (e.g., protection of large depressional wetlands for flood attenuation) over another (e.g., protecting of small depressional wetlands for biodiversity) may come at a cost for overall watershed hydrological, biogeochemical, and ecological resilience, functioning, and integrity. »

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29437239/>

Titre : **Services hydrologiques rendus par les milieux humides dans un contexte dynamique d'occupation du territoire : étude de cas du bassin versant de la rivière Saint-Charles**

Blanchette, Marianne. Services hydrologiques rendus par les milieux humides dans un contexte dynamique d'occupation du territoire : étude de cas du bassin versant de la rivière Saint-Charles. Mémoire (M. A.). Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement, 2018, 130 p.

Aperçu	Le mémoire présente une modélisation hydrologique d'un bassin versant touchant à la ville de Québec et quantifiant l'impact de changements à la superficie du territoire qui est occupée par les milieux humides. Les résultats sont cohérents avec les autres études, c'est-à-dire qu'une augmentation des milieux humides entraîne une augmentation des services hydrologiques (atténuation des inondations et de l'étiage) fournis au bassin versant et vice-versa.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Restauration, inondation, modélisation, bassin versant

Résumé provenant de la référence

« Le développement anthropique (urbanisation, agriculture, exploitation forestière, etc.) a un impact sur l'environnement et ses différents écosystèmes. Les milieux humides (marais, marécages, tourbières) d'un territoire procurent des services écologiques qui contribuent à restreindre l'impact négatif de ces activités sur certaines composantes naturelles. Or, les activités anthropiques affectent également les milieux humides, entre autres par l'empiétement sur leur superficie et par la modification de leur aire d'alimentation en eau. De cette manière, on assiste depuis le dernier siècle, à une diminution des superficies occupées par les milieux humides et on peut penser que cette perte a un impact, à son tour, sur les services écologiques fournis par ces écosystèmes. Au sein des services écologiques que l'on attribue aux milieux humides, on distingue les services hydrologiques, dont l'atténuation des crues, le maintien des débits en période d'étiage, la recharge de l'eau souterraine et l'amélioration de la qualité de l'eau. L'objectif principal de ce projet est de quantifier l'impact de l'évolution des superficies occupées par les milieux humides sur deux des services hydrologiques rendus par ceux-ci, soient l'atténuation des crues et le support aux étiages, à travers une étude de cas appliquée au bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec, Canada. Les connaissances actuelles portent à croire qu'une diminution des superficies de milieux humides augmenterait la vulnérabilité du bassin versant face à ces événements hydrologiques. Afin d'explorer cette hypothèse, une méthode combinant l'utilisation des systèmes d'information géographiques et de techniques issues de la télédétection et de la modélisation hydrologique a été développée. Ainsi, dans le cadre d'une première étape, des scénarios d'occupation du sol, incluant la répartition des milieux humides, ont été générés à partir d'images d'archives Landsat pour les années 1978, 1985, 1992, 2001 et 2014. Ces scénarios ont été produits à l'aide d'une méthode novatrice de classification orientée-objet bonifiée par les résultats d'une étude des caractéristiques géomorphologiques associées aux milieux humides. Ils ont ensuite été intégrés dans la plateforme de modélisation hydrologique PHYSITEL/HYDROTEL afin de simuler pour chacun, les débits à différents points d'intérêts, avec et sans la prise en compte des milieux humides. L'analyse des caractéristiques géomorphologiques a permis d'identifier deux jeux de données pour la détection des milieux humides, soient la forme des versants hôtes (formes de Dikau) et les classes de drainage des sols. La méthode de classification d'images utilisée a permis d'atteindre une précision de 80 à 81 % pour les scénarios de 2014, comparativement à 60 et 66 % pour les classifications réalisées sans l'utilisation des données géomorphologiques secondaires. Les scénarios témoignent d'une modification importante du territoire entre 1978 et 2014, incluant une diminution relative des superficies de milieux humides de 8 à 53 % de même qu'une augmentation du territoire urbain parallèlement à une diminution des activités agricoles. Les résultats de simulations sont également conformes aux résultats escomptés et indiquent que l'impact des milieux humides sur les débits de crues et d'étiage est généralement cohérent avec l'évolution de leur superficie à l'échelle des sous-bassins versants, soit : (i) une augmentation des milieux humides se traduisant par une augmentation de leurs services hydrologiques ou, inversement, (ii) une diminution des superficies de milieux humides ayant pour conséquence une diminution de ceux-ci. Les conclusions de cette étude mettent de l'avant le rôle favorable des milieux humides dans l'atténuation des crues et le maintien des débits en période d'étiage, de même que la perte des services hydrologiques qui accompagne la diminution des superficies associées à ces écosystèmes. Les travaux réalisés dans le cadre de ce mémoire ouvrent la porte vers de nouvelles orientations de recherche. Des données issues de relevés LiDAR permettront d'affiner l'étude des caractéristiques géomorphologiques associées aux milieux humides et pourront également être intégrées directement dans la plateforme de modélisation sous forme d'un modèle numérique d'élévation, ce qui augmentera la résolution à

laquelle les différents phénomènes hydrologiques y sont simulés. L'ajout de services hydrologiques supplémentaires associés aux milieux humides, tels que l'amélioration de la qualité de l'eau par la rétention des matières en suspension, pourrait également faire l'objet de travaux ultérieurs. Ces nouvelles avenues permettront de mieux comprendre le rôle des milieux humides et de mieux cibler les réseaux de conservation en vue de maintenir les services hydrologiques qui leur sont associés. »

<https://espace.inrs.ca/id/eprint/7630/> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169422002219>

Titre : **Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting**

Nedkov, S., Campagne, S., Borisova, B., Krpec, P., Prodanova, H., Kokkoris, I. P., Hristova, D., Le Clec'h, S., Santos-Martin, F., Burkhard, B., Bekri, E. S., Stoycheva, V., Bruzón, A. G. et P. Dimopoulos. (2022). « Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting ». *Ecosystem Services*, vol. 56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101458>.

Aperçu	Les auteurs de la revue de littérature recensent, analysent et classifient différents modèles hydrologiques. Le modèle SWAT est identifié, car il permet, entre autres, de déterminer l'efficacité d'un milieu humide pour améliorer la qualité de l'eau (contrôle de l'érosion et de la sédimentation) et réguler les débits.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Général
Mots-clés	Bilan hydrologique, bassin versant, classification

Résumé provenant de la référence

« Natural Capital Accounting (NCA) has evolved rapidly in recent years through substantial efforts of both international organizations and the scientific community. Water regulation ecosystem services (ES) are key elements of regulating services in ecosystem accounting, with most relevant studies strongly relying on models for ES quantification up to now. In this paper, we provide a review of modeling efforts for water regulation ES based on 148 scientific papers, properly systematized, analyzed and interpreted by using a detailed and structured original template. We examined emerging trends and gaps in model applications and the readiness to integrate them into the NCA and SEEA-EA frameworks. We propose a classification scheme which organizes the 92 different models and modeling approaches identified in the review process into eight model categories so that this scheme can be efficiently used in the water ES assessment of and for further integration into the accounting framework. Among the models, the hydrologic model SWAT and the modeling tool InVEST are by far the most popular. The results of the review revealed differences between the general ES literature and the accounting-related papers. Moreover, our analysis sets the basis for useful recommendations of which model categories are the most appropriate for the water regulation ES, included in the SEEA-EA reference list. Based on the number of relevant papers, the reliability and the confidence level of the recommendations for the use of models have been incorporated in our analysis. We highlight as model category with the highest confidence the ones relative to quantification water flow and flood control service aiming at ES accounting. Models for erosion control ES can only be recommended with a lower confidence, while for water purification the results lack clear evidence for using a particular group of models. Based on the research findings we identified the main research priorities on model integration in the accounting of water regulation ES: 1) further development of guidelines for the use of models in ecosystem accounting; 2) analyses of the spatial aspects of the model towards a clear distinction between ecosystem service supply and use; and 3) development of integrated modeling approaches for water regulation ES accounting. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041622000547>

Titre : **Setting Targets for Wetland Restoration to Mitigate Climate Change Effects on Watershed Hydrology**

Goyette, J. O., Savary, S., Blanchette, M., Rousseau, A. N., Pellerin, S. et M. Poulin (2023). « Setting Targets for Wetland Restoration to Mitigate Climate Change Effects on Watershed Hydrology ». *Environmental Management*, vol. 71, p. 365–378. doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01763-z>

Aperçu	L'article présente une modélisation hydrologique permettant de tester l'effet de scénarios de restauration des milieux humides sur les débits de pointe et d'étiage, et ce, en considérant divers scénarios de changements climatiques. Les résultats ont montré que les réponses hydrologiques aux changements climatiques variaient d'un sous-bassin versant à l'autre et que, pour atténuer ces changements, l'augmentation de la superficie des milieux humides devait se situer entre 20 % et 150 %.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Changements climatiques, bassin versant, crue, étiage, modélisation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« How much wetland we should protect or restore is not a simple question, such that conservation targets are often set according to political agendas, then standardized globally. However, given their key regulating hydrological functions, wetlands represent nature-based solutions to the anticipated, exacerbating effect of climate change on drought and flood events, which will vary at the regional scale. Here, we propose a science-based approach to establishing regional wetland restoration targets centered on their hydrological functions, using a case study on several sub-watersheds of a northern temperate basin in south-eastern Canada. We posit that restoration targets should minimally mitigate the negative effects of climate change on watershed hydrology, namely peak and low flows. We used a semi-distributed hydrological model, HYDROTEL, to perform a hydroclimatic assessment, including 47 climate projections over the 1979–2099 period, to test the effect of wetland restoration scenarios on peak and low flows. The results showed that hydrological responses to climate change varied among sub-watersheds (even at the scale of a relatively small region), and that, to mitigate these changes, increases in wetland coverage should be between 20% and up to 150%. At low restoration levels, increasing wetland coverage was more effective in attenuating floods than alleviating droughts. This study indicates that a no-net-loss policy is insufficient to maintain current hydrological cycles in the face of climate change; rather, a 'net gain' in wetland cover is needed. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-022-01763-z>

Titre : **Intégration de scénarios de climats futurs dans la planification de la conservation et de la restauration de milieux humides dans un but de protection de la ressource en eau de la Ville de Québec**

Goyette, J.-O., Rousseau, A. N., Savary, S., Blanchette, M., Gordon, C., Scarpari Spolidorio, E., Dupont, V., Bissonnette, J.-F., Blouin, D., Paquette, A., Pellerin, S. et M. Poulin. Intégration de scénarios de climats futurs dans la planification de la conservation et de la restauration de milieux humides dans un but de protection de la ressource en eau de la Ville de Québec. Rapport final présenté à la Ville de Québec. 100 p. + 388 p. en Annexes. [Rapport produit avec l'appui d'Ouranos, de l'Université Laval, de l'INRS, de l'organisme de bassin versant de la Capitale, de MITACS et du Ministère de l'Environnement, de la lutte contre les Changements Climatiques, de la Faune et des Parcs].

Aperçu	Le rapport fait état des différents projets et études liés à l'utilisation des milieux humides comme mesure d'adaptation aux changements climatiques. Dans son ensemble, le projet vise à évaluer le rôle des milieux humides dans la régulation des crues et étiages en fonction de différentes projections climatiques et d'occupation du territoire de la ville de Québec. Plusieurs scénarios issus de la modélisation ont permis d'évaluer différentes occasions de restauration ou de création de milieux humides à l'échelle des bassins versants présents sur le territoire. Des études (mémoires, thèses, articles et rapports) spécifiques à chaque objectif sont également disponibles.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation et étiage), conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Québec
Mots-clés	Changements climatiques, modélisation hydrologique, aménagement du territoire, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Les effets des changements climatiques se font criants en milieu urbain où les conflits d'usage s'intensifient. À ce chapitre, les milieux humides représentent des infrastructures naturelles assurant entre autres un rôle dans la régulation des débits en rivières. Les plaines de débordement de ces cours d'eau ont également un rôle majeur dans notre capacité d'adaptation aux changements climatiques. Le présent projet visait à évaluer le rôle des milieux humides dans la régulation des crues et étiages en fonction de différentes projections climatiques et d'occupation du territoire. Des scénarios théoriques et prospectifs ont été investigués afin d'évaluer des opportunités de restauration ou de création de milieux humides en : 1) produisant une délimitation de première approximation des limites des plaines de débordement qui représentent des espaces stratégiques pour accueillir de tels projets (de restauration/création), 2) en estimant le niveau de restauration ou création de milieux humides requis pour contrer l'effet des changements climatiques sur les débits de rivière, et 3) en sondant des intervenants locaux pour identifier des sites potentiels de restauration ou de création de milieux humides et hydriques. Aussi, afin d'appuyer la Ville directement dans ses décisions, des analyses de préféabilité ont été menées pour proposer des plans de restauration du ruisseau Savard et de la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy. Les seuils de conservation et restauration établis dans d'autres juridictions ont aussi été étudiés sous un angle juridique pour guider l'élaboration du projet de Plan régional des milieux humides et hydriques de la ville de Québec. Enfin, les incidences de la nouvelle législation concernant la protection des milieux humides et hydriques sur la gouvernance et les enjeux de la conciliation avec les pratiques forestières ont été étudiés. »

<https://www.ouranos.ca/fr/projets-publications/milieux-humides-protection-ressource-eau>

Titre : **How wetlands affect floods**

Acreman, M. C. et J. Holden. (2013). « How wetlands affect floods ». *Wetlands*, vol. 33, n° 5, p. 773-786. doi: 10.1007/s13157-013-0473-2.

Aperçu	La revue de littérature permet de différencier la fonction hydrologique de régulation des milieux humides de type tourbière ombrotrophe (isolée hydrologiquement du milieu hydrique) de celle des milieux humides riverains situés en zone inondable. Les milieux humides en position physiographique palustre et localisés en amont des cours d'eau ont généralement tendance à être des zones génératrices d'inondations, tandis que les milieux humides de zone d'inondation ont un plus grand potentiel d'atténuation des inondations. Les facteurs comme l'emplacement et la configuration du paysage, les caractéristiques du sol, la topographie, l'humidité du sol et la gestion influent sur la capacité des milieux humides à fournir des services de réduction des inondations.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Bassin versant, capacité d'emménagement, ruissellement, niveau d'eau, crue, étiage

Résumé provenant de la référence

« It is widely recognised that wetlands play an important role in the hydrological cycle, influencing groundwater recharge, low flows, evaporation and floods. This has led to policies being formulated world-wide to conserve and manage wetlands to deliver these key services, especially flood risk reduction. Generic statements have often been published about wetland hydrological services but the term “wetlands” covers many land types, including wet woodlands, reedbeds, peat bogs, fens, and salt marshes. Each of these wetland types can have a hydrological function that is subtly different, making it difficult to generalise the flood reduction services of wetlands. In this paper we focus on two example wetland types (upland rain-fed wetlands and floodplain wetlands) to demonstrate why there are differences in flood functions both within and between wetland types. Upland wetlands generally tend to be flood generating areas while floodplain wetlands have a greater potential to reduce floods. However, landscape location and configuration, soil characteristics, topography, soil moisture status and management all influence whether these wetlands provide flood reduction services. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-013-0473-2>

Titre : **Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement**

Kiedrzyńska, E., Kiedrzyński, M. et M. Zalewski. (2015). « Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement ». *Nat Hazards*, vol. 76, p. 955–977. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1529-1>.

Aperçu	Les auteurs de la revue de littérature expliquent les principales fonctions des plaines inondables et leur contribution à l'hydrologie des milieux hydriques.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation)
Type(s) de MHH	Plaine inondable
Région(s)	Général
Mots-clés	Écohydrologie, changements climatiques, qualité d'eau, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Although it is not possible to completely eliminate flooding in an era of climate change and intensification of extreme weather events, effective flood prevention and management in river floodplains may make a significant contribution. The land use characteristics of a catchment and river valley determine, to a great extent, the functioning of a river floodplain, as well as the quantity and size of the flood pulses in the river. The paper is focused on the role played by ecohydrology in flood risk management and water quality. From the ecohydrological perspective, river floodplains are extremely important and capacious ecosystems which, being periodically flooded, absorb flood and pollutant peaks and may minimise the danger of flooding. Increased natural water retention capacity in floodplain areas and the whole basin in the face of progressive climate change is possible through three routes: the modelling of the hydrological budget of the catchment towards the sustainable ecohydrological management of floodplains, the optimal use of existing hydrotechnical infrastructure and the implementation of ecohydrological biotechnologies. Furthermore, with such a holistic perspective, the role of river floodplains is one that also enhances the resilience of the river basin against climate and anthropogenic change, as well as increasing flood safety, improving water quality and increasing its ecosystem services for society. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-014-1529-1>

Titre : **Flood water storage using active and passive approaches - Assessing flood control attributes of wetlands and riparian agricultural land in the Lake Champlain-Richelieu River watershed**

Rousseau, A.N., Savary, S. Jr. et M. L. Bazinet. Flood water storage using active and passive approaches - Assessing flood control attributes of wetlands and riparian agricultural land in the Lake Champlain-Richelieu River watershed. 2019-2020 Final Report n° R2000, Centre Eau Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE), Québec, 2000, 128 p. [Rapport produit avec l'appui de Environment and Climate Change Canada]

Aperçu	Le rapport présente une modélisation hydrologique du bassin du lac Champlain et de la rivière Richelieu permettant d'évaluer le rôle des milieux humides et des plaines inondables en milieux agricoles dans l'atténuation des inondations, y compris la réduction des débits et des niveaux d'eau.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Inondation, bilan hydrique, occupation agricole, modélisation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« The scope of this study was built around four basic questions: (i) Why should we study upland storage? (ii) What is the role of wetlands on net basin supply (NBS), flows, and water levels in the Lake Champlain and Richelieu River (LCRR) basin? (iii) What would be the additional benefits of flooding farmland? and (iv) What would be the effect of additional wetlands? For this project, we used the PHYSITEL/HYDROTEL modeling platform to answer the other three basic questions; that is to assess the role of wetlands on NBS, flows, and water levels; the additional benefits of flooding farmland and the effect of additional wetlands on providing relief to floods. The results of this study clearly quantified the hydrological services provided by the actual 1684 km² of wetlands (7% of the basin area draining 34% of the basin area) and illustrated their key role currently played in the attenuation of NBS, peak flows, and water levels, especially during the 2011 flood as well as the breath of their theoretical effect when using 64 years of meteorological data. The four watershed storage scenarios (corresponding to additional storage areas of 2256 km² of potentially flooded farmland, and 647 km², 865 km² and 1488 km² of wetlands) highlighted the potential of achieving additional gains to reduce LC NBS and water levels and to a lesser extent RR peak flows and water levels. Adding wetlands and/or potentially flooding farmland would require extensive surface area requirements. Given existing policies, programs and regulations North (e.g., Quebec Bill 132 - An Act respecting the conservation of wetlands and bodies of water) and South (e.g., programs managed by the USDA Natural Resources Conservation Service and the USDA Fish and Wildlife Service, and Vermont and New York States Departments of Environmental Conservation) of the boarder, fostering restoration and construction of wetlands, might provide a socially-acceptable framework to build resilience over time in the LCRR basin, at least at the local sub-watershed level. Finally, one of the legacies of the project is a new tool, available in PHYSITEL, to identify potential water storage areas given a pre-estimated runoff volume to be stored. In addition, the LCRR HYDROTEL modelling project is available to assess multiple scenarios for each sub-watershed, but ultimately for any scenario, there is need to conduct comprehensive studies, including: (i) a flood inundation mapping investigation using as input to a hydraulic model the output of HYDROTEL (i.e., simulated flows) to assess the potential impact of reducing the water levels by « x » and « y » cm in LC and RR, respectively; (ii) an assessment of the effect on low flows; and (iii) a cost-benefit analysis including total costs (e.g., construction, easement payments, ...) and total benefits (e.g., avoided damages, valuing environmental goods and services...). »

<https://espace.inrs.ca/id/eprint/11334/>

Titre : **Impact of Size and Location of Wetlands on Watershed-Scale Flood Control**

Tang, Y., Leon, A. S., et M. L. Kavvas (2020). « Impact of Size and Location of Wetlands on Watershed-Scale Flood Control ». *Water Resour Manage*, vol. 34, p. 1693–1707. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02518-3>

Aperçu	Les auteurs présentent les résultats d'une modélisation hydrologique comparant la superficie et les emplacements optimaux des milieux humides dans un bassin versant afin d'atténuer les inondations. Les résultats indiquent que plus les milieux humides sont situés vers l'amont du bassin versant, plus la zone d'inondation en aval est petite, plus la profondeur de l'inondation est faible et plus la durée de l'inondation est courte.
Fonction(s)	Régulation hydrologique (inondation)
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Bassin versant, gestion de l'eau, crue, rétention d'eau, modélisation, aménagement du territoire, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« This paper presents a case study on the impact of the size and location of wetlands on watershed-scale flood control utilizing the Cypress Creek Watershed in Houston, Texas as the study area. Wetlands of different sizes were implemented at different locations (upstream, midstream, and downstream) of the watershed and corresponding hydrologic and hydraulic simulations were performed to investigate the impact that wetland size and location parameters have on downstream flood conditions. This study used HEC-HMS as the hydrologic model for the watershed, and HEC-RAS as the hydraulic model for rivers within the watershed. Wetlands were implemented in the HEC-HMS model as reservoirs. Simulation results indicate the more upstream wetlands are located within the watershed, the smaller the flood area, the shallower the flood depth, and the shorter the flood duration at the downstream region of the watershed. In addition, the downstream flood area, flood depth, and flood duration decrease as the size (storage capacity) of wetlands increases. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-020-02518-3>

Conservation de la diversité biologique

La section suivante est associée à ce libellé provenant de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés – version de septembre 2024 :

13.1. Le ministre peut définir les orientations fondamentales d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

Il élabore et propose également au gouvernement les orientations ainsi que les objectifs à poursuivre en matière de protection des milieux humides et hydriques, de manière à assurer et mettre en valeur les différents bénéfices résultant de la présence de ces milieux, notamment par leurs fonctions :

[...]

3° de conservation de la diversité biologique par laquelle les milieux ou les écosystèmes offrent des habitats pour l'alimentation, l'abri et la reproduction des espèces vivantes [...].

Titre : **Structure et composition de la végétation de marécages isolés et riverains dans le sud du Québec**

Bisson-Gauthier, Laurie. Structure et composition de la végétation de marécages isolés et riverains dans le sud du Québec. Mémoire (M. A.), Université Laval, 2014, 79 p.

Aperçu	Le mémoire présente les résultats complets d'inventaires des communautés végétales des marécages riverains et isolés situés dans les basses-terres du Saint-Laurent. Il s'agit d'un complément présenté à la section « Communauté des marécages » dans le rapport de Fournier et coll. (2013) mis dans ce répertoire.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Marécage
Région(s)	Québec
Mots-clés	Écosystème de référence, communauté végétale

Résumé provenant de la référence

« Ce projet visait à caractériser la structure et la composition de la végétation de marécages isolés et riverains dans la région des Basses-terres du Saint-Laurent, dans le sud du Québec. Des inventaires de végétation ont été réalisés dans 56 marécages répartis dans deux bassins versants. Les caractéristiques physiques du sol, la micro et la macrotopographie, ainsi que l'occupation du territoire y ont été inventoriés. Des différences de composition ont été observées entre les marécages isolés et riverains, ces derniers montrant une abondance plus élevée d'herbacées latifoliées et de ptéridophytes, deux groupes de plantes associés à un bon drainage des sols. Les marécages isolés montraient une richesse et une diversité en espèces plus élevées que les marécages riverains, mais ces derniers possédaient le plus d'arbres à fort diamètre. Les résultats de cette étude suggèrent que des mesures de gestion distinctes devraient être élaborées pour ces deux types de marécages. »

<https://bibliotheque-archives.canada.ca/fra/services/services-bibliotheques/theses/pages/item.aspx?idNumber=1132089632>

Titre : **The alarming state of freshwater biodiversity in Canada**

Desforges, J. E., Clarke, J., Harmsen, E. J., Jardine, A. M., Robichaud, J. A., Serré, S., Chakrabarty, P., Bennett, J. R., Hanna, D. E.L., Smol, J. P., Rytwinski, T., Taylor, J. J., Martel, A. L., Winegardner, A. K., Marty, J., Taylor, M. K., O'Connor, C. M., Robinson, S. A., Reid, A. J., Creed, I. F., Gregory-Eaves, I., Lapointe, N. W.R. et S. J. Cooke. (2022). «The alarming state of freshwater biodiversity in Canada». Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, vol. 79, n° 2, p. 352-365. doi: <https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0073>.

Aperçu	L'article recense la biodiversité dans les écosystèmes d'eau douce du Canada. Les espèces sont classifiées en différents groupes et leur statut de conservation est considéré dans la discussion.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Milieu hydrique
Région(s)	Canada
Mots-clés	Espèces menacées et vulnérables, perte de la biodiversité, bilan diversité, conservation

Résumé provenant de la référence

« Les connaissances sur l'état actuel de la biodiversité des espèces d'eau douce au Canada, un des pays disposant de la plus grande quantité d'eau de surface au monde, sont limitées. Pour examiner cette lacune, nous avons compilé une liste de toutes les évaluations disponibles du statut de conservation d'espèces d'eau douce (plus de 3000 taxons) et évalué en outre le statut global de six groupes taxonomiques distincts, en mettant l'accent sur les organismes dépendant des eaux douces (c.-à-d., les plantes aquatiques, les invertébrés (plus particulièrement les mulettes), les poissons, l'herpétofaune (reptiles et amphibiens), les oiseaux et les mammifères). Globalement, 11,7 % de toutes les espèces d'eau douce de plantes et d'animaux évaluées sont « en péril » (c.-à-d., désignées « menacées », « en voie de disparition » ou « disparue au pays ») et 17,9 % ont un statut de conservation « préoccupant ». Nous constatons que les données disponibles sont insuffisantes pour permettre l'évaluation du statut de 37,9 % des espèces. Le groupe des invertébrés (à l'exception des mulettes) est celui pour lequel la prévalence des cas de manque de données pour l'évaluation d'espèces d'eau douce au Canada est la plus grande. Au vu de l'état alarmant de la biodiversité des espèces d'eau douce au Canada, nous concluons en formulant des recommandations qui mettent l'accent sur l'évaluation des tendances dans le temps et la production de données pour éclairer les mesures de conservation. »

<https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/cjfas-2021-0073>

Titre : **Conservation value of agricultural riparian strips in the Boyer River watershed**

Jobin, B., Bélanger, L., Boutin, C., et C. Maisonneuve (2004). « Conservation value of agricultural riparian strips in the Boyer River watershed, Québec (Canada) ». Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 103, n° 3, p. 413-423.

Aperçu	Les auteurs de l'article caractérisent les rives et les milieux humides d'un petit bassin versant à vocation agricole. Les résultats montrent que les rives et les milieux humides restants sont très importants pour les espèces fauniques et contrastent avec l'étroitesse (largeur insuffisante) et la structure herbacée de la majorité des bandes riveraines évaluées. L'importance d'inclure les propriétaires fonciers la planification de la conservation et de la restauration des écosystèmes riverains est soulignée.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique, connectivité, qualité des paysages
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Québec
Mots-clés	Habitat faunique, communauté végétale, occupation agricole, perturbation, conservation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Riparian habitats play a major role in biodiversity conservation in intensive agricultural landscapes because they represent remnants of both wetland and woody habitats available for wildlife. The importance of herbaceous, shrubby and wooded riparian habitats for the conservation of biodiversity (plants, amphibians, reptiles, birds, small mammals) is well documented for the Boyer River watershed (southern Québec, Canada). This paper examines their conservation value for these different taxonomic groups at the watershed level and the possible effects on wildlife of various landscape modification scenarios. The overall species richness and insectivorous bird abundance in the watershed would increase markedly if there were more wooded strips in the landscape mainly due to additional plant and bird species. A scenario where all three types of riparian strips would be well-represented in the watershed is most likely to be implemented. This scenario would be the most beneficial to wildlife communities because of high native species diversity within wooded strips combined with the presence of unique species associated with each of the three types of strips. Encouraging landowners to protect existing wooded riparian habitats would be the most effective and cost-beneficial method to maintain current level of habitats distribution in the landscape, and to favour the establishment of new shrubby and wooded strips in the Boyer River watershed. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880904000052>

Titre : **Les écosystèmes riverains, les bandes riveraines et les corridors écologiques : regard sur la capacité des bandes riveraines définies selon la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables du Québec de maintenir la fonction de c**

Hébert-Marcoux, Sarah-Émilie. Les écosystèmes riverains, les bandes riveraines et les corridors écologiques : regard sur la capacité des bandes riveraines définies selon la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables du Québec de maintenir la fonction de corridor écologique, Mémoire (M. A.), Université de Sherbrooke, 2009, 105 p.

Aperçu	L'essai traite des conséquences de la transformation des écosystèmes riverains naturels en bandes riveraines aménagées, qui rend ces écosystèmes plus étroits, plus homogènes et même artificialisés. Les fonctions des écosystèmes riverains et des notions sur les corridors écologiques et les paysages y sont résumées. L'accent est mis sur la difficulté de conserver des corridors écologiques connectant les éléments de connectivité structurelle et fonctionnelle dans le paysage. Il est important de noter que le cadre légal qu'aborde l'essai n'est plus en vigueur.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique, connectivité, qualité des paysages
Type(s) de MHH	Rive, plaine inondable
Région(s)	Québec
Mots-clés	Écosystème riverain, bande riveraine, perturbation, fragmentation, connectivité du paysage, corridor, politique

Résumé provenant de la référence

« Les écosystèmes riverains sont des écotones situés à l'interface des milieux aquatiques et terrestres. Ce sont des écosystèmes dynamiques, complexes et très importants au sein du paysage, parce que ce sont des milieux d'une grande productivité biologique, parce qu'ils sont composés d'une riche biodiversité et qu'ils sont le lieu où s'accomplit une foule de processus et de fonctions écologiques. Les écosystèmes riverains, par l'accomplissement de ces processus et de ces fonctions, fournissent de nombreux services écologiques bénéfiques pour l'homme, traditionnellement associés au maintien de la qualité de l'eau et à la protection des sols contre l'érosion. Or, ils sont directement touchés par l'anthropisation du paysage. L'occupation et la transformation du territoire par l'homme ont engendré une modification des écosystèmes riverains dans leur structure et leurs fonctions. La fragmentation et la perte d'habitat sont des symptômes de cette intensification des activités humaines, qui poussent les espaces naturels dans leurs derniers retranchements. Les bandes riveraines sont des éléments anthropisés du paysage, vestiges des écosystèmes riverains. Elles sont souvent le résultat de l'expansion des activités anthropiques et de la conversion des terres. Au Québec, la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables est une politique gouvernementale qui met en œuvre un cadre normatif de protection minimale visant les bandes riveraines. Les bandes riveraines font ainsi l'objet de normes d'intervention et d'aménagement contrôlées, sur le plan de la largeur notamment, et sont utilisées comme bandes d'amortissement entre le milieu aquatique et le milieu terrestre anthropisé. Cependant, la transformation des écosystèmes riverains en bandes riveraines réduit et contrôle artificiellement l'étendue de la végétation riveraine, et simplifie sa structure et sa composition. La nature et le fonctionnement des bandes riveraines diffèrent donc significativement de ceux des écosystèmes riverains naturels, ce qui se traduit dans le paysage par une dégradation des processus et des fonctions écologiques. Une de ces fonctions écologiques importantes est celle de servir de corridor écologique. Les corridors sont des éléments linéaires du paysage qui constituent des liens entre des parcelles d'habitat qui seraient autrement isolées. Ils se caractérisent par leur structure, mais son surtout définis par leur fonction de conduit. Les corridors écologiques sont donc d'importants éléments de connectivité structurelle et fonctionnelle dans le paysage, parce qu'ils permettent de canaliser les flux écologiques, comme les déplacements d'organismes, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle régionale. Les écosystèmes riverains sont d'importants éléments de connectivité structurelle et fonctionnelle dans le paysage et pour autant constituent des corridors écologiques. Par contre, cette fonction est grandement affectée dans les bandes riveraines, compte tenu de la réduction de leur taille et de la simplification de leur structure et de leur composition. En effet, l'application des seules normes de protection minimale de la Politique ne favorise pas le maintien des dynamiques naturelles et des processus, et ne permet pas de respecter l'intégrité écologique du milieu riverain. Dans ce contexte, ce sont les fonctions mêmes du milieu riverain, et notamment la fonction essentielle de corridor écologique, qui sont perturbées, voire perdues. Pourtant, le Québec profite d'un réseau hydrographique complexe et ramifié, qui représente un substrat naturel intéressant pour l'aménagement d'un réseau de corridors riverains entre les parcelles d'habitat ou les aires protégées. La fonction de corridor pourrait être restaurée, dans la mesure où les normes de la Politique s'ajustent davantage aux dimensions et au

fonctionnement naturel des écosystèmes riverains, et intègrent une conception longitudinale des bandes riveraines. »

<https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/8113>

Titre : **Impacts des changements climatiques sur la biodiversité du Québec : Résumé de la revue de littérature**

Auzel, P., Gaonac'h, H., Poisson, F., Siron, R., Calmé, S., Belanger, M., Bourassa, M. M., Kestrup, A., Cuerrier, A., Downing, A., Lavallée, C., Pelletier, F., Chambers, J., Gagnon, A.E., Bedard, M.C., Gendreau, Y., Gonzalez, A., Mitchell, M., Whiteley, J. et A. Larocque. Impacts des changements climatiques sur la biodiversité du Québec : Résumé de la revue de littérature. Centre de la science de la biodiversité du Québec, 2012, 29 p. [Rapport produit avec l'appui d'Ouranos et du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs].

Aperçu	Le document est une synthèse d'une revue de littérature à grande échelle révisant les impacts des changements climatiques sur la biodiversité nordique. Les renseignements sont regroupés sous quatre thèmes, soit les écosystèmes du Québec (dont les milieux humides), les aires protégées, les Autochtones du territoire nordique ainsi que les corridors écologiques et leurs contributions aux services écosystémiques. Des mesures d'adaptation et d'atténuation sont proposées. Le document introduit la notion de corridor écologique. Pour aller plus loin, la documentation complète est disponible en français sur le site web du CSBQ.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique, connectivité, qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Québec
Mots-clés	Écosystème nordique, changements climatiques, adaptation, atténuation, connectivité, savoir autochtone

Résumé provenant de la référence

[...] « L'Atlas de la biodiversité du Québec nordique est un ambitieux projet qui comporte plusieurs volets qui doivent permettre de soutenir la mise en œuvre de certains projets gouvernementaux, notamment la poursuite du développement d'un réseau d'aires protégées au Québec, adapté aux changements climatiques. Si le volet sur la connaissance de la biodiversité repose en grande partie sur les données d'inventaires effectués par le ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), le volet climatique a fait appel aux compétences et au financement du Consortium Ouranos. Ce volet s'inscrivait parfaitement dans la thématique « Écosystèmes et biodiversité », un des thèmes prioritaires de l'action 26 du Plan d'action sur les changements climatiques du Gouvernement du Québec (PACC – 26) administrée par Ouranos. De nombreuses études ont démontré que les régions nordiques et polaires sont et seront des territoires fortement touchés par les changements climatiques. Ces régions subiront en particulier des changements dans les moyennes de températures et de précipitations et dans leur distribution, notamment pour certaines valeurs extrêmes. Au Québec, ces changements auront des impacts qui affecteront différents secteurs de la société et de l'environnement. Pour mieux comprendre l'étendue des conséquences climatiques à venir, il a été confié au Centre de la Science de la Biodiversité du Québec (CSBQ) le mandat de réaliser une revue de littérature qui comporte quatre chapitres, en insistant plus particulièrement sur les effets attendus dans le nord du Québec. D'avril à octobre 2010, sous la supervision scientifique de quatre chercheurs du CSBQ, onze étudiants ont effectué une vaste recherche bibliographique qui a permis de rassembler 1892 références dans une base de données bibliographiques qui sera accessible et consultable sur le site du CSBQ. La lecture de ces milliers de documents a permis de sélectionner les références les plus pertinentes (916 références sont citées) qui se retrouvent dans les quatre chapitres thématiques de la revue de littérature. Le résumé présenté ici est une synthèse de cette revue de littérature déposée par le CSBQ au MDDEP en 2011. Une version anglaise de ce document est également disponible. » [...]

https://qcbs.ca/wp-content/uploads/2012/05/Revue_literature_CC.pdf

Titre : **Spatial resilience assessment and optimization of small watershed based on complex network theory**

Zhou, J., Hou, Q. et W. Li (2022). « Spatial resilience assessment and optimization of small watershed based on complex network theory », *Ecological Indicators*, vol. 145. doi : 10.1016/j.ecolind.2022.109730.

Aperçu	L'étude aborde l'optimisation de la résilience spatiale et écologique des petits bassins versants à l'aide de la modélisation sur la base de la théorie des réseaux complexes. L'étude définit les limites de la conservation de l'eau, des zones récréatives et des zones de conservation des forêts et des milieux humides dans le bassin versant, divise les corridors écologiques fonctionnels en quatre types, classe l'importance du développement (protection) des sources écologiques et propose des schémas correspondants pour l'optimisation spatiale. Les résultats de la recherche servent entre autres à la planification de la restauration écologique et des réseaux écologiques au niveau régional et à la planification de l'exploitation des ressources.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique, connectivité, qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Chine
Mots-clés	Modélisation, connectivité, aménagement du territoire, conservation, restauration écologique, résilience

Résumé provenant de la référence

« The loess hilly and gully region is an ecologically fragile area with poor ecological restoration and service capacity. Enhancing regional spatial resilience is conducive to upgrading carrying capacity and service capability of local ecosystems. Focusing on the Sanshuihe River Basin, this study intends to explore watershed ecosystem based on complex network theory and constructs a research framework of "space simulation - resilience assessment - spatial optimization". The results show that the Basin forms a network structure based on lakes, wetlands, scenic spots and parks, with 36 ecological nodes and 60 ecological corridors in total. In the future, there will be 16 additional ecological nodes and 38 ecological corridors in the Basin, thus further stabilizing its ecosystem and enhancing connectivity and recreational attributes. Besides, the independence, collaboration, connectivity, interdependence, stability and functionality of ecological nodes grow by 14.9%, 10.4%, 10.0%, 51.4%, 5.77% and 33.20%, respectively. In the end, the study defines the boundary for water conservation, recreational area and forest conservation area in the watershed, divides functional ecological corridors into four types, classifies the importance of the development (protection) of ecological sources, and comes up with corresponding schemes for spatial optimization. The research findings can not only offer guidance for the assessment and optimization of spatial resilience of small watershed, but also lay a basis for regional ecological restoration, resource exploitation and ecological network planning. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22012031>

Titre : **The Importance of Hydroperiod in Wetland Assessment A guide for community officials, planners, and natural resource professionals**

Tarr, M. et K. J. Babbit. The Importance of Hydroperiod in Wetland Assessment A guide for community officials, planners, and natural resource professionals. University of New Hampshire Cooperative Extension. 25 p.

Aperçu	Le guide se concentre sur l'écologie des étangs vernaux, notamment les éléments hydrologiques essentiels au maintien des habitats de certaines espèces fauniques. Le guide est accessible et bien vulgarisé tout en introduisant le concept d'hydropériode.
Fonction(s)	Conservation de la diversité biologique, régulation hydrologique, recharge des eaux souterraines
Type(s) de MHH	Milieu humide temporaire (étang vernal)
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Habitat faunique, espèce indicatrice, cycle de vie, hydropériode

Résumé provenant de la référence

« The hydroperiod of a wetland (the length of time and portion of year the wetland holds ponded water) is largely responsible for determining what amphibian species can breed successfully in the wetland. Hydroperiod determines not only the length of time that amphibian larvae have for developing to the point where they can leave the water for land, but also the number and types of predators to which they are exposed. Wetlands can be grouped into three major hydroperiod categories (short, intermediate, and long). Wetlands within each category support a unique collection of amphibian species and together they support the entire diversity of pond-breeding amphibians in New Hampshire. To maintain a diversity of pond-breeding amphibians, we must maintain a diversity of wetlands with different hydroperiods across the landscape. Additionally, upland habitats provide amphibians with wintering and feeding habitat, as well as critical dispersal corridors between wetlands. We must protect uplands if we want to maintain functioning populations of pond-breeding amphibians into the future. »

https://extension.unh.edu/sites/default/files/migrated_unmanaged_files/Resource000812_Rep847.pdf

Titre : **Évaluation de l'importance écologique de 9 étangs vernaux dans Gatineau, Québec**

Piché, C., Bussièrès, N. et J. Soucie (2017). « Évaluation de l'importance écologique de 9 étangs vernaux dans Gatineau, Québec ». *Le Naturaliste canadien*, vol. 141, n° 1, p. 58–66. doi: <https://doi.org/10.7202/1037939a>.

Aperçu	Les auteurs de l'étude évaluent l'importance écologique des étangs vernaux en fonction de l'observation d'indicateurs de la valeur écologique (présence d'espèces à statut précaire, d'indicateur de l'intensité de l'utilisation par les amphibiens) et de l'intégrité de l'écosystème forestier entourant l'étang vernal.
Fonction(s)	Habitat, connectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide temporaire (étang vernal)
Région(s)	Québec
Mots-clés	Habitat faunique, valeur écologique, espèces menacées et vulnérables, urbanisation, conservation

Résumé provenant de la référence

« Nous avons évalué l'importance écologique de 9 étangs vernaux de Gatineau (Québec) en utilisant la méthode proposée par Calhoun et collab. (2005). L'un d'eux, situé au nord de la forêt Boucher, s'est démarqué par la richesse et l'abondance de sa faune amphibiennne ainsi que par la présence de 4 espèces en situation précaire ou préoccupante. Cet étang atteint la valeur biologique maximale selon la grille d'évaluation utilisée. Nous formulons des recommandations de gestion dans un contexte d'urbanisation. »

<https://www.erudit.org/fr/revues/natcan/2017-v141-n1-natcan02711/1037939ar/>

Titre : **Restauration des tourbières minérotrophes : études approfondies des communautés végétales**

Bérubé, Vicky. Restauration des tourbières minérotrophes : études approfondies des communautés végétales. Thèse (Ph. D.), Université Laval, 2017, 212 p.

Aperçu	La thèse a pour but de caractériser les communautés végétales des tourbières minérotrophes du Bas-Saint-Laurent et d'estimer des indicateurs de productivité et de décomposition afin d'établir la fonction de séquestration de carbone dans un contexte de restauration écologique.
Fonction(s)	Habitat, séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Écosystème de référence, communauté végétale, productivité, décomposition, paléoécologie, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« [...] Cette recherche doctorale a pour objectif de définir un écosystème de référence pour des fens modérément riches à riches du sud-est du Canada et de cibler des communautés végétales préférentielles à l'atteinte des buts de restauration écologique des tourbières. Afin de consolider l'écosystème de référence, trois sources d'informations (temporelle, spatiale et empirique) ont été utilisées. L'analyse paléoécologique nous informe sur la dynamique de développement hydrosérial, somme toute stable, d'un écosystème tourbeux sur une période de 8000 ans. Les processus autogènes semblent avoir été prédominants dans l'évolution de la tourbière telle qu'elle est aujourd'hui. La caractérisation de treize fens naturels a résulté à l'identification de deux communautés végétales. La première est une communauté de grandes-cypéracées (magnocaricaie) associée à une production de biomasse et à un niveau d'eau élevés. La seconde est une communauté plus diversifiée de *Sphagnum* (*warnstorffii*)-*Thuja*. À l'exception du *S. warnstorffii*, cette communauté se compose davantage d'espèces généralistes des tourbières boréales qui croissent dans des habitats plus secs ou ombragés tels que les buttes ou les sous-bois. L'étude met aussi en lumière l'importance du *Thuja occidentalis* dans les fens régionaux. Sa présence, en densité modérée, devrait être favorisée à long terme. Trois fens naturelles ont été sélectionnées pour une étude approfondie des caractéristiques fonctionnelles de production primaire nette (PPN) et de taux de décomposition. La moyenne de PPN incluant toutes les strates de végétation est de $450 \text{ g m}^{-2} \text{ an}^{-1}$. Cette étude confirme l'importance des estimations de PPN du compartiment souterrain (45% de la biomasse totale), des bryophytes (21%) et des arbres (16%). Le *S. warnstorffii* est la mousse la plus productive ($140 \text{ g m}^{-2} \text{ an}^{-1}$) et celle qui se décompose le plus lentement (valeur annuelle de décomposition exponentielle k de 0,07). Les communautés du biotope des buttes ont également un meilleur potentiel d'accumulation de tourbe que celles des platières. Finalement, dans la partie expérimentale de la thèse, il a été conclu qu'il n'est pas nécessaire d'augmenter la diversité spécifique et structurelle pour accroître les chances de retour de l'accumulation de tourbe. La performance des variables mesurées est plutôt dépendante de l'identité des espèces composant les assemblages. La présence du *Myrica gale*, du *Carex aquatilis* ou du *S. warnstorffii* dans une communauté augmente significativement la production de biomasse sur le terrain. La présence d'une bryophyte augmente le recrutement de nouvelles espèces tandis que le *M. gale* ou le *C. aquatilis* le diminue. La complémentarité entre les espèces a été l'effet dominant sur la production de biomasse dans l'expérience terrain, tandis que l'effet de sélection a été observé en serre. On conclut qu'il existe des relations synergiques dans la décomposition de plusieurs litières mises en association. Une production de biomasse plus élevée devra ainsi être ciblée si le taux global de décomposition est prévu d'augmenter. Suite à la synthèse de ces trois chapitres, il est recommandé d'inclure des bryophytes dans les communautés à restaurer, en particulier le *S. warnstorffii* afin d'accélérer le retour des fonctions dans les tourbières restaurées et le recrutement de nouvelles espèces. Une communauté de grandes cypéracées est considérée lorsque l'introduction de bryophytes est hasardeuse. »

<https://bibliotheque-archives.canada.ca/fra/services/services-bibliotheques/theses/Pages/item.aspx?idNumber=1273937531>

Titre : **Beavers in lakes: a review of their ecosystem impact**

Bashinskiy, I.V. (2020). « Beavers in lakes: a review of their ecosystem impact ». *Aquat Ecol.*, vol. 54, p. 1097–1120. doi: <https://doi.org/10.1007/s10452-020-09796-4>.

Aperçu	L'auteur fait une revue de littérature mettant en lumière les impacts des castors sur les systèmes lotiques, principalement les lacs. L'article n'aborde pas l'impact du castor sur les milieux humides lacustres.
Fonction(s)	Habitat et communauté végétale, connectivité
Type(s) de MHH	Lac, rive, plaine inondable
Région(s)	Général
Mots-clés	Espèce clé, cycle biogéochimique, inondation, connectivité, perturbation, résilience

Résumé provenant de la référence

« The aim of this review is to analyze the literature on the impact of beavers on lakes, summarize their effects, describe consequences for biotic and abiotic components, and highlight unresolved issues and perspectives. Beaver activity changes vegetation structure to the greatest extent, indirectly affecting other ecosystem components. Damming of flowing lakes increases the littoral area, which affects diversity and abundance of invertebrates, amphibians, birds, and mammals. Beavers' alteration of the water regime and heterogeneity and connectivity of habitats has significant effects on zoobenthos, fish, and amphibians. Changes in hydrochemical properties directly affect phytoplankton and benthos. Unlike river ecosystems, where habitats are altered from flowing to still water, in lake ecosystems, habitat type is not usually changed (from lotic to lentic) but their quality (e.g., heterogeneity, connectivity) is. Beaver activity in rivers leads to increased limnophilic biodiversity, but in lakes, it leads to conservation of pre-existing lentic ecosystems. Therefore, impacts of beavers could be of greater importance to limnophilic complexes in lakes than to streams, especially after long time of beaver absence. Digging activity has a more significant role in lakes (especially floodplain) than in rivers. Beaver alteration of heterogeneity and connectivity of habitats is well studied, but not enough is known about impacts on the water regime of seasonally flowing waters, hydrochemical changes (especially eutrophication), amphibian life cycles, phytoplankton and zooplankton communities, parasitocenoses, and coarse woody debris. Methodological difficulties are noted, which are associated with the correct choice of control lakes. Further studies on riverine lakes are crucial. In considerations of climatic changes and anthropogenic impact, beavers may be an additional aid to conserving small lake ecosystems. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10452-020-09796-4>

Titre : **Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems**

Larsen, A., Larsen, J. R et S. N. Lane. (2021). «Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems». *Earth-Science Reviews*, vol. 218, doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103623>.

Aperçu	La revue de littérature identifie les effets des changements hydrologiques entraînés par la construction de barrages par les castors sur différents écosystèmes. Par exemple, la présence de barrages de castors réduit la connectivité dans les cours d'eau, mais le nouvel écosystème lotique avec une étendue d'eau stagnante, l'agrandissement des superficies de plaines inondables et la création de milieux humides entraînent une diversification des communautés vivantes et bénéficient aux différents cycles biogéochimiques.
Fonction(s)	Habitat et communauté végétale, connectivité
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Général
Mots-clés	Espèce clé, cycle biogéochimique, géomorphologie, hydrologie, qualité d'eau, perturbation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Beavers (*Castor fiber*, *Castor canadensis*) are one of the most influential mammalian ecosystem engineers, heavily modifying river corridor hydrology, geomorphology, nutrient cycling, and ecosystems. As an agent of disturbance, they achieve this first and foremost through dam construction, which impounds flow and increases the extent of open water, and from which all other landscape and ecosystem impacts follow. After a long period of local and regional eradication, beaver populations have been recovering and expanding throughout Europe and North America, as well as an introduced species in South America, prompting a need to comprehensively review the current state of knowledge on how beavers influence the structure and function of river corridors. Here, we synthesize the overall impacts on hydrology, geomorphology, biogeochemistry, and aquatic and terrestrial ecosystems. Our key findings are that a complex of beaver dams can increase surface and subsurface water storage, modify the reach scale partitioning of water budgets, allow site specific flood attenuation, alter low flow hydrology, increase evaporation, increase water and nutrient residence times, increase geomorphic heterogeneity, delay sediment transport, increase carbon, nutrient and sediment storage, expand the extent of anaerobic conditions and interfaces, increase the downstream export of dissolved organic carbon and ammonium, decrease the downstream export of nitrate, increase lotic to lentic habitat transitions and aquatic primary production, induce 'reverse' succession in riparian vegetation assemblages, and increase habitat complexity and biodiversity on reach scales. We then examine the key feedbacks and overlaps between these changes caused by beavers, where the decrease in longitudinal hydrologic connectivity create ponds and wetlands, transitions between lentic to lotic ecosystems, increase vertical hydraulic exchange gradients, and biogeochemical cycling per unit stream length, while increased lateral connectivity will determine the extent of open water area and wetland and littoral zone habitats, and induce changes in aquatic and terrestrial ecosystem assemblages. However, the extent of these impacts depends firstly on the hydro-geomorphic landscape context, which determines the extent of floodplain inundation, a key driver of subsequent changes to hydrologic, geomorphic, biogeochemical, and ecosystem dynamics. Secondly, it depends on the length of time beavers can sustain disturbance at a given site, which is constrained by top down (e.g. predation) and bottom up (e.g. competition) feedbacks, and ultimately determines the pathways of river corridor landscape and ecosystem succession following beaver abandonment. This outsized influence of beavers on river corridor processes and feedbacks is also fundamentally distinct from what occurs in their absence. Current river management and restoration practices are therefore open to re-examination in order to account for the impacts of beavers, both positive and negative, such that they can potentially accommodate and enhance the ecosystem engineering services they provide. [...] »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825221001239>

Écran solaire, brise vent, protection des sols

La section suivante est associée à ce libellé provenant de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés – version de septembre 2024 :

13.1. Le ministre peut définir les orientations fondamentales d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

Il élabore et propose également au gouvernement les orientations ainsi que les objectifs à poursuivre en matière de protection des milieux humides et hydriques, de manière à assurer et mettre en valeur les différents bénéfices résultant de la présence de ces milieux, notamment par leurs fonctions :

[...]

4° d'écran solaire et de brise-vent naturel, en permettant, par le maintien de la végétation, de préserver l'eau d'un réchauffement excessif et de protéger les sols et les cultures des dommages causés par le vent [...].

Titre : **The role of vegetated buffers in agriculture and their regulation across Canada and the United States**

Gene, S. M., Hoekstra, P. F., Hannam, C., White, M., Truman, C., Hanson, M. L. et R. S. Prosser. (2019). « The role of vegetated buffers in agriculture and their regulation across Canada and the United States ». *Journal of Environmental Management*, vol. 243, p. 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.003>.

Aperçu	La revue de littérature présente les différents types de zones tampons, dont les bandes riveraines, leurs fonctions selon l'occupation des terres adjacentes, la réglementation qui s'applique et les incitatifs pour leur aménagement. Des largeurs de zones tampons et de bandes riveraines sont suggérées en accord avec l'utilisation des sols et le degré de conservation visé pour les écosystèmes protégés par celles-ci.
Fonction(s)	Écran solaire, haie brise vent, protection des sols, filtre contre la pollution, conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Canada et États-Unis
Mots-clés	Bande riveraine, pollution diffuse, qualité d'eau, cycle biogéochimique, réglementation, occupation agricole

Résumé provenant de la référence

« A vegetated buffer, barrier, or filter strip is a parcel of land that is designated to separate land used for agriculture from valued aquatic or terrestrial habitats. It exists partly with the intent to diffuse runoff and to impeded sediment, nutrients, pesticides, and other constituents from reaching off-site surface waters. Mandatory buffer implementation is regulated at various levels of government in North America - from the federal to the state and provincial levels, and by some municipalities and counties. To better understand the degree and breadth of oversight, we undertook a comprehensive search and review of vegetative buffer regulations across North America. We determined the width of buffer required, under what habitat or field conditions, for which pesticides, and application type, amongst other attributes. For ground application, margins ranged from 1 m to upwards of greater than 4000 m depending on protection goals, with some being compound specific and others being generally applied to all registered pesticides/compounds. These buffers tended to be used most often to protect surface water, groundwater (e.g. drinking water wells), and nearby sensitive crops, but the required distances are generally not consistent between jurisdictions, regardless of the stated protection goals. We recommend that a thorough science-based review take place, with input from relevant stakeholders, to harmonize vegetated buffer size for effective surface water protection where ecological, climatic, and agricultural conditions are sufficiently similar in North America. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719306012>

Titre : **Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review**

Cole, L. J., Stockan, J. et R. Helliwell. (2020). «Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review ». Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 296, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106891>.

Aperçu	La revue de littérature consiste à étudier comment l'emplacement, les propriétés physiques, la gestion et la structure de la végétation influent sur le potentiel des écosystèmes riverains pour fournir des services écologiques. En somme, la revue réitère la multifonctionnalité des écosystèmes riverains, en mettant l'accent sur la diversité en végétation et en structure ainsi qu'en planifiant la restauration et l'aménagement à diverses échelles locales et de bassin versant.
Fonction(s)	Écran solaire, haie brise vent, protection des sols, filtre contre la pollution, conservation de la diversité biologique
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Général
Mots-clés	Multifonctionnalité, biodiversité, bande riveraine, gestion de l'eau, pollution diffuse, occupation agricole, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Riparian buffer strips provide a wide range of ecosystem services in agricultural landscapes with benefits extending beyond those provided by non-riparian field margins. For example, in addition to enhancing the aesthetic value of the landscape and protecting biodiversity, riparian buffer strips also mitigate diffuse pollution and provide inputs to freshwater systems. Their multifunctional nature makes developing management prescriptions complex with the need to identify conflicts, interactions and synergies between the services offered. Here we explore how the placement, physical properties, management and vegetation structure influence the potential of riparian buffer strips to deliver a range of benefits. Under high nutrient loadings, buffer strips can become saturated and act as a source of pollutants, thus limiting their long-term effectiveness. Furthermore, in saturated buffer strips nitrification can increase greenhouse gas emissions. Buffers should not therefore be viewed as an end-of-pipe solution, but within a wider management framework that controls pollutants at the source. Furthermore, biomass removal (e.g. via mowing) can prevent nutrient saturation, increasing the longevity of buffer strips; such operations should, however, be carefully timed to reduce adverse impacts of disturbance on water quality and biodiversity. Wooded buffers can be less effective than grass buffers at intercepting sediments and sediment bound pollutants, but provide many benefits associated with mitigating the impacts of climate change (e.g. carbon capture and moderating aquatic temperatures). This highlights potential trade-offs between climate change and water quality objectives. Zoned buffers that combine strips of riparian woodland and grass, could therefore deliver benefits transcending these policy areas. With such buffers taking large areas of land out of production, they may not be financially sustainable, particularly in intensively managed catchments. In such catchments, to balance food production goals with other ecosystem services, vegetated and/or forested buffer strips, of variable width, should be selected based on objectives at the local or regional scale. Catchment scale initiatives that support a diversity of unbuffered watercourses, vegetated buffers and wooded buffers could help address conflicts between policy areas. Furthermore, with riparian ecosystems being naturally dynamic and diverse, restoring riverbank heterogeneity will also enhance biodiversity. Catchment management plans should take an integrative approach to spatially target the placement of buffer strips to where the greatest benefits can be derived. This review aims to inform environmental managers, regulators and practitioners on how the multifunctionality of riparian zones can be optimised through targeting management actions at the local and catchment scale. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880920300761>

Titre : **Zones tampons de conservation : lignes directrices pour l'aménagement de zones tampons, de corridors boisés et de trames vertes**

Bentrup, G. Zones tampons de conservation : lignes directrices pour l'aménagement de zones tampons, de corridors boisés et de trames vertes. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 115 p.

Aperçu	Le guide propose plusieurs types d'aménagement pour des bandes riveraines, en justifiant et en promouvant plusieurs fonctions bénéfiques notamment pour la qualité de l'eau, le paysage, la biodiversité et la connectivité.
Fonction(s)	Écran solaire, haie brise vent, protection des sols, filtre contre la pollution, conservation de la diversité biologique, qualité du paysage
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Général
Mots-clés	Bande riveraine, qualité d'eau, biodiversité, paysage, connectivité, érosion, sédiment, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Plus de 80 lignes directrices illustrées pour l'aménagement des zones tampons de conservation ont été résumées et élaborées à partir de l'examen de plus de 1400 publications de recherche. Chaque ligne directrice décrit une façon particulière d'aménager une zone tampon végétale pour protéger les sols, améliorer la qualité de l'air et de l'eau, améliorer l'habitat des poissons et autres espèces fauniques, produire des retombées économiques, offrir des espaces récréatifs ou embellir le paysage. Ces lignes directrices scientifiques sont présentées comme des règles de base faciles à comprendre visant à faciliter la planification et l'aménagement des zones tampons de conservation dans les milieux ruraux et urbains. La version en ligne du présent guide comprend la liste des publications de référence ainsi que d'autres ressources utiles pour l'aménagement de zones tampons. [...] L'édition francophone de ce guide magistral, originalement paru sous le titre Conservation Buffers – Design Guidelines for Buffers, Corridors, and Greenways, est le résultat d'une coopération exemplaire entre le U.S. Department of Agriculture et Agriculture et Agroalimentaire Canada. [...] Les zones tampons de conservation sont des bandes ou des zones de végétation réparties dans le paysage afin d'influencer les processus écologiques, de protéger la biodiversité et de fournir divers biens et services à la population. Elles ont de nombreuses appellations, notamment les corridors boisés ou fauniques, les trames vertes, les haies brise-vent et les bandes filtrantes, pour n'en nommer que quelques-unes. Parmi les avantages qu'offrent les zones tampons de conservation se trouvent : la protection des sols, l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau, la protection de l'habitat du poisson et autres espèces fauniques, ou encore l'embellissement du paysage. Les zones tampons offrent également aux propriétaires fonciers toute une gamme d'opportunités économiques incluant la protection et l'amélioration des activités actuelles. Il existe une grande quantité de connaissances scientifiques permettant d'orienter la planification et l'aménagement des bandes tampons de conservation. Malheureusement, ces renseignements sont dispersés dans un vaste éventail de publications scientifiques et ne sont pas facilement accessibles ou utilisables pour la plupart des gestionnaires du territoire. L'objectif de ce guide est de présenter une synthèse de ces diverses connaissances sous forme de lignes directrices d'aménagement simplifiées et conviviales. »

https://www.fs.usda.gov/nac/buffers/docs/GTR-SRS-109_French.pdf

Titre : **Influence de l'ombrage produit par la végétation riveraine sur la température de l'eau**

Grégoire, Y. et G. Trencia. Influence de l'ombrage produit par la végétation riveraine sur la température de l'eau: un paramètre d'importance pour le maintien d'un habitat de qualité pour le poisson. 2007, 19p + 4 annexes. [Rapport produit avec l'appui du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec. Direction de l'aménagement de la faune de la région de la Chaudière-Appalaches].

Aperçu	Les auteurs de ce rapport montrent que les rives ayant une végétation boisée, haute, dense et d'une largeur équivalente à celle du littoral jouent un rôle d'écran solaire et contribuent à abaisser significativement la température du cours d'eau adjacent. L'effet est d'autant plus fort en situation d'étiage du cours d'eau.
Fonction(s)	Écran solaire
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Québec
Mots-clés	Habitat aquatique, habitat faunique, température de l'eau, communauté végétale

Résumé provenant de la référence

« Des thermographes (enregistreurs de température) ont été installés dans deux cours d'eau agro-forestiers de la région Chaudière-Appalaches, les rivières Boyer et Petite Sainte-Marguerite, de manière à évaluer les différences de température entre des stations situées en milieu boisé et ouvert. L'enregistrement des données a été effectué à toutes les deux heures de juin à novembre 2006. L'ombrage au dessus de l'eau était le principal paramètre pour expliquer les différences de température notées, lesquelles auraient été encore plus marquées si le parcours en milieu ouvert avait été plus long et davantage exposé aux radiations solaires. Les résultats montrent une différence de température de l'eau statistiquement significative de l'ordre de 1 à 2°C, selon la rivière. La différence entre les stations est la plus prononcée quand la température de l'air est chaude et que le débit faible soit, en période d'étiage estival. Une différence de 1 à 2°C peut suffire à changer la disponibilité du cours d'eau pour des espèces sensibles comme l'omble de fontaine. Dans le centre-sud du Québec, une hausse de la température des cours d'eau peut exercer des effets négatifs sur l'alimentation, la croissance, la densité et la biomasse des salmonidés. Quelques degrés de différence peuvent donner l'avantage à des espèces compétitrices de l'omble de fontaine et même, déterminer sa présence ou son absence. L'implantation d'une bordure de végétation riveraine suffisamment haute et dense pour ombrager les cours d'eau en milieu agricole apparaît donc comme une mesure simple et efficace pour conserver une température de l'eau adéquate et satisfaire les besoins de la faune aquatique. Pour créer un ombrage efficace, la hauteur de la végétation riveraine à maintenir devrait être en proportion de la largeur du cours d'eau. En plus d'offrir de l'ombrage au cours d'eau, la végétation riveraine y favorise également le contrôle de la turbidité, un paramètre qui accentue le réchauffement de l'eau. »

<https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/influence-ombrage-vegetation-riveraine-temperature-eau/>

Titre : **Urban heat mitigation by green and blue infrastructure: Drivers, effectiveness, and future needs**

Kumar, P., Debele, S., Khalili, S., Halios, C.H., Sahani, J., Aghamohammadi, N., De Fatima Andrade, M., Athanassiadou, M., Bhui, K., Calvillo, N., Cao, S.-J., Coulon, F., Edmondson, J. L., Fletcher, D., Dias De Freitas, E., Guo, H., Hort, M. C., Katti, M., Kjeldsen, T. R., Lehmann, S., Locosselli, G. M., Malham, S. K., Morawska, L., Parajuli, R., Rogers, C. D. F., Yao, R., Wang, F., Wenk, J. et L. Jones. (2024). « Urban heat mitigation by green and blue infrastructure: drivers, effectiveness, and future needs ». *Innovation*, vol. 5, n° 2, doi: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100588>.

Aperçu	La revue de littérature présente une méta-analyse des différentes catégories d'infrastructures bleues, vertes et grises permettant de s'adapter contre les fortes chaleurs et de rafraîchir les milieux urbains. Les milieux humides arrivent en deuxième place parmi les écosystèmes étudiés quant à leur efficacité de refroidissement. D'autres fonctions spécifiques aux milieux humides sont brièvement mentionnées, dont la biodiversité, la capacité d'agir comme un filtre contre la pollution et la rétention de l'eau.
Fonction(s)	Écran solaire
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Changements climatiques, adaptation, urbanisation, îlot de chaleur, îlot de fraîcheur, infrastructures vertes et bleues

Résumé provenant de la référence

« The combination of urbanization and global warming leads to urban overheating and compounds the frequency and intensity of extreme heat events due to climate change. Yet, the risk of urban overheating can be mitigated by urban green-blue-grey infrastructure (GBGI), such as parks, wetlands, and engineered greening, which have the potential to effectively reduce summer air temperatures. Despite many reviews, the evidence bases on quantified GBGI cooling benefits remains partial and the practical recommendations for implementation are unclear. This systematic literature review synthesizes the evidence base for heat mitigation and related co-benefits, identifies knowledge gaps, and proposes recommendations for their implementation to maximize their benefits. After screening 27,486 papers, 202 were reviewed, based on 51 GBGI types categorized under 10 main divisions. Certain GBGI (green walls, parks, street trees) have been well researched for their urban cooling capabilities. However, several other GBGI have received negligible (zoological garden, golf course, estuary) or minimal (private garden, allotment) attention. The most efficient air cooling was observed in botanical gardens ($5.0 \pm 3.5^\circ\text{C}$), wetlands ($4.9 \pm 3.2^\circ\text{C}$), green walls ($4.1 \pm 4.2^\circ\text{C}$), street trees ($3.8 \pm 3.1^\circ\text{C}$), and vegetated balconies ($3.8 \pm 2.7^\circ\text{C}$). Under changing climate conditions (2070–2100) with consideration of RCP8.5, there is a shift in climate subtypes, either within the same climate zone (e.g., Dfa to Dfb and Cfb to Cfa) or across other climate zones (e.g., Dfb [continental warm-summer humid] to BSk [dry, cold semi-arid] and Cwa [temperate] to Am [tropical]). These shifts may result in lower efficiency for the current GBGI in the future. Given the importance of multiple services, it is crucial to balance their functionality, cooling performance, and other related co-benefits when planning for the future GBGI. This global GBGI heat mitigation inventory can assist policymakers and urban planners in prioritizing effective interventions to reduce the risk of urban overheating, filling research gaps, and promoting community resilience. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666675824000262>

Titre : **Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes—a systematic review**

Weninger, T., Scheper, S., Lackóová, L., Kitzler, B., Gartner, K., King, N., Cornelis, W., Strauss, P., et K. Michel (2021). «Ecosystem services of tree windbreaks in rural landscapes—a systematic review ». *Environmental Research Letters*, vol. 16., n° 10, doi: 10.1088/1748-9326/ac1d0d.

Aperçu	La revue de littérature présente de façon holistique les principaux services écologiques des haies brise-vent. Le document aborde les processus fonctionnels des haies brise-vent, sans toutefois qu'elles soient spécifiques aux écosystèmes riverains. En somme, les haies brise-vent ont des effets généralement positifs sur la structure du paysage, la protection des sols, la biodiversité et la gestion parasitaire. L'effet est mitigé ou neutre quant à la production de biomasse et aux cycles de nutriments et de l'eau.
Fonction(s)	Haie brise-vent
Type(s) de MHH	Rive
Région(s)	Général
Mots-clés	Bande riveraine, service écologique, structure du paysage

Résumé provenant de la référence

« Windbreaks are key structural elements in the rural environment and affect the functionality of landscapes in multiple ways. A broad interdisciplinary view on these functions lacks in scientific literature and common knowledge. This led to under informed management decisions, a decrease in the number of windbreaks in wide areas, and a subsequent loss of landscape functionality. Therefore, the knowledge on windbreaks and associated ecosystem services (ES) was systematically reviewed to guide the way for a holistic comprehension of such structural landscape elements. We defined eight bundles of ES on the basis of the Common International Classification of ES scheme. Search terms that allowed to include only vegetative windbreaks consisting of at least one tree row were combined with appropriate search terms for the eight ES bundles in individual searches resulting in a total of 6094 hits. We considered only publications that provided quantitative data and allowed to derive a clear effect of windbreaks on ES so that 222 publications from all over the world were quantitatively and qualitatively analyzed. The outcomes provide information about the dimension of effort, scientific consensus or dissensus, and knowledge gaps in the different research disciplines involved. It was shown that windbreaks bring predominantly positive effects to landscapes in the course of all investigated ES bundles. Apparent positive effects were found for soil protection, biodiversity and pest control, whereas for biomass production, nutrient and water balance, also adverse or indifferent effects were reported. The present review reveals an intense need for further interdisciplinary research using indicators, ES approaches or similar instruments that enable quantitative and comparable statements about the functionality of windbreaks in rural landscapes. »

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac1d0d>

Séquestration de carbone

La section suivante est associée à ce libellé provenant de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés – version de septembre 2024 :

13.1. Le ministre peut définir les orientations fondamentales d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

Il élabore et propose également au gouvernement les orientations ainsi que les objectifs à poursuivre en matière de protection des milieux humides et hydriques, de manière à assurer et mettre en valeur les différents bénéfices résultant de la présence de ces milieux, notamment par leurs fonctions :

[...]

5° de séquestration du carbone et d'atténuation des impacts des changements climatiques [...].

Titre : **Les processus biogéochimiques liés au carbone**

Moore, T. R. « Les processus biogéochimiques liés au carbone ». dans Payette, S. et L. Rochefort (éditeurs). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Québec, Les Presses de l'Université Laval, 2001, p. 183–198.
doi: <https://doi.org/10.2307/jj.8816099.13>

Aperçu	L'auteur de ce chapitre de livre explique en détail le cycle biogéochimique du carbone dans les tourbières, en mentionnant divers types de tourbières, et les conséquences des perturbations.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, décomposition, productivité

Résumé provenant de la référence

« La biogéochimie comprend l'étude des processus biologiques, géophysiques et chimiques qui régissent l'environnement chimique, lequel comprend l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère (Schlesinger, 1997). La nature et les interactions des cycles biogéochimiques des éléments, notamment le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O), l'azote (N), le phosphore (P) et d'autres nutriments, influencent la structure et le fonctionnement des tourbières. Les écosystèmes tourbeux sont également reconnus pour leur rôle significatif dans le cycle biogéochimique du carbone, du gaz carbonique (CO₂) et du méthane (CH₄), à l'échelle planétaire. »

<https://www.pulaval.com/livres/ecologie-des-tourbieres-du-quebec-labrador>

Titre : **Synthèse de la valeur et la répartition du stock de carbone terrestre au Québec.**

Garneau M. et S. van Bellen. Synthèse de la valeur et la répartition du stock de carbone terrestre au Québec. Université du Québec à Montréal, 2016, 49 p. [Rapport produit avec l'appui du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques].

Aperçu	Les auteurs de ce rapport quantifient des stocks de carbone présents dans les sols organiques et forestiers du Québec à partir d'études précédemment publiées, présentent une cartographie de la répartition des stocks de carbone et effectuent une projection des stocks en tenant compte des changements climatiques et de l'évolution dans l'aménagement du territoire.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, puits, source, perturbation, changements climatiques

Résumé provenant de la référence

« L'objectif de ce rapport a été de quantifier, à l'aide de données récemment acquises sur le terrain et de synthèses cartographiques de données existantes, les stocks de carbone contenus dans les écosystèmes terrestres du biome boréal québécois. La consolidation de ces connaissances est nécessaire afin d'évaluer la capacité naturelle des écosystèmes à atténuer les émissions de carbone dans l'atmosphère, et estimer la hausse de leur vulnérabilité face aux changements récents du climat, ainsi qu'aux changements d'utilisation des terres.[...] Trois objectifs spécifiques étaient visés avec ce travail : 1) une revue de littérature accompagnée de la synthèse de données existantes, 2) une quantification des valeurs et une cartographie de leur répartition intégrées dans les unités des provinces écologiques du Cadre Écologique de Référence du Québec (CERQ) du MDDELCC, et 3) une projection de l'impact des changements climatiques et des changements d'utilisation des terres sur la dynamique de ce carbone terrestre en utilisant les projections du modèle régional de climat développées par le Consortium Ouranos. Tous les objectifs ont été rencontrés et des recommandations ont été émises pour combler les lacunes dans les régions identifiées comme étant à risque d'être vulnérabilisées par le changement anticipé. Suite aux quantifications et aux comparaisons des valeurs obtenues à partir de valeurs publiées antérieurement, il est maintenant possible d'identifier les sources d'incertitude les plus importantes dans les calculs des masses et stocks de carbone pour les sols des tourbières et des forêts du Québec. Les valeurs sont donc présentées avec des niveaux de fiabilité qui vont de très fiables à faibles selon les méthodes utilisées et le type de données disponibles.[...] À la suite du calcul de la quantification des stocks de carbone des sols des écosystèmes tourbeux et forestiers du Québec, la valeur totale obtenue est de 18,00 gigatonnes (Gt) de carbone contenues dans les sols des écosystèmes terrestres (tourbières et forêts). Cette valeur correspond à 66,0 Gt équivalent en CO₂ et couvre 95% de l'ensemble des provinces naturelles excluant celles des Basses-terres du Saint-Laurent, des Appalaches et des Adirondacks. Même si, selon notre classification, les tourbières n'occupent que 108 073 km², comparé à 718 808 km² pour les peuplements forestiers (ou 663 277 km² si on tient compte seulement des peuplements pour lesquels les masses de carbone pouvaient être quantifiées), les tourbières représentent plus que la moitié (10,77 Gt C) du stock de carbone terrestre au Québec. La valeur moyenne de la masse de carbone (kg C m⁻²) des tourbières est neuf fois plus élevée que celle dans les forêts, avec une moyenne de 100,0 kg C m⁻² pour les tourbières et de 10,9 kg C m⁻² pour les peuplements forestiers. Les tourbières, qui sont beaucoup moins affectées par les perturbations (feux, épidémies) que les forêts, transforment, capturent (piègent) et stockent de plus importantes quantités de carbone puisqu'une grande partie est emmagasinée depuis plusieurs milliers d'années dans leurs horizons organiques. Ils méritent donc une considération toute particulière dans les politiques de conservation du gouvernement. »

https://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/Rapport_final.PDF

Titre : **Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework**

Villa, J. A. et B. Bernal (2018). «Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework ». *Ecological Engineering*, vol. 114, p. 115-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.037>.

Aperçu	Les auteurs de la revue de littérature expliquent les processus biogéochimiques sous-jacents à la séquestration de carbone. Les auteurs font une synthèse des données sur la séquestration historique du carbone dans différents types de milieux humides. Les auteurs discutent de l'intégration des connaissances scientifiques à l'élaboration des politiques et à leur mise en œuvre.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, flux, puits, source, méthodologie, hydrogéomorphologie, politique, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Ecosystem services are becoming increasingly important and a reason to promote the sustainable use of natural resources. Wetlands provide many valuable ecosystem services, including carbon (C) sequestration. Wetlands are an important C sink, playing a key role in climate regulation. As such, their ability to sequester C is being considered in national GHG emissions assessments and private initiatives as a potential source of revenue to manage carbon-balanced landscapes and pay for ecosystem services. To be able to implement these initiatives widely some aspects of wetland carbon science and practice still need to be formalized and standardized. Here we synthesize the scientific basis of the biogeochemical processes that drive C sequestration in wetlands and assess the methods available for its measurement. We have reviewed data in 110 peer-reviewed studies from wetlands around the world and provide an overview of the current policies and guidelines in which C sequestration in wetlands is framed as an ecosystem management practice. The intention of this review is to provide a wide and comprehensive summary of C sequestration in wetlands, from science to practice. This analysis can help inform practitioners and landscape managers in future considerations regarding project design and policy implementation, improve current climate mitigation schemes and payment for ecosystem services frameworks, and foster the worldwide implementation of wetland restoration, creation, and conservation projects for sustainable development and climate change mitigation and adaptation. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857417303658?via%3Dihub>

Titre : **Estimation préliminaire des puits et flux de carbone dans les milieux humides du Québec.**

Sanderson, N. K. et M. Garneau Estimation préliminaire des puits et flux de carbone dans les milieux humides du Québec. Centre GÉOTOP de l'Université du Québec à Montréal. 2018, 32 p et annexes. [Rapport produit avec l'appui du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec].

Aperçu	Les auteurs de la revue de littérature estiment les stocks de carbone et les flux de gaz à effet de serre par type de milieu humide naturel affecté par les perturbations anthropiques. L'un des constats est qu'il y a une grande variabilité dans les méthodes et résultats, et que ce ne sont pas tous les types de milieux humides qui ont fait l'objet du même intérêt. Certains résultats ne sont plus à jour.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, puits, source, perturbation

Résumé provenant de la référence

« Pour évaluer la valeur des coûts associés à la perte des milieux humides, l'analyse avantages/coûts emploie la notion des services écologiques rendus par les écosystèmes. Les milieux humides fournissent des services écologiques essentiels tels que le maintien de la qualité des eaux de surface, la régulation du débit des rivières, la protection contre l'érosion côtière ainsi que l'atténuation naturelle des gaz à effet de serre. Au Québec, une grande proportion des milieux humides a été altérée ou perdue, surtout dans la zone de la forêt tempérée nordique, à cause de l'augmentation des pressions anthropiques sur le territoire. À partir d'une revue de littérature, nous présentons dans ce rapport une estimation des valeurs préliminaires de la quantité de carbone présent dans les milieux humides du Québec ainsi que les effets de perturbation anthropique de ces milieux sur les émissions de gaz à effet de serre (CO₂ et CH₄) dans les zones de la forêt tempérée nordique et boréale du Québec. Cette revue de littérature nous a permis de constater que les principaux défis d'un tel exercice étaient la pénurie de données de carbone pour les milieux humides autres que les tourbières, ainsi que le manque de systématisation de la terminologie entre les différents types de milieux (marais, marécage, eau peu profonde) et les méthodes de calcul de carbone (ex. émissions, séquestration). Malgré ces contraintes, nous fournissons dans ce rapport une première estimation de la quantité de carbone par hectare (CMASSE) associée à chaque type de milieu humide dans les zones de la forêt tempérée nordique et boréale du Québec. Les valeurs moyennes pour l'ensemble des milieux sont 114 ± 33 t C ha⁻¹ et 244 ± 50 t C ha⁻¹ respectivement. Les valeurs de CMASSE les plus élevées se situent dans les marécages, quoique la variabilité soit plus grande dans la zone de la forêt boréale que dans la zone de la forêt tempérée nordique à cause du manque de données. Un calcul préliminaire des stocks de carbone pour le Québec montre toutefois une concentration 106 fois plus élevée de carbone dans les tourbières que dans les milieux humides probablement à cause de leur étendue plus grande et leur capacité de séquestration beaucoup plus prononcée dans le temps. »

[Disponible sur demande auprès du MELCCFP](#)

Titre : **The role of wetland microorganisms in plant-litter decomposition and soil organic matter formation: a critical review**

Yarwood, S. A. (2018). « The role of wetland microorganisms in plant-litter decomposition and soil organic matter formation: a critical review ». FEMS Microbiology Ecology, vol. 94, n° 11. doi: fiy175. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy175>.

Aperçu	La revue de littérature aborde ce qui est connu sur la séquestration du carbone et le rôle des microorganismes dans la formation des sols organiques et l'accumulation de la matière organique dans les sols.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, communauté microbienne, diversité, qualité des sols, décomposition, productivité

Résumé provenant de la référence

« New soil organic matter (SOM) models highlight the role of microorganisms in plant litter decomposition and storage of microbial-derived carbon (C) molecules. Wetlands store more C per unit area than any other ecosystem, but SOM storage mechanisms such as aggregation and metal complexes are mostly untested in wetlands. This review discusses what is currently known about the role of microorganisms in SOM formation and C sequestrations, as well as, measures of microbial communities as they relate to wetland C cycling. Studies within the last decade have yielded new insights about microbial communities. For example, microbial communities appear to be adapted to short-term fluctuations in saturation and redox and researchers have observed synergistic pairings that in some cases run counter to thermodynamic theory. Significant knowledge gaps yet to be filled include: (i) What controls microbial access to and decomposition of plant litter and SOM? (ii) How does microbial community structure shape C fate, across different wetland types? (iii) What types of plant and microbial molecules contribute to SOM accumulation? Studies examining the active microbial community directly or that utilize multi-pronged approaches are shedding new light on microbial functional potential, however, and promise to improve wetland C models in the near future. »

<https://academic.oup.com/femsec/article/94/11/fiy175/5087730>

Titre : **Wetlands In a Changing Climate: Science, Policy and Management**

Moomaw, W. R., Chmura, G. L., Davies, G.T., Finlayson, C. M., Middleton B. A., Natali, S. M., Perry, J. E., Roulet, N. et A. E. Sutton-Grier. (2018). « Wetlands In a Changing Climate: Science, Policy and Management ». *Wetlands*, vol. 38, p. 183–205. doi: <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>.

Aperçu	Les auteurs révisent de manière générale le rôle des milieux humides dans l'atténuation des changements climatiques, l'effet anticipé des changements climatiques sur les écosystèmes humides et les implications pour leur gestion.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, qualité des sols, changements climatiques, conservation, restauration écologique, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Part 1 of this review synthesizes recent research on status and climate vulnerability of freshwater and saltwater wetlands, and their contribution to addressing climate change (carbon cycle, adaptation, resilience). Peatlands and vegetated coastal wetlands are among the most carbon rich sinks on the planet sequestering approximately as much carbon as do global forest ecosystems. Estimates of the consequences of rising temperature on current wetland carbon storage and future carbon sequestration potential are summarized. We also demonstrate the need to prevent drying of wetlands and thawing of permafrost by disturbances and rising temperatures to protect wetland carbon stores and climate adaptation/resiliency ecosystem services. Preventing further wetland loss is found to be important in limiting future emissions to meet climate goals, but is seldom considered. In Part 2, the paper explores the policy and management realm from international to national, subnational and local levels to identify strategies and policies reflecting an integrated understanding of both wetland and climate change science. Specific recommendations are made to capture synergies between wetlands and carbon cycle management, adaptation and resiliency to further enable researchers, policy makers and practitioners to protect wetland carbon and climate adaptation/resiliency ecosystem services. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-018-1023-8>

Titre : **Carbon cycling at a post-extraction restored peatland: Small-scale processes to global climate impacts**

Nugent, Kelly. Carbon cycling at a post-extraction restored peatland: Small-scale processes to global climate impacts. Thèse (Ph. D.), Université McGill, 2020, 143 p.

Aperçu	La thèse présente les effets des activités d'extraction de tourbe sur le cycle du carbone dans les tourbières et mesure les flux de carbone afin d'établir quand la fonction de séquestration de carbone est de retour à la suite d'une restauration écologique.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Québec
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, puits, source, perte, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Peatlands store large amounts of organic carbon (C) and are an important component of the global climate system. Climate and peatland land surfaces are closely coupled through land-atmosphere exchanges of greenhouse gases (GHG), such as carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). When undisturbed, peatlands exert a long-term (millennia) negative radiative GHG forcing (climate cooling) through CO₂ removal from the atmosphere, and a short-term (decades) positive forcing (climate warming) with the addition of CH₄ to the atmosphere. Peatland drainage and extraction, however, results in mineralization of stored peat, releasing large amounts of CO₂ while generally reducing CH₄ to minimal levels. Rewetting and actively restoring vegetation is now a restoration approach used to reduce CO₂ emissions from degraded peatlands. However, the timeframe needed for restoration to re-establish the C sink function of an undisturbed peatland remains poorly constrained due to a lack of multi-year measurements. In this thesis, I analyze three years of eddy covariance flux measurements from a post-extraction restored peatland in eastern Quebec, Canada that was restored 14 years prior. I link these measurements with flux footprint modelling, stable isotope fractionation data and pore water concentrations to characterize how belowground C cycling and fluxes are impacted by restoration. I combine a series of flux towers at post-extraction unrestored and restored peatlands in eastern and western Canada with an atmospheric perturbation model to further reveal how after-use management is affecting the global climate. The post-extraction restored peatland was a C sink of $78 \pm 17 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ within fourteen years of restoration, due to strong CO₂ uptake and small CH₄ emission and dissolved organic carbon export. A comparison with an undisturbed reference peatland (Mer Bleue) revealed annual NEE at the restored peatland was most similar to wetter, more productive years at the reference peatland. A mapping of post-extraction (1980 onwards) canopy structure changes showed broad comparability between the restored peatland and surrounding intact peatland within five years of restoration. The enhanced vegetation index results suggest that the developing vegetation in general had a normal response to environmental factors and was not experiencing any enduring stress from the underlying cutover peat. While the processes behind the surface net CO₂ flux appear successfully recovered, approximately two thirds of the restored peatland was a minimal source of CH₄, suggesting a lag in the recovery of belowground C cycling processes. Carbon turnover in the cutover peat beneath the new Sphagnum layer was slow and appeared to occur only with E. vaginatum substrate input and plant-mediated transport. The C isotopic fractionation factor for CH₄ and CO₂ in the restored field pore water exhibited a dominance of acetoclastic methane production, even deeper in the cutover peat profile. In contrast, isotopic fractionation in the former drainage ditches showed a balance of acetoclastic and hydrogenotrophic methanogenesis deeper in the profile, indicating that some bulk peat C turnover was occurring. Over time (decades), C turnover of the new peat is expected to limit the impacts of the cutover peat on the surface CH₄ flux. Flux measurements at unrestored sites in eastern and western Canada reveal that not restoring post-extraction peatlands leads to decades of CO₂ addition to the atmosphere, with low CH₄ emission. The after-use decision to not restore results in a positive radiative forcing seven times more powerful than the negative forcing achieved by active restoration after 500 years. Prompt active restoration achieves a neutral climate impact about 155 years earlier than restoration after a 20-year delay. In contrast, IPCC Tier 1 emission factors based on a wide range of rewetting activities display a continually positive radiative forcing, even with prompt rewetting. »

[Thesis | Carbon cycling at a post-extraction restored peatland: Small-scale processes to global climate impacts | ID: gf06g677g | eScholarship@McGill](#)

Titre : **Carbon Accumulation in Freshwater Marsh Soils: a Synthesis for Temperate North America**

Loder, A.L. et S.A. Finkelstein (2020). «Carbon Accumulation in Freshwater Marsh Soils: a Synthesis for Temperate North America». *Wetlands*, vol. 40, p. 1173–1187. doi: <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01264-6>.

Aperçu	Les auteurs de l'article font une synthèse des stocks de carbone et des taux de séquestration dans les marais d'eau douce de l'Amérique du Nord, y compris dans des sites comprenant des marais sur sol organique. Ces derniers sont définis comme des tourbières selon la législation au Québec.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Marais
Région(s)	Canada et États-Unis
Mots-clés	Stock, méthode de datation, paléoécologie, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Freshwater marshes are prevalent in North America, yet their soil carbon stocks remain poorly quantified. To better understand these stocks, and rates of carbon accumulation over short and long timescales, we synthesize available data on soil properties and rates of carbon accumulation in freshwater marshes in the temperate region of North America. Our findings suggest that freshwater marshes are not defined consistently, and that wetland classification schemes may undervalue presumed carbon stocks in freshwater marsh soils. Rates of carbon accumulation in freshwater marshes are often measured over recent time scales (last 50–100 years); these short-term rates are on average (\pm SD) 155 ± 74 g C m⁻² yr⁻¹ in temperate North America. Long-term rates of carbon accumulation (measured over centuries and millennia) are on average 51 ± 38 g C m⁻² yr⁻¹ yet infrequently measured. Our synthesis of rates of carbon accumulation and vertical accretion, bulk densities, and organic carbon contents suggests that freshwater marshes are accumulating carbon at comparable rates to salt marshes over short timescales and temperate peatlands over longer timescales. These timescales need to be clearly defined in order to improve estimates of the capacity for freshwater marshes to be net carbon sinks presently and in the future. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-019-01264-6>

Titre : **Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration**

Taillardat, P., Thompson, B. S., Garneau, M., Trottier, K. et D. A. Friess (2020). « Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration ». *Interface Focus*, vol. 10. doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rsfs.2019.0129>

Aperçu	L'article présente une méta-analyse des dynamiques du carbone et des flux de gaz à effet de serre dans les milieux humides naturels et restaurés. Les auteurs offrent une comparaison de différentes mesures utilisées pour évaluer l'effet net d'un écosystème sur le climat.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, puits, source, changements climatiques, restauration écologique, solution basée sur la nature

Résumé provenant de la référence

« The cost-effective mitigation of climate change through nature-based carbon dioxide removal strategies has gained substantial policy attention. Inland and coastal wetlands (specifically boreal, temperate and tropical peatlands; tundra; floodplains; freshwater marshes; saltmarshes; and mangroves) are among the most efficient natural long-term carbon sinks. Yet, they also release methane (CH₄) that can offset the carbon they sequester. Here, we conducted a meta-analysis on wetland carbon dynamics to (i) determine their impact on climate using different metrics and time horizons, (ii) investigate the cost effectiveness of wetland restoration for climate change mitigation, and (iii) discuss their suitability for inclusion in climate policy as negative emission technologies. Depending on metrics, a wetland can simultaneously be a net carbon sink (i.e. boreal and temperate peatlands net ecosystem carbon budget = $-28.1 \pm 19.13 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$) but have a net warming effect on climate at the 100 years time-scale (i.e. boreal and temperate peatland sustained global warming potential = $298.2 \pm 100.6 \text{ gCO}_2 \text{ eq}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$). This situation creates ambivalence regarding the effect of wetlands on global temperature. Moreover, our review reveals high heterogeneity among the (limited number of) studies that document wetland carbon budgets. We demonstrate that most coastal and inland wetlands have a net cooling effect as of today. This is explained by the limited CH₄ emissions that undisturbed coastal wetlands produce, and the long-term carbon sequestration performed by older inland wetlands as opposed to the short lifetime of CH₄ in the atmosphere. Analysis of wetland restoration costs relative to the amount of carbon they can sequester revealed that restoration is more cost-effective in coastal wetlands such as mangroves (US\$1800 ton C⁻¹) compared with inland wetlands (US\$4200–49 200 ton C⁻¹). We advise that for inland wetlands, priority should be given to conservation rather than restoration; while for coastal wetlands, both conservation and restoration may be effective techniques for climate change mitigation. »

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsfs.2019.0129>

Titre : **Natural climate solutions for Canada**

Drever, C. R., Cook-Patton, S. C., Akhter, F., Badiou, P. H., Chmura, G. L., Davidson, S. J., Desjardins, R. L., Dyk, A., Fargione, J. E., Fellows, M., Filewod, B., Hessing-Lewis, M., Jayasundara, S., Keeton, W. S., Kroeger, T., Lark, T. J., Le, E., Leavitt, S. M., LeClerc, M.-E., Lemprière, T. C., Metsaranta, J., McConkey, B., Neilson, E., St-Laurent, G. P., Puric-Mladenovic, D., Rodrigue, S., Soolanayakanahally, R. Y., Spawn, S. A., Strack, M., Smyth, C., Thevathasan, N., Voicu, M., Williams, C. A., Woodbury, P. B., Worth, D. E., Xu, Z., Yeo, S. et W. A. Kurz (2021). « Natural climate solutions for Canada ». *Sci. Adv.*, vol. 7, n° 23, doi: 10.1126/sciadv.abd6034.

Aperçu	L'article présente une évaluation, à l'échelle du Canada, de 24 solutions basées sur la nature pour atténuer les changements climatiques, dont la conservation et la restauration des rives et de différents types de milieux humides. Au-delà des résultats pour le Canada, l'étude présente une approche méthodologique qui peut être adaptée à d'autres échelles afin d'évaluer les gains pouvant résulter d'actions de conservation et de restauration.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide, rive
Région(s)	Canada
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, changements climatiques, restauration écologique, solution basée sur la nature

Résumé provenant de la référence

« Alongside the steep reductions needed in fossil fuel emissions, natural climate solutions (NCS) represent readily deployable options that can contribute to Canada's goals for emission reductions. We estimate the mitigation potential of 24 NCS related to the protection, management, and restoration of natural systems that can also deliver numerous co-benefits, such as enhanced soil productivity, clean air and water, and biodiversity conservation. NCS can provide up to 78.2 (41.0 to 115.1) Tg CO₂e/year (95% CI) of mitigation annually in 2030 and 394.4 (173.2 to 612.4) Tg CO₂e cumulatively between 2021 and 2030, with 34% available at ≤CAD 50/Mg CO₂e. Avoided conversion of grassland, avoided peatland disturbance, cover crops, and improved forest management offer the largest mitigation opportunities. The mitigation identified here represents an important potential contribution to the Paris Agreement, such that NCS combined with existing mitigation plans could help Canada to meet or exceed its climate goals. »

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abd6034>

Titre : **Total aquatic carbon emissions across the boreal biome of Québec driven by watershed slope**

Casas-Ruiz, J. P., Hutchins, R. H. S. et P. A. del Giorgio. (2021). «Total aquatic carbon emissions across the boreal biome of Québec driven by watershed slope». *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 126. doi: e2020JG005863.<https://doi.org/10.1029/2020JG005863>

Aperçu	Les auteurs estiment les émissions de carbone de quatorze bassins versants de différentes tailles situés dans la zone boréale du Québec. La superficie d'eau libre a peu d'effet sur les émissions, et c'est plutôt la topographie qui est le facteur explicatif.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu hydrique
Région(s)	Québec
Mots-clés	Cycle biogéochimique, flux, bassin versant, modélisation

Résumé provenant de la référence

« Inland waters emit large amounts of CO₂ and CH₄ to the atmosphere, partially offsetting the sequestration of carbon in terrestrial ecosystems. However, the incorporation of inland waters into landscape carbon budgets remains challenging, hampered by a lack of studies that consider both carbon gases and the variety of aquatic systems (streams, rivers, and lakes). Here we develop a whole-network assessment of total aquatic carbon emissions for a set of large watersheds in boreal Québec, Canada. Expressed per unit watershed area, our estimates of total (CO₂ + CH₄) aquatic carbon emissions range between 11 and 38 g C m⁻² yr⁻¹ and cannot be predicted from the size of the watershed or the total surface area of aquatic systems. Rather, we show that total aquatic emissions vary across the boreal landscape of Québec as a function of the average slope of the watershed, which indirectly accounts for the configuration of aquatic networks, the physical forcing that influences gas exchange in fluvial systems, and the potential amount of soil carbon reaching aquatic systems. Total aquatic carbon emissions in boreal Québec are of the same range and magnitude of variation than other components of the boreal carbon budget and could offset terrestrial net ecosystem productivity by as much as 38%. »

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JG005863>

Titre : **A globally robust relationship between water table decline, subsidence rate, and carbon release from peatlands**

Ma, L., Zhu, G., Chen, B., Zhang, K., Niu, S. Wang, J., Ciais, P. et H. Zuo. (2022). «A globally robust relationship between water table decline, subsidence rate, and carbon release from peatlands». *Communications Earth and Environment*, vol. 3, p. 254. doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00590-8>.

Aperçu	Les auteurs de l'article proposent une synthèse des données sur l'effet du drainage des tourbières sur les stocks de carbone et identifient les principaux facteurs entraînant des variations dans le cycle biogéochimique.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, perturbation, changements climatiques, restauration écologique, solution basée sur la nature

Résumé provenant de la référence

« Peatland ecosystems are globally important carbon stores. Disturbances, such as drainage and climate drying, act to lower peatland water table depths, consequently enhancing soil carbon release and subsidence rates. Here, we conduct a global meta-analysis to quantify the relationship among water table depth, carbon release and subsidence. We find that the water table decline stimulated heterotrophic, rather than autotrophic, soil respiration, which was associated with an increase in subsidence rate. This relationship held across different climate zones and land uses. We find that 81% of the total annual soil respiration for all drained peatlands was attributable to tropical peatlands drained for agriculture and forestry and temperate peatlands drained for agriculture. Globally, we estimate that, drained peatlands release 645 Mt C yr⁻¹ (401–1025 Mt C yr⁻¹) through soil respiration, equivalent to approximately 5% of global annual anthropogenic carbon emissions. Our findings highlight the importance of conserving pristine peatlands to help mitigate climate change. »

[A globally robust relationship between water table decline, subsidence rate, and carbon release from peatlands | Communications Earth & Environment \(nature.com\)](https://doi.org/10.1038/s43247-022-00590-8)

Titre : **Can Restoration of Freshwater Mineral Soil Wetlands Deliver Nature-Based Climate Solutions to Agricultural Landscapes?**

Creed, I., Badiou, F. P., Enanga, E., Lobb, D. A., Pattison-Williams, J. K., Lloyd-Smith, P. et M. Gloutney (2022). « Can Restoration of Freshwater Mineral Soil Wetlands Deliver Nature-Based Climate Solutions to Agricultural Landscapes? ». *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 10. doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.932415>.

Aperçu	L'étude contribue à évaluer le potentiel de séquestration du carbone des milieux humides restaurés dans un paysage agricole. La restauration de milieux humides apporte des bénéfices après 25 ans sur le plan du carbone, alors que la conservation de milieux humides naturels engendre des bénéfices immédiats. L'étude aborde également les aspects financiers de la conservation et de la restauration.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Étang, marais, marécage
Région(s)	Canada (Ontario)
Mots-clés	Cycle biogéochimique, restauration écologique, solution basée sur la nature, occupation agricole, aménagement du territoire, valeur économique

Résumé provenant de la référence

« This study advances scientific understanding of the magnitude of carbon sequestration that could be achieved through conservation (securing existing carbon stocks) and restoration (creating new carbon stocks) of freshwater mineral soil wetlands on agricultural landscapes. Within an agricultural landscape in southern Ontario (Canada), 65,261 wetlands comprising 63,135 ha were lost. Of these, 6,899 wetlands comprising 5,198 ha were “easy-to-restore” wetlands, defined as wetlands that were small (<0.5 ha), with no hydrological inflow or outflow, and that were drained by a drainage ditch and could be restored by plugging the drainage ditch. Within these easy-to-restore wetlands, a chronosequence of wetlands that covered a range of restoration ages [i.e., drained (0 years), 15 years, 25 years, 40 years, and intact marshes] was established to capture potential changes in rates of sedimentation and organic carbon (OC) sequestration with restoration age. Three sediment cores were collected at the center of the open-water portion of the wetland and segmented in the field. In the lab, each individual segment from each core was dried, sieved through a 2-mm mesh, weighed and analyzed for ^{137}Cs and ^{210}Pb radioisotopes and OC. OC stocks (35.60 Mg ha^{-1}) and OC sequestration rates ($0.89 \text{ Mg C ha}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) in wetlands restored for 40 years were comparable to if not marginally larger than intact wetlands, suggesting that restoration promotes OC sequestration but that an initial recovery phase of up to 25 years or more is needed before returning to a pre-drainage equilibrium. An economic analysis to compare the costs and benefits of wetland conservation and restoration was then conducted. The benefit-cost analysis revealed that the financial benefits of carbon sequestration are greater than the financial costs over a 30-year time horizon for retaining wetlands but not for restoring wetlands. The breakeven costs such that wetland restoration is economically feasible based on current carbon price projections is estimated to be $\$17,173 \text{ CAD ha}^{-1}$ over the 30-year time horizon; any wetland restoration project that costs this amount or less could be justified on economic grounds based solely on the carbon benefits. This study's findings indicate that wetlands are important nature-based climate solutions, but that incentivizing their use through a carbon market will require either scientific innovations to reduce restoration costs or increase carbon sequestration rates, or stacking carbon benefits with other ecosystem service benefits into a comprehensive market for nature-based climate solutions. »

<https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2022.932415/full>

Titre : **The essential carbon service provided by northern peatlands**

Harris, L. I., Richardson, K., Bona, K. A., Davidson, S. J., Finkelstein, S. A., Garneau, M., McLaughlin, J., Nwaishi, F., Olefeldt, D., Packalen, M., Roulet, N. T., Southee, F. M., Strack, M., Webster, K. L., Wilkinson, S. L. et J. C. Ray. (2022). «The essential carbon service provided by northern peatlands ». *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 20, n° 4, p. 222–230. doi:10.1002/fee.2437.

Aperçu	L'article dresse un portrait des tourbières canadiennes et de leur importance pour le climat. Plusieurs recommandations d'actions par différents ordres de gouvernement sont faites pour mieux protéger les tourbières au Canada.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Tourbière
Région(s)	Canada
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, sol organique, perturbation, aménagement du territoire, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Northern peatlands have cooled the global climate by accumulating large quantities of soil carbon (C) over thousands of years. Maintaining the C sink function of these peatlands and their immense long-term soil C stores is critical for achieving net-zero global carbon dioxide (CO₂) emissions by 2050 to mitigate climate warming. One-quarter of the world's northern peatlands are in Canada, with these mostly intact ecosystems providing a global C service that is increasingly recognized as a critical part of nature-based solutions to combat climate change. However, land-use change and other disturbances threaten these globally important stores of "irrecoverable C" (that is, soil C lost to disturbance that will take centuries to recover). Inadequate policy safeguards to avoid conversion and degradation, and the limited quantification and reporting of peatland greenhouse-gas emissions and removals, increase the vulnerability of these peatlands. Targeted policies from local to global scales will be needed for improved decision making and incentivizing long-term C management of northern peatlands. »

[The essential carbon service provided by northern peatlands - Harris - 2022 - Frontiers in Ecology and the Environment - Wiley Online Library](#)

Titre : **The unrecognized importance of carbon stocks and fluxes from swamps in Canada and the USA**

Davidson, S. J., Dazé, E., Byun, E., Hiler, D., Kangur, M., Talbot, J., Finkelstein, S. A. et M. Strack (2022). « The unrecognized importance of carbon stocks and fluxes from swamps in Canada and the USA ». *Environmental Research Letters*, vol. 17, n° 5, doi: doi.org/10.1088/1748-9326/ac63d5.

Aperçu	L'article présente une méta-analyse sur les dynamiques du carbone dans les milieux humides boisés et arbustifs, soient les marécages et les tourbières boisées.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Marécage, tourbière
Région(s)	Canada et États-Unis
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, qualité des sols, milieu forestier, productivité, biomasse

Résumé provenant de la référence

« Swamps are a highly significant wetland type in North America both in terms of areal extent and their role in terrestrial carbon cycling. These wetlands, characterized by woody vegetation cover, encompass a diverse suite of ecosystems, including broad-leaved, needle-leaved, mixedwood or shrub/thicket swamps. Uncertainties in the role of swamps in carbon uptake and release continue to be substantial due to insufficient data on variabilities in carbon densities across diverse swamp types and relatively few flux measurements from swamp sites. Robust measurements of rates of vertical accretion of swamp soils and the associated long-term rates of carbon accumulation, alongside measurements of carbon losses from swamps, are needed for emerging frameworks for carbon accounting, and for assessments of the impacts of climate warming and land use change on this important wetland type. Based on data compilation, we present here a comparative analysis from a series of North American swamp sites on carbon dioxide, methane and dissolved organic carbon fluxes, aboveground biomass, net primary productivity (NPP), and soil carbon properties including bulk densities, organic carbon contents, peat depths, rates of vertical accretion, and rates of long-term carbon accumulation. We compare these properties for four major swamp types: needle-leaved, broad-leaved, mixedwood and shrub/thicket swamps. We show differences in carbon fluxes, biomass and NPP across the four types, with broad-leaved swamps having the largest CH₄ flux, highest soil bulk densities, thinnest peat depths and lowest soil organic matter contents, whereas needle-leaved swamps have the smallest CH₄ flux, highest aboveground biomass and highest NPP. We show high soil carbon stocks (kg C m⁻²) in all types of swamps, even those where organic deposits were too shallow to meet the definition of peat. However, we note there is a significant lack of studies focused on swamp carbon dynamics despite their abundance across Canada and the United States. »

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac63d5>

Titre : **Practical Guide to Measuring Wetland Carbon Pools and Fluxes**

Bansal, S., Creed, I. F., Tangen, B. A. et collaborateurs. (2023). « Practical Guide to Measuring Wetland Carbon Pools and Fluxes ». *Wetlands*, vol. 43, n° 105. doi:<https://doi.org/10.1007/s13157-023-01722-2>

Aperçu	Les auteurs présentent une revue de littérature complète détaillant les différents flux et réservoirs de carbone dans les milieux humides et les méthodes qui peuvent être utilisées par les chercheurs pour les quantifier.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, qualité des sols, qualité de l'eau, méthodologie

Résumé provenant de la référence

« Wetlands cover a small portion of the world, but have disproportionate influence on global carbon (C) sequestration, carbon dioxide and methane emissions, and aquatic C fluxes. However, the underlying biogeochemical processes that affect wetland C pools and fluxes are complex and dynamic, making measurements of wetland C challenging. Over decades of research, many observational, experimental, and analytical approaches have been developed to understand and quantify pools and fluxes of wetland C. Sampling approaches range in their representation of wetland C from short to long timeframes and local to landscape spatial scales. This review summarizes common and cutting-edge methodological approaches for quantifying wetland C pools and fluxes. We first define each of the major C pools and fluxes and provide rationale for their importance to wetland C dynamics. For each approach, we clarify what component of wetland C is measured and its spatial and temporal representativeness and constraints. We describe practical considerations for each approach, such as where and when an approach is typically used, who can conduct the measurements (expertise, training requirements), and how approaches are conducted, including considerations on equipment complexity and costs. Finally, we review key covariates and ancillary measurements that enhance the interpretation of findings and facilitate model development. The protocols that we describe to measure soil, water, vegetation, and gases are also relevant for related disciplines such as ecology. Improved quality and consistency of data collection and reporting across studies will help reduce global uncertainties and develop management strategies to use wetlands as nature-based climate solutions. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-023-01722-2>

Titre : **Carbon in non-forested wetlands of the Midwest and Eastern United States: a primer**

Keller, A.B. and Handler, S. 2024. Carbon in non-forested wetlands of the Midwest and Eastern United States: a primer. Technology Transfer. Houghton, MI, U.S. et Department of Agriculture, Northern Forests Climate Hub, Northern Institute of Applied Climate Science. 6 p. [Rapport produit avec l'appui du U. S. Department of Agriculture, USDA Forest Service and The Nature Conservancy].

Aperçu	La fiche présente les notions de base sur la dynamique du carbone dans les milieux humides ouverts. Une attention particulière est accordée à l'importance de ces écosystèmes.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, sol organique, changements climatiques, aménagement du territoire, perturbation

Résumé provenant de la référence

« Wetlands make up a small percentage of total land area in the United States, but they store a disproportionate amount of carbon largely due to their unique hydrology. Wetlands of the Midwest and Eastern regions are comprised of both mineral soil wetlands and organic soil wetlands (peatlands) and store a significant proportion of all wetland carbon in the contiguous United States. This primer provides a basic summary of how carbon is stored and moves through these wetlands and how climate change and management may interact with site conditions to alter wetland carbon cycling. »

<https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northern-forests/carbon-non-forested-wetlands-midwest-and-eastern-united-states-primer>

Titre : **Guide d'inventaire pour l'estimation des stocks de carbone dans les milieux humides - version mai 2024**

Magnan, G., M. Garneau, L. Perrier, J. Beaulne, N.K. Sanderson, G. Primeau, D. Lachance (2024). Guide d'inventaire pour l'estimation des stocks de carbone dans les milieux humides – version mai 2024, Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction des milieux humides, 20 p. + annexes.

Aperçu	Le guide présente une méthode terrain simple pour estimer la quantité de carbone stockée dans les milieux humides.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Stock, méthodologie

Résumé provenant de la référence

« Cette section présente une méthode visant à quantifier le carbone entreposé dans les différents milieux humides du Québec (zones tempérées et boréales non-pergélisolées). À partir de mesures effectuées sur le terrain, cette méthode permet d'obtenir des valeurs de masses de carbone aux stations d'inventaire et d'estimer les stocks à l'échelle des milieux humides. Cette méthode permet d'uniformiser la collecte et la synthèse des données sur les stocks de carbone et son application permettra, à moyen terme, de mieux comprendre la fonction de séquestration de carbone des milieux humides. »

[Guide d'inventaire pour l'estimation des stocks de carbone dans les milieux humides \(gouv.qc.ca\)](https://gouv.qc.ca/)

Titre : **New perspectives on temperate inland wetlands as natural climate solutions under different CO₂-equivalent metrics**

Ma, L., Creed, I. F. et P. Badio. (2024). «New perspectives on temperate inland wetlands as natural climate solutions under different CO₂-equivalent metrics». *Climate and Atmospheric Science*, vol. 7, n° 222. doi: <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00778-z>

Aperçu	L'article présente une analyse de l'effet des marais naturels sur le climat, ainsi que les effets du drainage et de la restauration de marais. Une synthèse des données sur les flux de gaz à effet de serre de marais d'eau douce en Amérique du Nord est incluse, de même qu'une comparaison des différentes méthodes employées pour comparer les effets opposés de captation de dioxyde de carbone (CO ₂) et d'émission de méthane (CH ₄) par les milieux humides.
Fonction(s)	Séquestration de carbone
Type(s) de MHH	Marais
Région(s)	Canada et États-Unis
Mots-clés	Cycle biogéochimique, stock, flux, modélisation, changements climatiques, perturbation, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« There is debate about the use of wetlands as natural climate solutions due to their ability to act as a “double-edged sword” with respect to climate impacts by both sequestering CO₂ while emitting CH₄. Here, we used a process-based greenhouse gas (GHG) perturbation model to simulate wetland radiative forcing and temperature change associated with wetland state conversion over 500 years based on empirical carbon flux measurements, and CO₂-equivalent (CO₂-e.q.) metrics to assess the net flux of GHGs from wetlands on a comparable basis. Three CO₂-e.q. metrics were used to describe the relative radiative impact of CO₂ and CH₄—the conventional global warming potential (GWP) that looks at pulse GHG emissions over a fixed timeframe, the sustained-flux GWP (SGWP) that looks at sustained GHG emissions over a fixed timeframe, and GWP* that explicitly accounts for changes in the radiative forcing of CH₄ over time (initially more potent but then diminishing after about a decade)—against model-derived mean temperature profiles. GWP* most closely estimated the mean temperature profiles associated with net wetland GHG emissions. Using the GWP*, intact wetlands serve as net CO₂-e.q. carbon sinks and deliver net cooling effects on the climate. Prioritizing the conservation of intact wetlands is a cost-effective approach with immediate climate benefits that align with the Paris Agreement and the Intergovernmental Panel on Climate Change timeline of net-zero GHG emissions by 2050. Restoration of wetlands also has immediate climate benefits (reduced warming), but with the majority of climate benefits (cooling) occurring over longer timescales, making it an effective short and long-term natural climate solution with additional co-benefits. »

[New perspectives on temperate inland wetlands as natural climate solutions under different CO₂-equivalent metrics | npj Climate and Atmospheric Science \(nature.com\)](#)

Qualité des paysages

La section suivante est associée à ce libellé provenant de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés – version de septembre 2024 :

13.1. Le ministre peut définir les orientations fondamentales d'une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

Il élabore et propose également au gouvernement les orientations ainsi que les objectifs à poursuivre en matière de protection des milieux humides et hydriques, de manière à assurer et mettre en valeur les différents bénéfices résultant de la présence de ces milieux, notamment par leurs fonctions :

[...]

6° liées à la qualité du paysage, en permettant la conservation du caractère naturel d'un milieu et des attributs des paysages associés, contribuant ainsi à la valeur des terrains voisins [...].

Titre : **The influence of wetland type and wetland proximity on residential property values**

Doss, C. R., et S. J. Taff (1996). « The influence of wetland type and wetland proximity on residential property values ». *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 21, n° 1., p. 120-129. doi: <https://www.jstor.org/stable/40986902>.

Aperçu	Les auteurs présentent une étude du prix des maisons en fonction de la proximité d'un milieu humide et du type de milieu humide. Malgré que l'étude date de plusieurs décennies, elle présente un point de vue intéressant quant à l'occupation résidentielle en milieu naturel.
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	États-Unis
Mots-clés	Qualité visuelle, valeur économique, occupation urbaine

Résumé provenant de la référence

« Using detailed residential housing and wetland location data, we determine relative preferences for proximity to four broad classes of wetlands, as expressed through housing values. Implicit prices for proximity to open-water and scrub-shrub wetlands are relatively higher than those for emergent- vegetation and forested wetlands. »

https://www.researchgate.net/publication/23942410_The_Influence_of_Wetland_Type_and_Wetland_Proximity_on_Residential_Property_Values

Titre : **Public aesthetic preferences to inform sustainable wetland management in Victoria, Australia**

Dobbie, M. F. (2013). «Public aesthetic preferences to inform sustainable wetland management in Victoria, Australia », *Landscape and Urban Planning*, vol. 120, p. 178-189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.08.018>.

Aperçu	Les auteurs ont évalué la préférence des participants quant à la structure des milieux humides. Il y a un lien entre les préférences et les attributs esthétiques des milieux humides. Les prédicteurs de la préférence étaient la perception d'intégrité des milieux humides, la complexité, l'ordre dans la structure et le caractère naturel perçu.
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Australie
Mots-clés	Qualité visuelle, valeur sociale, conservation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Wetlands are an important landscape element in the sustainable city, providing valuable ecosystem services that can be harnessed in alternative urban water management systems. To ensure sustainable wetland management, community preferences for wetlands in (sub)urban landscapes must be understood. Thus, public aesthetic preferences were examined for freshwater wetlands in Victoria, Australia. A simple rating methodology was applied, in which wetland images (N = 70) were rated for preference and selected connotative perceptual constructs on a 7-point modified Likert scale by participants (N = 241) recruited from community groups in Melbourne, Victoria's capital city. Data reduction analyses revealed preference categories and associated dimensions of preference, i.e. aesthetically relevant attributes. Statistical analyses related preference to the perceptual constructs as predictors and to respondents' sociodemographic variables and their familiarity with wetlands. There were five wetland preference categories, with increasing preference from 'brown grasslands', 'green grasslands', 'wetlands with emergent vegetation', 'wetlands with open water' and 'treed wetlands'. Wetland attributes that defined preference were presence of trees, amount of water and perceived wetland health, in turn defined by water quality, vegetation lushness and relative proportions of land and water. Predictors of preference were perceived wetland health, complexity, orderliness and perceived naturalness. Preference for least preferred wetlands increased with respondents' familiarity with wetlands. These results can inform sustainable wetland management, by suggesting how their aesthetic appreciation can be increased through inclusion of aesthetically relevant attributes, when compatible with environmental goals, or provision of site interpretation and education programs to promote familiarity. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204613001795?via%3Dihub>

Titre : **Développement d'un système d'aide à la décision pour la conservation des milieux humides : cas de métapopulation et d'intégrité écologique du paysage.**

Charland, Alexandre. Développement d'un système d'aide à la décision pour la conservation des milieux humides : cas de métapopulation et d'intégrité écologique du paysage. Mémoire (M. A.), Université de Sherbrooke, 2017, 86 p.

Aperçu	L'auteur de l'essai tente d'agrèger différentes sources géomatiques et des connaissances du territoire à l'échelle du paysage afin de fournir des outils d'aide à la décision orientés vers une gestion du territoire responsable et la planification de la conservation des milieux humides.
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Québec
Mots-clés	Conservation, priorisation, planification, outil géomatique, outil d'aide à la décision, méthodologie

Résumé provenant de la référence

« Cet essai s'inscrit dans le cadre d'un projet offert à l'Université de Sherbrooke par le Service canadien de la faune (SCF) d'Environnement Canada. L'orientation des travaux de cet essai a pris place à travers le-dit projet nécessitant la conception et le développement d'un système d'information géographique (SIG) à code ouvert et libre afin de soutenir les situations complexes en matière de données géospatiales dans le contexte de la gestion des milieux humides et de la conservation de la faune et de la flore. Ce système vise à offrir aux gestionnaires de l'information agrégée à partir de multiples données géospatiales afin de mieux comprendre les risques relatifs aux milieux naturels, puis, d'être en mesure de mettre en place les politiques adéquates en connaissance de cause. La phase 1 du projet avait pour objectif de créer une plateforme géographique interactive permettant l'accessibilité à une large quantité de données spatiales de multiples sources et formats. Un prototype exploratoire a été conçu et développé en ce sens. Dans cette phase, la conception et le développement du SIG prototype a débuté en 2015 et s'est terminée en mars 2016. Cet essai poursuit l'évolution d'un SIG prototype (phase 1 du projet) développé à l'Université de Sherbrooke sur financement d'Environnement Canada. Les milieux humides représentent l'un des éléments naturels les plus importants et les plus complexes du paysage (Pellerin, 2013). Leur conservation nécessite la prise en compte d'une multitude d'aspects interdépendants dont de nombreux processus de changements s'opèrent perpétuellement entre ces aspects (Fryxell, 2014 ; Erwin, 2008). Cette nécessité complexifie la compréhension du territoire et les gestionnaires doivent y faire face (Divay, 2008). Ainsi, il est difficile pour un gestionnaire responsable de la planification de la conservation de prendre des décisions en connaissance de cause sans disposer d'un portrait précis de la situation du territoire concerné. Dans l'objectif d'obtenir un état de la situation conforme à la réalité, un grand nombre de couches de données touchant de près ou de loin les milieux humides doivent être consultées, voire traitées. Or, le gestionnaire doit intégrer les finalités, enjeux et besoins de multiples parties prenantes n'appartenant pas à une seule et même organisation (Divay, 2008). Les pourvoyeurs de ces données comprennent différents ministères à travers tous les paliers gouvernementaux et divers organismes responsables de la caractérisation, de l'évaluation et de la planification de la conservation des milieux humides au Canada. L'ensemble des données se caractérise par une variabilité qualitative et quantitative importante. Il se compose aussi de structures diverses et irrégulières, d'échelles spatiales disparates, d'étendues temporelles inconsistantes et de nombreux formats différents. Ainsi, l'hétérogénéité et la dissémination déficiente de ces données complexifient la prise de décision (Guay, 2015). Cet essai représente la seconde phase dans laquelle la conception et le développement offriront une évolution du SIG prototype vers l'intégration de géotraitements et fait suite aux recommandations d'Environnement Canada. Les objectifs spécifiques sont : - intégrer le principe de géotraitements accessibles en ligne, - intégrer des données hétérogènes provenant de différentes sources, - mettre en œuvre le principe d'interopérabilité, - permettre l'évolution du système en se fondant sur le principe de systèmes à code ouvert, - mettre en place des outils d'aide à la décision orientés vers la gestion du territoire - responsable et la planification de la conservation des milieux humides. »

<https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/11073>

Titre : **Environmental heterogeneity as a bridge between ecosystem service and visual quality objectives in management, planning and design**

Dronova, I. (2017). « Environmental heterogeneity as a bridge between ecosystem service and visual quality objectives in management, planning and design ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 163, p. 90-106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.03.005>.

Aperçu	La revue de littérature aborde différentes dimensions de l'hétérogénéité environnementale, présentant certains cas de figure qui concernent des milieux humides. Leur capacité d'offrir une bonne qualité visuelle et le lien vers d'autres services écologiques fournis par ces milieux sont explorés. Les auteurs concluent en identifiant les stratégies clés et les besoins de recherche pour faciliter l'application du concept d'hétérogénéité environnementale vers des paysages multifonctionnels soutenant des services écosystémiques polyvalents.
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Qualité visuelle, multifonctionnalité, hétérogénéité, résilience, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Environmental heterogeneity has recently received increased attention due to its effect on biological diversity, ecosystem services and ecological resilience to disturbance and hazards. However, its relationships with landscape complexity as an indicator of visual aesthetic quality have not been yet extensively discussed. The purpose of this paper is to review different dimensions of environmental heterogeneity and to explore their potential for bridging visual quality with provision of other ecosystem services and resilience in landscape design, management and planning. This synthesis reveals the substantial overlap between spatial and temporal indicators of heterogeneity from ecological literature and the indicators of visual complexity, diversity and variety from the studies of subjective preferences and objective scenic beauty criteria. The potential of heterogeneity is also reviewed in the context of the relationship between visual quality and ecological resilience to perturbations, an increasingly important objective in the face of the global environmental change. The limitations of heterogeneity as a design and management goal are also discussed, including links between heterogeneity and disturbance, undesirable outcomes of excessive landscape complexity and present lack of criteria for its optimal levels. The synthesis concludes by identifying the key strategies and research needs to facilitate the application of this concept towards multi-functional landscapes supporting versatile ecosystem services together with scenic priorities. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204617300592>

Titre : **A Methodology to Quantify the Topographic Characteristics of Wetland Landscapes**

Branton, Collin Edward. A Methodology to Quantify the Topographic Characteristics of Wetland Landscapes. Mémoire (M. A.), University of Waterloo, 2018, 107p.

Aperçu	Le mémoire a montré l'importance des caractéristiques topographiques environnantes des milieux humides. En tenant compte des éléments topographiques dans le paysage, la restauration écologique des milieux humides devient plus réaliste et permet de mieux cibler les objectifs et de rendre la démarche efficace. La méthode développée permet aussi la comparaison de ces caractéristiques dans deux milieux humides distincts.
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Canada (région des Prairies)
Mots-clés	Qualité visuelle, paysage, connectivité, topographie, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« Topography underpins natural processes ranging from incident solar radiation at a location to overland flow and water pooling. Despite the influence of topography on natural processes and subsequent ecosystem function, especially in wetland ecosystems reliant on surrounding topography for water inputs, topography has not been adequately incorporated into reclamation planning and permit closure requirements. Instead, wetland restoration and reclamation projects are typically guided by simple height-to-length ratios that produce little variation or resemblance to natural wetlands. We present a methodology to quantify the topographic characteristics in wetland landscapes to guide the creation of naturally appearing and self-sustaining reclaimed wetland landscapes. Topographic characteristics in 3,434 1km² sample landscapes were quantified using terrain roughness and landform element composition and configuration. A large set of metrics were reduced to a parsimonious subset that was applied across three natural regions and a gradient of disturbance. Nonparametric statistical tests were used to compare landscapes across these two dimensions. We found that landscape-scale topographic characteristics can be represented by five roughness metrics and seven landform element pattern metrics. These metrics demonstrate that surface roughness and landform element patterns significantly differ among natural regions and that high disturbance landscapes significantly differ from other disturbance levels. Wetland reclamation plans should replicate the topographic characteristics found in the surrounding natural landscape. To do so, topographic characteristic benchmarks are required for reclamation design and regulatory approval of closure permits. The presented methodology and resulting metric values can be used as a step towards achieving this goal.

[A Methodology to Quantify the Topographic Characteristics of Wetland Landscapes \(uwaterloo.ca\)](https://uwaterloo.ca)

Titre : **Scenic beauty evaluation of plant landscape in Yunlong Lake wetland park of Xuzhou City, China**

Tan, X. et Y. Peng. (2020). « Scenic beauty evaluation of plant landscape in Yunlong Lake wetland park of Xuzhou City, China ». *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13. doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05626-x>.

Aperçu	Les auteurs évaluent la beauté des différents paysages observables dans les milieux humides en utilisant la méthode SBE (scenic beauty evaluation) et analysent les facteurs affectant la beauté du paysage en milieu humide
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Chine
Mots-clés	Qualité visuelle, valeur sociale, valeur culturelle, conservation, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« The plant landscape of Yunlong Lake wetland park in Xuzhou city was studied in this paper, 57 plant landscape photos were evaluated with SBE (scenic beauty evaluation) method, and the factors affecting the scenic beauty were analyzed. The results showed that (1) there was significant correlation between different evaluation groups on the scenic beauty of plant landscape; however, the convergence of different people in the evaluation of "beautiful" plant landscape was significantly higher than that of "ugly" plant landscape. (2) According to the comprehensive SBE mean values of 57 plant landscape photos, 31 were negative and 26 were positive. The order of SBE mean values of different types was plant landscape beside buildings or sketches (0.1882) > plant landscape on both sides of the roads (0.1667) > waterfront plant landscape (- 0.0085) > typical plant community (- 0.1729); the k-mean clustering grouped 57 photos of plant landscape into 5 categories: the proportion of "excellent, good, medium, average, and poor" was 5.26%, 24.56%, 29.82%, 26.32%, and 14.04%, respectively. (3) Linear regression analysis showed that the beauty of plant artistic conception was the main factor affecting the SBE of plant landscape. The regression equation was $SBE = - 1.3 + 0.335 \times (\text{plant artistic conception})$. (4) The combination of plants and other landscape sketches was more favored by people; waterfront plant landscape and typical plant communities had a low degree of beauty in Yunlong Lake wetland park, which needed to be matched reasonably to create a better plant artistic conception. »

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-020-05626-x>

Titre : **On the relation between landscape beauty and land cover: A case study in the U.K. at Sentinel-2 resolution with interpretable AI**

Levering, A., Marcos, D. et D. Tuia (2021). « On the relation between landscape beauty and land cover: A case study in the U.K. at Sentinel-2 resolution with interpretable AI ». ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 177, p. 194-203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.04.020>.

Aperçu L'article présente un modèle permettant de déterminer quels milieux du paysage sont susceptibles d'être les plus appréciés par la population du Royaume-Uni à partir de l'imagerie satellite et en utilisant le mode d'apprentissage profond. La présence de milieux humides contribue à la perception positive dans certaines régions.

Fonction(s) Qualité des paysages

Type(s) de MHH Milieu humide

Région(s) Europe

Mots-clés Qualité visuelle, paysage d'intérêt, modélisation, intelligence artificielle

Résumé provenant de la référence

« The environment where we live and recreate can have a significant effect on our well-being. More beautiful landscapes have considerable benefits to both health and quality of life. When we chose where to live or our next holiday destination, we do so according to some perception of the environment around us. In a way, we value nature and assign an ecosystem service to it. Landscape aesthetics, or scenicity, is one such service, which we consider in this paper as a collective perceived quality. We present a deep learning model called ScenicNet for the large-scale inventorisation of landscape scenicity from satellite imagery. We model scenicity with an interpretable deep learning model and learn a landscape beauty estimator based on crowdsourced scores derived from more than two hundred thousand landscape images in the United Kingdom. Our ScenicNet model learns the relationship between land cover types and scenicity by using land cover prediction as an interpretable intermediate task to scenicity regression. It predicts landscape scenicity and land cover from the Corine Land Cover product concurrently, without compromising the accuracy of either task. In addition, our proposed model is interpretable in the sense that it learns to express preferences for certain types of land covers in a manner that is easily understandable by an end-user. Our semantic bottleneck also allows us to further our understanding of crowd preferences for landscape aesthetics. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271621001234>

Titre : **Cultural ecosystem services: A review of methods and tools for economic evaluation**

Romanazzi, G. R., Koto, R. De Boni, A., Palmisano, J.O., Cioffi, M. et R. Roma. (2023). « Cultural ecosystem services: A review of methods and tools for economic evaluation ». *Environmental and Sustainability Indicators*, vol., 20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100304>.

Aperçu	Les auteurs regroupent les diverses méthodes utilisées pour évaluer les services culturels des écosystèmes, y compris la valeur (ou l'absence de valeur) économique de ces services rendus. Les auteurs soulignent l'écart entre la valeur économique des services et leur intégration dans la planification et la prise de décision à différentes échelles et dans différents secteurs, et mettent l'accent sur leur importance dans les politiques de conservation et les programmes de développement durable.
Fonction(s)	Qualité des paysages
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Valeur culturelle, valeur économique, développement durable, infrastructure verte, outil géomatique, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Cultural ecosystem services (CES) are non-material intangible benefits that humans derive from ecosystems, which are indispensable for the well-being of communities and directly influence the quality of life. CES are deeply interconnected to each other and to providing and regulating services, thus influencing everyday life. CES are among the most important values that people associate with nature, but understanding them may be challenging. The definition of CES is both self-evident and elusive, specifically because they consist of the interaction between two dynamic systems: human societies and natural ecosystems. This paper updates the state of the art about CES evaluation methods, underlining the gap between their economic values and their incorporation into planning and decision-making on different scales and in different sectors, and emphasizes their importance in conservation policies and sustainable development programs. This study reviewed 68 articles published between August 2019 and May 2023 from the SCOPUS database, and classified CES assessment into 15 evaluation methods. This review reveals that the choice of CES assessment methodologies has often depended on evaluation purposes. In addition, specific CES classifications are required, since different definitions and unstandardized economic concepts for assigning market values to the CES can lead to conflicting results. The combination of different methods, monetary and non-monetary, can aid better evaluation of CES by focusing on the interaction between different components, and can facilitate the mapping and quantification of social values of ecosystem services. This can help decision-makers to develop sustainable territorial planning and policies. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972723000818>

Titre : **Re-Connecting Wetlands: How Agricultural Drainage Areas Can Improve Landscape Connectivity in Essex County**

Van Ommen, Alanna. Re-Connecting Wetlands: How Agricultural Drainage Areas Can Improve Landscape Connectivity in Essex County. Mémoire (M. A.), University of Guelph, 2020. 116 p.

Aperçu	L'auteur du mémoire applique une méthodologie d'analyse et d'évaluation des paysages à l'aide d'outils géomatiques et propose la conception d'un plan de gestion et d'aménagement des milieux humides à l'échelle du paysage. La méthodologie permet de cibler les milieux humides qui, à la suite de leur restauration, augmenteront la connectivité du bassin versant et la qualité de l'habitat.
Fonction(s)	Qualité des paysages, connectivité, régulation hydrologique
Type(s) de MHH	Marais, marécage
Région(s)	Canada (Ontario)
Mots-clés	Qualité d'habitat, connectivité, fragmentation, occupation agricole, outil géomatique, aménagement du territoire, restauration écologique

Résumé provenant de la référence

« The Essex County landscape faces pressures including agricultural development and urban expansion. Historically, wetlands have been threatened by habitat loss, fragmentation, and water quality degradation, causing a host of problems for wetland species. This study applies a geospatial landscape analysis and evaluation methodology to propose and assess the design of wetland habitat patterns in order to increase habitat quality and dispersal opportunities for wildlife. An analysis of Essex County's Hillman Creek watershed was conducted using ArcGIS software, identifying locations suitable for supporting wetland restoration design and strengthening a wetland connectivity scheme for the watershed. The scheme was evaluated using network circuitry analysis, illustrating its functional connectivity, especially across southeastern parts of the watershed. Results show how a rigorous landscape analysis informs wetland restoration design at the watershed scale and improves a measure of functional connectivity. The research identifies potential for improving and estimating ecological connectivity through evidence-based landscape architecture. »

<https://atrium.lib.uoguelph.ca/server/api/core/bitstreams/7c1542a5-4987-4327-9b7f-e15a64e732d2/content>

Titre : **Urban Wetlands: A Review on Ecological and Cultural Values**

Alikhani, S., Nummi P. et A. Ojala. (2021). « Urban Wetlands: A Review on Ecological and Cultural Values ». *Water*, vol. 13, n° 22, p. 3301. doi: 10.3390/w13223301.

Aperçu	La revue de littérature montre l'importance des milieux humides dans un contexte d'occupation urbaine, en présentant notamment les principaux services écologiques rendus par ces milieux, et intègre la notion de bénéfice culturel et écologique. Les auteurs évoquent le rôle de la recherche scientifique et des décideurs politiques pour la conservation de ces écosystèmes.
Fonction(s)	Qualité des paysages, conservation de la diversité biologique, écran solaire, filtre contre la pollution
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Valeur culturelle, valeur sociale, occupation urbaine, îlot de chaleur, infrastructures vertes et bleues

Résumé provenant de la référence

« Wetlands are a critical part of natural environments that offer a wide range of ecosystem services. In urban areas, wetlands contribute to the livability of cities through improving the water quality, carbon sequestration, providing habitats for wildlife species, reducing the effects of urban heat islands, and creating recreation opportunities. However, maintaining wetlands in urban areas faces many challenges, such as the reduction of hydrological functions, changed water regimes due to barriers, contamination by wastewater, habitat loss due to land-use change, and loss of biodiversity due to the entry of alien species. In this article, we review the theoretical background of wetlands in urban areas through the existing studies in the literature. We provide knowledge on urban wetlands and highlight the benefits of these wetlands in urban areas. These benefits include sustainability, biodiversity, urban heat islands, social perception, and recreation values. We also summarize the objectives, methodologies, and findings of the reviewed articles in five tables. In addition, we summarize the critical research gaps addressed in the reviewed articles. Our review study addresses the research gaps by performing a rigorous analysis to identify significant open research challenges, showing the path toward future research in the field. We further discuss and highlight the role of policymakers and stakeholders in preserving wetlands and finally present our conclusions. »

<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/22/3301>

Titre : **Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods**

Cheng, X., Van Damme, S., Li, L. et P. Uyttenhove. (2019). « Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods ». *Ecosystem Services*, vol. 37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100925>.

Aperçu	La revue de littérature recense, classe, analyse et met en évidence les défis importants liés à diverses méthodes d'évaluation des services culturels des écosystèmes, en utilisant notamment l'exemple d'un milieu humide. Des recommandations sur des méthodes d'analyse sont faites par les auteurs.
Fonction(s)	Valeur culturelle et sociale
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Général
Mots-clés	Qualité visuelle, valeur culturelle, valeur sociale, méthodologie

Résumé provenant de la référence

« Cultural ecosystem services (CES) refer to the nonmaterial benefits people obtain from ecosystems, and they have direct influence on quality of life. Although the concept of CES has been well accepted, they are rarely fully investigated. A significant barrier is the method for evaluating CES. This paper conducts a literature review of CES evaluation methods. Our aims are the following: to provide an overview of existing CES evaluation methods, to classify them, to analyze them, to highlight important challenges and to offer suggestions for future study. This study has reviewed 293 papers and identified 20 evaluation methods. To conclude, we (i) emphasize considering all CES categories. More specifically, consistent classification systems for CES and unambiguous descriptions of each category are needed; (ii) highlight a combination of methods to enable a better evaluation of CES and call for integrating monetary and non-monetary methods, which does not indicate merely adding the different parts but rather focusing on the interactions between these components, especially by means of de liberative, participatory and mapping techniques; (iii) encourage more stated preference methods, such as the Qmethod and narratives, to evaluate neglected services; (iv) propose that in-depth study of CES evaluation process is required to improve evaluation accuracy. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212041618303164>

Titre : **Wetland areas' direct contributions to residents' well-being entitle them to high cultural ecosystem values**

Pedersen, E., Weisner, S. E. B. et M. Johansson (2019) « Wetland areas' direct contributions to residents' well-being entitle them to high cultural ecosystem values ». *Science of The Total Environment*, vol. 646, p. 1315-1326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.236>.

Aperçu	Les auteurs calculent la valeur des milieux humides au-delà des principaux services écologiques connus (régulation et approvisionnement) et incluent dans leurs calculs des valeurs sociales et culturelles. Ils utilisent des notions de science sociale pour l'identification de la perception de l'utilité des milieux humides. En intégrant des services sociaux, on propulse la conservation des milieux humides en occupation urbaine.
Fonction(s)	Valeur culturelle et sociale
Type(s) de MHH	Milieu humide
Région(s)	Europe
Mots-clés	Qualité visuelle, valeur culturelle, valeur sociale, qualité de vie, occupation urbaine, aménagement du territoire

Résumé provenant de la référence

« Wetlands in urban areas will be crucial to counteract the effects of climate change, for example, by improving flood protection and regulating local climate. To gain acceptance for larger-scale creation of wetlands, total values must be identified and revealed. Provisioning and regulating ecosystem services can be described as the quantitative effect, but cultural ecosystem services require other assessments. This study sought to determine whether peri-urban and urban wetland areas contribute to the well-being and quality of life of nearby residents, and to capture their value relative to two other types of green areas (i.e., parks and urban forests). A postal questionnaire survey, based on validated environmental psychology instruments, was distributed to residents in three municipalities with wetland areas of different structures and locations. In these municipalities, respondents (n=474; response rate = 40%) reported that the wetland area contributed to several quality-of-life aspects, such as encountering nature and experiencing beauty. The areas also facilitated activities that support well-being, were perceived to have high restorative qualities, and evoked positive affective responses. All wetland areas were rated high on most of the measured concepts, but their value relative to other green areas differed possibly depending on the accessibility of the wetland and the availability of other green areas. The location and extent to which the wetland area was integrated in the residential area determined what quality-of-life aspects were most satisfied. Wetland areas can be ascribed cultural ecosystem service values based on how residents perceive their contribution to their quality of life. These values can be added to those of provisioning and regulating ecosystem services, forming the basis for planning urban environments. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718327335>

Titre : **Cues to care: A systematic analytical review**

Li, J. et J. Iverson Nassauer. (2020). « Cues to care: A systematic analytical review ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103821>.

Aperçu	En tenant compte du fait que certaines espèces qui occupent des milieux humides et hydriques ont une valeur sociale ou culturelle pour les habitants, les auteurs utilisent l'approche des indices de soins (cues to care) afin d'établir si des structures particulières d'un milieu naturel peuvent avoir le même impact que des éléments du paysage qui sont immédiatement reconnaissables. Il est possible que les indices de soins puissent être utilisés dans de nouveaux domaines comme l'éthique et l'esthétisme pour la conservation et la restauration de milieux naturels, dont les milieux humides. Il s'agit d'une approche différente de celles habituellement utilisées pour la planification de la conservation des milieux humides.
Fonction(s)	Valeur culturelle et sociale
Type(s) de MHH	Milieu humide, milieu hydrique
Région(s)	Général
Mots-clés	Qualité visuelle, valeur sociale, valeur culturelle, conservation, aménagement du territoire, méthodologie

Résumé provenant de la référence

« Placing environmentally beneficial elements into human-dominated landscapes can be challenging if the resulting landscape appearance does not align with cultural values. To address this challenge, Nassauer introduced "cues to care" (CTC) as landscape elements for design, and, in three foundational papers, she developed theories to explicate mechanisms of their potential social and environmental effects. These underlying perceptual, cultural, and social mechanisms are immediate recognizability, communication of caring human intention or presence, and a consistency with local cultural traditions or social norms for landscape appearance. To identify trends and opportunities in CTC scholarship and implementation, we examine relationships among CTC and their mechanisms by reviewing literature citing any of the three foundational papers. We note: 1) what CTC were identified, and 2) which of the three underlying mechanisms were described. Our analysis shows that first, many more papers include CTC as landscape elements than examine their underlying mechanisms; second, CTC and their mechanisms are interpreted with different emphases across study topics that are loosely associated with disciplines; and finally, land use/landcover (LULC) contexts influence choices of CTC. These differences suggest that greater consideration of mechanisms of CTC in scholarship could enhance their effectiveness in design and management. We discuss the related potential for CTC to be used as boundary objects for communication among disciplines, practitioners, and stakeholders – specific to locales and applications. With this more critical perspective on their use, CTC could become more effective in providing cultural ecosystem services and protecting ecosystem services more broadly. »

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204619314033>



**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 