

Impact des activités anthropiques de drainage et de pompage d'eau souterraine sur la pérennité des milieux humides

RAPPORT FINAL

**Marie Larocque
Sabrina Bruneau**

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère

23 novembre 2020

Équipe de réalisation

Auteurs du rapport

Marie Larocque	Responsable du projet, hydrogéologue, professeure, UQAM
Sabrina Bruneau	Agente de recherche, UQAM

Équipe de rédaction du volet juridique

Gabrielle Champigny	Avocate, consultante pour le CQDE
Prunelle Thibault-Bédard	Avocate, administratrice du CQDE
Marc-Antoine Racicot	Doctorant en droit, membre du comité juridique du CQDE

Référence à citer

Larocque, M. et Bruneau, S. 2020. Impact des activités anthropiques de drainage et de pompage d'eau souterraine sur la pérennité des milieux humides – Rapport final. Rapport déposé au MELCC. Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec. 117 p.

RÉSUMÉ

Les activités de pompage ou de drainage peuvent avoir un impact sur les milieux humides si elles sont réalisées à proximité de celui-ci. Ces effets possibles doivent être estimés et dans le processus d'émission des certificats d'autorisation. Toutefois, comme il existe encore relativement peu d'études à ce sujet, la quantification des effets d'un pompage ou d'un drainage peut difficilement être intégrée de manière rigoureuse et complète dans la prise de décision. Le MELCC a donc mandaté l'équipe d'hydroécologie de l'UQAM pour réaliser une synthèse des connaissances dans le but de mieux guider les analystes et de promouvoir la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau. Des avocats du Centre québécois du droit de l'environnement (CQDE) assistés d'un doctorant en droit ont également été impliqués dans le volet juridique.

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. Plusieurs facteurs contrôlent les effets que peuvent avoir le pompage et le drainage sur les milieux humides. La localisation de l'activité par rapport au milieu humide, les propriétés hydrauliques des matériaux géologiques rencontrés, le temps écoulé depuis le début de l'activité et les conditions météorologiques sont les facteurs le plus souvent mentionnés dans la littérature scientifique. Parmi les approches permettant d'identifier les effets, les suivis temporels fournissent des données de référence et un regard sur des conditions changeantes. Les indicateurs d'effets et les seuils à ne pas dépasser sont des outils très utiles pour cibler des interventions, mais sont encore peu disponibles. Les bilans hydriques et les modèles mathématiques permettent de quantifier les flux échangés et d'anticiper les conditions futures, mais nécessitent un niveau d'expertise assez important.

Plusieurs provinces ou pays utilisent, de manières parfois très différentes, la désignation de milieux humides d'importance comme outil d'avant-plan pour définir le niveau de protection accordé aux milieux humides. Différents mécanismes juridiques sont également utilisés pour

encadrer les activités permises à proximité des milieux humides (délimitation d'une zone tampon, niveau de protection de cette zone, processus pour analyser les demandes d'autorisation de pompage ou de drainage dans cette zone). Selon les juridictions, il y a divers cas d'encadrement juridique des activités de prélèvements d'eau qui tiennent compte de la présence de milieux humides à proximité. Toutefois, l'efficacité de ces mesures pour limiter les effets du pompage ou du drainage sur les milieux humides mises en place ne semblent pas toujours porter fruit et la perte et la dégradation des milieux continue de progresser.

Les recommandations découlant de cette revue de littérature sont les suivantes 1) continuer de développer les connaissances sur les milieux humides, 2) réaliser des suivis à long terme, 3) quantifier les seuils admissibles, 4) estimer la valeur des milieux humides, 5) développer le concept de zone tampon, 6) établir un protocole pour l'évaluation des demandes d'autorisation et 7) développer un outil de cartographie des milieux humides.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES FIGURES	VII
LEXIQUE	VIII
1 INTRODUCTION	1
2 METHODOLOGIE	4
2.1 Revue de littérature scientifique	4
2.1.1 Milieux humides	4
2.1.2 Pressions anthropiques.....	4
2.1.3 Documentation visée.....	5
2.2 Synthèse des exigences légales dans d'autres juridictions	6
2.3 Recommandations	6
3 CONNEXIONS AQUIFERE-MILIEU HUMIDE	7
4 REVUE DE LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE	10
4.1 Effets du pompage et du drainage	10
4.1.1 Niveaux d'eau	10
4.1.2 Flux échangés.....	11
4.1.3 Chimie de l'eau	13
4.1.4 Végétation.....	14
4.1.5 Subsidence dans les dépôts tourbeux et relargage du carbone	15
4.1.6 Effets cumulatifs.....	15
4.2 Facteurs contrôlant les effets des pompages et du drainage	16
4.2.1 Localisation du pompage ou des drains	16
4.2.2 Propriétés hydrauliques des matériaux	17
4.2.3 Temps écoulé depuis le début de la perturbation	18
4.2.4 Conditions météorologiques et climatiques	20
4.3 Approches permettant d'identifier les effets	20
4.3.1 Suivis temporels.....	20
4.3.2 Indicateurs et seuils	22
4.3.3 Bilan hydrique	23
4.3.4 Modèles mathématiques	24
5 SURVOL DE LA REGLEMENTATION EXISTANTE	27

5.1	Considérations générales	27
5.2	Milieux humides d'importance pour la conservation	27
5.2.1	Critères de désignation	28
5.2.2	Outils multicritères pour définir la valeur des milieux humides.....	30
5.2.3	Les écosystèmes dépendants de l'eau souterraine	31
5.3	Mécanismes juridiques encadrant les activités à proximité des milieux humides .	32
5.3.1	Délimitation d'une zone tampon	32
5.3.2	Niveau de protection de la zone tampon	34
5.3.3	Analyse de la demande d'autorisation pour une activité dans la zone tampon	35
5.4	Encadrement juridique des activités de prélèvement d'eau	37
5.5	Efficacité des mesures de protection	38
6	RECOMMANDATIONS	40
7	CONCLUSION	44
	RÉFÉRENCES	46
	ANNEXE A. Synthèse de la littérature sur les impacts des pressions anthropiques sur les milieux humides	58
	ANNEXE B. Synthèse des approches utilisées pour quantifier les impacts du drainage et du pompage à proximité des milieux humides	65
	ANNEXE C. Projet de recherche sur l'impact des activités anthropiques sur la pérennité des milieux humides, rapport du CQDE	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cône de rabattement autour d'un pompage (RQES, 2020).	5
Figure 2 : Modifications aux flux échangés entre l'aquifère et le milieu humide en conditions de pompage	12
Figure 3 : Modifications aux flux échangés entre l'aquifère et le milieu humide à la suite de l'installation de drains dans ce dernier.	13

LEXIQUE

La majorité des définitions fournies dans ce lexique proviennent du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES, 2020).

Aquifère

Un aquifère correspond à une formation géologique suffisamment perméable pour permettre l'écoulement d'une quantité d'eau assez importante pour son exploitation. L'aquifère représente la formation géologique dans lequel l'eau circule tandis que la nappe représente l'eau qui circule dans l'aquifère.

Aquifère captif

Aquifère isolé de l'atmosphère par un aquitard. Il contient une nappe captive.

Aquifère libre

Aquifère près de la surface des terrains, en contact avec l'atmosphère. Il contient une nappe libre.

Aquifère semi-captif

Cas intermédiaire entre l'aquifère captif et l'aquifère libre, il est partiellement isolé de l'atmosphère par une unité géologique peu perméable, discontinue ou de faible épaisseur. Il contient une nappe semi-captive.

Aquitard

Unité géologique très peu perméable, c'est-à-dire de très faible conductivité hydraulique, dans laquelle l'eau souterraine s'écoule difficilement.

Bassin versant

Portion du territoire à l'intérieur de laquelle l'eau qui s'écoule en surface se dirige vers le même exutoire (synonyme : bassin hydrographique).

Bilan hydrologique (ou bilan hydrique)

Bilan des entrées et des sorties en eau d'une unité hydrogéologique défini (ex. : bassin versant, nappe d'eau souterraine, etc.) pendant une période de temps donné.

Capacité d'emmagasinement

Capacité d'un aquifère à stocker de l'eau ; souvent estimée par le coefficient d'emmagasinement.

Charge hydraulique (ou charge ou niveau piézométrique)

La charge hydraulique est une grandeur scalaire qui traduit l'énergie que possède l'eau en un point (x, y, z) en raison de son élévation et de la hauteur de la colonne d'eau au-dessus de ce point (unité : m).

Coefficient d'emmagasinement

Volume d'eau libéré (ou emmagasiné) par unité de surface d'un aquifère lors d'une baisse (ou d'une remontée) unitaire de charge hydraulique (adimensionnel).

Conductivité hydraulique

Aptitude d'un milieu poreux à laisser circuler l'eau sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique ; correspond au coefficient de proportionnalité de la loi de Darcy (unité : m/s ou équivalent).

Cône de rabattement

Dépression de la surface piézométrique en forme de cône ouvert vers le haut qui définit le domaine d'influence du pompage dans un puits.

Eau souterraine

Toute eau présente dans le sous-sol et qui remplit les pores des unités géologiques (à l'exception de l'eau de constitution, c'est-à-dire entrant dans la composition chimique des minéraux).

Gradient hydraulique

Différence de charge hydraulique entre deux points, divisée par la distance entre ces deux points (adimensionnel). L'eau souterraine s'écoule d'un point où la charge hydraulique est la plus élevée vers un point où elle est la plus basse.

Milieu humide

Terre inondée ou saturée d'eau assez longtemps pour influencer la végétation et le sol sous-jacent.

Nappe

Ensemble des eaux souterraines comprises dans la zone saturée d'un aquifère.

Piézomètre

Puits d'observation qui pénètre la zone saturée d'un aquifère et permettant l'observation des niveaux piézométriques.

Porosité

Rapport entre le volume des pores d'un matériau et son volume total (adimensionnel).

Propriétés hydrauliques

L'ensemble des paramètres permettant de caractériser l'aptitude d'une unité géologique à contenir de l'eau et à la laisser circuler (p. ex., porosité, conductivité hydraulique, transmissivité, coefficient d'emmagasinement).

Rabatement

Abaissement de la charge hydraulique causé par le pompage de l'eau souterraine dans un puits (unité : m).

Rayon d'influence

Distance mesurée par rapport à l'axe du puits, à l'intérieur de laquelle la nappe est influencée par le pompage dans le puits et où la surface piézométrique subit un rabattement (unité : m).

Recharge

Renouvellement en eau de la nappe, par infiltration de l'eau des précipitations dans le sol et percolation jusqu'à la zone saturée.

Résurgence (ou décharge)

Émergence en surface de l'eau souterraine, au terme de son parcours dans l'aquifère.

Ruissellement

Écoulement de l'eau qui se fait librement à la surface du sol et qui alimente directement les cours d'eau.

Subsidence de la tourbe

Affaissement, généralement irréversible, due à la compaction de la tourbe à la suite de la baisse du niveau d'eau et la décomposition de la tourbe résultant de son exposition à l'air réduisant considérablement la capacité de stockage de l'eau.

Surface piézométrique

Surface représentant la charge hydraulique en tout point de l'aquifère.

Zone d'alimentation d'un milieu humide

Portion du territoire qui alimente le milieu humide en eau de surface et souterraine.

Zone non saturée

Zone comprise entre la surface du sol et le toit de la nappe dans laquelle les pores de l'unité géologique contiennent de l'air et ne sont pas entièrement remplis d'eau.

Zone saturée

Zone dans laquelle les pores de l'unité géologique sont entièrement remplis d'eau.

Zone tampon (ou périmètre de protection)

Portion de territoire autour d'un milieu humide permettant de limiter les effets des activités anthropiques sur le milieu humide.

1 INTRODUCTION

Les milieux humides sont parmi les écosystèmes les plus riches sur la planète (Mitsch et Gosselink, 2015). Au cours des dernières décennies, de nombreuses études ont mis en évidence la réduction sans cesse croissante de leurs superficies, au Québec et ailleurs (Zedler and Kercher 2005 ; Ducks Unlimited Canada, 2010 ; Avard *et al.*, 2013 ; Davidson, 2014 ; Poulin *et al.*, 2016 ; Blanchette *et al.*, 2018 ; Serran *et al.*, 2018). Les causes de ces pertes de milieux humides sont nombreuses et diversifiées (p. ex., remblaiement, agriculture, récolte de matière organique, drainage, réduction de l'alimentation en eau, présence de plantes invasives, apports excessifs de nutriments, changements climatiques).

Sur le territoire québécois, les milieux humides sont cartographiés dans les régions du sud de la province (CIC, 2020). Cependant, cette cartographie comporte certaines lacunes, notamment au niveau de la cartographie des milieux humides forestiers et de petites tailles. Ceux-ci (c.-à-d. les milieux humides forestiers et de petites tailles) sont particulièrement difficiles à identifier à l'aide de photos aériennes. Parce qu'ils se distinguent peu ou pas du tout des milieux environnants, des validations de terrain plus nombreuses seraient nécessaires pour mieux les reconnaître sur les cartes de milieux humides. Des approches par analyses de données LiDAR ont également démontré leur utilité pour identifier les petits milieux humides temporaires dans le Bouclier canadien (Bournival *et al.*, 2017). Dans certaines régions, l'hydrologie des milieux humides et leurs connexions avec l'eau souterraine ont été documentées (p. ex., Bourgault *et al.*, 2014 ; Levison *et al.*, 2014 ; Ferlatte *et al.*, 2015), mais ces études sont très peu nombreuses. Les connaissances sur l'eau souterraine ont également beaucoup progressé au cours de la dernière décennie, notamment grâce aux projets PACES (MELCC, 2020). Par ailleurs, la nouvelle *loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques*, en vigueur depuis 2015 au Québec, permet de mieux protéger les milieux humides et hydriques. Néanmoins, il existe encore plusieurs inconnues dans le fonctionnement des milieux humides et notamment en lien avec leur connexion avec l'eau souterraine et leur vulnérabilité à des activités anthropiques ayant un effet sur les niveaux de nappe et réalisées à proximité des milieux humides.

En principe, tout changement d'occupation du territoire qui affecte l'hydrologie dans la zone d'alimentation d'un milieu humide (c.-à-d. dans la portion du territoire qui l'alimente) peut avoir un effet sur ce dernier (van Diggelen *et al.* 2006 ; Smerdon *et al.* 2012 ; Tangen *et al.* 2017). Dans la pratique, l'ampleur des effets peut être très variable selon, par exemple, la nature et la position de l'activité anthropique, la géologie, la nature et la position du milieu humide dans le bassin

hydrographique. S'il est relativement aisé d'observer et de mesurer une modification à l'apport d'un cours d'eau à un milieu humide ou à un cours d'eau qui prend naissance dans un milieu humide, il est beaucoup plus difficile d'identifier les modifications à l'écoulement souterrain qui alimente un milieu humide ou à l'apport d'eau souterraine d'un milieu humide vers la nappe.

Bien qu'il paraisse intuitif qu'un pompage à proximité d'un milieu humide connecté à l'eau souterraine ou que le drainage de la nappe à l'intérieur de la zone d'alimentation en eau d'un milieu humide puisse avoir un effet sur celui-ci (Marandi *et al.*, 2013 ; Johansen *et al.*, 2014 ; Bradford, 2016), il n'existe pas de synthèse scientifique des conditions dans lesquelles ces effets se manifestent. Des lignes directrices sont énoncées dans les règlements et lois de certaines juridictions, mais ceux en vigueur au Québec n'incluent pas encore de contraintes spécifiques au rabattement de la nappe à proximité d'un milieu humide. Ces effets doivent néanmoins être mentionnés et estimés par les consultants lors de la préparation des demandes d'autorisation de nouveaux projets et considérés par les analystes du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) dans le processus d'émission des certificats d'autorisation. Cependant, les quelques outils disponibles pour les quantifier n'ont pas encore fait leur chemin dans la pratique, principalement car ils sont soit trop complexes ou trop spécifiques à des conditions particulières.

Pour pallier cette situation, le MELCC a souhaité obtenir une synthèse des connaissances sur cette question dans le but de mieux guider les analystes et de promouvoir la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau. Le but de ce projet était donc 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 objectifs spécifiques du projet sont les suivants :

1. Effectuer une revue de la littérature scientifique concernant les effets des pompages et du drainage pouvant avoir un effet sur les milieux humides situés à proximité ;
2. Réaliser une synthèse des exigences légales visant à pour minimiser l'effet des activités anthropiques sur les milieux humides dans certaines juridictions où les conditions sont similaires à celles du Québec ;
3. Sur la base de ces synthèses, faire des recommandations qui pourront être utilisées par le MELCC dans la rédaction d'un guide d'aide à la décision visant les analystes en région.

La méthodologie utilisée dans ce projet est d'abord présentée. Les connexions possibles entre aquifère et milieux humides sont ensuite décrites. Suivent ensuite la synthèse de la littérature scientifique et de la réglementation existante dans certaines juridictions similaires. Finalement, des recommandations sont présentées à la lumière de cette synthèse.

2 METHODOLOGIE

2.1 Revue de littérature scientifique

2.1.1 Milieux humides

Les milieux humides visés sont ceux habituellement rencontrés sur le territoire québécois, c.-à-d. les tourbières (ombrotrophes et minérotrophes), les marécages, les marais et les étangs (NWWG, 1997). Ces milieux humides peuvent être alimentés par la nappe (en position d'émergence de la nappe), apporter de l'eau à la nappe (recharger la nappe), contribuer à maintenir les niveaux de la nappe (par équilibre des pressions), contribuer à l'écoulement d'un cours d'eau (en zone amont de son bassin versant), ou encore être considérés complètement isolés du réseau hydrographique ou souterrain. Les milieux humides considérés dans ce projet peuvent se situer ailleurs qu'au Québec, mais doivent représenter, autant que possible, des conditions géologiques et climatiques similaires à celles du Québec, c.-à-d. des environnements postglaciaires et un climat froid et humide.

2.1.2 Pressions anthropiques

Les pressions anthropiques visées dans cette étude sont celles qui induisent une baisse des niveaux de nappe et donc qui peuvent modifier l'alimentation en eau des milieux humides ou leur bilan hydrique. Les pressions étudiées sont spécifiquement le pompage de l'eau souterraine et le drainage de la nappe qui ont lieu à proximité des milieux humides ou sous les milieux humides (dans le cas d'un pompage). La littérature est riche d'articles qui rapportent l'étude des effets du drainage au sein des tourbières. Toutefois, sauf quelques exceptions ciblées, ces articles n'ont pas été revus ici. Quelques études, plus anecdotiques, rapportant l'effet de l'exploitation d'une carrière ou de barrages de castors sont discutées pour appuyer d'autres résultats.

Le pompage d'eau souterraine permet de fournir de l'eau potable à la population, d'approvisionner différentes industries (p. ex., piscicultures, transformation alimentaire) et de soutenir les activités agricoles (p. ex., alimentation en eau du bétail, irrigation). Le pompage d'eau souterraine pour assécher une carrière ou une mine dans le but de maintenir des conditions propices à l'exploitation entre également dans cette catégorie. Le pompage implique généralement le rabattement du niveau piézométrique et forme un cône de dépression (Figure 1) qui se propage radialement (pas nécessairement de manière symétrique) à partir de la zone de prélèvement, sur une distance et à un taux qui dépend du débit pompé, des propriétés hydrogéologiques de l'aquifère (conductivité hydraulique, transmissivité, coefficient d'emmagasinement) et de ses limites latérales (frontière

de recharge ou imperméable). Cette dépression piézométrique peut se propager jusqu'à des milieux humides, modifiant ainsi les interactions entre le milieu humide et l'aquifère ainsi que le bilan hydrique du milieu humide.

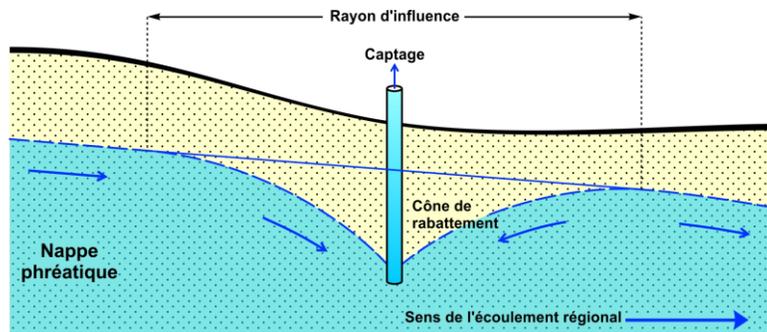


Figure 1 : Cône de rabattement autour d'un pompage (RQES, 2020).

Le drainage est, quant à lui, utilisé afin de rabattre la nappe pour augmenter la production agricole ou forestière. Les systèmes de drains peuvent être formés de fossés qui mobilisent l'eau dans des canaux superficiels ou d'un réseau de tuyaux perforés installés sous la surface du sol. Les deux systèmes sont couramment observés en région agricole dans le sud du Québec. Il ne semble pas y avoir de données compilées et disponibles spécifiques au Québec, mais les superficies agricoles drainées ont augmenté de manière marquée dans le centre nord des États-Unis depuis les années 1990 (p. ex, Cho *et al.*, 2019). En région forestière, les fossés sont le type de drainage sylvicole le plus fréquent (Jutras et Plamondon, 2020). Par opposition aux pompages dont l'objectif est de fournir des volumes d'eau ou de drainer une grande surface (excavations ou mines à ciel ouvert), chaque drain a un effet local sur la nappe et c'est plutôt la géométrie du réseau de drainage qui détermine l'étendue de la perturbation (Liu *et al.*, 2017).

2.1.3 Documentation visée

La littérature scientifique et les rapports techniques disponibles dans les bases de données habituelles et auprès des ministères ont été synthétisés pour évaluer les effets du pompage et du drainage sur les milieux humides au Québec et dans des contextes géoclimatiques similaires, et identifier les approches existantes pour quantifier ces effets. Les articles identifiés (en majorité plus récents que 2010) sont résumés dans ce rapport et les résultats les plus importants sont présentés sous forme de tableaux (Annexe A). Des articles complémentaires permettant d'encadrer la discussion ne sont pas inclus dans les tableaux synthèses.

2.2 Synthèse des exigences légales dans d'autres juridictions

Un mandat a été donné par l'UQAM au Centre québécois du droit de l'environnement (CQDE) pour analyser les exigences légales mises en place dans d'autres juridictions dans le but de minimiser l'effet des activités anthropiques sur les milieux humides. Également, divers chercheurs et acteurs gouvernementaux ont été contactés afin de recueillir des informations supplémentaires sur les pratiques utilisées dans d'autres juridictions. Les juridictions analysées sont les provinces de l'Alberta, de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick, les états américains du Vermont, du Maine, du New Hampshire, de New York ainsi que la France, la Grande-Bretagne et la Suisse.

2.3 Recommandations

À la lumière des connaissances résumées dans la revue de littérature et la revue des différentes réglementations, des recommandations sont émises pour guider la démarche d'encadrement des demandes d'autorisation et pour proposer des pistes d'action qui pourraient représenter les prochaines étapes de développement scientifique et de changements à la réglementation.

3 CONNEXIONS AQUIFÈRE-MILIEU HUMIDE

Les écosystèmes dépendants de l'eau souterraine (EDES) sont des écosystèmes pour lesquels la végétation, la structure et les fonctions sont dépendants d'un apport d'eau souterraine (Klove *et al.*, 2011). Selon leur position dans le paysage, la topographie, la géologie et les conditions climatiques, les sources, les milieux humides, les rivières, les lacs et certains écosystèmes terrestres peuvent être des EDES (Bertrand *et al.*, 2012). Dans ce rapport, seuls les EDES identifiés comme des milieux humides sont considérés. Les EDES sont des systèmes complexes qui reçoivent des volumes variables d'eau souterraine, de manière continue ou intermittente dans le temps, sur une portion de l'écosystème ou sur son ensemble. Cet apport d'eau souterraine peut être considéré obligatoire lorsque les espèces ne peuvent survivre que lorsque l'eau souterraine est présente, ou facultatif lorsque l'absence d'eau souterraine n'entraîne pas un effet négatif sur le milieu (Bertrand *et al.*, 2011).

Dans la très large majorité des cas, les différents types de milieux humides rencontrés sur le territoire québécois peuvent être considérés comme des EDES. Les milieux humides qui sont connectés à l'eau souterraine sont situés à différentes positions sur les bassins versants, des secteurs amont où la topographie est plus marquée aux portions situées en aval où le dénivelé est plus faible. Ils se trouvent également dans une large gamme de contextes géologiques, des zones où le roc affleure (aquifère libre) aux contextes où le silt et l'argile sont présents (aquifère semi-captif ou captif). Pour cette raison, la nature des connexions aquifère-milieu humide est nécessairement très variable. Il est intéressant de souligner que les milieux humides qui ne sont pas connectés aux cours d'eau sont généralement considérés comme étant « isolés » alors qu'ils sont la plupart du temps en interaction avec l'eau souterraine. Même en présence de dépôts tourbeux très décomposés et peu perméables, des écoulements non négligeables peuvent avoir lieu via des zones de macropores au sein de la tourbe et en connexion avec des fossés, des drains ou un aquifère sous-jacent ou latéral (Rossi *et al.*, 2012).

Différents types de connexions aquifère-milieu humide peuvent être observées. Le milieu humide peut recevoir de l'eau souterraine ou il peut alimenter l'aquifère superficiel (p. ex., Ferlatte *et al.*, 2015 ; Bourgault *et al.*, 2019). Ces échanges peuvent se faire latéralement ou verticalement à partir de la base du milieu humide. Dans les deux cas, les gradients topographiques dans la zone d'alimentation du milieu humide et ceux immédiatement autour du milieu humide vont influencer directement le fait qu'un milieu humide recevra de l'eau souterraine ou qu'il alimentera la nappe. Dans le cas où l'apport d'eau souterraine est principalement latéral, la topographie environnante influence l'apport d'eau au milieu humide. Si les matériaux géologiques entourant le milieu humide

et ceux sous-jacents sont peu ou pas perméables, les flux échangés peuvent être très limités. Dans ce cas, les interactions entre l'aquifère et le milieu humide peuvent se faire par contrôle des pressions, c.-à-d. que les charges hydrauliques dans l'aquifère peuvent réguler les niveaux d'eau dans le milieu humide ou, à l'inverse, celui-ci peut contribuer à maintenir les niveaux de l'aquifère superficiel voisin. Dans le cas où un échange d'eau se produit, les volumes échangés sont rarement quantifiés, mais les études existantes montrent qu'ils sont relativement limités (Johansen et al., 2011 ; Levison *et al.*, 2014 ; Ferlatte *et al.*, 2015). Toutefois, même des flux de faible amplitude peuvent s'avérer nécessaires pour maintenir certains habitats. Lorsqu'il y a un apport d'eau souterraine au milieu humide, cette eau peut provenir de secteurs situés à proximité ou avoir circulé longuement dans l'aquifère (Klove *et al.*, 2011 ; Bertrand *et al.*, 2012). Toutefois, le rôle joué par l'aquifère régional est encore mal compris (Regan *et al.*, 2019). Il est important de souligner que les milieux humides sont généralement connectés avec le réseau hydrographique de surface (p.ex., Ameli et Creed, 2017), même lorsqu'une connexion avec l'eau souterraine est présente.

Les principaux facteurs qui influencent la présence et la nature des connexions sont la profondeur de la nappe phréatique (Van der Kamp et Hayashi, 2009), la position du milieu humide sur le bassin versant et relativement au réseau hydrographique de surface (Joly *et al.*, 2008 ; Neff *et al.*, 2020), la topographie (Acreman et Holden, 2013), la géologie (Johansen *et al.*, 2011 ; Lee *et al.*, 2019 ; Regan *et al.*, 2019 ; Van der Kamp et Hayashi, 2009), la géomorphologie (Larocque *et al.*, 2016), la nature du milieu humide (Leclair *et al.*, 2015), la taille du milieu humide et la densité des milieux humides dans la région (McLaughlin *et al.*, 2014). Il n'existe pas de typologie exhaustive des contextes dans lesquels des connexions peuvent avoir lieu (voir Ferlatte *et al.*, 2015, Larocque *et al.*, 2016, Rosa *et al.*, 2018 et Bourgault *et al.*, 2019 pour des typologies partielles spécifiques aux tourbières et aux marécages riverains ou à certaines conditions géologiques). Cependant, des guides ont été développés pour identifier les liens entre l'eau souterraine et les écosystèmes terrestres. Certains sont développés pour des contextes arides ou semi-arides (Richardson, 2011 ; Rohde *et al.*, 2018) et ne sont pas entièrement applicables dans le contexte québécois. D'autres ont été élaborés pour des conditions plus similaires à celles rencontrées au Québec (p. ex., USDA 2012).

Les milieux humides ont plusieurs rôles ou fonctions hydrologiques, c.-à-d. que par leur présence dans le paysage, ils induisent des processus qui leur sont propres. Dans les environnements postglaciaires en climat froid et humide, les principales fonctions hydrologiques des milieux humides sont la rétention des sédiments, la filtration des polluants, la recharge de la nappe, le

maintien des niveaux d'eau dans les aquifères, la réduction et l'étalement des pointes de crues et le soutien des étiages (Bullock et Acreman, 2003 ; Verhoeven *et al.*, 2006 ; Racchetti *et al.*, 2011 ; Acreman et Holden, 2013). Ces fonctions sont toutefois encore peu décrites pour différents contextes et différents types de milieux humides (voir par exemple Jutras et Plamondon, 2020 pour les fonctions hydrologiques des milieux humides forestiers).

4 REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

La première partie du projet a permis d'établir l'état des connaissances scientifiques et techniques au sujet des effets des pompages et du drainage sur les milieux humides. Cet état des connaissances s'attarde sur les effets du pompage et du drainage, sur les facteurs contrôlant l'effet de l'activité et sur les outils et approches disponibles pour évaluer ou quantifier les effets.

4.1 Effets du pompage et du drainage

4.1.1 Niveaux d'eau

Parce qu'il induit un rabattement de la nappe, le pompage de l'eau souterraine ayant lieu à proximité d'un milieu humide connecté à l'aquifère peut induire une baisse du niveau d'eau dans le milieu humide. Ce rabattement est rapporté dans une très large variété de contextes, incluant le pompage dans un puits à proximité ou sous une tourbière (p.ex., Amandine Les Landes *et al.*, 2014) le pompage pour assécher une mine à ciel ouvert (p. ex., Leclair *et al.*, 2015) ou un tunnel situé en profondeur (Kvaerner et Snilsberg, 2011).

L'effet d'une baisse du niveau piézométrique dans un aquifère pompé voisin ou sous-jacent peut avoir un effet très variable sur les niveaux d'eau dans le milieu humide (Cooper *et al.*, 2015 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Zurek *et al.*, 2015), selon les débits pompés, la profondeur du forage, la position du forage relativement au milieu humide, la nature des matériaux géologiques et organiques, et la profondeur du pompage. Par exemple, Johansen *et al.* (2014) ont montré qu'un pompage dans un aquifère séparé d'une tourbière par une couche d'argile peut perturber le niveau d'eau dans la tourbière uniquement au cours des périodes sèches estivales. Cooper *et al.* (2015) ont, quant à eux, montré que l'effet d'un pompage sur un complexe de milieux humides en zone montagnaise varie de manière importante en fonction de l'intensité de la saison hivernale précédente, c.-à-d. l'équivalent en eau de la neige au sol et la date de la fonte.

La mise en place d'un réseau de drains souterrains a généralement un effet plus limité qu'un pompage en termes de baisse du niveau de la nappe et d'étendue spatiale. L'effet sur les milieux humides connectés est néanmoins documenté dans la littérature, même lorsque les drains sont installés à l'extérieur d'un périmètre de protection réglementaire (p. ex., Tangen et Finocchiaro, 2017). Regan *et al.* (2019) ont montré qu'après plusieurs décennies, un réseau de drains en périphérie d'une tourbière peut induire une baisse des niveaux de nappe qui se répercute à l'intérieur du milieu humide. Par ailleurs, la présence d'un drainage peut aussi induire une

réduction du ruissellement de surface (p. ex., Tangen et Finocchiaro, 2017) qui peut aussi avoir un effet sur les milieux humides voisins.

En conditions naturelles, les précipitations peuvent entraîner la saturation de l'aquifère ou des dépôts tourbeux jusqu'à la surface, ou l'augmentation du niveau d'eau dans un milieu humide autre que tourbeux. Toute précipitation additionnelle ne pourra ni être stockée ni s'infiltrer, entraînant un ruissellement de surface (Konikow et Leake, 2014 ; Leake *et al.*, 2010). La diminution des charges hydrauliques ou du niveau de l'eau dans le milieu humide causée par un pompage ou par le drainage peut accroître la capacité d'emmagasinement du milieu humide et contribuer à l'augmentation de l'infiltration verticale (Kvæerner et Snilsberg, 2011 ; Noorduijn *et al.*, 2018 ; Bourgault *et al.*, 2019).

Il est important de souligner que les milieux humides forment des dépressions de faible profondeur et ainsi des rabattements même limités dans l'aquifère et dans le milieu humide peuvent avoir des effets importants sur l'écosystème du milieu humide. Par exemple, dans certains types de milieux humides, notamment dans les marécages et les étangs temporaires, la baisse du niveau d'eau peut mener à la réduction de la période d'activité hydrologique du milieu humide (hydropériode ; Werner *et al.*, 2016). Ceci peut avoir des conséquences négatives sur différentes espèces (p. ex., amphibiens et sauvagines) dont l'habitat nécessite une hydropériode d'une durée minimale (pour la reproduction) ou maximale (pour éviter la prédation).

4.1.2 Flux échangés

La baisse de charge hydraulique dans un aquifère voisin ou sous-jacent à un milieu humide peut mener à des changements dans les gradients hydrauliques horizontaux et verticaux entre l'aquifère et le milieu humide. Ceux-ci peuvent entraîner une modification des flux échangés et une possible inversion permanente ou occasionnelle dans la direction des écoulements (voir Figure 2) (Auterives *et al.*, 2011 ; Johansen *et al.*, 2011 ; Johansen *et al.*, 2014 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Zurek *et al.*, 2015).

En conditions où le milieu humide alimente l'aquifère, la baisse de charge hydraulique dans l'aquifère sous le milieu humide peut augmenter le gradient hydraulique aquifère-milieu humide et favoriser de plus grands taux d'infiltration (Figure 2a) (Auterives *et al.*, 2011 ; Kvaerner et Snilsberg 2011 ; Marandi *et al.*, 2013 ; Whittington et Price, 2013 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Regan *et al.*, 2019). En conditions où le gradient hydraulique vertical ou horizontal est en direction du milieu humide, la baisse de charge hydraulique dans l'aquifère peut causer une réduction des apports vers le milieu humide (Figure 2b) (Johansen *et al.* 2011 ; 2014 ; Carol *et al.*, 2013). Dans ce cas,

si la baisse de charge hydraulique se poursuit, l'inversion du gradient hydraulique vertical peut se produire et il y aura augmentation des écoulements du milieu humide vers l'aquifère (Figure 2c) (Carol *et al.*, 2013 ; Zurek *et al.*, 2015).

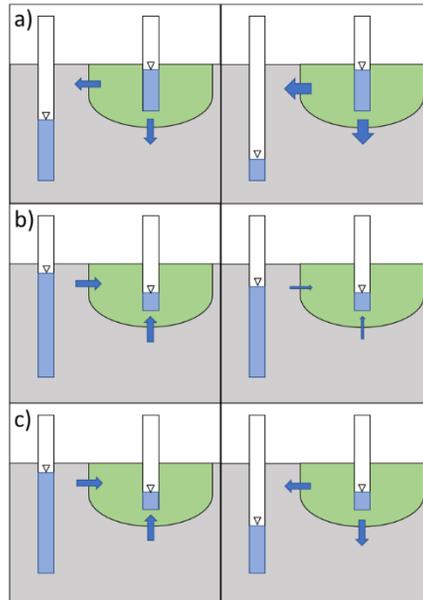


Figure 2 : Modifications aux flux échangés entre l'aquifère et le milieu humide en conditions de pompage

D'autres études montrent qu'une baisse des charges dans le milieu humide peut induire une augmentation du gradient vertical de l'aquifère au milieu humide (augmentation de l'émergence d'eau souterraine dans le milieu humide). Ceci a été observé notamment par Rossi *et al.* (2012), en présence d'un réseau de drains installés directement dans la tourbière. Ces drains ont pour effet de diminuer la charge hydraulique dans la tourbière et d'augmenter le gradient hydraulique entre l'aquifère sous-jacent et la tourbière (Figure 3). La littérature scientifique rapporte de nombreuses autres études sur l'effet des drains sur l'hydrologie des tourbières lorsqu'ils sont installés à l'intérieur du milieu humide. Sauf pour quelques exceptions, ces études n'ont pas été incluses dans la présente revue de littérature.

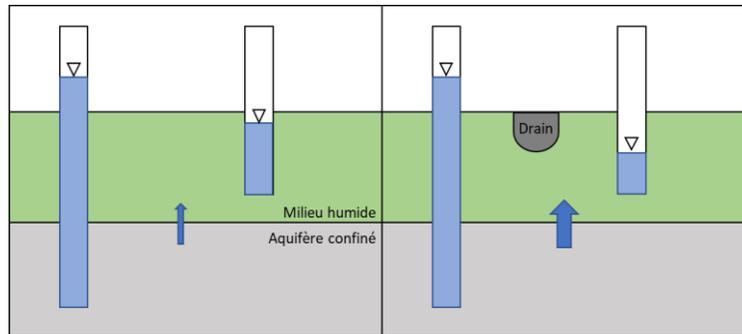


Figure 3 : Modifications aux flux échangés entre l'aquifère et le milieu humide à la suite de l'installation de drains dans ce dernier.

Il est important de souligner que l'effet du pompage de la nappe sur le milieu humide n'est pas limité à la zone proximale autour de celui-ci, mais peut se faire sentir à l'échelle du bassin versant. Carol *et al.* (2013) ont montré que le cumul de nombreux pompages dans un aquifère régional peut induire des rabattements régionaux suffisamment importants pour réduire de manière marquée les apports d'eau souterraine aux milieux humides situés en aval.

4.1.3 Chimie de l'eau

L'eau souterraine qui alimente les milieux humides peut avoir des caractéristiques physiques et chimiques différentes de celle de l'eau de surface. Un changement dans les flux d'eau souterraine entraîné par une baisse de la nappe peut modifier la chimie de l'eau et du milieu humide, et ce, même si les flux échangés ne représentent qu'une faible proportion des apports annuels, car l'eau souterraine est généralement chargée en nutriments et en substances dissoutes (Euliss *et al.*, 2004). Par exemple, la baisse du niveau d'eau dans le milieu humide peut mener à l'acidification du milieu et à la réduction du contenu en oxygène dissous et en nutriment (Grootjans *et al.*, 2006 ; Bougon *et al.*, 2011 ; van Diggelen *et al.*, 2006), ce qui peut entraîner des changements dans la composition de la végétation et dans les espèces animales qui fréquentent le milieu humide. Certains auteurs suggèrent que l'apport d'eau souterraine à un milieu humide favorise la biodiversité (Hunt *et al.*, 2006 ; Kopp *et al.*, 2013) et un changement à ces flux pourrait avoir des répercussions sur le réseau trophique et tout l'écosystème (Norlin *et al.*, 2006). Cependant, les perturbations de niveau de nappe doivent se produire sur une période prolongée, car les effets à court terme (par exemple saisonniers) n'auraient pas une influence significative sur les conditions et processus biochimiques qui se produisent dans les tourbières (Bougon *et al.*, 2011 ; Deppe *et al.*, 2010).

4.1.4 Végétation

Le maintien à moyen et long terme de menant à des modifications importantes de l'alimentation en eau et à la dynamique hydrologique d'un milieu humide peut entraîner des changements de végétation qui, à leur tour, peuvent influencer la structure et la capacité du milieu à soutenir des habitats spécifiques. Ces conditions peuvent mener à l'évolution de l'écosystème vers un nouvel état d'équilibre (Bertrand *et al.*, 2012).

Si elle est soutenue, la réduction des apports d'eau souterraine au milieu humide et la baisse des niveaux d'eau dans le milieu humide peuvent entraîner des changements au niveau de la végétation et éventuellement une réduction de la superficie du milieu humide (Zhang *et al.*, 2011 ; Armandine Les Landes *et al.*, 2014 ; Pellerin *et al.*, 2015 ; Tangen et Finocchiaro, 2017). Ceci provient du fait que l'abaissement du niveau d'eau dans un milieu humide peut augmenter l'aération au niveau des racines, favoriser la transition vers des espèces végétales qui ne tolèrent pas la saturation complète et entraîner un changement vers une flore plus cosmopolite et, par exemple, vers une végétation arbustive ou forestière dans les tourbières (p. ex., Talbot *et al.*, 2010 ; Laidig *et al.*, 2012 ; Kopp *et al.*, 2013 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Pellerin *et al.*, 2015). Le développement de réseaux racinaires peut à son tour entraîner la multiplication des macropores, facilitant les échanges d'eau avec l'aquifère et favoriser davantage la transition de la végétation par l'arrivée de nutriments supplémentaires par l'eau souterraine (Kopp *et al.*, 2013). L'effet d'une baisse du niveau de la nappe sur la végétation d'un milieu humide peut devenir visible seulement plusieurs décennies après le changement de pratique (p. ex., Talbot *et al.*, 2010 ; Pellerin *et al.*, 2015) et, pour cette raison, être difficilement imputable à une activité spécifique. La transition vers une végétation arbustive ou forestière peut également augmenter l'évapotranspiration et l'interception des précipitations, ce qui limite davantage les apports en eau au milieu humide perturbé et peut contribuer à amplifier le stress hydrique (Talbot *et al.*, 2010 ; Kopp *et al.*, 2013). Des conditions plus sèches dans des marécages riverains peuvent favoriser l'implantation d'espèces terrestres (Catford *et al.*, 2011).

Zhang *et al.* (2011) ont montré, au moyen de relations empiriques niveau piézométrique-espèces végétales qu'une baisse du niveau piézométrique résultant de pompages à l'échelle d'un bassin versant, peut entraîner des conditions favorables à une fragmentation de la mosaïque des communautés végétales de milieu humide à l'échelle du paysage. En utilisant des relations du même type, mais adaptées à des conditions étudiées différentes, Johansen *et al.* (2014) suggèrent quant à eux qu'une baisse du niveau de nappe ne limiterait pas de manière importante le nombre de bryophytes et d'espèces typiques des milieux humides.

4.1.5 Subsidence dans les dépôts tourbeux et relargage du carbone

Le cas des tourbières mérite d'être souligné puisque ces milieux représentent 85% des milieux humides au Québec (Pellerin et Poulin, 2013). Les tourbières se développent très lentement et les processus de rétroaction hydrologie-végétation y sont particulièrement importants. Étant donné que dans une tourbière l'accumulation du carbone est fortement liée à la position de la nappe (Limpens *et al.*, 2008), l'abaissement du niveau de la nappe résultant d'un pompage ou du drainage et menant à l'assèchement de la matière organique peut entraîner des changements dans le bilan de carbone de la tourbière et induire l'émission de carbone auparavant séquestré dans le milieu humide (Strack *et al.*, 2004 ; Cooper *et al.*, 2015 ; Regan *et al.*, 2019). À long terme, il peut y avoir une perte graduelle de la matière organique accumulée sur des milliers d'années.

La diminution du niveau de nappe dans une tourbière peut également mener à la subsidence de la matière organique (p. ex., Kopp *et al.*, 2013 ; Whittington et Price, 2013 ; Regan *et al.*, 2019). La réduction de la conductivité hydraulique et de la capacité d'emmagasinement qui en résulte, de même que l'augmentation des macropores qui peut être induite (Regan *et al.*, 2019) influencent directement les processus d'emmagasinement et d'écoulement au sein de la tourbière (p. ex., Talbot *et al.*, 2010 ; Kværner et Snilsberg, 2011 ; Kopp *et al.*, 2013 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Regan *et al.*, 2019).

4.1.6 Effets cumulatifs

Le cumul des effets provenant de plusieurs activités de pompage ou de drainage est une composante très importante dans l'évaluation des perturbations sur un milieu humide (Armandine Les Landes *et al.*, 2014 ; Pellerin *et al.*, 2015). L'état actuel du milieu humide peut ainsi être le résultat de l'augmentation de pressions de différentes sources, ayant été initiées à différentes périodes et il peut également s'avérer qu'aucune des perturbations ne puisse être identifiée comme seule responsable des dommages causés.

L'accumulation des pressions anthropiques complique également l'évaluation de l'effet du pompage ou du drainage sur le milieu humide. Parmi les articles revus, aucun ne suggère qu'un pompage ou un drainage n'a aucun effet sur les milieux humides à proximité. Cependant, les études dont les résultats sont les moins tranchés sur les effets sur le milieu humide incluent des terrains d'étude soumis à plusieurs pressions historiques ou actuelles (Auterives *et al.*, 2011 ; Johansen *et al.*, 2014). Parfois les perturbations anthropiques ont été initiées bien avant le début de l'étude et il peut être impossible de caractériser l'écosystème dans son état naturel (p. ex.,

Johansen *et al.*, 2011 ; 2014 ; Marandi *et al.*, 2013 ; Armandine Les Landes *et al.*, 2014). Il semble dans ces conditions être particulièrement difficile de distinguer les liens de causalité.

4.2 Facteurs contrôlant les effets des pompages et du drainage

4.2.1 Localisation du pompage ou des drains

La position du pompage dans la zone d'alimentation d'un milieu humide va influencer comment celui-ci réagira à un pompage ou au drainage (Kvæerner et Snilsberg, 2011 ; Carol *et al.*, 2013). Les pompages et le drainage réalisés près des milieux humides sont ceux qui les mettent le plus à risque. L'effet d'un pompage sur les charges piézométriques est généralement plus prononcé à proximité du site pompé et diminue progressivement avec l'éloignement. Un effet peut, selon la nature de l'activité et les conditions topographiques et géologiques, être mesurable à plusieurs kilomètres de distance (p. ex., Kvaerner et Snisberg, 2011 ; Marandi *et al.*, 2013 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Zurek *et al.*, 2015). Il apparaît donc intuitif que dans le cas où un milieu humide est connecté hydrauliquement à l'aquifère voisin ou sous-jacent, la position d'un pompage par rapport au milieu humide influence son effet sur celui-ci, avec les effets les plus prononcés pour les distances les plus courtes (Marandi *et al.*, 2013). Toutefois, même lorsqu'ils sont situés hors de la zone proximale des milieux humides, les effets cumulés de nombreux pompages peuvent réduire de manière marquée les apports d'eau souterraine aux milieux humides en aval (Carol *et al.*, 2013).

Grâce aux résultats d'un modèle d'écoulement souterrain et à l'aide de relations empiriques liant les niveaux piézométriques et les espèces végétales, Zhang *et al.* (2011) ont montré que la position des pompages semble jouer un rôle plus important lorsque le relief est peu marqué et que la nappe est peu profonde. La quantité d'eau prélevée semble être le facteur qui domine l'effet des pompages sur les espèces indicatrices de milieux humides lorsque le relief est plus marqué. Cette étude suggère les milieux humides situés dans les portions amont des bassins versants sont particulièrement vulnérables aux rabattements induits par des pompages. Par ailleurs, Armandine Les Landes *et al.* (2014), ont montré que si un pompage doit être mis en place à proximité d'un milieu humide, le choix de sa localisation ou la répartition des débits pompés dans plusieurs forages peut atténuer les effets sur le milieu humide.

Werner *et al.* (2016) et Tangen et Finocchiarro (2017) ont quantifié l'efficacité d'un périmètre de protection pour protéger des étangs vernaux de la région des Prairies des effets de drains souterrains installés dans l'aire d'alimentation des étangs. Les résultats de ces études montrent que l'installation des drains à l'extérieur du périmètre de protection permet de réduire les effets du drainage sur le bilan hydrique des milieux humides, en comparaison avec des drains situés à

l'intérieur du périmètre de protection. Les effets des drains souterrains sur l'hydrologie d'un milieu humide semblent également plus associés à la profondeur des tuyaux (des drains à une profondeur plus grande que la base du milieu humide induisant un effet plus grand sur celui-ci) qu'à la distance les séparant du milieu humide (Werner *et al.*, 2016). Toutefois, l'apport d'eau souterraine au bilan hydrique des étangs n'est pas considéré dans ces études puisqu'estimé négligeable aux sites étudiés. Il a été démontré par ailleurs que les étangs temporaires peuvent être connectés à la nappe au printemps et pendant les périodes d'activité hydrologique estivale (Roux, 2019).

Les travaux de McLaughlin *et al.* (2014) ont mis en évidence l'importance que la superficie totale de milieux humides et la présence de nombreux petits milieux humides dans une région peuvent avoir un rôle important pour maintenir les débits d'étiage et réduire des écarts de variation des niveaux de nappe. Les pompages ou le drainage qui réduiraient les apports d'eau aux milieux humides au point de modifier leur hydrologie, leur végétation et éventuellement leur superficie pourraient ainsi avoir des effets indirects sur l'hydrologie des bassins versants à une échelle beaucoup plus grande.

4.2.2 Propriétés hydrauliques des matériaux

Les propriétés hydrauliques des matériaux géologiques sous le milieu humide et autour de celui-ci, de même que celles des matériaux organiques à la base du milieu humide influencent l'amplitude du rabattement causé par un pompage ou un drainage, et jouent donc un rôle dans la modification des flux échangés. Il est généralement considéré que les flux verticaux entre un milieu humide et l'aquifère sous-jacent sont négligeables lorsque le substrat sous-jacent est peu perméable (Reeve *et al.*, 2000) et que ce contexte empêchera ou limitera l'effet sur le milieu humide d'une diminution des niveaux piézométriques à proximité. Il a toutefois été démontré que la présence d'un substrat peu perméable sous un milieu humide n'est pas nécessairement indicatrice d'une absence de connexion aquifère-milieu humide et d'une absence d'effet sur le milieu humide (Johansen *et al.*, 2011 ; 2014 ; Auterives *et al.*, 2011 ; Marandi *et al.*, 2013 ; Whittington et Price, 2013 ; Leclair *et al.*, 2015 ; Zurek *et al.*, 2015). Même s'il n'isole pas nécessairement le milieu humide en surface d'un pompage dans l'aquifère sous-jacent, un substrat peu perméable peut toutefois en retarder ou atténuer l'effet (Whittington et Price, 2013).

D'autre part, un matériau géologique typiquement perméable comme du sable peut avoir subi (localement ou sur de grandes surfaces) de l'oxydation qui peut créer une couche indurée très peu perméable contribuant à retenir l'eau dans le milieu humide et réduisant localement les échanges verticaux ou latéraux. Également, un socle rocheux reconnu comme étant très

perméable latéralement, à la faveur par exemple de joints de dissolutions, peut localement offrir une surface quasiment imperméable verticalement (p. ex., *Flat rocks Covey Hill* – Levison *et al.*, 2014). Dans ce cas, les échanges verticaux entre l'aquifère et le milieu humide seront très limités, mais les échanges latéraux peuvent être importants. L'épaisseur du substrat minéral à proximité du milieu humide ou sous celui-ci peut également avoir un effet sur la transmission des effets d'un pompage ou d'un drainage puisqu'une couche d'argile ou de silt de faible épaisseur ne sera pas nécessairement continue spatialement ou exempte de zones perméables. Whittington et Price (2013) suggèrent d'ailleurs qu'à la fois la conductivité hydraulique des sédiments peu perméables sous une tourbière et leur épaisseur doivent être considérées pour identifier les zones vulnérables à une baisse de niveau de nappe.

Les faibles conductivités hydrauliques des couches de tourbe profonde très décomposées peuvent être quasi-imperméables et atténuer de manière importante les échanges aquifère-milieu humide (p. ex., Levison *et al.* 2014). Même si la conductivité hydraulique de la tourbe diminue généralement de manière non linéaire avec la profondeur de la tourbe, en lien souvent avec le degré de décomposition de la matière organique (Baird *et al.*, 2008), les couches de tourbe les plus profondes n'ont pas toujours une faible conductivité hydraulique (Baird *et al.*, 2008 ; Auterives *et al.*, 2011). La présence de débris ligneux et de macropores peut créer des zones très perméables à la base d'une tourbière (Rossi *et al.*, 2012 ; Kopp *et al.*, 2013 ; Regan *et al.*, 2019). En raison de ces zones hétérogènes, une faible conductivité hydraulique de la matrice tourbeuse ou une grande épaisseur de tourbe ne sont pas nécessairement des indications d'une absence d'échanges verticaux (Johansen *et al.*, 2011 ; Rossi *et al.*, 2012) ou d'une déconnexion des rabattements dans l'aquifère sous-jacent (Kværner et Snilsberg, 2011 ; Regan *et al.*, 2019). La consolidation de la tourbe en raison d'un pompage ou de drainage peut également mener à une réduction hétérogène de la conductivité hydraulique des dépôts organiques (Kopp *et al.*, 2013 ; Regan *et al.*, 2019) pouvant mener localement à des connexions accrues avec l'aquifère sous-jacent. Dans ce contexte, le niveau de connexion avec l'aquifère peut être modifié par les activités de pompage ou de drainage.

4.2.3 Temps écoulé depuis le début de la perturbation

L'échelle de temps à laquelle les interactions entre l'eau de surface et l'eau souterraine se produisent est souvent très longue (années ou décennies), ce qui rend la gestion adéquate de ces systèmes difficiles lorsque seules des observations de réponses du système sont disponibles (Davids et Mehl, 2015). Selon les conditions hydrogéologiques, Noorduijn *et al.* (2018) soulignent qu'un décalage temporel important peut être observé entre la mise en opération d'un pompage et

le rabattement observé à proximité d'un milieu humide ou dans celui-ci. Ce décalage peut être causé par la présence de couches géologiques semi-perméables, par l'emmagasinement de l'aquifère ou par l'apport d'eau d'autres sources compensant l'effet du pompage. Si un état d'équilibre n'est pas atteint au cours d'un pompage, plusieurs années peuvent même s'écouler entre l'arrêt du pompage et l'atteinte du rabattement maximal (Barlow et Leake, 2012 ; Bredehoeft et Durbin, 2009). Dans ces conditions, il peut être très difficile d'identifier à court terme l'effet hydrologique dans le milieu humide d'un rabattement dans l'aquifère voisin ou sous-jacent. Ces effets à long terme sont particulièrement importants lorsque des perturbations majeures des écoulements souterrains sont mises en place, notamment lors de l'exploitation minière (Marandi *et al.* 2013 ; Whittington et Price, 2013 ; Leclair *et al.*, 2015).

Selon les conditions hydrogéologiques, de longues séries de données hydrologiques peuvent être requises pour bien comprendre la dynamique naturelle du milieu et pour pouvoir détecter adéquatement les rabattements qui peuvent apparaître à long terme ou sporadiquement selon les saisons ou les conditions météorologiques. Des observations sur quelques mois ou même sur une année peuvent être insuffisantes pour évaluer les effets sur l'hydrologie d'un milieu humide, si ces données ne reflètent pas les conditions permettant de comprendre les effets des variations saisonnières des précipitations et des niveaux d'eau (p. ex., Bacchus *et al.*, 2011 ; Cooper *et al.*, 2015). La disponibilité de données hydrologiques à long terme, combinée à une bonne compréhension des effets possibles d'un pompage ou d'un drainage, offre la possibilité de mettre en place une stratégie de prévention des effets indésirables au moyen d'interventions ciblées lorsqu'un certain seuil est atteint.

Le délai entre l'initiation d'un pompage ou d'un drainage et l'observation de l'effet sur l'écosystème pose un problème important au niveau de la gestion de la ressource en eau même avec l'utilisation de longues séries temporelles de mesures du niveau ou de géochimie de l'eau d'un milieu humide. Sophocleous (2007) suggère d'ailleurs de considérer à la fois le délai entre le début d'un pompage ou la mise en place du drainage et l'effet direct du rabattement induit sur le milieu humide et le temps, beaucoup plus long, requis pour que l'écosystème réagisse à cet effet. Par exemple, Pellerin *et al.* (2015) ont établi un lien, sur une période de 50 ans, entre l'invasion des arbres dans le complexe tourbeux de Lanoraie et la baisse des niveaux de nappe ayant suivi le développement de l'agriculture dans la région. Regan *et al.* (2019) ont quant à eux montré que sur une période d'une vingtaine d'années, le drainage d'un aquifère en périphérie d'une tourbière peut induire une subsidence de la tourbe réduisant sa conductivité hydraulique et ses échanges avec l'aquifère. Les modifications des paramètres physiques de la tourbe, comme la formation de macropores,

ont lieu très lentement et les perturbations des processus hydrologiques qui en découleront ne seront observables qu'après plusieurs années voir des décennies après l'initiation du pompage ou du drainage (Holden *et al.*, 2006).

4.2.4 Conditions météorologiques et climatiques

Les conditions météorologiques constituent un des principaux facteurs influençant les processus hydrologiques des milieux humides. Des conditions plus humides durant une année peuvent entraîner une augmentation de la recharge ainsi qu'une augmentation de l'émergence d'eau souterraine dans un écosystème connecté, et inversement lors d'années plus sèches (Auterive *et al.*, 2011 ; Armandine Les Landes *et al.*, 2014 ; Leclair *et al.*, 2015). Ainsi, en période humide, l'effet d'un pompage ou d'un drainage peut être peu visible tandis qu'en période sèche des niveaux de nappe plus bas combinés à une augmentation des prélèvements souterrains peuvent exacerber le rabattement dans le milieu humide (Auterives *et al.*, 2011 ; Johansen *et al.*, 2011 ; 2014). Également, une baisse du niveau d'eau dans l'aquifère causée par un pompage peut être du même ordre de grandeur que les variations entre les périodes sèches et humides à l'extérieur des zones d'influence du pompage (Auterives *et al.*, 2011). Il peut ainsi très souvent s'avérer difficile de dégager les tendances à long terme liées aux activités anthropiques de celles liées aux conditions météorologiques, de celles liées au changement climatique ou de celles attribuables aux changements dans l'occupation du territoire (Pellerin *et al.*, 2015 ; Whittington et Price, 2013).

4.3 Approches permettant d'identifier les effets

4.3.1 Suivis temporels

Le suivi des niveaux piézométriques est sans doute le suivi temporel le plus simple à mettre en place. Il permet de caractériser les connexions aquifère-milieu humide (identification des gradients hydrauliques et calcul de flux échangés ; p. ex., Johansen *et al.*, 2011 ; Ferlatte *et al.*, 2015 ; Bourgault *et al.*, 2019), mais également de détecter des changements à ces connexions (p. ex., Kvaerner et Snilsberg, 2011 ; Johansen *et al.*, 2011 ; Whittington et Price, 2012 ; 2013). S'ils sont réalisés à différents endroits dans et autour d'un milieu humide, les suivis piézométriques peuvent permettre d'identifier les zones les plus vulnérables au pompage ou au drainage (p. ex., Whittington et Price, 2012 ; 2013 ; Regan *et al.*, 2019).

Considérant que les conditions météorologiques peuvent être très variables d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre, le principal défi avec ces suivis est d'avoir des données pour une période suffisamment longue (plusieurs années), dans les conditions pré-perturbation et post-

perturbations, afin de pouvoir distinguer les variations saisonnières et interannuelles des effets du pompage ou du drainage. Ceci est nécessaire puisque, tel que décrit plus haut, l'absence de réaction immédiate dans un milieu humide à la suite de l'initiation d'un pompage ou de la mise en place d'un réseau de drains n'indique pas nécessairement une absence d'effet de la perturbation en raison du temps nécessaire pour détecter celui-ci.

Les suivis isotopiques (p. ex., Smerdon *et al.*, 2012 ; Isokongas *et al.*, 2017), géochimiques (Kopp *et al.*, 2013) ou physico-chimiques (Rossi *et al.*, 2012 ; Regan *et al.*, 2019) utilisés pour caractériser les connexions aquifère-milieu humide peuvent également permettre d'identifier les effets d'un pompage ou du drainage. Des suivis temporels de ces variables visant des états pré-perturbation et post-perturbation, ou des mesures ponctuelles visant des sites perturbés et non perturbés sont nécessaires pour identifier et comprendre les changements hydrologiques induits. Parce qu'ils sont représentatifs de différents réservoirs d'eau, ces variables permettent d'identifier des changements dans les connexions qui pourraient résulter d'un pompage ou d'un drainage (Rossi *et al.*, 2012 ; Zurek *et al.*, 2015). Ils permettent également de quantifier la proportion des différentes sources d'eau qui sont pompées ou drainées (Rossi *et al.*, 2012 ; Regan *et al.*, 2019). Il peut s'avérer complexe d'interpréter ces données lorsque des changements d'occupation du territoire altèrent la composition isotopique ou géochimique de l'eau (p. ex., Smerdon *et al.*, 2012). Les causes des changements observés deviennent alors difficiles à interpréter et des suivis temporels à long terme (mois, années) sont parfois nécessaires.

Le changement de végétation à travers le temps ou entre un site de référence et un site potentiellement perturbé par une activité anthropique peut indiquer le changement du régime hydrique d'un milieu humide. La baisse du niveau d'eau dans un milieu humide mène généralement à l'augmentation des espèces arbustives et des arbres (Talbot *et al.*, 2010 ; Kopp *et al.*, 2013 ; Cooper *et al.*, 2015 ; Pellerin *et al.*, 2015). Ces changements dans la végétation peuvent être observés ponctuellement sur le terrain (Cooper *et al.*, 2015) ou à l'aide de séquences de photos aériennes (Pellerin *et al.*, 2015). Les analyses paléoécologiques de pollens et de macrorestes peuvent également être combinées à l'analyse des thécamibes qui sont des organismes qui prolifèrent à la surface de la nappe dans la tourbe pour comprendre l'évolution à plus longs termes (siècles) d'une tourbière (p. ex., Talbot *et al.*, 2010 ; Pellerin *et al.*, 2015). Ces organismes reflètent la variabilité passée des niveaux de nappe, mais ils réagissent sans doute plus rapidement que les espèces végétales qui ont une certaine inertie.

4.3.2 Indicateurs et seuils

Des indicateurs de niveau de nappe ou de taux de baisse des niveaux peuvent être utilisés afin d'identifier une réponse hydrogéologique seuil à ne pas dépasser pour respecter la résilience naturelle d'un milieu humide (Currell, 2016 ; Noorduijn *et al.*, 2018). Ces indicateurs peuvent découler d'analyses empiriques basées sur de nombreuses études réalisées dans des conditions différentes qui, par exemple, mesurent la réponse de l'écosystème aux baisses du niveau de la nappe (Pfautsch *et al.*, 2015). Ils peuvent également être déduits de l'application de modèles numériques à des cas théoriques ou réels.

Le succès de cette méthode par niveau d'eau seuil nécessite une couverture adéquate des données spatio-temporelles de niveaux de nappe, la définition de seuils représentatifs et l'habileté à observer et à réagir à tous changements qui excéderont les seuils déterminés (Noorduijn *et al.*, 2018). Le réseau de suivi piézométrique doit couvrir une zone suffisamment grande autour du site étudié pour identifier l'effet du pompage et permettre la mesure des niveaux à une fréquence suffisamment grande pour le signalement progressif d'une perturbation. L'application de cette méthode peut donc nécessiter des coûts importants.

L'utilisation de valeurs seuils de rabattement a toutefois des limites, notamment car l'atteinte d'un seuil peut être difficile à identifier en raison des variations de niveau de nappe qui seraient masquées par des variations naturelles (Currell, 2016). Un taux de rabattement maximum permet de limiter les changements rapides des niveaux de nappe souterraine, mais est plus difficile à définir et à mesurer (Currell, 2016). Ces indicateurs sont surtout utilisés pour comprendre les effets des pompages et du drainage sur les milieux humides en contexte aride ou semi-aride (p. ex., Pfautsch *et al.*, 2015 ; Noorduijn *et al.*, 2018), mais sont aussi utilisés dans des environnements plus humides (p. ex., Marandi *et al.*, 2013 ; Aldous et Bach, 2014). Toutefois, puisque le choix d'un seuil adéquat dépend de la nature du milieu humide ainsi que du contexte morphologique, géologique et climatique, les indicateurs ne peuvent souvent pas être généralisés.

Des approches empiriques reliant certaines espèces et communautés végétales à des gammes spécifiques de niveaux de nappe ont été développés (p. ex., Zhang *et al.*, 2011). Ces approches sont basées sur l'hypothèse souvent démontrée que certaines espèces végétales indiquent, de manière binaire, la présence ou l'absence d'apport d'eau souterraine dans un milieu humide (Munger *et al.*, 2014). Des études ont d'ailleurs montré qu'au-delà d'une certaine profondeur de nappe, certaines espèces de milieux humides ne peuvent survivre (Aldous et Bach, 2014) et que des relations niveau de nappe-espèce peuvent être utilisées pour définir des seuils. Bien qu'ils soient spécifiques au contexte dans lequel ils ont été développés, ces approches empiriques

peuvent être utilisées pour prévoir les changements anticipés à court et moyen terme dans les espèces végétales présentes en réaction à un rabattement réel ou anticipé (dans le cas d'une étude d'avant-projet). Ces relations peuvent être appliquées à l'échelle du milieu humide directement pour estimer la transition de la végétation à l'intérieur de celui-ci (Laidig, 2012 ; Johansen *et al.*, 2018 ; 2014) ou à l'échelle du bassin versant (Laidig *et al.*, 2010 ; Zhang *et al.*, 2011). Leur fiabilité est toutefois limitée puisque des facteurs autres que l'hydrologie influencent également la distribution des différents types de végétation et d'espèces, répondant à des conditions reflétant l'effet combiné de l'hydrologie, la matière organique du sol, la teneur en eau et la texture (Duval *et al.*, 2012 ; Johansen *et al.*, 2018). Ces approches sont utiles pour anticiper les réponses écologiques de différents scénarios et pour aider la prise de décision de planification de l'utilisation du territoire et de gestion de la ressource en eau.

4.3.3 Bilan hydrique

Une approche par bilan hydrique peut être utilisée pour évaluer les volumes d'eau entrant et sortant d'un milieu humide. L'équation du bilan hydrique peut prendre différentes formes, selon les processus représentés et les données disponibles. Le calcul du bilan hydrique requiert généralement des données météorologiques (précipitations et évapotranspiration), le taux de ruissellement entrant (souvent difficile à quantifier avec précision), les débits superficiels sortants (lorsqu'il y a un exutoire), les apports ou les pertes d'eau souterraine (peuvent être estimés avec l'équation de Darcy) et les variations d'emmagasinement (p. ex., estimés avec la méthode de variation des niveaux de nappe, tel que suggéré par Bourgault *et al.*, 2017). Une comparaison du bilan hydrique pour des conditions pré-perturbation et post-perturbation peut permettre de quantifier comment un pompage ou un drainage affecte les entrées et les sorties d'eau d'un milieu humide. Leclair *et al.* (2015) et Auterive *et al.* (2011) ont utilisé une approche par bilan hydrique pour établir les effets du rabattement pour une exploitation minière d'un pompage sur des milieux humides.

Selon les données disponibles et les méthodes utilisées pour calculer les différentes composantes du bilan hydrique, il peut y avoir de grandes incertitudes dans le calcul d'un bilan hydrique. Par exemple, l'évapotranspiration réelle des tourbières boréales peut représenter un pourcentage important des précipitations annuelles et doit être estimée aussi précisément que possible (Isabelle *et al.*, 2018). Les méthodes les plus complexes pour estimer l'évapotranspiration (p. ex., celle de Penman-Monteith) sont aussi les plus fiables, mais elles nécessitent de nombreuses données dont plusieurs sont difficiles à mesurer de manière précise (Drexler *et al.*, 2004). Il est généralement souhaitable de considérer dans les calculs à la fois les erreurs sur les mesures, la

variabilité naturelle des flux, et la propagation de ces incertitudes dans le calcul du bilan hydrique (Auterives *et al.*, 2011).

Le calcul d'un bilan hydrique peut être utilisé comme un outil permettant d'établir une compréhension conceptuelle de l'hydrologie d'un milieu humide qui pourra être utilisée pour développer des modèles mathématiques (Charbonneau, 2016). En revanche, les bilans hydriques ne peuvent généralement pas être utilisés pour anticiper des conditions qui n'ont pas été observées, comme les effets d'un nouveau développement, puisqu'ils ne sont pas basés sur des équations prédictives. Dans certaines études, le bilan hydrique d'un milieu humide est calculé au moyen d'un modèle mathématique qui représente le milieu humide comme un réservoir qui se remplit et se vide suivant l'amplitude d'un ensemble de processus. Les équations utilisées pour calculer les flux et le bilan hydrique du milieu humide sont alors très simples et leur résolution est souvent directe, faisant appel à des paramètres (mesurés ou calés) pour reproduire les variations de niveaux dans le milieu humide ou dans la nappe, d'emménagement ou de flux entrant ou sortant. Ces modèles sont utilisés pour comprendre la dynamique hydrologique d'un milieu humide (Pike, 2004 ; Roux, 2019), ou peuvent servir à quantifier l'effet d'une pression anthropique ou d'une mesure de mitigation sur l'hydrosystème (p. ex., Tangen et Finocchiarro, 2017).

4.3.4 Modèles mathématiques

Les modèles mathématiques permettent de simuler les conditions pré-perturbation, de comprendre les effets du pompage et du drainage sur les milieux humides et d'anticiper l'efficacité des mesures d'atténuation de ces effets. Un modèle mathématique, hydrologique ou hydrogéologique, est basé sur un ensemble d'équations utilisant un ensemble de paramètres pour reproduire des variables clés du milieu étudié. Si ces variables sont mesurées sur le terrain ou en laboratoire, le modèle peut alors être calibré sur une réalité observée. Une fois calibré, il peut ensuite être utilisé pour comprendre les processus en jeu et prévoir les conditions hydrologiques futures en présence de changements dans le milieu naturel, de pressions anthropiques telles que le pompage ou le drainage, ou dans les conditions climatiques. La modélisation permet de couvrir différentes échelles spatiales, soit un bassin versant (Carol *et al.*, 2013 ; Armandine Les Landes *et al.*, 2014), le milieu humide et sa zone d'alimentation (Cooper *et al.*, 2015 ; Werner *et al.*, 2016), l'aquifère pompé (Zurek *et al.*, 2015) ou une zone à géométrie variable délimitée par le modélisateur (Kopp *et al.*, 2013 ; Marandi *et al.*, 2013 ; Johansen *et al.*, 2014).

Le modèle WETLANDSCAPE (Johnson *et al.*, 2010 ; Werner *et al.*, 2013) a été développé pour quantifier les effets des changements climatiques et d'occupation du territoire sur la dynamique hydrologique des milieux humides. Il a été adapté par la suite pour évaluer l'effet de l'installation

de drains à différentes distances et profondeurs d'un milieu humide sur la période d'inondation et la hauteur d'eau dans le milieu humide (Werner *et al.*, 2016). Le modèle permet de simuler la dynamique entre le niveau d'eau du milieu humide en surface, le niveau de la nappe souterraine et la végétation. Il nécessite la bathymétrie du milieu humide, les caractéristiques physiques du bassin versant (pente, le couvert végétal, les propriétés du sol) et les données météorologiques (température et précipitation).

Le modèle distribué DRAINMOD (Skaggs, 1978) peut également être utilisé pour quantifier l'effet sur un milieu humide du rabattement lié au drainage local. Il a été développé pour simuler la performance d'un système de drainage à l'échelle locale, sur des sols mal drainés à faible pente (Skaggs, 1978 ; Skaggs *et al.*, 2012). Le modèle peut simuler la position de la nappe, le contenu en eau du sol, les flux d'eau drainée, l'évapotranspiration et le ruissellement de surface à l'aide de données météorologiques, des propriétés du sol et des paramètres des cultures. Les principales applications récentes du modèle visent à évaluer l'effet du drainage sur les milieux humides sont plutôt axées sur le drainage dans le milieu humide plutôt qu'à proximité de celui-ci (Amatya *et al.*, 2019 ; Skaggs *et al.*, 2019).

Certains modèles hydrologiques conceptuels ou distribués permettent de représenter les milieux humides explicitement ou au moyen de fonctions intégratrices. Par exemple, le modèle HYDROTEL (Fossey *et al.*, 2015) et le modèle SWAT (p. ex., Qi *et al.*, 2019) proposent des modules pour représenter le rôle des milieux humides dans la rétention et le relargage de l'eau de surface. Ces modèles représentent généralement les aquifères et l'eau souterraine de manière très simplifiée et les flux échangés avec les milieux humides se limitent au ruissellement et au ruissellement hypodermique. Ils ont néanmoins l'avantage d'être d'usage très répandu et d'être calibrés à partir de données de débits relativement facilement accessibles.

Les modèles hydrogéologiques sont axés principalement sur les écoulements d'eau souterraine à travers des milieux poreux saturés. Le modèle d'écoulement souterrain le plus fréquemment rapporté dans la littérature est MODFLOW (Harbaugh, 2005), un modèle permettant de simuler les écoulements souterrains ainsi que certaines interactions avec la surface au moyen de modules indépendants (Smerdon *et al.*, 2012 ; Carol *et al.*, 2013 ; Kopp *et al.*, 2013 ; Marandi *et al.*, 2013 ; Armandine Les Landes *et al.*, 2014 ; Cooper *et al.*, 2015 ; Zurek *et al.*, 2015). Par exemple, le module « wetlands » de MODFLOW (Restrepo *et al.*, 1998) permet de simuler les flux entrant et sortant du milieu humide, les interactions entre le milieu humide et l'aquifère, l'évapotranspiration, ainsi que les variations de niveaux dans le milieu humide. Ce module a été utilisé pour identifier

la zone d'alimentation d'un milieu humide, l'effet de changement d'occupation du territoire dans cette zone et le rôle de l'écoulement régional sur l'atténuation des effets (Smerdon *et al.*, 2012).

Les modèles intégrés représentent les processus de surface et souterrains dans un même outil mathématique (p. ex., MIKE SHE – DHI, 2007 ; HydroGeoSphere – Therrien *et al.*, 2006 ; SWAT-MODFLOW – Kim *et al.*, 2008). Ces modèles intégrés sont utiles à l'échelle du bassin versant, car ils prennent en compte les rétroactions entre différentes composantes du cycle hydrologique et sont généralement reconnus comme étant les plus adaptés pour étudier les réservoirs situés aux interfaces entre les eaux de surface et l'eau souterraine (Golden *et al.*, 2014). Ils présentent l'avantage d'inclure tous les flux impliqués dans la dynamique des milieux humides, mais nécessitent beaucoup de données, de longs temps de calcul et une expertise technique plus grande que celle requise pour un modèle hydrologique ou hydrogéologique. Il existe encore relativement peu d'application de ces modèles dans des contextes similaires à ceux du Québec (p. ex., Jaro *et al.*, 2019 – modèle HydroGeoSphere).

5 SURVOL DE LA REGLEMENTATION EXISTANTE

La seconde partie du projet a permis de faire un survol de la réglementation utilisée pour limiter les effets des activités anthropiques sur les milieux humides, dans des régions où les conditions géoclimatiques sont similaires à celles du Québec. Cette recherche a visé les outils juridiques concernant les milieux humides d'importance pour la conservation, les mécanismes juridiques encadrant les activités réalisées à proximité des milieux humides et les cas où l'encadrement juridique des activités de prélèvements d'eau tient compte de la présence de milieux humides à proximité. Le texte qui suit résume les travaux réalisés par le CQDE (Champigny *et al.*, 2020 ; voir Annexe C) et les informations supplémentaires obtenues directement par l'UQAM (chercheurs et acteurs gouvernementaux œuvrant dans la protection des milieux humides).

5.1 Considérations générales

Parmi les juridictions étudiées, différents critères et processus sont utilisés afin d'encadrer l'assujettissement au processus de demande d'autorisations environnementales pour les activités à proximité des milieux humides. Dans la plupart des juridictions étudiées, tout comme au Québec, la décision de délivrer ou non une autorisation environnementale est discrétionnaire. Les critères législatifs et/ou réglementaires qui guident les décisions sont généralement énoncés en termes qualitatifs et généraux. Cependant, il est intéressant de constater que plusieurs juridictions étudiées réfèrent explicitement à l'effet d'une activité sur l'écoulement de l'eau souterraine, soit pour analyser le niveau d'impact sur le milieu humide (Vermont et New Hampshire), soit à titre de condition à l'autorisation (Maine) ou encore de motif de refus (France) pour un nouveau projet touchant un milieu humide. Cette reconnaissance de la connectivité hydrologique entre le milieu humide et l'eau souterraine fait donc partie intégrante de certains régimes législatifs ou réglementaires applicables aux milieux humides.

5.2 Milieux humides d'importance pour la conservation

La désignation de milieux d'importance est l'une des approches mises en place pour protéger certains milieux humides et qui leur confère généralement une protection supplémentaire (voir synthèse au Tableau 2 Annexe C). Dans certaines juridictions, la désignation « milieu humide d'importance » ou « milieu humide d'intérêt » implique seulement des considérations additionnelles lors de l'évaluation ou de l'autorisation environnementale (p. ex., Ontario, Nouveau-Brunswick, Angleterre et France). L'autorisation d'une activité à proximité d'un milieu désigné peut ainsi nécessiter une analyse plus exigeante et s'avérer plus difficile, mais être laissée à la

discrétion des analystes sur la base de critères plutôt qualitatifs et généraux. Dans d'autres juridictions, par exemple au Vermont, le régime de protection des milieux humides est directement lié au système de classification ou au processus de désignation de milieux humides. Ainsi, en fonction de catégories préétablies, certains milieux humides bénéficient d'emblée de mesures de protection accrues (p. ex., les milieux humides de type I et II au Vermont sont automatiquement protégés par un périmètre de protection).

Différentes approches peuvent être mises en place pour la désignation de milieux humides d'importance pour la conservation. Comme c'est le cas au Québec, l'Ontario, le Nouveau-Brunswick, le New Hampshire, la France et l'Angleterre procèdent à la désignation de milieux humides d'intérêt par pouvoir discrétionnaire du ministre sur la base de divers critères qualitatifs. Au Maine et au Vermont, un système de classification des milieux humides est intégré directement dans le régime d'autorisation, ce qui permet d'octroyer directement un statut d'importance. Dans l'état de New York, le pouvoir discrétionnaire est beaucoup plus limité et la désignation se fait par l'entremise d'un mécanisme « sur demande » par le dépôt d'une demande au Commissaire du *Department of Environmental Conservation*. Le milieu humide pourra être désigné par le Commissaire s'il répond à l'un des critères énumérés dans la loi.

5.2.1 Critères de désignation

Divers critères peuvent être définis au sein de la législation environnementale afin d'encadrer le processus de désignation. Entre autres, certaines juridictions reconnaissent le caractère particulier d'un milieu par le fait qu'il ait subi d'importantes perturbations dans le passé (p. ex., Nouveau-Brunswick). Ainsi, la rareté et la précarité peuvent constituer des motifs justifiant une protection supplémentaire.

En Angleterre, les normes qui protègent directement les milieux humides et leur zone tampon sont essentiellement celles qui régissent les permis délivrés par les autorités d'aménagement du territoire. La protection des milieux humides se fait principalement par l'entremise de la désignation d'aires protégées dont les critères et les lignes directrices peuvent viser directement certains types de milieux humides et des mesures de protection spécifiques, par exemple des périmètres de protection (voir section 4.3.1). Lors d'une demande de permis, le promoteur d'un projet est responsable de déterminer si son projet de développement est susceptible d'affecter un site protégé et de démontrer comment il sera perturbé. Il peut s'agir, par exemple, d'un parc national, d'un site d'intérêt scientifique particulier (*site of special scientific interest*, SSSI), d'une aire de conservation, d'un site Ramsar ou d'un site d'importance locale.

Dans la plupart des juridictions, les milieux humides peuvent se voir attribuer un intérêt particulier en raison des services écologiques qu'ils rendent (p. ex., réduction des risques d'inondation, amélioration de la qualité de l'eau et recharge de la nappe). Par exemple, au Vermont, les milieux humides de classes I et II sont considérés comme des milieux d'importance significative et sont cartographiés dans l'inventaire des milieux humides du Vermont¹. Les milieux humides de classe I reçoivent le plus haut niveau de protection sur la base de l'évaluation de leurs fonctions et services écosystémiques, ainsi que par leur caractère exceptionnel ou irremplaçable pour leur contribution à l'héritage naturel du Vermont. Ce système de classification prend notamment en compte le potentiel de stockage temporaire des eaux de crues et de ruissellement, ainsi que la contribution du milieu humide à la protection de l'eau de surface et souterraine. Au New Hampshire, le statut de *prime wetland* peut être accordé aux milieux de haute qualité sélectionnés par les municipalités. Parmi les critères utilisés pour cette évaluation, mentionnons la superficie du milieu humide, sa capacité d'atténuer les risques d'inondation et le potentiel d'exploitation de l'eau souterraine².

En France, l'intérêt des milieux humides est reconnu par l'entremise de leur utilité publique pour la gestion durable de la ressource en eau. À titre d'exemple, les milieux humides peuvent être considérés d'intérêt environnemental particulier si, entre autres, leur maintien ou leur restauration présente un intérêt pour la gestion intégrée du bassin versant. Les milieux humides peuvent également être définis dans un plan d'aménagement et de gestion durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques, en conformité avec les objectifs de quantité et de qualité d'eau du Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.

Au Vermont, des critères hydrologiques peuvent être reconnus pour certains types de milieux humides spécifiques leur permettant de fournir d'importants services écologiques, car ils forment des habitats fauniques significatifs. C'est le cas des étangs vernaux, reconnus pour constituer des habitats importants pour la reproduction des amphibiens en raison de leur assèchement saisonnier (Pyke, 2004 ; Johnson *et al.*, 2010). Un milieu humide contigu à une rivière ou à un lac, ou d'autres milieux humides interconnectés peuvent également être reconnus comme indicateurs que le milieu humide constitue un habitat faunique significatif³. Au Maine, les milieux humides

¹ Vermont Agency of Natural Resources. *Wetlands Inventory Map*, [en ligne : <<https://anrmaps.vermont.gov/websites/WetlandProjects/default.html>>].

² NEW HAMPSHIRE. *New Hampshire Code of Administrative Rules*, ch. Env-Wt 700, art. 701.02 et 701.03 (p. 67-68)

³ *Vermont Wetland Rules*, [en ligne : <https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/wsmc_VermontWetlandRules_2018.pdf >], s. 5.4.

côtiers et les étangs de grande superficie sont automatiquement désignés d'intérêt particulier. Les milieux humides d'eau douce peuvent également être considérés d'intérêt s'ils répondent à divers critères, ce qui inclut par exemple s'ils sont situés près d'un milieu humide côtier ou d'un étang de grande superficie, s'ils sont sujets à des inondations, si ce sont des tourbières ou encore s'ils se situent près d'une rivière, d'un cours d'eau ou d'un ruisseau.

Il est intéressant de souligner qu'au Québec, le pouvoir de désigner des milieux humides d'importance revient au ministre qui consulte les autorités municipales concernées. Bientôt, les informations contenues dans les plans régionaux des milieux humides (PRMHH) pourront éclairer ces décisions. Les MRC, responsables de la rédaction des PRMHH, sont libres d'utiliser la méthode de leur choix pour identifier les milieux humides d'importance pour la conservation, mais la plupart utilisent une approche multicritère. Le ministre peut considérer l'intérêt exceptionnel d'un milieu humide, notamment en lien avec sa diversité biologique et ses fonctions associées, son intégrité, sa rareté, sa superficie ou sa contribution à la sécurité du public.

5.2.2 Outils multicritères pour définir la valeur des milieux humides

Des outils multicritères sont développés dans plusieurs juridictions afin d'évaluer la valeur des milieux humides visés par des mesures de protection. Par exemple, en Alberta, le *Alberta Wetland Rapid Evaluation Tool* (ABWRET) est utilisé par le ministère de l'Environnement et des Parcs pour attribuer une valeur aux milieux humides sur la base des services écologiques qu'ils fournissent⁴. Cette valeur permet d'évaluer le niveau de protection qui sera considéré dans la demande d'autorisation pour une activité anthropique réalisée à l'intérieur ou à proximité du milieu humide.

Des guides méthodologiques sont rendus disponibles au New Hampshire décrivant la *Coastal Method* (Cook *et al.*, 1993) et la *New Hampshire Method* (Ammann et Lindley Stone, 1991) permettant de faire l'inventaire et d'évaluer la valeur des milieux humides présents sur le territoire. Ces dernières permettent d'attribuer une valeur aux milieux humides selon leurs fonctions et services écosystémiques, et cette valeur est intégrée dans l'inventaire des milieux humides pour être utilisée dans la planification de l'utilisation du territoire. Les municipalités du New Hampshire peuvent identifier les milieux humides de « haute qualité » et leur accorder le statut de *prime wetlands*.

⁴Pour plus de détails, consultez : Alberta, « Alberta Wetland Policy », [En ligne : <<https://www.alberta.ca/alberta-wetland-policy.aspx>>].

Le système d'évaluation des milieux humides de l'Ontario a été développé afin de permettre le classement des milieux humides selon leur valeur relative pour la planification d'utilisation du territoire. Les milieux humides identifiés comme à « haute valeur » sont considérés d'importance provinciale. La composante hydrologique de la méthode évalue le rôle que jouent les milieux humides dans le maintien, le contrôle et/ou la modification de la quantité et la qualité de l'eau qui s'écoule à travers le bassin versant, mais ne tient pas compte de l'eau souterraine (MNR, 2014a ; 2014b).

Il est important de souligner que l'application des méthodes multicritères présente des limites importantes. Elles sont souvent basées sur des généralités représentatives d'un échantillon de référence qui ne permettent pas de représenter les particularités de chaque site. Également, les résultats sont ainsi plutôt qualitatifs et l'identification d'un impact significatif demeure toujours un défi (Whiteman *et al.*, 2010). Ces approches simples sont souvent utilisées en appui à un jugement d'expert lorsque des données détaillées sur les milieux humides (UKTAG, 2005).

5.2.3 Les écosystèmes dépendants de l'eau souterraine

Des références spécifiques aux écosystèmes dépendants de l'eau souterraine (EDES) dans les politiques de gestion durable de l'eau font partie de quelques législations, notamment aux États-Unis (Californie), dans l'Union européenne, en Afrique du Sud et en Australie (Rohde *et al.*, 2017). La reconnaissance des EDES dans l'Union européenne fait partie de la Directive-cadre sur l'eau⁵ (DCE) et est un vecteur important pour la protection et la restauration des bassins hydrographiques à travers l'Europe, dans le but d'atteindre un bon statut écologique de l'eau de surface et de l'eau souterraine ainsi que des milieux humides qui en sont dépendants à travers la planification intégrée des bassins hydrographiques. L'un des objectifs de la DCE est d'établir un cadre pour la protection de l'eau souterraine. L'état des écosystèmes terrestres qui sont directement dépendants de l'eau souterraine est pris en considération lors de la caractérisation de l'état des aquifères. Cet état doit être caractérisé notamment au moyen d'une évaluation de l'état des EDES, à savoir s'ils sont alimentés par une eau de mauvaise qualité ou s'ils reçoivent

⁵ DIRECTIVE 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, [en ligne : < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32000L0060> >].

un volume d'eau insuffisant (Whiteman et al., 2010), auquel cas des mesures devront être mises en place pour rétablir la situation⁶.

En Angleterre, la réglementation entourant les EDES n'encadre pas directement les activités à l'intérieur ou à proximité des milieux humides. L'encadrement est fait plutôt de manière indirecte et fragmentée à travers les considérations pour l'eau souterraine. Le système anglais d'autorisation environnementale est fondé sur une approche basée sur le risque comme c'est le cas pour la *Loi sur la qualité de l'environnement* au Québec et repose sur une approche « activité-transfert-milieu récepteur » (*source-pathway-receptor*). Ainsi, lorsqu'un projet est assujéti à une demande de permis, les demandeurs doivent identifier la source de la perturbation (p. ex., un pompage), le mode de transmission des effets (p. ex., l'eau souterraine, zone de résurgence et/ou cours d'eau) et les milieux récepteurs qui seront affectés par l'activité. Puisque certains milieux humides et hydriques sont reconnus comme des EDES, ils sont considérés comme des récepteurs et c'est à travers le processus de demande et d'évaluation du risque qu'ils sont pris en considération.

Bien que la cartographie des milieux humides ait progressé significativement au Québec au cours de la dernière décennie (p. ex., CIC, 2020), les connaissances sur la répartition spatiale des EDES sur le territoire québécois sont encore très peu nombreuses et les spécificités de ces milieux ne sont pas encore intégrées dans la réglementation.

5.3 Mécanismes juridiques encadrant les activités à proximité des milieux humides

5.3.1 Délimitation d'une zone tampon

La littérature montre que l'utilisation d'une zone tampon (ou d'un périmètre de protection) autour d'un milieu humide peut permettre de limiter ou retarder l'effet d'un pompage ou du drainage sur l'hydrologie d'un milieu humide. Il est toutefois rapporté dans la littérature que l'utilisation d'une distance séparatrice ne réduit pas nécessairement les effets à long terme (Bredehoeft et Durbin, 2009 ; Noorduijn *et al.*, 2018).

Les zones tampons définissent une distance minimale à respecter par rapport aux limites du milieu humide et à l'intérieur duquel différentes activités sont interdites ou limitées. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer la taille de la zone tampon qui peut, par exemple, être

⁶ Technical Report no 6: Technical Report on Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems, [en ligne : < https://circabc.europa.eu/sd/a/0500f8ef-d16b-4086-a152-d783d19bb0b8/Technical_report_No6_GWDTEs.pdf >].

fonction de la valeur écologique du milieu humide ou être déterminée à l'aide de modèles analytiques simples (Noorduijn *et al.*, 2018). L'utilisation d'une zone tampon sous la forme d'un périmètre de protection à distance fixe est la plus courante, car elle est simple à mettre en place et à comprendre. Toutefois, les conditions nécessaires au maintien des fonctions écosystémiques des milieux humides ne sont pas nécessairement toutes protégées au moyen d'une zone tampon de taille fixe autour du milieu humide. Également, la mise en place d'un périmètre de protection à distance fixe est nécessairement limitée dans l'espace, n'inclue généralement pas l'ensemble de la zone d'alimentation d'un milieu humide et ne couvre pas nécessairement les effets de perturbations souterraines (Marandi *et al.*, 2013 ; Tangen *et al.*, 2017).

Certains critères particuliers peuvent être utilisés afin de définir les situations où le périmètre de protection s'applique. Par exemple, dans le Maine, une protection systématique d'une zone de 23 m (75 pieds) de la ligne des hautes eaux des milieux humides côtiers ou d'eau douce est prévue, tandis que les milieux humides littoraux dans l'état de New York bénéficient d'une zone tampon de 91 m (300 pieds). L'état de New York impose une zone tampon de 30 m (100 pieds) pour les milieux humides qui répondent à l'une des situations suivantes : (1) se composent d'une superficie de 5 ha (12,4 acres) et plus; (2) sont désignés d'importance locale particulière; (3) sont situés dans le Parc des Adirondacks et sont soit d'une superficie supérieure à un acre ou adjacent à une autre étendue d'eau. Au Vermont, les milieux humides de classe I et de classe II bénéficient respectivement d'une distance protectrice de 30 m (100 pieds) et de 15 m (50 pieds). Également, le New Hampshire prévoit une zone tampon de 30 m (100 pieds) autour des *prime wetland*.

Il est également possible de déterminer des périmètres de protection spécifiques à chaque milieu humide et ainsi adapter cette distance aux conditions géologiques et hydrologiques. En Suisse, les tourbières et les marais présentant un intérêt doivent bénéficier de zones tampons suffisantes au point de vue écologique⁷, telles que délimitées par les cantons⁸⁹. Ceci peut être réalisé à l'aide de la méthode « Espace Marais » (Grosvernier, 2018) qui permet de délimiter la zone d'approvisionnement en eau de chaque milieu humide et est basée sur un système d'information géographique, sur l'analyse des modèles numériques de terrain, des données topographiques,

⁷ ATF/BGE 124 II 19 de 1997, [en ligne :

<http://relevancy.bger.ch/php/clir/http/index.php?highlight_docid=atf%3A%2F%2F124-II-19%3Ade&lang=de&type=show_document >]

⁸ RS 451.32, *Ordonnance sur la protection des hauts-marais et des marais de transition d'importance nationale*, [en ligne : < <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19910009/index.html> >

⁹ RS 451.33, *Ordonnance sur la protection des bas-marais d'importance nationale*, [en ligne : < <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19940213/index.html> >

géomorphologiques, hydrographiques, pédologiques et de végétation. En Alberta, des recommandations sont émises pour assister les promoteurs privés dans l'élaboration d'un périmètre de protection de taille variable, selon les fonctions des milieux humides, dans le but de minimiser les impacts et les risques associés avec de nouvelles activités de développement près de plans d'eau (lacs, rivières et milieux humides) (AESRD, 2012). Pour les terres privées, un guide est accessible aux municipalités, groupes de bassin versant, développeurs et propriétaires de terrain pour faciliter l'élaboration d'un périmètre de protection.

5.3.2 Niveau de protection de la zone tampon

Certaines juridictions tiennent compte de l'établissement d'un tel périmètre autour des milieux humides afin d'encadrer les activités réalisées à proximité (voir synthèse au Tableau 1 Annexe C). Au Nouveau-Brunswick, au Maine, au New Hampshire et au Vermont, le périmètre de protection défini bénéficie du même niveau de protection que le milieu humide auquel il est associé. Dans l'état de New York, le niveau de protection accordé à la zone tampon peut s'avérer égal ou inférieur à celui du milieu humide adjacent. Une grille permet de classer les activités selon leur risque et leur effet, permet de déterminer si une activité est « incompatible » avec le maintien des fonctions écosystémiques du milieu et indique si le niveau de protection de la zone tampon sera inférieur ou égal à celui du milieu humide.

Il est également possible de déterminer des périmètres de protection en fonction de la nature de l'activité de perturbation. Par exemple, le Nouveau-Brunswick prévoit que toute perturbation du sol ou de travaux à moins de 30 m d'un milieu humide est interdite sans autorisation ministérielle (5 m pour les activités agricoles). En Écosse, certains projets de développement (routes, fossés et infrastructures linéaires) dans les milieux humides connus pour être des EDES peuvent nécessiter le respect d'un périmètre de protection (p. ex., 100 m pour une excavation < 1 m et de 250 m pour une excavation > 1 m). Au New Hampshire, pour les milieux humides autres que ceux désignés d'intérêt pour la conservation (*prime wetlands*), les projets situés dans un rayon de 30 m (100 pieds) de la plus haute ligne des eaux observables du milieu humide sont considérés comme des projets pouvant avoir un impact majeur, ce qui implique un niveau d'exigences plus strict.

Le cas de l'Angleterre se distingue des autres juridictions, car il n'y a pas nécessairement d'application directe de zones tampons. Ce sont plutôt les lignes directrices qui servent à la désignation de différents types d'aires protégées qui incluent des critères qui visent directement certains milieux humides et reconnaissent l'importance des zones adjacentes (par exemple, le statut SSSI). Ainsi, les tourbières de type ombrotrophe doivent être protégées d'activités potentiellement dommageables en périphérie et spécifiquement celles pouvant causer des

perturbations hydrologiques en maintenant ou augmentant le ruissellement par du drainage artificiel.

5.3.3 Analyse de la demande d'autorisation pour une activité dans la zone tampon

Différentes modalités encadrent l'assujettissement au processus de demande d'autorisation pour des activités se produisant dans la zone tampon. Au Nouveau-Brunswick, toutes perturbations du sol ou travaux à proximité d'un milieu humide sont interdits sans autorisation ministérielle. Cette règle s'applique aux projets ou constructions qui modifient un cours d'eau ou un milieu humide, peu importe si cette modification est permanente ou définitive (une liste d'activités est fournie). Le Vermont, le Maine et l'état de New York prévoient également des activités nécessitant une autorisation lorsqu'elles ont lieu dans le périmètre de protection entourant un milieu humide (p. ex., drainage, dragage, excavation, enlèvement de végétation, retrait ou dépôt de divers matériaux ou substrat, perturbation du sol et altération des flux d'eau). Au New Hampshire, toute activité à l'intérieur du périmètre de protection des *prime wetlands* doit faire l'objet d'une approbation ministérielle. Pour les autres milieux humides, les projets identifiés comme majeurs selon des critères établis et se déroulant dans la zone tampon doivent être autorisés et les demandeurs doivent analyser et démontrer de manière suffisante l'effet sur la quantité ou la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine. En Suisse, aucune modification du régime hydrique susceptible de compromettre l'approvisionnement en eau nécessaire à la conservation des marais n'est tolérée dans la zone tampon hydrologique (Grosvernier, 2018).

Les lignes directrices énoncées directement dans les lois, les règlements ou les documents internes prévus pour les analystes lors de l'évaluation d'une demande d'autorisation sont variables selon les juridictions. Également, elles sont souvent qualitatives et générales, laissant une place importante au pouvoir discrétionnaire. Au New Hampshire et au Vermont, l'analyste doit notamment évaluer si le demandeur a convenablement prouvé l'absence d'effet sur les fonctions protégées et la valeur du milieu humide. Dans ces deux États, la séquence éviter-minimiser-compenser est à la base de l'analyse des demandes d'autorisation. Il est intéressant de souligner que l'état du Vermont et du Maine, fait explicitement mention des effets cumulatifs à même ses règlements indiquant que les analystes ont l'obligation de prendre en considération les effets cumulatifs des différentes perturbations auxquelles le milieu humide visé est déjà soumis. C'est un concept important, qui figure rarement de manière explicite dans les outils réglementaires. Au Maine, pour obtenir un permis, il est obligatoire de démontrer, entre autres, que l'activité envisagée ne causera pas d'interférence déraisonnable avec le flux d'écoulement naturel de l'eau souterraine.

Dans l'État de New York, les demandes d'autorisation sont analysées sur la base du State Environmental Quality Review Act (SEQRA) qui prévoit le processus d'évaluation d'impact environnemental¹⁰. Une liste non exhaustive de critères et d'indicateurs est rendue disponible afin de déterminer si le projet pourrait causer des impacts environnementaux significatifs et l'importance de ces impacts¹¹. Les réglementations du SEQRA reconnaissent la subjectivité du terme « significatif », qui laisse place au pouvoir discrétionnaire et à la liberté de prendre en considération les différentes réalités et enjeux locaux lors de l'autorisation environnementale. Afin de déterminer si un impact potentiel est significatif, deux caractéristiques sont considérées soit l'intensité et l'importance. L'intensité permet d'évaluer les facteurs comme la sévérité, la taille ou l'étendue de l'impact. L'importance est liée au nombre de personnes qui seront affectées par cet impact ou par le projet; l'aspect géographique du projet; la durée et la probabilité que se produise chaque impact; ainsi que d'autres conséquences sociales ou environnementales additionnelles si le projet va de l'avant.

En Suisse, les installations, constructions et modifications de terrain sont autorisées dans le périmètre de protection à condition que les milieux humides d'importance nationale soient conservés intacts, et que la conservation et le développement de la flore et de la faune indigènes et des éléments écologiques indispensables à leur existence, ainsi que leurs particularités géomorphologiques ne soient pas modifiées. Les autorités décisionnelles doivent prendre des mesures de protection et d'entretien adéquates pour assurer une protection convenable et, entre autres, assurer que les écoulements locaux soient maintenus¹²¹³.

En Angleterre, préalablement à l'initiation d'un projet à l'intérieur de la zone tampon, les promoteurs doivent fournir certaines évaluations pour démontrer si le projet est susceptible d'influencer un milieu humide désigné comme aire protégée. Si c'est le cas, le projet pourrait être rejeté, sauf si l'impact est presque nul ou si des mesures d'atténuation sont mises en place. Lorsque des risques existent, l'autorité compétente pour délivrer le permis doit consulter *Natural*

¹⁰ Pour en connaître davantage à ce sujet, voir : NEW YORK STATE, « SEQR », [en ligne : < <https://www.dec.ny.gov/permits/357.html> >].

¹¹ CRR-NY 617.7, [en ligne : < [https://govt.westlaw.com/nycrr/Document/I4ec3ce62cd1711dda432a117e6e0f345?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=\(sc.Default\)](https://govt.westlaw.com/nycrr/Document/I4ec3ce62cd1711dda432a117e6e0f345?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default)) >]

¹² RS 451.32, *Ordonnance sur la protection des hauts-marais et des marais de transition d'importance nationale*, [en ligne : < <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19910009/index.html> >

¹³ RS 451.33, *Ordonnance sur la protection des bas-marais d'importance nationale*, [en ligne : < <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19940213/index.html> >

England, un organisme qui conseille le gouvernement en matière d'environnement, pour obtenir une approbation.

5.4 Encadrement juridique des activités de prélèvement d'eau

L'encadrement des activités de prélèvement d'eau souterraine est généralement basé, en premier lieu, sur un seuil de débit pompé qui assujettit l'activité au processus réglementaire nécessitant l'obtention d'un permis. Il se peut également que le régime prévoit des seuils de prélèvement pour interdire une activité, en plus d'une distance séparatrice avec un milieu humide, comme c'est le cas dans le Maine. Dans cet état, des interdictions distinctes sont prévues lorsque certains prélèvements sont effectués à environ 152 m (500 pieds) d'un milieu humide côtier ou d'eau douce (voir Annexe C).

Dans l'état de New York, l'autorité ministérielle détient le pouvoir de refuser, de modifier ou d'imposer des conditions à une demande d'autorisation de pompage si celle-ci a pour effet de perturber un milieu humide. Durant le processus d'autorisation, un essai de pompage doit être effectué afin d'évaluer l'impact sur le milieu humide à proximité. Les fluctuations dans le niveau ou l'écoulement des eaux doivent être mesurées dans les milieux humides situés dans un rayon de 305 m (1 000 pieds) du puits pompé. Des normes spécifiques doivent être respectées lors du test de pompage notamment que la durée du pompage soit au moins de 72 heures à taux de pompage constant et supérieur au taux de prélèvement de la demande d'autorisation, et que la stabilisation du rabattement soit observée pour une durée minimale de 6 heures¹⁴.

Au New Hampshire, un demandeur de permis de pompage doit fournir une longue liste d'information incluant une étude par modélisation hydrologique conceptuelle réalisée par un expert en accord avec les règles du code administratif¹⁵. Un bilan hydrique et une description du cycle hydrologique de la zone potentiellement perturbée par le pompage doivent également être inclus, en plus d'une description des processus de recharge, des flux d'eau souterraine et leurs interactions avec les milieux humides associés à la zone de pompage. Lorsque les informations disponibles n'assurent pas l'absence d'impact négatif irréversible ou immédiat, un programme de surveillance d'impact doit être mis en place par le titulaire de permis et il doit en faire annuellement rapport. Une étude doit être réalisée par des scientifiques ayant une expertise sur les milieux

¹⁴ NEW YORK STATE, « Pumping Test Procedures for Water Withdrawal Permit Applications », [en ligne : < <https://www.dec.ny.gov/lands/86950.html> >].

¹⁵ New Hampshire Code of Administrative Rules, Groundwater protection, Env-Wq 400, [en ligne : < <https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/legal/rules/documents/env-wq403.pdf> >], art. 403.06(5) et 403.09.

humides et doit comprendre entre autres, la description d'indicateurs hydrologiques précis, tels que la ligne des hautes eaux, le réseau de drainage et la saturation ou inondation des sols.

De manière générale, la perturbation du milieu humide, la perte de valeur du milieu humide, l'interférence avec l'écoulement naturel de l'eau de surface ou souterraine ou les effets cumulatifs des impacts peuvent constituer des motifs de refus pour une activité de prélèvement.

5.5 Efficacité des mesures de protection

Malgré la mise en place de nombreuses mesures visant à protéger les milieux humides, leur perte et leur dégradation continuent de progresser à travers le monde (Clare *et al.*, 2011 ; Clare et Creed, 2014 ; Davidson, 2014 ; Leitheiser, 2018 ; Serran *et al.*, 2018). Les politiques d'aucune perte nette, notamment mises en place aux États-Unis et au Canada, n'ont pas atteint leurs objectifs. Ceci pourrait provenir en partie du fait que ces politiques d'aucune perte nette reposent sur les efforts de mitigation pour contrebalancer la multiplication des permis de développement qui affectent les milieux humides additionnés à des mesures de compensation insuffisantes (Poulin *et al.*, 2016 ; Leitheiser, 2018). Par ailleurs, historiquement le développement s'est fait aux dépens des petits milieux humides qui ont subi le plus de perte. La littérature montre qu'il y a maintenant une transition vers le développement dans les milieux humides de plus grandes tailles (Serran *et al.*, 2014 ; van Meter et Basu, 2015).

Une des contraintes qui limitent l'efficacité des mesures de protection des milieux humides serait le manque des données historiques, de suivis à long terme et d'inventaires complets. Ceci limite une évaluation adéquate de leur état actuel (dommages et niveau de risque) ainsi que des effets de futurs développements. Ces informations sont toutefois essentielles pour mettre en œuvre une gestion durable de l'eau et du territoire et pour assurer l'efficacité des mesures de protection des milieux humides (Whiteman *et al.*, 2010 ; Clare *et al.*, 2011 ; Clare et Creed, 2014 ; Klove *et al.*, 2014).

Clare *et al.* (2011) soulèvent également le manque de lignes directrices claires ou d'approche standardisées pour prendre une décision d'octroi ou de refus d'octroyer de permis pour une activité anthropique à proximité d'un milieu humide. Ceci laisse place à l'interprétation subjective pouvant mener à un processus d'autorisation pouvant manquer de cohérence. Par exemple, un terme comme « absence de dommage significatif » est nécessairement subjectif puisqu'il n'est pas toujours possible de mesurer ou détecter un impact et que des seuils quantifiés sont rarement disponibles. Certains auteurs recommandent plutôt de cibler la restriction d'effets mesurables comme l'occupation du territoire, l'utilisation de l'eau et l'extraction de matière organique (Klove

et al., 2014). Une définition claire des zones tampons et des mesures contraignantes qui y sont appliquées semblent contribuer au succès des mesures réglementaires.

Selon Brody et Highfield (2005), la difficulté d'identifier, de reconnaître et de désigner des milieux humides prioritaires pour la conservation et la restauration serait en partie responsable des pertes croissantes de superficies de milieux humides et de l'altération de leurs fonctions. L'identification de milieux humides de haute priorité (milieux humides désignés comme d'intérêt ou d'importance), préalablement au développement (Clare *et al.*, 2011) et des contraintes claires quant aux activités permises à proximité de ces milieux humides sont recommandées pour faciliter la prise de décision quant à l'identification des terrains à développer et à l'octroi des permis.

6 RECOMMANDATIONS

À la suite de la revue de littérature scientifique et à l'analyse des cadres réglementaires dans différentes juridictions à travers le monde, certaines recommandations peuvent être faites pour guider une meilleure prise en compte des effets des activités de pompage et de drainage sur les milieux humides situés à proximité.

Recommandation 1

Continuer de développer les connaissances sur les milieux humides

La délimitation et la caractérisation des milieux humides à l'échelle du Québec doivent se poursuivre. La protection et la gestion des milieux humides sont directement reliées à la capacité de les définir par leurs types, leurs superficies et les contextes géomorphologiques dans lesquels ils se trouvent. La première étape de l'acquisition de données réside donc dans une meilleure identification des milieux humides. La cartographie des milieux humides, notamment les milieux humides forestiers et de petites tailles, doit être poursuivie et les inventaires de terrain élargis. Il apparaît également important de mieux comprendre la nature et l'intensité des connexions existantes entre les milieux humides et les eaux superficielles et souterraines. Il serait souhaitable de pouvoir décrire les conditions dans lesquelles les connexions sont possibles et d'évaluer l'état hydrologique actuel des milieux humides.

Recommandation 2

Réaliser des suivis à long terme

Les données piézométriques à proximité des milieux humides sont également cruciales pour identifier la présence des changements à court, moyen et long terme. Ceci est important d'une part, car les effets d'un pompage ou du drainage sur un milieu humide peuvent être visibles longtemps après l'initiation de l'activité et, d'autre part, en raison de l'évolution du climat et des changements dans l'utilisation du territoire à l'échelle des bassins versants. Le Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec pourrait être développé en ce sens et des suivis spécifiques aux projets de développement pourraient être demandés aux promoteurs. Une densification des suivis à proximité de milieux humides identifiés comme étant d'importance permettrait de mieux comprendre les effets spécifiques des activités de pompage ou de drainage, et contribuerait à établir une surveillance de ces effets.

Recommandation 3

Quantifier les seuils admissibles

La revue de littérature a souligné qu'il est très difficile de quantifier des seuils admissibles face aux rabattements induits par un pompage ou un drainage. Il est donc recommandé de réaliser de nouvelles études pour documenter des exemples de cas qui, en l'absence de données permettant d'établir des seuils pour identifier un impact significatif sur les milieux humides, contribueront à élargir la littérature disponible et permettront d'éclairer la prise de décision. À moyen terme, les données acquises contribueront à quantifier des seuils pour différentes conditions géologiques, topographiques et d'utilisation du territoire, fournissant ainsi des critères objectifs pour émettre des autorisations et pour encadrer le suivi des effets dans le temps. Il est intéressant de souligner que, pour pallier le manque de données quantitatives, d'autres juridictions ont choisi d'établir des listes d'activités potentiellement dommageables à proscrire autour d'un milieu humide, d'établir des distances séparatrices à respecter et d'identifier les milieux humides d'importance pour la conservation pour lesquels aucune perturbation n'est tolérée.

Recommandation 4

Estimer la valeur des milieux humides

Au Québec, des critères généraux et relativement subjectifs ont été jusqu'ici utilisés pour identifier les milieux humides d'intérêt ou d'importance. La réflexion sur la désignation des milieux humides est toutefois appelée à changer, notamment avec l'obligation pour les MRC de développer des Plans régionaux des milieux humides dans lesquels les milieux humides d'importance seront identifiés. Il est recommandé d'encadrer l'identification de la valeur des milieux humides, afin de faciliter une désignation qui pourrait être porteuse d'un réel niveau de protection. À la lumière de la revue de la réglementation en vigueur dans d'autres juridictions, différents critères pourraient être considérés dans l'évaluation de la valeur des milieux humides. La présence d'espèces rares ou menacées, la précarité du site, l'importance des services écologiques (incluant hydrologiques) qu'ils fournissent, ou la proportion du bassin versant occupée par les milieux humides sont quelques exemples de critères pouvant être utilisés.

Recommandation 5

Développer le concept de zone tampon

Ce travail a permis de mettre en évidence l'importance d'une zone tampon autour d'un milieu humide, dans laquelle les activités sont limitées, pour limiter les effets du pompage et du drainage sur le milieu humide. Même si les études existantes ne permettent pas de statuer sur la taille

optimale de cette zone tampon dans différentes conditions, la littérature démontre qu'elle a pour effet de réduire et retarder les effets du pompage et du drainage, tout en posant une contrainte concrète et facilement quantifiable aux promoteurs. Dans une première étape, les zones tampons à distance fixe pourraient être imposées aux milieux humides d'importance, permettant ainsi de limiter les activités à proximité et les changements hydrologiques. La manière dont l'obligation d'une zone tampon et le niveau de protection à lui accorder devraient être intégrés aux lois et règlements actuels dépasse toutefois le mandat de cette revue de littérature. À moyen terme, une méthodologie pour identifier des zones tampons plus complexes, adaptées à différentes pressions anthropiques (p. ex., déboisement, développement urbain, modifications hydrologiques dans la zone d'alimentation), à différents types de milieux humides et aux contextes géomorphologiques des bassins versants pourrait également être développée.

Recommandation 6

Établir un protocole pour l'évaluation des demandes d'autorisation

Il est recommandé d'élaborer un protocole incluant l'évaluation des variables qui contrôlent les effets du pompage ou du drainage sur un milieu humide afin d'uniformiser les informations demandées en vue de l'obtention d'un certificat d'autorisation. Par exemple, le contexte géologique (nature et épaisseur des dépôts, propriétés hydrogéologiques des matériaux), les directions d'écoulements superficiels et souterrains (en conditions naturelles et en conditions de pompage), la position et la profondeur des forages ou des drains, la végétation en présence, les conditions météorologiques (actuelles, passées et futures attendues) et les résultats d'essais hydrauliques à court et moyen terme pourraient être exigés. La démonstration des connexions hydrologiques en conditions naturelles établies par exemple avec la piézométrie, la géochimie ou les traceurs isotopiques pourrait également être ajoutée. Une quantification simple des flux échangés par bilan hydrique pourrait être une exigence pour les projets d'envergure limitée tandis qu'une modélisation numérique pourrait être demandée pour les projets plus importants. Le protocole devrait inclure des lignes directrices basées sur l'état des connaissances (et donc évolutives), pour favoriser la rigueur du processus d'octroi ou de refus d'un certificat d'autorisation.

Recommandation 7

Développer un outil de cartographie des milieux humides

Il est recommandé de développer un outil cartographique en ligne pour identifier les milieux humides du Québec. Cet outil pourrait inclure la valeur des milieux humides, les milieux humides d'importance et les zones tampons. Ceci faciliterait la tâche des promoteurs qui pourraient

consulter directement cet outil en ligne et évaluer, préalablement au dépôt d'une demande de certificat d'autorisation, le risque qu'un projet de développement affecte des milieux humides d'importance. Cet outil servirait également aux analystes du MELCC, leur permettant de consulter l'ensemble des données disponibles sur les milieux humides du territoire québécois. Il serait intéressant de s'inspirer du développement de ce type d'outils notamment au Wisconsin¹⁶, mais également dans d'autres juridictions¹⁷.

¹⁶ Wisconsin, Wetland by design, voir : <https://freshwaternet.org/projects/wetlands-by-design/>

¹⁷ Voir en Grande-Bretagne, l'outil Magic, consulté la carte interactive en ligne :

<https://magic.defra.gov.uk/MagicMap.aspx>

Voir aussi au Vermont, l'inventaire des milieux humides d'importance :

<https://vtanr.maps.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=02c6944d246e4b70b0db02660912f754#>

7 CONCLUSION

Le présent projet avait pour but 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. Une revue de la littérature scientifique a été réalisée, une synthèse des exigences légales utilisées dans d'autres juridictions est présentée et des recommandations sont émises sur la base des informations compilées.

Tous les articles revus rapportent des effets, plus ou moins importants, des pompages ou du drainage étudiés sur les milieux humides à proximité. Le pompage de l'eau souterraine et le drainage de la nappe engendrent généralement une baisse du niveau piézométrique dans l'aquifère qui peut avoir des effets très variables sur les niveaux d'eau dans le milieu humide. Une baisse du niveau d'eau dans le milieu humide peut entraîner des changements dans la végétation et des modifications permanentes des propriétés hydrauliques de la tourbe qui affecteraient l'hydrologie du milieu humide. Le rabattement de la nappe peut causer des changements dans les flux échangés entre l'aquifère et le milieu humide, ce qui peut modifier la chimie de l'eau dans le milieu humide et éventuellement la végétation, avec un effet d'entraînement. Il semble également assez clair que le cumul des pressions (p. ex., la combinaison de pompage et de drainage) peut accroître les effets.

Parmi les facteurs contrôlant les effets des pompages et du drainage sur les milieux humides la position de l'activité dans la zone d'alimentation du milieu humide apparaît comme étant particulièrement importante. L'effet d'un pompage sur les charges est généralement plus prononcé à proximité du site pompé et diminue progressivement avec l'éloignement, mais peut varier selon la nature de l'activité et les conditions topographiques et géologiques. Dans certains cas, les effets d'un pompage peuvent être mesurables à plusieurs kilomètres de distance. Les effets du drainage sur un milieu humide sont associés principalement avec des caractéristiques physiques comme la profondeur des drains par rapport à la base du milieu humide. Puisque la nature des matériaux géologiques influence la connexion aquifère-milieu humide, elle joue également un rôle dans l'effet d'un pompage ou du drainage. La littérature montre toutefois que la présence d'un substrat peu perméable sous un milieu humide n'isole pas nécessairement le milieu humide d'un pompage réalisé dans l'aquifère sous-jacent, même s'il en retarde ou atténue généralement l'effet. La littérature montre également qu'il peut y avoir un décalage assez grand entre le moment de la mise en opération d'un pompage et le moment où un rabattement dans un milieu humide voisin est observé, ce qui complique l'identification des effets possibles d'un pompage ou du drainage en conditions d'avant-projet. Également, il peut être difficile de

départager les changements à court et moyen terme liés aux activités anthropiques de ceux provenant de conditions météorologiques variables et de tendances climatiques à long terme.

La synthèse des mesures réglementaires mises en place ailleurs pour limiter les effets des activités anthropiques sur les milieux humides a permis d'identifier certaines pratiques qui pourraient trouver une application au Québec. Notamment, l'établissement de zones tampons est une approche utilisée dans plusieurs juridictions et permet de limiter les effets à court terme du développement sur les milieux humides, par exemple, en encadrant les activités anthropiques permises ou interdites dans ces zones tampons. La désignation de milieux humides d'intérêt particulier réalisée au moyen de différents critères définis par les diverses juridictions permet, dans certains cas, d'octroyer une protection particulière à ces écosystèmes d'importance. Un des éléments déterminant la force des processus réglementaires semble être le caractère contraignant et la définition claire du niveau de protection qui est accordé aux milieux humides et à leur zone tampon. Toutefois, l'efficacité de ces mesures pour limiter les effets du pompage ou du drainage sur les milieux humides mises en place ne semblent pas toujours porter fruit et la perte et la dégradation des milieux continuent de progresser.

La première recommandation formulée à la lumière de cette compilation d'informations est de continuer de développer les connaissances sur les milieux humides au niveau de la caractérisation, la cartographie et la compréhension de la nature et de l'intensité de leur connexion avec l'eau souterraine. Il est également recommandé de densifier les suivis à proximité des milieux humides d'importance, dans le but d'établir des relations de cause à effet à la suite de l'initiation des activités de pompage ou de drainage. Il est aussi suggéré de réaliser de nouvelles études pour documenter des exemples de cas qui, en l'absence de données permettant d'établir des seuils pour identifier un impact significatif sur les milieux humides, contribueraient à élargir la littérature disponible et à éclairer la prise de décision. Une autre recommandation vise à identifier les milieux humides d'intérêt sur la base de l'estimation de leur valeur, dans le but de faciliter les activités autorisées et les priorités de conservation. Le développement du concept de zone tampon autour des milieux humides est également recommandé puisqu'il s'agit d'une mesure objective dont les effets sont reconnus dans la littérature. Une autre recommandation vise à établir un protocole pour l'évaluation des demandes d'autorisation permettant d'uniformiser les demandes d'assurer la qualité des informations présentées aux analystes du MELCC et de faciliter la prise de décision pour l'octroi ou le refus d'un permis. Finalement, il est recommandé de développer un outil cartographique disponible en ligne pour identifier tous les milieux humides du Québec et les informations disponibles pour chacun. De tels outils ont fait leurs preuves ailleurs pour soutenir le développement des connaissances et la protection des milieux humides.

RÉFÉRENCES

- Acreman, M. et Holden, J. (2013). How Wetlands Affect Floods. *Wetlands*, 33(5), 773-786. doi: 10.1007/s13157-013-0473-2
- AESRD (Alberta Environment and Sustainable Resource Development). (2012). *Stepping back from the water: a beneficial management practices guide for new development near water bodies in Alberta's settled region*. Calgary, 86 p.
- Aldous, A. R. et Bach, L. B. (2014). Hydro-ecology of groundwater-dependent ecosystems: applying basic science to groundwater management. *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4), 530-544. doi: 10.1080/02626667.2014.889296
- Amatya, D. M., Chescheir, G. M., Williams, T. M., Skaggs, R. W. et Tian, S. (2019). Long-Term Water Table Dynamics of Forested Wetlands: Drivers and their Effects on Wetland Hydrology in The Southeastern Atlantic Coastal Plain. *Wetlands*. doi: 10.1007/s13157-019-01153-y
- Ameli, A. A. et Creed, I. F. (2017). Quantifying hydrologic connectivity of wetlands to surface water systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1791-1808. doi: 10.5194/hess-21-1791-2017
- Ammann, A. P. et Lindley Stone, A. J. (1991). *Method for the Comparative Evaluation of Nontidal Wetlands in New Hampshire* (NHDES-WRD-1991-3). New Hampshire Department of Environmental Services.
- Armandine Les Landes, A., Aquilina, L., De Ridder, J., Longuevergne, L., Pagé, C. et Goderniaux, P. (2014). Investigating the respective impacts of groundwater exploitation and climate change on wetland extension over 150 years. *Journal of Hydrology*, 509, 367-378. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.039
- Auterives, C., Aquilina, L., Bour, O., Davranche, M. et Paquereau, V. (2011). Contribution of climatic and anthropogenic effects to the hydric deficit of peatlands. *Hydrological Processes*, 25(18), 2890-2906.
- Avard, K., Larocque, M. et Pellerin, S. (2013). Perturbations des tourbières de la région de Bécancour, Centre-du-Québec, entre 1966 et 2010. *Le Naturaliste canadien*, 137(1), 8. doi: 10.7202/1013184ar
- Bacchus, S., Masour, J., Madden, M., Jordan, T. et Meng, Q. (2011). Geospatial analysis of depression wetlands near peace river watershed phosphate mines, Florida, USA. *Environmental and Engineering Geoscience*, 17(4), 391-415. doi: 10.2113/gsegeosci.17.4.391
- Baird, A. J., Eades, P. A. et SurrIDGE, B. W. J. (2008). The hydraulic structure of a raised bog and its implications for ecohydrological modelling of bog development. *Ecohydrology*, 1(4), 289-298. doi: 10.1002/eco.33
- Barlow, P. M. et Leake, S. A. (2012). *Streamflow depletion by wells: understanding and managing the effects of groundwater pumping on streamflow* (Circular 1376). Reston, Virginia : U.S. Geological Survey.
- Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J.-M. et Hunkeler, D. (2011). From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal*, 20(1), 5-25.

- Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J.-M. et Hunkeler, D. (2012). Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal*, 20(1), 5-25. doi: 10.1007/s10040-011-0791-5
- Blanchette, M., Rousseau, A. N. et Poulin, M. (2018). Mapping Wetlands and Land Cover Change with Landsat Archives: The Added Value of Geomorphologic Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 44(4), 337-356. doi: 10.1080/07038992.2018.1525531
- Bougon, N., Auterives, C., Aquilina, L., Marmonier, P., Derrider, J. et Vandenkoornhuysse, P. (2011). Nitrate and sulphate dynamics in peat subjected to different hydrological conditions: Batch experiments and field comparison. *Journal of Hydrology*, 411(1), 12-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.019>
- Bourgault, M.-A., Larocque, M. et Garneau, M. (2019). How do hydrogeological setting and meteorological conditions influence water table depth and fluctuations in ombrotrophic peatlands? *Journal of Hydrology X*, 4, 100032.
- Bourgault, M.-A., Larocque, M. et Garneau, M. (2017). Quantification of peatland water storage capacity using the water table fluctuation method. *Hydrological Processes*, 2017, 1-12.
- Bourgault, M.-A., Larocque, M. et Roy, M. (2014). Simulation of aquifer-peatland-river interactions under climate change. *Hydrology Research*, 45(3), 426-440.
- Bournival P., Varin, M. et Fink., J. (2017). Validation d'une méthode semi-automatisée de détection des milieux humides à partir du lidar aéroporté. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2017-01. 44 p.
- Bradford, A. (2016). Averting degradation of southern Ontario wetlands due to hydrologic alterations associated with development. *Canadian Water Resources Journal*, 51(4), 548-553.
- Bredehoeft, J. et Durbin, T. (2009). Ground water development—The time to full capture problem. *Groundwater*, 47(4), 506-514.
- Brody, S. D. et Highfield, W. E. (2005). Does planning work?: Testing the implementation of local environmental planning in Florida. *Journal of the American Planning Association*, 71(2), 159-175.
- Bullock, A. et Acreman, M. (2003). The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(3), 358-389. doi: 10.5194/hess-7-358-2003
- Canards illimités Canada (2020). *Carte interactive des milieux humides du Québec*. Page web consultée en octobre 2020 de <https://www.canards.ca/cartographie-detaillee-des-milieux-humides-du-quebec/>
- Carol, E., Kruse, E., Mancuso, M. et Melo, M. (2013). Local and regional water flow quantification in groundwater-dependent wetlands. *Water resources management*, 27(3), 807-817.
- Catford, J. A., Downes, B. J., Gippel, C. J. et Vesk, P. A. (2011). Flow regulation reduces native plant cover and facilitates exotic invasion in riparian wetlands. *Journal of Applied Ecology*, 48(2), 432-442.
- Champigny, G., Thibault-Bédard, P., Bishai, M. et Racicot, M.-A. (2020). *Projet de recherche sur l'impact des activités anthropiques sur la pérennité des milieux humides - Rapport final du volet juridique*. Montréal, QC : Centre québécois du droit de l'environnement (CQDE).
- Charbonneau, C. (2016). *Hydrologic Analysis for the Protection of Wetlands in Urban Development* (Master of Applied Science in Engineering). The University of Guelph. Guelph, Ontario, 106 p.

- Cho, E., Jacobs, J.M., Jia, X. et Kraatz, S. (2019). Identifying subsurface drainage using satellite big data and machine learning via Google Earth Engine. *Water Resources Research*, 55, 8028-8045.
- Clare, S., Krogman, N., Foote, L. et Lemphers, N. (2011). Where is the avoidance in the implementation of wetland law and policy? *Wetlands Ecology and Management*, 19(2), 165-182.
- Clare, S. et Creed, I. F. (2014). Tracking wetland loss to improve evidence-based wetland policy learning and decision making. *Wetlands ecology and management*, 22(3), 235-245.
- Cook, R. A., Lindley Stone, A. J. et Ammann, A. P. (1993). *Method for the evaluation and inventory of vegetated tidal marshes in New Hampshire*. Published by the Audubon Society of New Hampshire.
- Cooper, D. J., Wolf, E. C., Ronayne, M. J. et Roche, J. W. (2015). Effects of groundwater pumping on the sustainability of a mountain wetland complex, Yosemite National Park, California. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 87-105. doi: 10.1016/j.ejrh.2014.10.002
- Currell, M. J. (2016). Drawdown “Triggers”: A Misguided Strategy for Protecting Groundwater-Fed Streams and Springs. *Groundwater*, 54(5), 619-622. doi: 10.1111/gwat.12425
- Davids, J. C. et Mehl, S. W. (2015). Sustainable capture: Concepts for managing stream-aquifer systems. *Groundwater*, 53(6), 851-858.
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941.
- Deppe, M., Knorr, K.-H., McKnight, D. M. et Blodau, C. (2010). Effects of short-term drying and irrigation on CO₂ and CH₄ production and emission from mesocosms of a northern bog and an alpine fen. *Biogeochemistry*, 100(1), 89-103. doi: 10.1007/s10533-010-9406-9
- DHI. (2007). *Mike SHE user manual, Volume 1: User guide*, 396. Hørsholm, Danemark.
- Drexler, J. Z., Snyder, R. L., Spano, D. et Paw U, K. T. (2004). A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrological Processes*, 18(11), 2071-2101. doi: 10.1002/hyp.1462
- Ducks Unlimited Canada. (2010). *Southern Ontario wetland conversion analysis*. Ontario, Canada, 23 p.
- Duval, T. P., Waddington, J. M. et Branfireun, B. A. (2012). Hydrological and biogeochemical controls on plant species distribution within calcareous fens. *Ecohydrology*, 5(1), 73-89.
- Euliss, N. H., LaBaugh, J. W., Fredrickson, L. H., Mushet, D. M., Laubhan, M. K., Swanson, G. A., Winter, T. C., Rosenberry, D. O. et Nelson, R. D. (2004). The wetland continuum: A conceptual framework for interpreting biological studies. *Wetlands*, 24(2), 448-458. doi: 10.1672/0277-5212(2004)024[0448:TWACAF]2.0.CO;2
- Ferlatte, M., Quillet, A., Larocque, M., Cloutier, V., Pellerin, S. et Paniconi, C. (2015). Aquifer-peatland connectivity in southern Quebec (Canada). *Hydrological Processes*, 29(11), 2600-2612. doi: 10.1002/hyp.10390
- Fossey, M., Rousseau, A.N., Bensalma, F., Savary, S., Royer, A. (2015). Integrating isolated and riparian wetland modules in the PHYSITEL/HYDROTEL modelling platform: model performance and diagnosis. *Hydrological Processes*, 29(22), 4683-4702.
- Golden, H. E., Lane, C. R., Amatya, D. M., Bandilla, K. W., Raanan Kiperwas, H., Knightes, C. D. et Ssegane, H. (2014). Hydrologic connectivity between geographically isolated wetlands

- and surface water systems: A review of select modeling methods. *Environmental Modelling & Software*, 53, 190-206. doi: 10.1016/j.envsoft.2013.12.004
- Grootjans, A. P., Adema, E. B., Bleuten, W., Joosten, H., Madaras, M. et Janáková, M. (2006). Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows: an overview. *Applied Vegetation Science*, 9(2), 175-184.
- Grosvernier, P. (2018). *Maintien des ressources en eau dans le bassin versant des biotopes marécageux d'importance nationale - Rapport synthèse*. Suisse : Office fédéral de l'environnement (OFEV), 19 p.
- Harbaugh, A. W. (2005). *MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - the Ground-Water Flow Process (Techniques and Methods 6-A16)*. U.S. Geological Survey.
- Holden, J., Evans, M., Burt, T. et Horton, M. (2006). Impact of land drainage on peatland hydrology. *Journal of Environmental Quality*, 35, 1764-1778.
- Hunt, R. J., Strand, M. et Walker, J. F. (2006). Measuring groundwater–surface water interaction and its effect on wetland stream benthic productivity, Trout Lake watershed, northern Wisconsin, USA. *Journal of Hydrology*, 320(3), 370-384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.029>.
- Isabelle, P.-E., Nadeau, D. F., Rousseau, A. N. et Ancil, F. (2018). Water budget, performance of evapotranspiration formulations, and their impact on hydrological modeling of a small boreal peatland-dominated watershed. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 55(2), 206-220. doi: 10.1139/cjes-2017-0046.
- Isokangas, E., Rossi, P.M., Ronkanen, A.-K., Marttila, H., Rozanski, K. et Klove, B. (2017). Quantifying spatial groundwater dependence in peatlands through a distributed isotope mass balance approach. *Water Resources Research*, 53(3), 2524-2541.
- Jaros, A., Rossi, P.M., Ronkanen, A.-K. et Klove, B. (2019). Parameterisation of an integrated groundwater-surface water model for hydrological analysis of boreal aapa mire wetlands. *Journal of Hydrology*, 575, 175-191.
- Johansen, O. M., Andersen, D. K., Ejrnæs, R. et Pedersen, M. L. (2018). Relations between vegetation and water level in groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTEs). *Limnologica*, 68, 130-141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.01.010>
- Johansen, O. M., Jensen, J. B. et Pedersen, M. L. (2014). From groundwater abstraction to vegetative response in fen ecosystems. *Hydrological Processes*, 28(4), 2396-2410. doi: 10.1002/hyp.9808
- Johansen, O. M., Pedersen, M. L. et Jensen, J. B. (2011). Effect of groundwater abstraction on fen ecosystems. *Journal of Hydrology*, 402(3), 357-366. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.031
- Johnson, W. C., Werner, B., Guntenspergen, G. R., Voldseth, R. A., Millett, B., Naugle, D. E., Tulbure, M., Carroll, R. WH., Tracy, J. et Olawsky, C. (2010). Prairie wetland complexes as landscape functional units in a changing climate. *BioScience*, 60(2), 128-140.
- Joly, M., Laniel, J.-P. et Leblanc, D. (2008). *Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides*. Première édition, Québec : ministère du Développement durable, environnement et parcs Québec, Direction du patrimoine écologique et des parcs, ISBN 978-2-550-53636-9, 68 p.

- Jutras, S. et Plamondon, A. P. (2020). Fonctions hydrologiques des milieux humides boisés soumis à l'aménagement forestier : une revue de la littérature. *Écoscience*, 1-31. doi: 10.1080/11956860.2020.1772612
- Kim N.W., Chung I.M., Won Y.S. et Arnold J.G. (2008). Development and application of the integrated SWAT–MODFLOW model. *Journal of Hydrology*, 356, 1–16.
- Klove, B., Ala-aho, P., Bertrand, G., Boukalova, Z., Ertürk, A., Goldscheider, N., ... Widerlund, A. (2011). Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 770-781. doi: 10.1016/j.envsci.2011.04.002
- Klove, B., Balderacchi, M., Gemitzi, A., Hendry, S., Kværner, J., Muotka, T. et Preda, E. (2014). Protection of groundwater dependent ecosystems: current policies and future management options. *Water Policy*, 16(6), 1070-1086. doi: 10.2166/wp.2014.014
- Konikow, L. F. et Leake, S. A. (2014). Depletion and capture: revisiting “the source of water derived from wells”. *Groundwater*, 52(S1), 100-111.
- Kopp, B. J., Fleckenstein, J. H., Roulet, N. T., Humphreys, E., Talbot, J. et Blodau, C. (2013). Impact of long-term drainage on summer groundwater flow patterns in the Mer Bleue peatland, Ontario, Canada. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(9), 3485–3498. doi: 10.5194/hess-17-3485-2013
- Kværner, J. et Snilsberg, P. (2011). Groundwater hydrology of boreal peatlands above a bedrock tunnel – Drainage impacts and surface water groundwater interactions. *Journal of Hydrology*, 403(3), 278-291. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.04.006
- Laidig, K. J. (2012). Simulating the effect of groundwater withdrawals on intermittent-pond vegetation communities. *Ecohydrology*, 5(6), 841-852. doi: 10.1002/eco.277
- Laidig, K. J., Zampella, R. A., Brown, A. M. et Procopio, N. A. (2010). Development of vegetation models to predict the potential effect of groundwater withdrawals on forested wetlands. *Wetlands*, 30(3), 489-500. doi: 10.1007/s13157-010-0063-5
- Larocque, M., Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T., Needelman, M., Cloutier, C.-A. et McKenzie, J. M. (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*, 41(4), 528-542. doi: 10.1080/07011784.2015.1128360
- Leake, S. A., Reeves, H. W. et Dickinson, J. E. (2010). A new capture fraction method to map how pumpage affects surface water flow. *Groundwater*, 48(5), 690-700.
- Leclair, M., Whittington, P. et Price, J. (2015). Hydrological functions of a mine-impacted and natural peatland-dominated watershed, James Bay Lowland. *Journal of Hydrology*, 4, 732-747.
- Lee, S., McCarty, G. W., Moglen, G. E., Lang, M. W., Sadeghi, A. M., Green, T. R., Yeo, I.Y. et Rabenhorst, M. C. (2019). Effects of subsurface soil characteristics on wetland–groundwater interaction in the coastal plain of the Chesapeake Bay watershed. *Hydrological Processes*, 33(2), 305-315. doi: 10.1002/hyp.13326
- Leitheiser, S. (2018). The Politics of “Better Than Nothing” in National Wetland Protection Law. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 21(1), 51-78. doi: 10.1080/13880292.2017.1413781

- Levison, J., Larocque, M., Fournier, V., Gagné, S., Pellerin, S. et Ouellet, M.-A. (2014). Dynamics of a headwater system and peatland under current conditions and with climate change. *Hydrological Processes*, 28, 4808-4822.
- Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J., Freeman, C., Holden, J., Roulet, N., Rydin, H. et Schaeppman-Strub, G. (2008). Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications? a synthesis. *Biogeosciences Discussions*, 5(2), 1379-1419.
- Liu, Q., Mou, X., Cui, B. et Ping, F. (2017). Regulation of drainage canals on the groundwater level in a typical coastal wetlands. *Journal of Hydrology*, 555, 463-478. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.10.035
- Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jöeleht, A., Kohv, M., Hang, T. et Hiiemaa, H. (2013). Simulation of the hydrogeologic effects of oil-shale mining on the neighbouring wetland water balance: case study in north-eastern Estonia. *Hydrogeology Journal*, 21(7), 1581-1591. doi: 10.1007/s10040-013-1032-x
- McLaughlin, D. L., Kaplan, D. A. et Cohen, M. J. (2014). A significant nexus: Geographically isolated wetlands influence landscape hydrology. *Water Resources Research*, 50(9), 7153-7166. doi: 10.1002/2013WR015002
- MELCC (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques). (2020). *Projets d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines*. Page web consultée en octobre 2020
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisition-connaissance.htm>.
- Mitsch, W. et Gosselink, J. (2015). *Wetlands* (Fifth edition). New Jersey : John Wiley et Sons.
- MNR (Ministry of Natural Resource and Forestry). (2014a). *Ontario wetland evaluation system - Northern Manual* (1st edition, version 1.3). Ontario, 280 p.
- MNR (Ministry of Natural Resource and Forestry). (2014b). *Ontario wetland evaluation system - Southern manual* (3rd edition, version 3.3). Ontario, 280 p.
- Munger, J., Pellerin, S., Larocque, M. et Ferlatte, M. (2014). Espèces végétales indicatrices des échanges d'eau entre tourbière et aquifère. *Le Naturaliste canadien*, 138(1), 4-12. doi: 10.7202/1021038ar
- Neff, B. P., Rosenberry, D. O., Leibowitz, S. G., Mushet, D. M., Golden, H. E., Rains, M. C., Brooks, J. R. et Lane, C. R. (2020). A hydrologic landscapes perspective on groundwater connectivity of depressional wetlands. *Water*, 12(1), 50. doi: 10.3390/w12010050
- Noorduijn, S. L., Cook, P. G., Simmons, C. T. et Richardson, S. B. (2018). Protecting groundwater levels and ecosystems with simple management approaches. *Hydrogeology Journal*, 27(1), 225-237. doi: 10.1007/s10040-018-1849-4
- Norlin, J. I., Bayley, S. E. et Ross, L. C. (2006). Zooplankton composition and ecology in western boreal shallow-water wetlands. *Hydrobiologia*, 560(1), 197-215.
- NWWG (National Wetlands Working Group). (1997). *The Canadian wetland classification system* (Second Edition). University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Pellerin, S., Lavoie, M., Boucheny, A., Larocque, M. et Garneau, M. (2015). Recent vegetation dynamics and hydrological changes in bogs located in an agricultural landscape. *Wetlands*, 36, 159-168.
- Pellerin, S. et Poulin, M. (2013). *Analyse de la situation des milieux humides au Québec et recommandations à des fins de conservation et de gestion durable*. Rapport final présenté

- au Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs. Montréal, QC, 104 p.
- Pfautsch, S., Dodson, W., Madden, S. et Adams, M. A. (2015). Assessing the impact of large-scale water table modifications on riparian trees: a case study from Australia. *Ecohydrology*, 8(4), 642-651.
- Poulin, M., Pellerin, S., Cimon-Morin, J., Lavallée, S., Courchesne, G. et Tendland, Y. (2016). Inefficacy of wetland legislation for conserving Quebec wetlands as revealed by mapping of recent disturbances. *Wetlands Ecology and Management*, 24(6), 651-665.
- Pyke, C. R. (2004). Simulating vernal pool hydrologic regimes for two locations in California, USA. *Ecological Modelling*, 173(2-3), 109-127. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2003.08.014
- Qi, J., Zhang, X., Lee, S., Moglen, G.E., Sadeghi, A.M., McCarty, G.W. (2019). A coupled surface water storage and subsurface water dynamics model in SWAT for characterizing hydroperiod of geographically isolated wetlands. *Advances in Water Resources*, 131, 103380.
- Racchetti, E., Bartoli, M., Soana, E., Longhi, D., Christian, R., Pinardi, M. et Viaroli, P. (2011). Influence of hydrological connectivity of riverine wetlands on nitrogen removal via denitrification. *Biogeochemistry*, 103(1-3), 335-354.
- Reeve, A. S., Siegel, D. I. et Glaser, P. H. (2000). Simulating vertical flow in large peatlands. *Journal of Hydrology*, 227(1), 207-217. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00183-3)
- Regan, S., Flynn, R., Gill, L., Naughton, O. et Johnston, P. (2019). Impacts of groundwater drainage on peatland subsidence and its ecological implications on an Atlantic raised bog. *Water Resources Research*, 55(7), 6153-6168. doi: 10.1029/2019WR024937
- Restrepo, J. I., Montoya, A. M. et Obeysekera, J. (1998). A wetland simulation module for the MODFLOW ground water model. *Groundwater*, 36(5), 764-770.
- Richardson S, Irvine, E., Froend, R., Boon, P., Barber, S. et Bonneville, B. (2011). *Australian groundwater-dependent ecosystems toolbox part 2: assessment tools*. Waterlines report, National Water Commission, Canberra, Australia, 92 p.
- Rohde, M. M., Froend, R. et Howard, J. (2017). A Global Synthesis of Managing Groundwater Dependent Ecosystems Under Sustainable Groundwater Policy. *Groundwater*, 55(3), 293-301. doi: 10.1111/gwat.12511
- Rohde, M. M., Matsumoto, S., Howard, J., Liu, S., Riege, L. et Remson, E. J. (2018). *Groundwater Dependent Ecosystems under the Sustainable Groundwater Management Act: Guidance for Preparing Groundwater Sustainability Plans*. San Francisco, California : The Nature Conservancy.
- Rosa, E., Dallaire, P.-L., Nadeau, S., Cloutier, V., Veillette, J., van Bellen, S. et Larocque, M. (2018). A graphical approach for documenting peatland hydrodiversity and orienting land management strategies. *Hydrological Processes*, 32(7), 873-890. doi: 10.1002/hyp.11457
- Rossi, P. M., Ala-aho, P., Ronkanen, A.-K. et Kløve, B. (2012). Groundwater–surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology*, 432-433, 52-60. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.02.026
- Roux, M. (2019). *Dynamique hydrique de milieux humides temporaires dans la forêt du Québec méridional*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal. Montréal, QC, 154 p.

- RQES (Réseau québécois sur les eaux souterraines). (2020). *Introduction à l'hydrogéologie*. Page web consultée en octobre 2020 www.rges.ca.
- Serran, J. N., Creed, I. F., Ameli, A. A. et Aldred, D. A. (2018). Estimating rates of wetland loss using power-law functions. *Wetlands*, 38(1), 109-120. doi: 10.1007/s13157-017-0960-y
- Skaggs, R. W. (1978). *A water management model for shallow water table soils*. Water Resources Research Institute of the University of North Carolina.
- Skaggs, R. W., Amatya, D. M. et Chescheir, G. M. (2019). Effects of Drainage for Silviculture on Wetland Hydrology. *Wetlands*. doi: 10.1007/s13157-019-01202-6
- Skaggs, R. W., Youssef, M. et Chescheir, G. (2012). DRAINMOD: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1509-1522.
- Smerdon, B. D., Mendoza, C. A. et Devito, K. J. (2012). The impact of gravel extraction on groundwater dependent wetlands and lakes in the Boreal Plains, Canada. *Environmental Earth Sciences*, 67(5), 1249-1259. doi: 10.1007/s12665-012-1568-4
- Sophocleous, M. (2007). The science and practice of environmental flows and the role of hydrogeologists. *Groundwater*, 45(4), 393-401.
- Strack, M., Waddington, J. et Tuttila, E. (2004). Effects of water table drawdown on northern peatland methane dynamics: implications for climate change. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, GB4003.
- Talbot, J., Richard, P. J. H., Roulet, N. T. et Booth, R. K. (2010). Assessing long-term hydrological and ecological responses to drainage in a raised bog using paleoecology and a hydrosequence. *Journal of Vegetation Science*, 21(1), 143-156.
- Tangen, B. A. et Finocchiaro, R. G. (2017). A case study examining the efficacy of drainage setbacks for limiting effects to wetlands in the Prairie Pothole Region, USA. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 8(2), 513-529. doi: 10.3996/022017-JFWM-012
- Therrien, R., McLaren, R.G., Sudicky, E.A. et Panday, S.M. (2006). *Hydrogeosphere*. Waterloo, Canada: University of Waterloo, Groundwater Simulations Group.
- UKTAG. (2005). *UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive Draft Protocol for determining 'Significant Damage' to a 'Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystem' (Version 9.6)*. United-Kindom : UK Technical Advisory Group.
- USDA-Forest Service (United States Department of Agriculture). (2012). *Groundwater-dependent ecosystems : Level 1 inventory field guide - Inventory methods for assessment and planning*. Gen. Tech. Report WO-86a.
- Van der Kamp, G. et Hayashi, M. (2009). Groundwater-wetland ecosystem interaction in the semiarid glaciated plains of North America. *Hydrogeology Journal*, 17(1), 203-214. doi: 10.1007/s10040-008-0367-1
- Van Diggelen, R., Middleton, B., Bakker, J., Grootjans, A. et Wassen, M. (2006). Fens and floodplains of the temperate zone: present status, threats, conservation and restoration. *Applied Vegetation Science*, 9(2), 157-162.
- Van Meter, K. J. et Basu, N. B. (2015). Signatures of human impact: size distributions and spatial organization of wetlands in the Prairie Pothole landscape. *Ecological Applications*, 25(2), 451-465.
- Verhoeven, J., Arheimer, B., Yin, C. et Hefting, M. (2006). Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(2), 96-103.

- Werner, B. A., Johnson, W. C. et Guntenspergen, G. R. (2013). Evidence for 20th century climate warming and wetland drying in the North American Prairie Pothole region. *Ecology and Evolution*, 3(10), 3471-3482.
- Werner, B., Tracy, J., Johnson, W. C., Voldseth, R. A., Guntenspergen, G. R. et Millett, B. (2016). Modeling the effects of tile drain placement on the hydrologic function of farmed prairie wetlands. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(6), 1482-1492. doi: 10.1111/1752-1688.12471
- Whiteman, M., Brooks, A., Skinner, A. et Hulme, P. (2010). Determining significant damage to groundwater-dependent terrestrial ecosystems in England and Wales for use in implementation of the Water Framework Directive. *Ecological Engineering*, 36(9), 1118-1125. doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.03.013
- Whittington, P. et Price, J. (2012). Effect of mine dewatering on peatlands of the James Bay Lowland: the role of bioherms. *Hydrological Processes*, 26, 1818-1826.
- Whittington, P. et Price, J. (2013). Effect of mine dewatering on the peatlands of the James Bay Lowland: the role of marine sediments on mitigating peatland drainage. *Hydrological Processes*, 27, 1845-1853.
- Zedler, J. et Kercher, S. (2005). Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Reviews of Environmental Resources*, 30, 39-74.
- Zhang, Y., Miao, Z., Bogner, J. et Lathrop Jr., R. G. (2011). Landscape scale modeling of the potential effect of groundwater-level declines on forested wetlands in the New Jersey Pinelands. *Wetlands*, 31(6), 1131-1142. doi: 10.1007/s13157-011-0223-2
- Zurek, A. J., Witczak, S., Dulinski, M., Wachniew, P., Rozanski, K., Kania, J., Postawa, A., Karczewski, J. et Moscicki, W. J. (2015). Quantification of anthropogenic impact on groundwater-dependent terrestrial ecosystem using geochemical and isotope tools combined with 3-D flow and transport modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 1015-1033. doi: 10.5194/hess-19-1015-2015

ANNEXE A. SYNTHÈSE DE LA LITTÉRATURE SUR LES IMPACTS DES PRESSIONS ANTHROPIQUES SUR LES MILIEUX HUMIDES

Pays et référence	Type de milieu humide et dimension (ha)	Géologie	Données utilisées	Type de pression	Localisation de la pression	Nature de l'impact	Méthode pour identifier l'impact
Argentine (Carol <i>et al.</i> , 2013)	N.D. ^(a)	SILT ¹ (b) (22 à 45 m), ARG ² (5 m), SAB ³ (25 m), ARG ⁴	NIV (NAP), GEOL	Pompage pour alimentation en eau potable	En amont du milieu humide	« - » EM (de l'aquifère vers le MH), « - » NIV (NAP et MH), GH (inversion locale, MH alimente maintenant la haute plaine et la zone de prélèvement en amont)	MOD (hydrogéologique)
Canada (Ontario) (Talbot <i>et al.</i> , 2010)	TBOG MHP (2800 ha)	ARG	TOU (diverses analyses sur des carottes de tourbe : analyses de pollen, datation...), VEG, NIV (MH)	Drainage ^(c)	Un drain à l'intérieur de la tourbière	VEG, TOU (« + » densité et « - » porosité), « - » NIV (MH et « + » de variations)	ST (végétation et propriétés des dépôts organiques)
Canada (Ontario) (Kopp <i>et al.</i> , 2013)	TBOG, MHP (2800 ha)	ARG	TOU, NIV (MH), MET, TRA (MH)	Drainage ^(c)	Un drain à l'intérieur de la tourbière	« - » NIV (MH), TOU (« + » densité, « + » et « - » conductivité hydraulique), VEG, GV, « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère, côté bog près du drain), « + » EM (de l'aquifère vers le milieu humide côté forêt)	MOD (hydrogéologique) et ST (suivi hydrologique, indicateurs géochimiques, végétation et propriétés dépôts organiques)
Canada (Ontario) (Whittington et Price, 2013)	TFEN et TBOG	ETOU (0 à 4 m), SILT/TILL ¹ (0 à 200 m), ROC ²	NIV (NAP et MH), TOU, TOPO, GEOL	Pompage pour drainage minier	SITE-P (3 km et plus)	« - » GV, « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère), « - » NIV	ST (suivi hydrologique)

Pays et référence	Type de milieu humide et dimension (ha)	Géologie	Données utilisées	Type de pression	Localisation de la pression	Nature de l'impact	Méthode pour identifier l'impact
		(aquifère exploité)				(NAP et MH), TOU (subsidence)	
Canada (Ontario) (Leclair <i>et al.</i> , 2015)	TFEN et TBOG	ETOU (1 à 3 m), SILT/TILL ¹ (0 à 200 m), ROC ² (aquifère exploité)	MET, NIV (MH et NAP), DEB (cours d'eau), TOU, GEOL	Pompage pour drainage minier	AIN (6 km), SITE-P (3 km et plus), SITE-SITER (25 km)	« + » GV, « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère), « - » NIV (NAP et MH et « + » variations MH), « - » ET	BIL
Canada (Québec) (Pellerin <i>et al.</i> , 2015)	TBOG CMH (7600 ha)	ETOU (entre 0,3 et 8,4 m), SILT/ARG (SAB en bordure)	TOU (diverses analyses sur des carottes de tourbe : analyses de pollen, datation...), TEL (photos aériennes)	Drainage* et pompage pour agriculture (ainsi que pompage pour l'alimentation en eau potable et drainage forestier)	SITE-P (accumulation régionale d'activités anthropiques)	VEG, « - » NIV (MH)	ST (végétation et propriétés des dépôts organiques)
Danemark (Johansen <i>et al.</i> , 2011)	TFEN MHP (<1 ha)	ETOU (1 à 2,5 m), GYT ¹ (1 à 5 m), ROC ² (aquifère exploité)	NIV (MH et NAP), GEOL, TOU, MET, DEB (drain), PPC (MH et NAP), TEL	Pompage	MH-P (test de pompage à 1000 m et 550 m de la vallée où se trouvent les zones de fen)	NIV (« - » NAP et « # » MH), - GV, « - » EM (de l'aquifère vers le milieu humide)	ST (suivi hydrologique)
Danemark (Johansen <i>et al.</i> , 2014)	TFEN MHP (<1 ha)	ETOU (2), GYT ¹ (2 m), SAB/ ARG ² , ROC ³ (aquifère exploité,	NIV (NAP et MH), GEOL, TOU, MET, DEB (cours d'eau et drain)	Pompage	MH-P (test de pompage à 1000 m et 550 m de la vallée où se trouvent	NIV (« - » NAP et « - » et « # » MH), « - » GV, « - » EM (de l'aquifère vers le milieu humide), - # VEG	MOD (couplé), RNVI (modèle niveau-végétation)

Pays et référence	Type de milieu humide et dimension (ha)	Géologie	Données utilisées	Type de pression	Localisation de la pression	Nature de l'impact	Méthode pour identifier l'impact
		aquifère calcaire divisé par une couche d'argile à 50 m de profondeur)			les zones de fen)		
Estonie (Marandi <i>et al.</i> , 2013)	TBOG	SAB/SILT/AR G/ TILL/GRA ¹ (5-10 m d'épais dans la région modélisée, 3 m sous le bog étudié), ROC ²⁻⁴⁻⁷ (Aquifère exploité ¹⁻⁴ divisé en 3 par aquitard ³⁻⁶ , 100 m, calcaire et dolomite, couche exploitée ⁵ 2-3 m de shale bitumineux)	NIV (NAP), GEOL, TOU	Pompage pour drainage minier	MH-P (0 à 3 km, horizon de shale bitumineux exploité à 50-60 m de profondeur), AIN ⁷ (10 km pour l'aquifère de la couche stratigraphique 7)	« - » NIV (NAP et MH), « + » GV, « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère)	MOD (hydrogéologique) et ST (suivi hydrologique)
États-Unis (Californie) (Cooper <i>et al.</i> , 2015)	TFEN et MARA MHR (7,03 ha et 5,69 ha), CMH (20 ha), MHP (> 0,5 ha et < 6,77 ha)	ETOU (10 à 140 cm sur 0,5 ha du complexe), SAB/ GRA ¹ (10 m), ROC ² (aquifère exploité)	NIV (NAP et MH), TOPO, VEG, TOU, GEOL	Pompage pour alimentation en eau potable	Puits de prélèvement de 122 m de profondeur en périphérie du milieu humide, MHR-P (3,79 km et 21,6 km), AIN (100-360 m)	VEG, « - » NIV (NAP et MH), « + » TOU (« + » oxydation et « - » formation)	MOD (modèle hydrogéologique) et ST (végétation et propriétés dépôts organiques)

Pays et référence	Type de milieu humide et dimension (ha)	Géologie	Données utilisées	Type de pression	Localisation de la pression	Nature de l'impact	Méthode pour identifier l'impact
États-Unis (Dakota du Nord) (Tangen et Finocchiaro, 2017)	ETAV MHP (0,55 ; 2,08 ; 0,79 ; 0,14 ha)	TILL/LOAM	NIV (MH), MET, TOPO (pente), DEB (volume drainé)	Drainage pour activités agricoles	MH-P (entre 38 et 43 m en amont)	« - » RUIS, « - » SUP, « - » NIV (hydropériode)	BIL
États-Unis (Dakota du Sud) (Werner <i>et al.</i> , 2016)	ETAV MHP (0,64 ha)	ARG/LOAM	NIV (MH), MET, TOPO	Drainage pour activités agricoles	MHP-P (0 à 200 m)	« - » NIV (hydropériode)	MOD (type hydrologique)
États-Unis, New Jersey (Zhang <i>et al.</i> , 2011)	MARE (forested wetlands)	SAB/SILT/AR G/GRA ¹ , SAB ²	NIV (NAP), VEG	Pompage pour l'alimentation en eau potable	MH-P (variable, minimum à 100 m)	VEG, « - » NIV (NAP), « - » SUP	RNVI (modèle niveaux-végétation)
États-Unis, New Jersey (Laidig, 2012)	ETAV (intermittent ponds)	SAB/SILT/AR G/GRA ¹ , SAB ²	NIV (MH), VEG,	Pompage	N.D.	VEG, « - » NIV (NAP et MH)	RNVI (relation niveau-végétation)
Finlande (Rossi <i>et al.</i> , 2012)	TFEN	SAB	NIV (MH et NAP), MET, PPC et TRA (NAP, MH, drain et cours d'eau), TOU, GEOL, DEB (drain et cours d'eau)	Drainage forestier*	Réseau de drain très dense à l'intérieur de la tourbière	« + » GV (vers le haut), « + » EM (de l'aquifère vers le milieu humide)	ST (suivi hydrologique, indicateurs isotopiques et géochimiques)

Pays et référence	Type de milieu humide et dimension (ha)	Géologie	Données utilisées	Type de pression	Localisation de la pression	Nature de l'impact	Méthode pour identifier l'impact
France (Normandie) (Armandine Les Landes <i>et al.</i> , 2014)	TFEN ou TBOG (N.D.)	SAB ¹ , SAB ² (section nord-ouest), ROC/SAB/LOAM ² (au sud mix de grès, shale et loam sableux)	NIV (NAP et MH), DEB (cours d'eau), MET, SUP	Pompage pour alimentation en eau potable	N.D.	« - » SUP, « - » NIV (NAP et MH)	MOD (hydrogéologique)
France (Normandie) (Auterives <i>et al.</i> , 2011)	TFEN SITE (0,315 ha et 0,732 ha), SITER (0,336 ha)	ETOU (1 à 6 m), ARG ¹ (1,5 à 6 m), SAB ² (aquifère exploité, 80-100 m)	NIV (NAP, MH et cours d'eau), TRA (MH), GEOL, TOU, MET	Pompage pour alimentation en eau potable	Pompage sous la tourbière, AIN (150 m), SITE-P (à côté), SITER-P (1,3 km)	« + » RE (du milieu humide vers l'aquifère), « + » GV, GH (plus d'apports du cours d'eau vers le MH), « - » NIV (NAP et MH)	BIL
Grande-Bretagne (Holden <i>et al.</i> , 2006)	TBOG	N.D.	MET, DEB (cours d'eau, drain, ruissellement dans la tourbe et flux à travers les macropores), TOU (radar pénétrant)	Drainage*	Drainage dans les tourbières	TOU (« + » conductivité hydraulique, « + », macropores et de chenaux préférentiels), « - » RUIS (« + » écoulements souterrains surface), « - » NIV (MH, changement de la distribution spatiale du niveau moyen et des gammes de valeurs), « + » DEB (intensité des débits de pointe et temps de transfert)	ST (suivi hydrologique)

Pays et référence	Type de milieu humide et dimension (ha)	Géologie	Données utilisées	Type de pression	Localisation de la pression	Nature de l'impact	Méthode pour identifier l'impact
Irlande (Regan <i>et al.</i> , 2019)	TBOG MHP (240 ha)	TILL ¹ (aquifère exploité, ARG-SILT-SAB et GRA, 40% de la surface sous la tourbe), ARG ¹ , ARG-SILT ¹ (<i>marl</i>), SAB ¹ (lentilles de sable), ROC ² (aquifère)	NIV (NAP et MH), TOPO, TOU, PPC (NAP, MH et drain)	Drainage pour exploitation de la tourbe	Drainage en périphérie de la tourbière pour exploitation de la tourbe	TOU (subsidence et « + » conductivité hydraulique), « + » GV, « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère), « - » NIV (NAP et MH)	ST (suivi hydrologique, indicateurs géochimiques, propriétés des dépôts organiques)
Norvège (Kvæerner et Snilsberg, 2011)	TFEN et TBOG	ETOU (de 1,5 à > 6 m), TILL ¹ (< 0,5 m), ROC ²	NIV (NAP et MH)	Pompage pour drainage d'un tunnel	AIN (340 m), MH-P (de 70 à 770 m), MHR-P (~ plus que 500 m)	« - » NIV (NAP, MH et plus de variabilité saisonnière), « - » RUIS, « + » GV, « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère), TOU (subsidence)	ST (suivi hydrologique)
Pologne (Zurek <i>et al.</i> , 2015)	TFEN EDES (11 000 ha, le fen et la forêt qui l'entoure)	ETOU (0 à 70 cm), SILT/SAB ¹ (aquifère, sable et loess, épaisseur variable de 5,5 à 5 m), ARG ² (<1 m), SAB ³ (aquifère exploité)	TRA et PPC (NAP, MH et cours d'eau), NIV (NAP et MH), GEOL, TOU, DEB (cours d'eau)	Pompage pour alimentation en eau potable	MH-P (1 km)	GV (inversion), « + » RE (du milieu humide vers l'aquifère), « - » EM (de l'aquifère vers le milieu humide), « - » NIV (NAP et MH), « - » DEB (cours d'eau)	MOD (hydrogéologique) et ST (indicateurs isotopiques et géochimiques)

(a) N.D. : non déterminé.

(b) Les indices numérotés représentent la position stratigraphique de la couche géologique à partir de la surface.

(c) Activité ayant lieu à l'intérieur du milieu humide.

Type de milieu humide : MARA (marais ; utilisé aussi pour prairie humide), MARE (marécage), ETA (étang), ETAV (étang vernal), TFEN/TBOG/TFOR (tourbière de type minérotrophe (fen), ombrotrophe (bog) ou identifiée comme étant forestière)

Dimension : MHP (taille du milieu humide étudié et perturbé), MHR (taille du milieu humide de référence), CMH (taille du complexe de milieux humides), EDES (écosystème dépendant des eaux souterraines), SITE et SITER (site perturbé et site de référence ; lorsque différents sites sont étudiés à l'intérieur du même milieu humide).

Géologie : ETOU (épaisseur de tourbe), ROC (aquifère rocheux), SAB (sable), SILT, ARG (argile), TILL, GRA (gravier), LOAM, GYT (Gyttja). Les indices numérotés représentent la position stratigraphique de la couche géologique à partir de la surface.

Données utilisées : GEOL (caractéristiques des matériaux géologiques, stratigraphie, conductivité hydraulique, porosité), VEG (végétation), TOU (épaisseur, densité, conductivité hydraulique et porosité de la tourbe), NIV (niveau piézométrique dans la nappe – NAP – ou niveau d'eau dans le milieu humide – MH), DEB (débit), MET (données météorologiques), TRA (traceur dans la nappe – NAP – ou dans le milieu humide – MH), PPC (paramètres physico-chimiques dans la nappe – NAP – ou dans le milieu humide – MH), SUP (superficie du milieu humide), TOPO (relevés topographiques), TEL (télétection).

Localisation de la pression : AIN (aire influence), MH-MHR/SITE-SITER, P (combiner les acronymes pour indiquer la nature de la distance : MH ou SITE milieu humide ou site impacté, MHR ou SITER milieu humide ou site de référence, P perturbation).

Nature des impacts observés (+, - ou # pour neutre) : TOU (modification de la tourbe), VEG (modification de la végétation), GV/GH (modification du gradient hydraulique vertical – GV – ou horizontal – GH), RE ou EM (modification de la recharge du milieu humide vers aquifère – RE – ou de l'émergence d'eau souterraine dans le milieu humide – EM), RUIS (modification du ruissellement), NAP (niveau piézométrique dans la nappe), niveau d'eau dans le milieu humide (MH), SUP (superficie du milieu humide), ET (évapotranspiration), DEB (débit).

Méthode utilisée pour identifier impact : ST (suivi temporel : suivi hydrologique, indicateurs isotopiques et géochimiques, végétation et propriétés du milieu organique), RNVI (relations niveau-végétation et indicateurs : approches par indicateurs de niveau de nappe, modèles niveaux-végétation), BIL (bilan hydrique), MOD (modèle mathématique : modèle de type hydrologique, modèle hydrogéologique ou modèle couplé).

ANNEXE B. SYNTHÈSE DES APPROCHES UTILISÉES POUR QUANTIFIER LES IMPACTS DU DRAINAGE ET DU POMPAGE À PROXIMITÉ DES MILIEUX HUMIDES

Approche	Méthode	Données utilisées	Avantages	Inconvénients	Finalité
Suivi temporel	Suivi des niveaux piézométriques	NIV (NAP et MH), GEOL*	Peut servir à calibrer un modèle mathématique ou un modèle de bilan hydrique, ou pour appuyer les résultats de ces méthodes. Peut permettre d'identifier les zones qui sont les plus vulnérables au pompage ou au drainage.	Parfois absence de variations des niveaux piézométriques à court terme. Longues séries parfois nécessaires pour distinguer l'effet de la pression anthropique étudiée des variations météorologiques. Artéfact dans le signal de niveau de nappe pouvant mener à de fausses interprétations d'augmentation du niveau piézométrique. Plusieurs piézomètres parfois nécessaires pour couvrir la zone d'étude, car le rabattement peut varier spatialement.	Connexion et impact actuel
	Indicateurs isotopiques et géochimiques	TRA et PPC (NAP, MH, cours d'eau ^(a) , drain ^(a) et précipitation)	Peuvent être utilisés pour valider la direction des écoulements et la source de l'eau, ou pour valider ou calibrer un modèle d'écoulement. Permettent de déterminer un changement dans la source d'eau, même en cas de faible variation du niveau d'eau.	Besoin de suivis temporels ou de comparaisons entre un site intact et perturbé pour identifier un impact. Parfois difficile d'interpréter les données, car divers facteurs peuvent avoir un effet sur la composition isotopique.	Connexion, impact actuel
	Végétation dans le milieu humide et propriétés de la matière organique	VEG, TOU, TEL ^(a) , TOPO ^(a)	Peuvent indiquer le changement du régime hydrique d'un milieu humide.	Parfois délai important entre le début du pompage ou du drainage et l'effet sur la végétation ou la matière organique. Peut nécessiter de longs suivis ou la comparaison entre un site intact et perturbé. Facteurs non hydrologiques pouvant influencer la végétation.	Connexion, impact actuel
Indicateurs et seuils	Indicateurs de niveau de nappe	NIV (NAP et MH)	Donnée quantitative permettant d'évaluer l'atteinte d'un seuil prédéfini représentatif d'impact à	Nécessite de nombreux piézomètres situés à des distances variables du milieu humide. Difficulté de sélectionner un seuil approprié. Nécessite une habileté à observer et à	Impact actuel

Approche	Méthode	Données utilisées	Avantages	Inconvénients	Finalité
	Relation niveau-végétation	NIV (NAP et MH), VEG	Donnée quantitative permettant d'estimer l'effet d'un rabattement. Possibilité de couplage avec un modèle d'écoulement souterrain ou hydrologique pour tester des scénarios de pompage.	ne pas dépasser. Relativement simple à appliquer. réagir aux changements excédant les seuils. Coûts parfois importants pour respecter les exigences de suivi de l'eau souterraine. Information partielle fournie par les seuils (p. ex., faible rabattement causant changement important de flux).	Impact actuel et futur
Bilan hydrique		MET, GEOL, NIV (NAP et MH), TOU ^(a) , DEB ^(a)	Peut permettre de confirmer la compréhension conceptuelle de l'hydrologie d'un milieu humide.	Introduction de grandes incertitudes selon les méthodes de calculs utilisées pour les différentes composantes du bilan hydrique. Ne peut généralement pas être utilisé pour anticiper des conditions futures, puisque pas basé sur des équations prédictives.	Impact actuel
Modèle mathématique	Modèle de type hydrologique <i>WETLANDSCAPE, DRAINMOD, SWAT, Hydrotel</i>	NIV (MH), MET, DEB, GEOL	Permet d'identifier l'aire d'alimentation de surface du milieu humide. Peut permettre de simuler l'impact de l'installation d'un réseau de drainage sur les apports de ruissellement au milieu humide.	Pas de prise en compte des écoulements souterrains. Besoin de nombreuses données et d'expertise spécialisée.	Impact actuel et futur
	Modèle hydrogéologique <i>MODFLOW,</i>	MET, GEOL, TOU, NIV (NAP et MH)	Simulation du comportement des écoulements souterrains et délimitation de l'aire d'alimentation souterraine du milieu humide. Meilleure compréhension de la connexion entre l'aquifère et le	Prise en compte indirecte des interactions avec les systèmes en surface. Besoin de nombreuses données et d'expertise spécialisée.	Connexion, impact actuel et futur

Approche	Méthode	Données utilisées	Avantages	Inconvénients	Finalité
			milieu humide. Permet de simuler l'impact potentiel futur de scénarios de pompage ou de drainage.		
	Modèle couplé <i>MIKE SHE,</i> <i>HydroGeoSphere,</i> <i>SWAT-MODFLOW</i>	MET, GEOL, TOU, NIV (NAP et MH), DEB	Simulation des interactions entre les processus de surface et souterrains et délimitation de l'aire d'alimentation complète du milieu humide. Permet de simuler l'impact potentiel futur de scénarios de pompage et de drainage.	Nombreuses données requises et expertise encore plus grande que pour un modèle hydrologique ou hydrogéologique. Difficulté d'obtenir une solution admissible due à la complexité du modèle.	Connexion, impact actuel et futur

^(a) Données qui ne sont pas absolument nécessaires pour utiliser la méthode

Données utilisées : GEOL (matériaux géologiques, stratigraphie, conductivité hydraulique, porosité), VEG (végétation ou couvert végétal), TOU (épaisseur, densité, conductivité hydraulique et porosité de la tourbe), NIV (niveau d'eau, NAP ou MH pour eau souterraine ou milieu humide), DEB (débit de rivière), MET (données météorologiques), TRA (traceur, NAP ou MH pour eau souterraine ou milieu humide), PPC (paramètres physico-chimiques, NAP ou MH pour eau souterraine ou milieu humide), TOPO (relevés topographiques), TEL (télédétection)

Finalité : méthode utilisée pour caractériser la *connexion*, quantifier l'*impact actuel* ou estimer l'*impact futur*

**ANNEXE C. PROJET DE RECHERCHE SUR L'IMPACT DES ACTIVITES ANTHROPIQUES
SUR LA PERENNITE DES MILIEUX HUMIDES, RAPPORT DU CQDE**



PROJET DE RECHERCHE SUR L'IMPACT DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES SUR LA PÉRENNITÉ DES MILIEUX HUMIDES

Préparé à l'intention de :
Marie Larocque, hydrogéologue, professeure, UQAM
Sabrina Bruneau, agente de support à la recherche, UQAM

Rapport final du volet juridique - Phases 1 et 2

Le 20 juillet 2020

Rédaction principale

Gabrielle Champigny, avocate
Consultante pour le CQDE

Supervision

Prunelle Thibault-Bédard, avocate
Administratrice du CQDE

Marc Bishai, avocat
CQDE

Assistance de recherche (phase 2)

Marc-Antoine Racicot, doctorant en droit
Membre du comité juridique du CQDE

© 2020

Centre québécois du
droit de l'environnement

Montréal (Québec)

Courriel : info@cqde.org

Site internet : <https://cqde.org/>

Reproduction d'extraits de ce document permise en citant la source.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	1
1. L'assujettissement au processus d'autorisation	1
1.1. Première possibilité : L'existence d'une « zone tampon ».....	1
Tableau 1. PROTECTION DE LA ZONE TAMPON	2
a) L'exemple du Nouveau-Brunswick.....	4
b) L'exemple du Vermont	5
c) L'exemple du Maine.....	6
d) L'exemple du New Hampshire	7
e) L'exemple de l'État de New-York.....	8
1.1.1. Le cas de l'Angleterre	9
1.1.2. La notion d'« écosystème terrestre dépendant des eaux souterraines » en droit écossais	10
1.2. Deuxième possibilité : L'encadrement juridique d'une activité tient compte de sa proximité avec un milieu humide.....	11
a) L'exemple du Vermont	11
b) L'exemple du Maine.....	12
c) L'exemple du New-Hampshire.....	12
d) L'exemple de l'État de New-York.....	13
e) L'exemple de l'Angleterre	14
1.3. Les conditions et motifs de refus issus de documents administratifs ou de la pratique	15
2. Les milieux humides d'intérêt pour la conservation	16
Tableau 2 . DÉSIGNATION DE MILIEUX HUMIDES D'INTÉRÊT.....	16
Commentaires et conclusion	24
ANNEXE 1	27
COMPARAISON DES RÉGIMES D'AUTORISATION D'ACTIVITÉS EN MILIEUX HUMIDES	27
ANNEXE 2	34
QUESTIONS DE RECHERCHE COUVERTES PAR LA PHASE 2 DU RAPPORT	34
ANNEXE 3	36
COMPLÉMENT D'INFORMATION SUR LE RÉGIME ANGLAIS	36

Note: Ce document présente la version amendée du rapport final daté du 18 décembre 2019. Il vise à préciser certains aspects et faire état de nos recherches supplémentaires, essentiellement en ce qui concerne les questions identifiées à l'Annexe 2 du rapport.

Introduction

Le présent rapport a pour objectif de synthétiser les résultats du volet juridique du projet de recherche, concernant **les exigences légales mises en place dans d'autres juridictions pour minimiser l'impact des activités anthropiques sur les milieux humides**. Le choix des juridictions a été effectué en priorisant les régions où les conditions géologiques s'apparentent à celles du Québec. Les juridictions étudiées sont les suivantes : l'Ontario, le Nouveau-Brunswick, le Vermont, le Maine, le New Hampshire, l'État de New-York, l'Angleterre et la France (les « juridictions à l'étude »).

1. L'assujettissement au processus d'autorisation

En matière de contrôle de la qualité de l'environnement, le mécanisme juridique classique utilisé par les États est l'autorisation gouvernementale. Une activité qui nuit à la qualité de l'environnement devra généralement être autorisée par l'autorité compétente avant de pouvoir débiter. Cette exigence assure une protection de l'environnement et de ses diverses composantes, incluant les milieux humides, en soumettant tout projet assujéti à un examen préalable de l'autorité, qui décidera de l'autoriser (avec ou sans condition) ou de le refuser.

En raison de leur singularité, les processus d'autorisation d'activités en milieux humides sont la plupart du temps soumis à un régime qui leur est propre. Ces processus sont adaptés aux particularités biologiques des milieux humides et sont souvent plus sévères. Par exemple, la loi peut prévoir une obligation pour l'initiateur d'un projet de prendre des mesures d'atténuation ou de compensation des impacts sur le milieu humide. *L'Annexe 1* résume les régimes applicables aux interventions en milieux humides dans les juridictions étudiées.

Or, au-delà des activités directement localisées en milieux humides, des projets à proximité de ceux-ci peuvent également avoir un impact considérable sur les fonctions hydrologiques et biologiques cruciales des milieux humides, notamment en raison de leurs liens très étroits avec les flux d'écoulement des eaux souterraines¹. Selon l'analyse des juridictions à l'étude, deux mécanismes juridiques permettent d'encadrer cette situation : (1) définir une zone de protection autour du milieu humide ou (2) prendre en considération, dans l'encadrement juridique spécifiquement applicable à une activité (ex : un prélèvement d'eau), la présence d'un milieu humide à proximité.

1.1. Première possibilité : L'existence d'une « zone tampon »

¹ GOUVERNEMENT DU CANADA, « Sources d'eau : les eaux souterraines » (2013), [en ligne : < <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-aperçu/sources/eaux-souterraines.html>>].

Au Nouveau-Brunswick, ainsi que dans les États du Maine et du Vermont, une bande de terre entourant le milieu humide (« zone tampon ») est protégée de façon systématique par les lois et règlements. L'activité exercée à l'intérieur de ce périmètre doit donc être autorisée de la même façon que si elle avait lieu dans le milieu humide lui-même. Cette protection varie parfois en fonction du type de milieu humide ou du type d'activité exercée. Le Tableau 1 regroupe les dimensions des zones tampons sélectionnées dans les juridictions étudiées.

Tableau 1. PROTECTION DE LA ZONE TAMPON

Juridiction	Distance(s) précise(s) de zone tampon	Protection accordée
Ontario	<i>Absence de définition d'une zone tampon.</i>	<i>Absence de protection systématique.</i>
Nouveau-Brunswick	- 30 mètres d'un milieu humide. - 5 mètres d'un milieu humide pour une activité agricole ² .	Égale à la protection générale des milieux humides³
Vermont	- 50 pieds ou plus d'un milieu humide de classe II. - 100 pieds ou plus d'un milieu humide de classe I. ⁴	Égale à la protection des milieux humides de classes I et II.⁵ La zone tampon des milieux humides de classe III n'est pas systématiquement protégée, ceux-ci n'étant pas protégés par les <i>Vermont Wetland Rules</i> , mais pouvant faire l'objet de règlements spécifiques.
Maine	75 pieds de la limite en amont (« <i>upland edge</i> ») des milieux humides suivants : <i>« A. A coastal wetland, great pond, river, stream or brook or significant wildlife habitat contained within a freshwater wetland; or</i>	Pour les milieux humides visés dans la définition de zone tampon, la protection du milieu et de sa zone tampon sont égales. Pour les autres milieux humides, il n'existe pas de protection systématique de la zone tampon.

² *Loi sur l'assainissement de l'eau*, art. 1 (« modification ») et 15(1).

³ Pour d'autres précisions sur la protection en zone tampon et sur les nouvelles modifications possibles lorsqu'un permis valide de modification a déjà été délivré, voir [en ligne : <<https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Wetlands-TerreHumides/TravauxAProximiteDesTerresHumidesAuNouveauBrunswick.pdf>>].

⁴ *Vermont Statute*, title 10, c. 37, [en ligne : <<https://legislature.vermont.gov/statutes/chapter/10/037>>], s. 902(9).

⁵ *Id.*, s. 913(a).

	<p><i>B. Freshwater wetlands consisting of or containing:</i></p> <p><i>(1) Under normal circumstances, at least 20,000 square feet of aquatic vegetation, emergent marsh vegetation or open water, except for artificial ponds or impoundments; or</i></p> <p><i>(2) Peatlands dominated by shrubs, sedges and sphagnum moss »⁶.</i></p>	
<p>New-Hampshire</p>	<p>-100 pieds autour des <i>prime wetlands</i>⁷</p> <p>-100 pieds de la plus haute ligne des eaux dans le cas d'un projet « majeur »⁸</p> <p>-etc.</p>	<p>Égale à la protection des milieux humides désignés comme <i>prime wetlands</i></p> <p>Égale à la protection des milieux humides</p>
<p>New York</p>	<p>-100 pieds, mesurés horizontalement, à partir de la bordure d'un milieu humide de plus de 12,4 hectares ou désigné d'importance locale particulière⁹.</p> <p>-300 pieds autour des <i>tidal wetlands</i>¹⁰.</p>	<p>Égale ou inférieure à la protection des milieux humides¹¹</p> <p>Égale ou inférieure à la protection des « tidal wetlands »¹²</p>

⁶ *Wetland and Waterbodies Protection*, c. 310, [en ligne : <https://www.maine.gov/dep/land/nrpa/310_booklet.pdf>], art. 3(A); *Natural Resources Protection Act*, 38 MRSA, s. 480-C (1).

⁷ *New Hampshire Code of Administrative Rules*, Env-Wt 300-700, [en ligne : <<https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/legal/rules/documents/env-wt300-700.pdf>>], « Prime Wetlands », art. 703.01 (p. 69).

⁸ *Id.*, art. 303.02(b) (p.7).

⁹ *New York Codes, Rules, and Regulations* (« NYCRR »), [en ligne : <[https://govt.westlaw.com/nycrr/Browse/Home/NewYork/NewYorkCodesRulesandRegulations?guid=I013733e0b5a111dda0a4e17826ebc834&originationContext=documenttoc&transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&bhcp=1](https://govt.westlaw.com/nycrr/Browse/Home/NewYork/NewYorkCodesRulesandRegulations?guid=I013733e0b5a111dda0a4e17826ebc834&originationContext=documenttoc&transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&bhcp=1)>], s. 663.2(b) et 664.2(b) et (f).

¹⁰ *Id.*, s. 661.4-661.5.

¹¹ *Id.*, voir les « regulatory procedures », s. 663.4.

¹² *Id.*, voir les « use guidelines », s. 661.5.

Angleterre	<i>Absence de définition d'une zone tampon (celle-ci est déterminée par l'autorité responsable de la désignation d'un « site of special scientific interest », avec l'aide d'une expertise hydrologique au besoin).</i>	Variable, en fonction des activités dommageables pour les milieux humides désignés comme « site of special scientific interest » (SSSI) ¹³ . <i>Absence de protection systématique.</i>
France	<i>Absence de définition d'une zone tampon.</i>	<i>Absence de protection systématique.</i>

Vu le présent mandat de recherche, examinons plus particulièrement les types d'activités faisant l'objet d'un encadrement en zone tampon, compte tenu des risques de perturbation des flux d'écoulement souterrain qui pourraient nuire à la pérennité du milieu humide.

a) L'exemple du Nouveau-Brunswick

Le Nouveau-Brunswick prend soin de contrôler toute « perturbation du sol » ou « travaux » à proximité des milieux humides. Ainsi, il est interdit d'y perturber les sols ou exécuter des travaux à moins de 30 mètres d'un milieu humide sans obtenir un permis de modification délivré par le ministre provincial. Cette règle s'applique aux projets ou constructions qui modifient un cours d'eau ou une terre humide peu importe si cette modification est provisoire ou définitive¹⁴. Une telle modification s'entend notamment des activités suivantes, même si elles sont exécutées en dehors de la délimitation du milieu humide :

- Le détournement de l'écoulement des eaux de drainage;
- L'enlèvement ou le dépôt de sable, gravier, roches, terre arable, matière organique ou autre dans les 30 mètres d'un milieu humide¹⁵;
- Une « perturbation du sol »¹⁶ dans les 30 mètres d'un milieu humide (ce périmètre est toutefois réduit à 5m pour les activités agricoles tels le pâturage d'animaux, l'ensemencement ou hersage de la terre, le labourage, la récolte de légumes, fleurs, graines et arbustes décoratifs);

¹³ Les lignes directrices pour désigner les SSSI et prévoyant les normes à respecter dans ces zones peuvent être consultées via les références suivantes: JOINT NATURE CONSERVATION COMMITTEE, *Guidelines for the selection of biological SSSI's*, [en ligne : <<http://data.jncc.gov.uk/data/dc6466a6-1c27-46a0-96c5-b9022774f292/SSSI-Guidelines-Part1-Rationale-2013.pdf>> (voir la page 35); <<http://data.jncc.gov.uk/data/7a31e226-8f0b-44f7-bfb5-e81ec9e68597/SSSIs-Chapter07.pdf>> (voir page 18); <<http://data.jncc.gov.uk/data/20534790-bb45-4f33-9a6c-2fe795fb48ce/SSSIs-Chapter08.pdf>> (voir la page 17)].

¹⁴ *Loi sur l'assainissement de l'eau*, LN-B 1989, c. C-6.1, art. 15(1). Sauf exceptions : *Règlement sur la modification des cours d'eau et des terres humides*, r. 90-80, art. 3(3).

¹⁵ Sauf l'enlèvement de « tourbe d'une terre humide » pour la vendre, en faire profit ou un usage commercial ou pour la transformer ou la fabriquer en un autre produit : *Règlement sur la modification des cours d'eau et des terres humides*, r. 90-80, art. 4(2).

¹⁶ Selon les *Lignes directrices* rendues publiques par le gouvernement du Nouveau-Brunswick, une « perturbation du sol » pourrait être par exemple des travaux d'essouchement, de déblaiement, de terrassement, de remblayage et d'aménagement paysager.

- L'enlèvement de la végétation d'une terre humide ou dans les 30 mètres d'un milieu humide (ce périmètre est toutefois réduit à 5m pour les activités agricoles telles la récolte de légumes, fleurs, graines et arbustes décoratifs);
- L'enlèvement de la végétation sur le lit ou la rive d'un cours d'eau¹⁷.

Pour faciliter la compréhension des analystes et du public, les *Lignes directrices sur la revue des demandes de permis de modification d'un cours d'eau et d'une terre humide* précisent des exemples du type de modifications assujetties :

« la coupe d'arbres, [l]e défrichage, [...] la construction d'ouvrages comme une maison, un camp, un garage, un patio ou une promenade de bois, l'aménagement d'infrastructures, l'installation d'une fosse septique et d'un champ d'épuration, la construction de routes, y compris l'installation d'un ponceau ou la construction d'un pont, et l'aménagement d'une entrée »¹⁸.

Elles précisent également la notion de « perturbation du sol », qui comprend par exemple : l'essouchement, le déblaiement, la préparation du terrain, le terrassement, le remblayage et l'aménagement paysager.

b) L'exemple du Vermont

La zone tampon (« buffer zone ») protégée par l'État du Vermont, dont l'objectif est expressément décrit dans la loi comme la protection des fonctions du milieu humide, est délimitée, en principe, par un périmètre de 50 pieds (pour les milieux humides de classe II) à 100 pieds (pour les milieux humides de classe I). À l'intérieur de ces distances, les activités suivantes sont interdites tant qu'un permis n'est pas délivré :

- l'altération des flux d'eau (« flow of water »);
- le drainage, le dragage, le remplissage, le terrassement (« grading »); ou
- toute autre activité qui ne figure pas dans les utilisations permises (« allowed uses ») ou n'est pas soustrait par règlement¹⁹. Les utilisations permises couvrent par exemple les activités d'hydroélectricité, de sylviculture, des travaux d'entretien, etc.

L'analyste, à la vue d'une demande de permis, doit se questionner à savoir si le demandeur a correctement prouvé que l'activité n'aura pas d'effet indu sur les fonctions protégées et la valeur du milieu humide. Ce critère sera respecté si la séquence d'atténuation Éviter-Minimiser-Compenser est satisfaite. L'analyste a l'obligation de considérer les effets directs et cumulatifs sur les milieux humides touchés²⁰.

¹⁷ *Ibid*, ; *Id.*, art. 1, « modification ».

¹⁸ GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK, *Lignes directrices sur la revue des demandes de permis de modification d'un cours d'eau et d'une terre humide* (2017), [en ligne : <<https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Wetlands-TerreHumides/LignesDirectricesSurLaRenenuDesDemandesDePermisDeModification.pdf>>].

¹⁹ *Vermont Wetland Rules*, [en ligne :

<https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/wsmc_VermontWetlandRules_2018.pdf>], art. 9.1.

²⁰ *Id.*, art. 9.5

Le guide décrit la procédure de classification des milieux humides et indique comment la distance de zone tampon associée à un milieu humide de classe I ou II peut être ajustée, à la hausse ou à la baisse²¹. Cette procédure doit suivre les étapes de la section 8 des *Vermont Wetland Rules*²², en plus de contenir une description de la manière dont le changement de distance contribuera ou non à améliorer les fonctions écologiques et la valeur du milieu humide. La notification aux personnes concernées, dans les 60 jours, est requise et une contestation est possible. La modification doit également être rendue publique.

Cette réglementation du Vermont s'intègre dans le cadre plus large de la *Land Use and Development Law*. Pour assurer le respect de cette loi, divers documents utilisés pour la formation d'analystes (« *Act 250 District Environmental Commissioners* ») sont disponibles au public sur le site Internet de l'État du Vermont. L'un d'entre eux, bien qu'assez sommaire, explique l'analyse requise en vertu du critère 1(G), en ce qui concerne les activités ayant un impact sur les milieux humides²³. Il permet ainsi de mieux saisir le mécanisme applicable, l'interaction entre la loi et les *Vermont Wetland Rules*, en plus d'avoir un exemple concret d'un document de formation interne²⁴. Notons qu'un autre document du même type explique la procédure du critère 4 sur les activités causant de l'érosion des sols ou affectant la capacité de rétention d'eau des sols²⁵.

c) L'exemple du Maine

L'État du Maine protège de façon systématique les zones adjacentes à ses milieux humides « côtiers » ou « d'eau douce ». Toute altération envisagée dans une zone adjacente, d'une distance de 75 pieds de la ligne des hautes eaux (« normal high water line ») du milieu humide²⁶, doit être autorisée par un permis. Ces activités sont, notamment :

- le dragage, la destruction, le retrait ou le déplacement de sable, de végétation ou autres matériaux;
- le drainage;
- l'assèchement;
- le remplissage ou l'ajout de sable ou autre matériaux à une dune de sable;
- toute construction, réparation ou altération d'un ouvrage permanent (« permanent structure »)²⁷.

²¹ *Class II and Class III Wetland Determination Procedure* (2013), [en ligne : <https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/wetlands/docs/wl_determ_pro.pdf>], p. 10.

²² *Id.*, p. 24.

²³ *Vermont Statutes*, titre 10, c. 151, art. 6086 « *issuance of permit; conditions and criteria* », [en ligne : <<https://law.justia.com/codes/vermont/2018/title-10/chapter-151/section-6086/>>], art. 1(a)(G).

²⁴ STATE OF VERMONT NATURAL RESOURCES BOARD, *Criterion 1(G) (Wetlands)*, [en ligne : <<https://nrb.vermont.gov/sites/nrb/files/documents/1gfinal.pdf>>].

²⁵ *Id.*, *Criterion 4 (erosion and capacity of soil to hold water)*, [en ligne : <<https://nrb.vermont.gov/sites/nrb/files/documents/4final.pdf>>].

²⁶ *Wetland and Waterbodies Protection*, c. 310, [en ligne : <https://www.maine.gov/dep/land/nrpa/310_booklet.pdf>], (ci-après : « WWP »), art. 3(A).

²⁷ *Maine Revised Statutes*, ss. 480-C, [en ligne :

<<http://www.mainelegislature.org/legis/statutes/38/title38sec480-C.html>>], par. 1 et 2 ; WWP, préc., note 26, art. 3(B).

Pour encadrer l'octroi des permis, des normes strictes sont prévues directement dans les *Maine Revised Statutes* (« MRSA ») et guident la discrétion de l'autorité responsable. Ainsi, elle doit refuser toute demande de permis lorsqu'il n'a pas été prouvé qu'une activité ne causera pas d'interférence déraisonnable avec le flux d'écoulement naturel de l'eau souterraine²⁸.

d) L'exemple du New Hampshire

Les règlements administratifs du New Hampshire délimitent une bande protectrice de 100 pieds autour des « prime wetlands » (tels que définis à la section 2 du présent rapport), appelée la « zone adjacente ». Chaque fois qu'une activité, peu importe sa nature, y est planifiée, l'initiateur de projet doit fournir une preuve « claire et convaincante » qu'il n'y aura aucune perte nette significative de valeur pour le milieu humide, que le projet est cohérent avec les objectifs de la réglementation et qu'il respecte la séquence éviter-minimiser-compenser. L'autorité ministérielle a alors l'obligation de réviser la demande à la lumière de ces critères avant d'approuver l'activité²⁹.

Pour les autres milieux humides, les projets qui se déroulent dans les 100 pieds de la plus haute ligne des eaux observable sont considérés comme « majeurs »³⁰. Dans l'étude de ces projets, l'impact sur la quantité ou la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine doit être analysée et suffisamment démontrée par le demandeur. Pour illustrer cette exigence, le règlement énonce ce qui suit :

« For example, where an applicant proposes to fill wetlands the applicant shall be required to document the impact of the proposed fill on the amount of drainage entering the site versus the amount of drainage exiting the site and the difference in the quality of water entering and exiting the site »³¹

D'autres projets sont considérés « majeurs » et nécessitent ce niveau strict d'exigences, dont les suivants :

« (c) Projects that involve alteration of nontidal wetlands, nontidal surface waters, and banks adjacent to nontidal surface waters in excess of 20,000 square feet in the aggregate;

(h) Projects that disturb more than 200 linear feet, measured along the shoreline, of a lake or pond or its bank;

(m) Any project that is related to other applications or permits in the wetlands area or wetlands complex in a manner such that if the proposed action were considered to be in a

²⁸ *Natural Resources Protection Act*, 38 MRSA, [en ligne : <http://www.mainelegislature.org/legis/statutes/38/title38sec480-D.html>] ss. 480-D(4).

²⁹ *New Hampshire Code of Administrative Rules*, Env-Wt 300-700, [en ligne : <https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/legal/rules/documents/env-wt300-700.pdf>], « Prime Wetlands », art. 703.01 (p. 69).

³⁰ *Id.*, « Criteria and conditions for permits », art. 303.02(b).

³¹ *Id.*, art. 302.04 (13).

single application the combined impact would be considered major. For example, if 2 individuals apply to rip-rap 150 linear feet of a stream that is part of the same wetlands complex, each application shall be deemed to be for a major project; »³²

e) L'exemple de l'État de New-York

L'État de New York garantit la protection d'une zone tampon de 100 pieds (approximativement 30 mètres) autour des milieux humides qui répondent à l'une des situations suivantes : (1) se compose d'une superficie de 12,4 acres et plus; (2) est désigné d'importance locale particulière; (3) est situé dans le Parc Adirondack et est soit d'une superficie d'une acre ou plus ou est adjacent à un autre plan d'eau.

Ainsi, les activités interdites dans ces zones adjacentes sont par exemple :

- le drainage, le dragage et l'excavation;
- l'enlèvement de sol, terre, sable et autres matériaux;
- le remblai et le remplissage;
- la construction de bâtiments, de routes, etc. (que ceux-ci impactent la fluctuation des eaux ou non)³³.

Une grille d'activités, classées selon leur risque et leurs impacts en milieu humide ou en zone adjacente, est fournie dans la réglementation pour uniformiser les autorisations délivrées. À la lecture de celle-ci, on constate que dans la zone tampon (nommée « adjacente » dans la loi) des milieux humides, le drainage et l'altération du niveau des eaux, sauf en contexte d'activités agricoles, constitue une activité « incompatible » avec le maintien des fonctions écosystémiques d'un milieu humide. La création d'étangs et le forage de puits sont quant à eux « généralement incompatible » avec le maintien des fonctions écosystémiques des milieux humides, même si parfois ils peuvent être non-significatifs³⁴.

De plus, les « tidal wetlands » reçoivent une protection dans un périmètre de 300 pieds, conformément à l'illustration annexée à la réglementation³⁵. Une grille de classement des activités en fonction de leur niveau d'impact existe, semblable à celle prévue pour les milieux humides dont il est fait mention plus haut³⁶. Bien que les types d'activités énumérées

³² *Id.*, art. 303.02(b).

³³ *Environmental Conservation Law* (ci-après : « NY ECL »), [en ligne : < https://www.dec.ny.gov/docs/wildlife_pdf/wetart24b.pdf>], art. 24 et 25 ; *New York Codes, Rules, and Regulations* (« NYCRR »), [en ligne : < [https://govt.westlaw.com/nycrr/Browse/Home/NewYork/NewYorkCodesRulesandRegulations?guid=I013733e0b5a111dda0a4e17826ebc834&originationContext=documenttoc&transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&bhcp=1](https://govt.westlaw.com/nycrr/Browse/Home/NewYork/NewYorkCodesRulesandRegulations?guid=I013733e0b5a111dda0a4e17826ebc834&originationContext=documenttoc&transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&bhcp=1)>], s. 661-665 ; *Wetlands Regulation Guidebook for New York State*, 1993, PDF ; NEW YORK STATE, « Wetlands », [en ligne : < <https://www.dec.ny.gov/lands/305.html>>] (voir les liens vers : « Freshwater Wetlands Program » et « Tidal Wetlands »).

³⁴ NYCRR, préc., note 33, s. 663.4(e).

³⁵ Voir l'illustration : [en ligne : < [³⁶ NYCRR, préc., note 33, s. 661.5.](https://govt.westlaw.com/nycrr/Link/Document/Blob/I1f54f510b59c11dd8db6ab8843d0bb85.jpg?originationContext=document&vr=3.0&rs=cb1t1.0&transitionType=DocumentImage&uniqueId=782ecd46-65aa-40a0-b9c1-c03c92045636&contextData=(sc.Default) >].</p></div><div data-bbox=)

nécessitant un permis soient similaires aux autres milieux humides, les activités exercées en dans la zone tampon de 300 pieds d'un « tidal wetland » sont généralement plus souvent considérées « compatibles » avec le maintien des fonctions du milieu humide³⁷, par opposition aux activités situées dans la zone de 100 pieds des autres types de milieux humides. À ce titre, leur protection semble donc plus faible et le régime plus permissif.

Finalement, mentionnons que l'octroi des permis associés aux interventions dans ces zones adjacentes est souvent analysé à la lumière de la *State Environmental Quality Review Act* (SEQRA), un programme qui prévoit le processus d'évaluation d'impacts³⁸.

1.1.1. Le cas de l'Angleterre

Contrairement aux juridictions précédentes, les normes qui protègent directement les milieux humides et leurs zones tampons sont essentiellement celles qui régissent les permis délivrés par les autorités d'aménagement du territoire (*planning authority*). Ces normes sont modulées en fonction de la présence d'aires protégées. Lors d'une demande de permis (*planning permission*), l'initiateur de projet doit fournir certaines évaluations pour démontrer si le projet est susceptible d'influencer un milieu humide désigné comme aire protégée. Il peut s'agir d'un parc national, d'un site d'intérêt scientifique particulier (*site of special scientific interest*, « SSSI »), d'une aire de conservation (*special areas of conservation*), d'un site Ramsar (*Ramsar wetland*), d'un site d'importance locale (*local site*), etc.³⁹ Si c'est le cas, le projet aura alors moins de chances d'être approuvé, sauf si l'impact est presque nul ou si de fortes mesures d'atténuation en place. Lorsque des risques existent, l'autorité compétente pour délivrer le permis doit consulter *Natural England*, un organisme qui fournit des conseils au gouvernement en matière d'environnement en Angleterre, pour obtenir une approbation. Ensuite, la demande de permis initiale peut soit être conditionnelle à des modifications au projet ou être refusée.

Si le milieu humide a le statut de SSSI, il s'agit d'une désignation intéressante puisqu'une zone tampon sera systématiquement protégée. Par exemple, dans le cas des tourbières, les lignes directrices qui servent à la désignation des SSSI mentionnent notamment :

« 7.1 The identification of ground and water which provide the continued long-term support of the hydrological and ecological functioning of a bog system underpin the rationale for boundary selection. So, bogs must be protected at their margins from potentially damaging activities, especially those activities likely to cause hydrological disturbance by maintaining or increasing water run-off by artificial drainage.

Site boundaries must be chosen to include all land judged necessary to provide and maintain the hydrological functions needed to conserve the special features of the site.

³⁷ *Ibid.*

³⁸ Pour en connaître davantage à ce sujet, voir : NEW YORK STATE, « SEQR », [en ligne : <<https://www.dec.ny.gov/permits/357.html>>].

³⁹ DEFRA, *Guidance : Construction near protected areas and wildlife*: <<https://www.gov.uk/guidance/construction-near-protected-areas-and-wildlife>>.

7.2 Bog systems subject to drainage influences from higher ground need to be protected by the inclusion of an adequate catchment buffer zone in the same ways as fens (Chapter 7, section 9, NCC 1989) [...] »⁴⁰.

La largeur de cette zone tampon sera toutefois déterminée au cas par cas, en fonction des spécificités du milieu.

L'autre mécanisme qui permet de contrôler les activités en périphérie des milieux humides est la licence d'atténuation. Tout projet se déroulant à proximité des zones protégées et des habitats fauniques doit obtenir une licence d'atténuation⁴¹.

1.1.2. La notion d'« écosystème terrestre dépendant des eaux souterraines » en droit écossais

S'il ne semble pas y avoir de zone tampon directement applicable aux milieux humides en Angleterre, il existe un régime intéressant en Écosse qui vise à protéger les écosystèmes terrestres dépendants des eaux souterraines (*Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems*, « GWDTE »). Les GWDTE sont des milieux humides dont la pérennité dépend de manière très étroite des flux et de la composition chimique des eaux souterraines. Ils sont aussi reconnus pour leur grande vulnérabilité aux changements hydrologiques et écologiques causés par l'activité humaine⁴².

La note d'instruction 31 fournie par l'Agence de protection de l'environnement écossaise (*Scottish Environment Protection Agency*, « SEPA ») propose une méthode d'évaluation des impacts pour certains projets de développement dans les GWDTE, dont les routes, les fossés et les infrastructures linéaires⁴³. Les autorités écossaises évaluent alors si le projet prévoit une bande tampon (*buffer zone*), qui doit être clairement délimitée pendant la phase des travaux. Aucun développement et aucun mouvement de machinerie ou opérations ne devraient y avoir lieu, à moins d'une entente avec les autorités.

Il est par ailleurs indiqué dans la note que la zone tampon doit être de 100 mètres pour tout projet de développement qui comporte une excavation de moins d'un mètre. La bande doit plutôt être de 250 mètres si l'excavation est de plus d'un mètre. La SEPA a le pouvoir d'autoriser un développement dans une telle zone tampon. S'il l'autorise, le promoteur a toutefois l'obligation de détailler les mesures d'atténuation des impacts sur le milieu humide

⁴⁰ JOINT NATURE CONSERVATION COMMITTEE, *Guidelines for the selection of biological SSSI's*, ch. 8, [en ligne: <<http://data.jncc.gov.uk/data/20534790-bb45-4f33-9a6c-2fe795fb48ce/SSSIs-Chapter08.pdf>>], p. 17.

⁴¹ *Ibid.*

⁴² ARCUS, *Groundwater Dependant Terrestrial Ecosystems (GWDTE)*, [en ligne: <<https://arcusconsulting.co.uk/services/ecology/groundwater-dependent-terrestrial-ecosystems-gwdte/>>].

⁴³ SEPA, *Land Use Planning System SEPA Guidance Note 31*, en ligne :<<https://www.sepa.org.uk/media/144266/lups-gu31-guidance-on-assessing-the-impacts-of-development-proposals-on-groundwater-abstractions-and-groundwater-dependent-terrestrial-ecosystems.pdf>>.

Voir aussi un exemple de guide pratique en matière d'activités forestières: Practice guide for forest managers to assess and protect Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems when preparing woodland creation proposals, 2018 [en ligne: <https://www.confor.org.uk/media/246950/practice-guide-on-ground-water-dependent-terrestrial-ecosystems.pdf>].

qu'il compte mettre en œuvre et doit fournir une étude d'impact. L'annexe 2 de la note d'information contient la liste de contrôle (*checklist*) utilisée par les analystes du SEPA lors de leur étude du projet.

1.2. Deuxième possibilité : L'encadrement juridique d'une activité tient compte de sa proximité avec un milieu humide

S'intéressant plus particulièrement aux activités qui influent sur les écoulements d'eau souterraine et à la lumière des recherches effectuées, l'encadrement de l'activité de prélèvement d'eau fournit des balises intéressantes puisqu'il considère parfois la présence de milieux humides à proximité.

Certaines juridictions le font d'une manière indirecte comme le Nouveau-Brunswick. En effet, aucune distance séparatrice n'est établie pour tenir compte directement d'un milieu humide à proximité d'un prélèvement d'eau. Comme c'est le cas au Québec, la distance entre une source potentielle de contamination et le site de prélèvement fait l'objet d'un encadrement juridique⁴⁴. Or, le Nouveau-Brunswick ne prévoyant pas d'autres types de distances, il s'est doté d'un *Comité consultatif pour le forage de puits*, qui a pour mission d'analyser le forage et les puits et conseille le ministre entre autres sur leur emplacement⁴⁵. Un tel organisme indépendant permet un regard objectif et scientifique dans l'analyse des impacts d'une activité anthropique, qui pourrait permettre de tenir compte de la proximité d'un milieu humide.

Inversement, certaines juridictions ont incorporé directement dans leurs législations des conditions relatives à la localisation des prélèvements d'eau souterraine par rapport aux milieux humides. Les quatre (4) juridictions américaines étudiées, en plus du régime anglais, prévoient de telles normes.

a) L'exemple du Vermont

Au Vermont, le régime de protection des eaux souterraines prévoit que chaque personne qui prélève plus de 20 000 gallons d'eau par jour doit soumettre un rapport au Secrétariat des ressources naturelles en date du 1^{er} septembre de chaque année. Ce rapport doit indiquer, lorsque c'est possible, la distance qui sépare chaque prélèvement de la source d'eau de surface ou du milieu humide le plus proche⁴⁶.

Ensuite, la loi prévoit que le secrétaire ne doit pas (« shall not ») autoriser un nouveau prélèvement d'eau souterraine s'il n'est pas en mesure de conclure que le prélèvement n'aura pas d'effet néfaste sur les milieux humides de classes I et II ou sur toute autre ressource hydrologiquement interconnectée avec le puits ou la source d'eau où le prélèvement sera effectué⁴⁷. Cette notion d'interconnexion laisse, certes, place à

⁴⁴ *Règlement sur les puits d'eau*, r. 90-79, art. 22

⁴⁵ *Id.*, art. 35.

⁴⁶ *Vermont Statute*, Title 10, ch. 47, art. 1417.

⁴⁷ *Id.*, art. 1418(e)(6).

interprétation, mais peut être une voie intéressante pour faire intervenir une expertise hydrogéologique dans l'analyse et constituer un motif de refus pour les autres types de milieux humides.

b) L'exemple du Maine

L'État du Maine interdit les prélèvements d'eau souterraine, que ce soit via un puits, l'excavation, un champ de captage ou toute autre méthode, d'au moins 75 000 gallons par semaine ou 50 000 par jour lorsque le prélèvement est réalisé à 500 pieds ou moins d'un milieu humide côtier ou d'eau douce. Lorsque cette distance est de plus de 500 pieds, il est interdit de prélever plus de 216 000 gallons par semaine ou 144 000 par jour. À noter que ces exceptions existent pour les services publics.

Pour encadrer l'octroi des permis de prélèvements d'eau, comme c'est le cas pour les autorisations dans ou en bordure du milieu humide, des normes strictes sont prévues directement dans les *Maine Revised Statutes* (« MRSA »). L'autorité responsable doit refuser toute demande de permis d'une activité qui comprend un prélèvement d'eau souterraine lorsque l'initiateur de projet n'a pas réussi à démontrer, entre autres, l'absence d'interférence déraisonnable avec l'écoulement naturel de l'eau de surface ou souterraine et l'absence d'effet indu et déraisonnable (« undue unreasonable effect ») sur les milieux humides⁴⁸. La présence de l'activité à proximité du milieu humide est donc un critère d'importance dans l'analyse de la demande, bien que les termes « indu » et « déraisonnable » laissent place à interprétation. L'analyste a également l'obligation de considérer les effets cumulatifs sur les milieux humides des prélèvements d'eau existants, en plus de celui proposé⁴⁹.

c) L'exemple du New-Hampshire

D'abord, le New Hampshire prévoit des normes spécifiques pour les prélèvements d'eau souterraine supérieurs au seuil de 57 600 gallons par période de 24 heures pour une même propriété ou place d'affaires (« large groundwater withdrawal »)⁵⁰. Le demandeur de permis qui souhaite effectuer un tel prélèvement doit fournir une longue liste d'informations à l'autorité décisionnelle. Parmi cette liste, une étude effectuée à l'aide d'un modèle hydrologique conceptuel réalisée par un expert est requise, incluant entre autres une description du cycle hydrologique de la zone d'impact potentielle de l'activité et un bilan hydrique (« water budget ») de cette zone⁵¹. Elle doit aussi inclure une description vulgarisée des processus de recharge, des flux d'eaux souterraines et leurs interactions avec

⁴⁸ *Natural Resources Protection Act*, 38 MRSA, ss. 480-C(4) et 480-D(10).

⁴⁹ *Ibid.*

⁵⁰ NH Rev Stat, ss. 485-C:21 (2018).

⁵¹ New Hampshire Code of Administrative Rules, *Groundwater protection*, Env-Wq 400, [en ligne : <https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/legal/rules/documents/env-wq403.pdf>], art. 403.06(5) et 403.09. Voir le contenu obligatoire : (1) The amounts and timing of precipitation, runoff, storage, recharge, and discharge; (2) The distribution and availability of water necessary to maintain natural resources, existing water uses, and the proposed withdrawal; and (3) The location and amounts of natural and artificial loss of water, consumption, discharge, and recharge of water to and from the potential impact area.

les milieux humides associés à la zone d'activité de prélèvement⁵². Advenant que le prélèvement d'eau souterraine cause une perte de valeur du milieu humide, il ne devrait pas être autorisé⁵³.

Dans certaines circonstances, le titulaire du permis doit mettre en place un programme de surveillance d'impact, dont il fera annuellement rapport des avancements. Ce programme est requis lorsque les informations disponibles n'assurent pas l'absence d'impact négatif irréversible ou immédiat, soit dans la majorité des cas⁵⁴. Ce programme est nécessaire pour garantir l'atténuation obligatoire des impacts sur le milieu humide et doit constituer une condition du permis de prélèvement⁵⁵. L'étude, qualitative et quantitative, doit être réalisée par des scientifiques ayant une expertise en milieu humide. Elle doit comprendre notamment une description d'indicateurs hydrologiques précis, tels que la ligne des hautes eaux, le réseau de drainage et la saturation ou inondation des sols. Ses fonctions écosystémiques sont aussi analysées, comme le captage des sédiments des eaux de ruissellement, l'amélioration de la qualité de l'eau et la réduction des débits de pointe⁵⁶.

De plus, advenant que l'activité initiée implique une décharge d'eau souterraine (« groundwater discharge »), l'initiateur de projet doit aussi fournir un plan d'installation (« facility plan ») et doit y mentionner si un milieu humide est localisé dans les 100 pieds de la zone de décharge d'eau envisagée⁵⁷.

d) L'exemple de l'État de New-York

Le régime new-yorkais spécifique aux prélèvements d'eau prévoit qu'une autorisation est requise pour l'utilisation de tout système de prélèvement dont la capacité est de 100 000 gallons ou plus par jour. Une fois ce permis obtenu, un rapport annuel doit être fourni aux autorités compétentes. La commission d'examen des demandes a le pouvoir de refuser, de modifier ou d'assujettir à des conditions une demande si le prélèvement a pour effet d'impacter un milieu humide⁵⁸. Cet impact s'évalue notamment par un test de pompage qui doit être effectué au cours du processus d'autorisation. Les fluctuations dans le niveau ou

⁵² *Ibid.*

⁵³ NH Rev Stat, 2018, ss. [485-C:21\(V-c\)\(g\)](#).

⁵⁴ Art. 403.06 et s. ; NEW HAMPSHIRE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SERVICES, *Large Groundwater Withdrawal Permit Monitoring*, 2019, http://www4.des.state.nh.us/WSEB_LGWP/WSEB_LGWP.ASPX. Pour voir un portrait du processus complet :

<https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/dwgb/documents/dwgb-22-15.pdf>.

⁵⁵ New Hampshire Code of Administrative Rules, *Groundwater protection*, Env-Wq 400, [en ligne : <https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/legal/rules/documents/env-wq403.pdf>], art. 403.26.

Pour un exemple de permis, voir : NEW HAMPSHIRE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SERVICES, [en ligne :

https://www.des.nh.gov/organization/divisions/water/dwgb/dwspp/lg_withdrawals/documents/lgwp20030001a.pdf] (plus précisément le par. 4(b) : *Wetland Monitoring*).

⁵⁶ *Id.*, art. 403.27

⁵⁷ *Id.*, art. 402.11 et 402.14(a)(5)(e), [en ligne :

<https://www.des.nh.gov/organization/commissioner/legal/rules/documents/env-wq402.pdf>].

⁵⁸ 6 CRR-NY, art. [601.7](#).

l'écoulement des eaux doivent être mesurées dans les milieux humides situés à une distance de 1 000 pieds de la pompe de puits d'eau⁵⁹.

e) L'exemple de l'Angleterre

Le régime applicable aux prélèvements d'eau en Angleterre prévoit qu'une licence (*Water Abstraction licence*) est nécessaire pour les activités nécessitant plus de 20 mètres cubes d'eau par jour⁶⁰. Les exigences sont modulées en fonction des différentes masses d'eau souterraine et de la disponibilité de l'eau.

L'Agence environnementale (*Environment Agency*), qui a comme responsabilité d'examiner et de délivrer les permis s'il y a lieu, explique dans ses lignes directrices que les activités de prélèvement d'eau ne peuvent se faire au détriment des milieux humides, qui sont considérés comme des sites écologiques sensibles aux variations du niveau des eaux souterraines :

« The Environment Agency will only authorize abstractions if it can be shown that [...] there will be no unacceptable detriment to any groundwater-dependent environmental features such as rivers, lakes and wetlands »⁶¹.

Par ailleurs, des conditions sont imposées à même la réglementation pour les activités qui se déroulent en eaux souterraines (*groundwater activities*), mais qui sont exemptées de l'obligation d'obtenir un permis (comme les petits rejets d'effluents d'eaux usées et les systèmes de chauffage ou de climatisation à boucle ouverte). L'une des conditions requises est de prévoir une distance de 50 mètres avec certains milieux humides (les *groundwater-fed wetlands*, soit des écosystèmes terrestres directement dépendant d'une masse d'eau souterraine suivant les termes de la Directive-cadre sur l'eau⁶²)⁶³.

Certains types d'activités (telles que l'établissement de sites d'enfouissement, le traitement ou l'entreposage de déchets,...) nécessitent aussi l'identification des milieux humides à proximité à l'intérieur d'études qui doivent être fournies, incluant les évaluations des risques pour les eaux souterraines (*groundwater risk assessment*)⁶⁴. Cette exigence fait en sorte que

⁵⁹ NEW YORK STATE, « Pumping Test Procedures for Water Withdrawal Permit Applications », [en ligne : <<https://www.dec.ny.gov/lands/86950.html>>].

⁶⁰ Pour des détails sur le régime des prélèvements d'eau, voir DEFRA, *Guidance : Water Management : abstract or impound water*, en ligne : <<https://www.gov.uk/guidance/water-management-abstract-or-impound-water>>.

⁶¹ EA, *The Environment Agency's approach to groundwater protection*, 2018, en ligne : <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/692989/Environment-Agency-approach-to-groundwater-protection.pdf>, p. 46. Voir aussi : p. 21.

⁶² *Water Framework Directive (standards and classification Directions (England and Wales) 2015*, No. 1623, en ligne : <<http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/1623/resources>>. Voir l'annexe 4 pour les considérations liées aux milieux humides.

⁶³ *Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2016*, schedule 3, en ligne : <<https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2016/1154/schedule/3/made>>.

⁶⁴ DEFRA, *Guidance : Groundwater risk assessment for your environmental permit*, en ligne : <<https://www.gov.uk/guidance/groundwater-risk-assessment-for-your-environmental-permit>>.

les récepteurs associés à l'activité (*associated receptors*), dont les milieux humides, sont systématiquement identifiés et pris en considération⁶⁵.

Ainsi, lorsque les autorités doivent prendre une décision quant à l'octroi d'un permis concernant des activités dans les eaux souterraines qui provoquent un rejet de polluants, ils doivent considérer que cette activité ne va pas compromettre l'atteinte des objectifs de l'article 4 de la Directive-cadre sur l'eau (voir Annexe 1)⁶⁶. De plus, le permis ne sera pas accordé sans qu'une évaluation ait été effectuée concernant :

- les conditions hydrogéologiques de la zone ;
- les pouvoirs d'épuration possibles du sol et du sous-sol ;
- les risques de pollution et d'altération de la qualité des eaux souterraines suite au rejet⁶⁷.

1.3. Les conditions et motifs de refus issus de documents administratifs ou de la pratique

Outre les exemples mentionnés ci-haut, les lois et règlements des juridictions étudiées n'énoncent généralement pas de distances précises à respecter entre une activité et un milieu humide à proximité. Ces distances et autres conditions font l'objet d'une analyse au cas par cas, dans l'exercice du pouvoir discrétionnaire de l'autorité compétente. Les deux sources suivantes pourraient être consultées afin de mieux connaître les modalités d'exercice de ce pouvoir dans les juridictions étudiées.

- Documents administratifs visant à encadrer la discrétion des autorités compétentes.
Comme c'est le cas au Québec, on peut supposer que des lignes directrices ou des guides existent afin de guider et uniformiser le travail des analystes. Ces documents pourraient contenir des distances et critères plus précis applicables au traitement des demandes.
- Autorisations délivrées pour des activités réalisées à proximité de milieux humides.
L'étude d'exemples concrets où des autorisations ont été délivrées permettrait de cerner des distances et conditions ayant été imposées.

Toutefois, les documents administratifs et les autorisations ne font pas l'objet d'une publication systématique, et ne peuvent donc être localisés dans le cadre d'une recherche documentaire. Nous avons identifié et contacté des personnes ressources dans les juridictions étudiées afin de voir si elles peuvent nous fournir ces données. Le suivi de ces demandes, ainsi que ces autres questions de recherche identifiées à l'Annexe 2, a été fait dans la seconde phase de recherche.

⁶⁵ EA, *The Environment Agency's approach to groundwater protection*, 2018, en ligne : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/692989/Environment-Agency-approach-to-groundwater-protection.pdf.

⁶⁶ DIRECTIVE 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, [en ligne : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32000L0060>].

⁶⁷ Article 7 de l'annexe 22 du *Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2016*, préc., note 63.

D'emblée, il importe de mentionner que ce type d'informations est très difficile à obtenir, surtout compte tenu que les personnes-ressources du milieu académique ne sont pas nécessairement les mieux placés pour fournir des exemples de cas terrains. Notre constat, à l'issue de cette deuxième phase, est que notre mobilisation auprès des contacts identifiés a été peu concluante en regard des informations précises que nous cherchions. Or, des recherches plus approfondies ont permis d'ajouter quelques éléments supplémentaires au présent rapport.

2. Les milieux humides d'intérêt pour la conservation

Dans toutes les juridictions étudiées, un mécanisme existe pour désigner des milieux humides qui sont particulièrement importants, notamment grâce aux fonctions et services écosystémiques qu'ils fournissent.

Ces désignations particulières, dans les juridictions qui prévoient une zone tampon, font parfois en sorte d'augmenter la distance de protection autour des milieux humides. Globalement, dans toutes les juridictions étudiées, il est plus difficile pour l'initiateur d'une activité de se voir autoriser l'intervention dans ces milieux. Il s'agit donc d'un outil pertinent pour augmenter la protection des milieux humides d'importance. Le *Tableau 2* résume les paramètres pour la désignation d'un milieu humide d'intérêt, en portant une attention particulière à la prise en compte du lien hydrique avec les eaux souterraines.

Tableau 2 . DÉSIGNATION DE MILIEUX HUMIDES D'INTÉRÊT

Juridiction	Catégorie(s) de milieux humides d'intérêt	Paramètres de désignation
Ontario	Milieux humides d'importance provinciale	<p>L'examen par le ministre englobe tant les facteurs d'importance écologique, fonctionnelle ou économique. Les critères de désignation sont précisés par le <i>Système d'évaluation ontarien</i>. Il est reconnu par les tribunaux ontariens que ce processus d'identification est basé sur la science et témoigne de l'importance des milieux humides pour la productivité et la diversité biologique⁶⁸.</p> <p>Selon ce système, les terres humides sont évaluées principalement en fonction de leur valeur écosystémique, soit leur apport à la préservation des processus naturels. Cette valeur est déterminée entre autres selon « le</p>

⁶⁸ *Regional Municipality of York v. DiBlasi*, 2014 ONSC 3259 (CanLII), <en ligne: <http://canlii.ca/t/g70st>>, par. 54.

		<p>stockage et l'évaluation des eaux souterraines »⁶⁹. La « valeur humaine » du milieu est aussi prise en compte, qui inclut par exemple la prévention des dommages causés par les inondations.</p> <p>Les manuels d'évaluation du Sud et du Nord⁷⁰, construits en fonction d'« écorégions », décrivent toutes les composantes scientifiques applicables dans l'analyse de la désignation des milieux humides. Celles-ci incluent la composante hydrogéologique (pour les détails, voir les manuels aux pages 93 à 114). Un pointage est alors accordé à chaque milieu humide évalué et détermine si la désignation est appropriée ou non.</p>
	<p>Milieux humides d'importance municipale</p>	<p>Selon les manuels mentionnés ci-dessus, il est aussi possible qu'un milieu humide soit désigné d'intérêt par le palier municipal, si ces derniers ont échoué l'évaluation en vue de la désignation provinciale ou s'ils n'ont bénéficié d'aucune évaluation ou d'une évaluation partielle, rencontrant néanmoins certains critères.</p> <p>Différents paramètres sont alors pris en compte, dont ceux-ci, directement relié à la composante hydrogéologique :</p> <p>“Ground Water discharge: Accurate identification of ground water discharge requires detailed hydrogeological studies. Full score (30 points) in the ground water discharge section of the wetland evaluation suggests a ground water discharge function for the wetland. Before development occurs in such a wetland, additional</p>

⁶⁹ GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO, *Évaluation des terres humides de l'Ontario*, [en ligne : <<https://www.ontario.ca/fr/page/evaluation-des-terres-humides>>].

⁷⁰ GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO, *Ontario Wetland Evaluation System : Southern Manual*, 2014, 3e éd., [en ligne : <<https://files.ontario.ca/environment-and-energy/parks-and-protected-areas/ontario-wetland-evaluation-system-southern-manual-2014.pdf>>] (ci-après : « Manuel Sud ») ; GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO, *Ontario Wetland Evaluation System : Northern Manual*, 2014, 1ère éd., [en ligne : <<https://files.ontario.ca/environment-and-energy/parks-and-protected-areas/ontario-wetland-evaluation-system-northern-manual-2014.pdf>>] (ci-après : « Manuel Nord »). À noter : Les critères spécifiquement reliés à la « composante hydrogéologique » sont décrits aux pages 93 à 114 de chacun des manuels.

		<p>hydrogeological studies are encouraged.</p> <p>Hydrology: A high score in the total score for the hydrological component indicates that the wetland likely performs an important function at a local or even regional scale.”⁷¹</p>
Nouveau-Brunswick	Milieus humides d'importance provinciale	<p>Le milieu humide peut être considéré d'importance provinciale s'il remplit l'un ou plusieurs critères, notamment sa précarité et sa valeur hydrologique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le milieu humide constitue des vestiges d'un type de milieu humide plus répandu auparavant et ayant été soumis à une incidence marquée. - Le milieu humide <u>comporte une valeur hydrologique importante, notamment pour la lutte contre les inondations, la protection de la qualité de l'eau ou la reconstitution ou l'évacuation des eaux souterraines</u>⁷².
Vermont	Class II Wetlands Class I Wetlands	<p>Les milieux d'intérêt correspondent aux classes I et II.</p> <p><i>Voir Annexe 1, colonne « Critères d'assujettissement et type d'autorisation nécessaire ».</i></p>
Maine	Wetland of Special Significance	<p>L'État du Maine prévoit une liste préétablie de « Wetland of Special Significance ». En effet, tous les milieux humides côtiers et les grands étangs (« <i>great ponds</i> ») sont automatiquement considérés d'intérêt. Les « freshwater wetlands » sont également considérés comme des milieux humides d'intérêt lorsqu'ils présentent certaines caractéristiques, comme par exemple :</p>

⁷¹ *Ibid.*, p. 215; Manuel Sud, préc., note 70, p. 221.

⁷² GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK, « Politique de conservation des terres humides du Nouveau-Brunswick », (2002), [en ligne : <<https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Wetlands-TerreHumides/WetlandsTerresHumides.pdf>>], p. 22.

		<p><i>“(3) Location near coastal wetland. The freshwater wetland area is located within 250 feet of a coastal wetland.</i></p> <p><i>(4) Location near GPA great pond. The freshwater wetland area is located within 250 feet of the normal high water line, and within the same watershed, of any lake or pond classified as GPA under 38 M.R.S. § 465-A.</i></p> <p><i>(5) Aquatic vegetation, emergent marsh vegetation or open water. The freshwater wetland contains under normal circumstances at least 20,000 square feet of aquatic vegetation, emergent marsh vegetation or open water.</i></p> <p><i>(6) Wetlands subject to flooding. The freshwater wetland area is inundated with floodwater during a 100-year flood event based on flood insurance maps produced by the Federal Emergency Management Agency or other site-specific information.</i></p> <p><i>(7) Peatlands. The freshwater wetland is or contains peatlands, except that the department may determine that a previously mined peatland, or portion thereof, is not a wetland of special significance.</i></p> <p><i>(8) River, stream or brook. The freshwater wetland area is located within 25 feet of a river, stream or brook.”⁷³</i></p>
<p>New Hampshire</p>	<p><i>Prime wetlands</i></p>	<p>Les municipalités du New Hampshire peuvent sélectionner leurs milieux humides de « haute qualité » et leur accorder le statut de « prime wetlands ». On tient compte notamment de leur superficie, de leur fonction de maintien de l'intégrité écologique et de leur potentiel en lien</p>

⁷³ WWP, préc., note 26, s. 4-A.

		avec l'exploitation de l'eau souterraine pour les désigner ainsi ⁷⁴ .
New York	<p><i>Wetland of Unusual Local Importance*</i></p> <p>*Il est important de noter que la désignation de ces milieux humides ne leur confère pas une protection supplémentaire, mais plutôt égale à celle des milieux humides de 12,4 acres et plus. Il s'agit d'un mode d'assujettissement au processus standard d'autorisation.</p>	<p>Le point de départ de la désignation d'un milieu humide d'importance locale particulière est le dépôt d'une demande au Commissaire du <i>Department of Environmental Conservation</i>. Le Commissaire doit ensuite désigner le milieu humide d'importance si celui-ci contient l'une des sept caractéristiques énumérées d'un milieu humide de classe I selon la loi⁷⁵.</p> <p>Parmi ces caractéristiques figurent :</p> <p>« Ecological Associations (17) [The wetland] is a classic kettlehole bog (664.6[b][2]);* [...] Hydrological and Pollution Control Features (5) It is tributary to a body of water which could subject a substantially developed area to significant damage from flooding or from additional flooding should the wetland be modified, filled or drained (664.6[d][1]); (6) It is adjacent or contiguous to a reservoir or other body of water that is used primarily for public water supply, or it is hydraulically connected to an aquifer which is used for public water supply (664.6[d][2],[3] and [4]); [...] »</p> <p>La même règle s'applique lorsque le milieu humide contient au moins 4</p>

⁷⁴ *New Hampshire Code of Administrative Rules*, Env-Wt 300, art. [701.02](#) (p. 67) ; Cook, R.A. et al., "Method for the Evaluation and Inventory Of Vegetated Tidal Marshes in New Hampshire", 1993, [en ligne: <<https://www.govinfo.gov/content/pkg/CZIC-qh87-3-m48-1993/pdf/CZIC-qh87-3-m48-1993.pdf>>] ; *Natural Resources Conservation Services*, "Method for the Comparative Evaluation of Nontidal Wetlands in New Hampshire", 1993, [en ligne: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_015149.pdf>]. Ainsi, la loi réfère à deux méthodes pour sélectionner les milieux humides. Nous vous recommandons de les consulter, afin d'y relever les facteurs scientifiques pertinents.

⁷⁵ 6 NYCRR 664.5, [en ligne : <<https://govt.westlaw.com/nycrr/Document/I4ece2eaecd1711dda432a117e6e0f345?transitionType=Default&contextData=%28sc.Default%29>>]. Voir aussi les critères scientifiques utilisés dans le choix de ces caractéristiques : 6 NYCRR 664.6, [en ligne : <[https://govt.westlaw.com/nycrr/Document/I4ece2eb1cd1711dda432a117e6e0f345?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=\(sc.Default\)](https://govt.westlaw.com/nycrr/Document/I4ece2eb1cd1711dda432a117e6e0f345?viewType=FullText&originationContext=documenttoc&transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default))>].

		<p>caractéristiques propres aux milieux humides de classe II, soit notamment :</p> <p>« [...] Ecological Associations (2) It contains two or more wetland structural groups (664.6[b][1]); (3) It is contiguous to a tidal wetland (664.6[b][3]); (4) It is associated with permanent open water outside the wetland (664.6[b][4]); (5) It is adjacent or contiguous to streams classified C(t) or higher under article 15 of the Environmental Conservation Law (664.6[b][5]); [...]</p> <p>Hydrological and Pollution Control Features (12) It is tributary to a body of water which could subject a lightly developed area, an area used for growing crops for harvest, or an area planned for development by a local planning authority, to significant damage from flooding or from additional flooding should the wetland be modified, filled or drained (664.6[d][1]); (13) It is hydraulically connected to an aquifer which has been identified by a government agency as a potentially useful water supply (664.6[d][4]); (14) It acts in a tertiary treatment capacity for a sewage disposal system (664.6[d][3]);</p> <p>Distribution and Location (15) It is within an urbanized area (664.6[e][1]); (16) It is one of the three largest wetlands within a city, town, or New York City borough (664.6[e][3]); or (17) It is within a publicly owned recreation area (664.6[e][4]) »⁷⁶</p>
--	--	---

⁷⁶ *Ibid.*

<p>Angleterre</p>	<p>Sites of Special scientific interest (SSSIs), Sites Natura 2000, etc.</p>	<p>Différents types d'aires protégées en Angleterre sont susceptibles de viser des milieux humides. Si les milieux humides d'importance internationale (Ramsar) sont désignés en tant qu'aires protégées, les autres milieux humides sont plutôt protégés via le mécanisme d'autorisation environnementale (voir l'Annexe 3) et la délivrance d'autres types de permis (ex : <i>Water abstraction licence</i>).</p> <p>Lorsqu'ils sont protégés, les SSSIs font l'objet d'une caractérisation holistique qui considère plusieurs composantes physiques (incluant la cohérence écologique) et des composantes biologiques (plantes, poissons, invertébrés, etc.)⁷⁷.</p> <p>Notons que les lignes directrices pour la désignation des marais (1989)⁷⁸ et des tourbières (1994)⁷⁹ sont présentement en révision.</p>
<p>France</p>	<p>Zones humides d'intérêt environnemental particulier (ZHIEP)</p>	<p>La loi prévoit que les zones humides d'intérêt sont celles où « le maintien ou la restauration présente un intérêt pour la gestion intégrée du bassin versant, ou une valeur touristique, écologique, paysagère ou cynégétique particulière »⁸⁰. Ces deux critères constituent leur plus-value environnementale.</p>

⁷⁷ Voir : JNCC, *SSSI guidelines*, [en ligne : <<https://jncc.gov.uk/our-work/guidelines-for-selection-of-sssis/#part-1-rationale-operational-approach-and-criteria-for-site-selection>>].

⁷⁸ JNCC, *Guidelines for the selection of biological SSSI's*, ch. 7, [en ligne: <<http://data.jncc.gov.uk/data/7a31e226-8f0b-44f7-bfb5-e81ec9e68597/SSSIs-Chapter07.pdf>>].

⁷⁹ JNCC, *Guidelines for the selection of biological SSSI's*, ch. 8, [en ligne: <<http://data.jncc.gov.uk/data/20534790-bb45-4f33-9a6c-2fe795fb48ce/SSSIs-Chapter08.pdf>>].

⁸⁰ *Code de l'environnement*, art. L211-3.

		<p>Un manuel définit par ailleurs la méthode à suivre pour délimiter ces zones d'intérêt⁸¹. L'identification de ces zones est soumise à la procédure des Zones Soumises à Contraintes Environnementales (« ZSCE »). Elles peuvent éventuellement faire l'objet de programmes d'actions spécifiques à certaines de leurs parcelles.</p>
	<p>Zones humides stratégiques pour la gestion de l'eau (ZSGE)</p>	<p>Ces zones humides peuvent être définies dans un plan d'aménagement et de gestion durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques, en conformité avec les objectifs de quantité et de qualité d'eau du Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux⁸². Les usages (ex : drainage, remblaiement, retournement de prairie) en terres humides peuvent ainsi être restreintes d'emblée par arrêté ministériel constituant une servitude d'utilité publique sur certaines parties de la ZSGE⁸³. Ces zones peuvent faire partie ou non des ZHIEP.</p>

⁸¹ FORUM DES MARAIS ATLANTIQUES, *Manuel d'aide à l'identification des « zones humides prioritaires », des ZHIEP et des ZSGE*, 2010, [en ligne : <http://www.zones-humides.org/sites/default/files/Manuel%20ZHIEP_version_Internet.pdf>].

⁸² *Code de l'environnement*, art. L212-1 et L212-5-1.

⁸³ *Id.*, art. L. 211-12.

Commentaires et conclusion

Ces axes de recherche mettent en lumière des façons diversifiées d'encadrer la protection des milieux humides et de minimiser les impacts anthropiques sur ceux-ci. Plusieurs mécanismes ont été identifiés, tant pour contrôler les activités qui se déroulent dans les milieux humides qu'à proximité de ceux-ci. Il s'en dégage certaines similitudes et divergences avec le régime de conservation des milieux humides au Québec.

D'abord, dans la plupart des juridictions étudiées, tout comme au Québec, la décision de délivrer ou non une autorisation environnementale est discrétionnaire. Les critères législatifs et/ou réglementaires qui guident cette discrétion sont généralement énoncés en termes qualitatifs et généraux. Par contre, il est intéressant de constater que plusieurs juridictions étudiées réfèrent explicitement à l'impact sur l'écoulement des eaux souterraines, soit pour analyser le niveau d'impact sur le milieu humide (Vermont, New-Hampshire), soit à titre de condition (Maine) ou de motif de refus (France) à l'autorisation d'entraver un milieu humide. Cette reconnaissance de la connectivité hydrologique entre le milieu humide et les eaux souterraines fait donc partie intégrante de certains régimes législatifs applicables aux milieux humides. Notons que les activités concernées incluent la plupart du temps le drainage, le remblai et l'enlèvement de végétation réalisés en milieux humides. Ces activités étant susceptibles d'apporter des modifications dans les volumes ou dans les écoulements d'eau souterraines, elles peuvent ainsi affecter l'intégrité d'un milieu humide.

C'est cependant en observant plus précisément l'encadrement juridique des activités réalisées à proximité des milieux humides que nous avons remarqué des distances séparatrices, qui fournissent une assise quantitative aux analystes. Les deux mécanismes ciblés aux fins du présent rapport sont la définition d'une zone de protection autour du milieu humide (« zone tampon ») et la considération, dans l'encadrement juridique des prélèvements d'eau, de la présence d'un milieu humide à proximité. Une telle prise en compte de la localisation des milieux humides à proximité d'une activité potentiellement dommageable est une pratique pertinente, de laquelle le Québec serait en mesure de s'inspirer.

En effet, des divergences notables sont observables entre le régime québécois et les autres régimes étudiés en ce qui a trait à la protection des zones tampons. Au Québec, les zones en périphérie des milieux humides ne bénéficient pas d'une protection systématique intégrée au régime de conservation des milieux humides, mais plutôt d'une protection que l'on pourrait qualifier de fragmentaire. En effet, certains règlements sectoriels prévoient des distances d'éloignement à respecter pour certaines activités⁸⁴. À la lecture de ces règlements, il semble que ces distances existent principalement afin d'éviter la contamination des

⁸⁴ Voir notamment : [Code de gestion des pesticides](#), RLRQ c. P-9.3, r. 1, art. 15, 29, 30, 35, 59, 80 et 86 ; *Règlement sur les carrières et sablières*, RLRQ, c. Q-2, r. 7.1, art. 16 ; *Règlement sur les usines de béton bitumineux*, c. Q-2, r. 48, art. 13 ; *Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État*, RLRQ, c. A-18.1, r. 0.01, art. 38, 67, 75, 83, 119, 124, 128 et 130 ; *Règlement sur les fabriques de pâtes et papier*, RLRQ, c. Q-2, r. 27, art. 51 ; *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées*, RLRQ, c. Q-2, r. 22, art. 7.1.

milieux humides, et non pour prévenir les dérèglements des apports d'eau souterraine. Nous constatons une approche différente au Nouveau-Brunswick, au Maine, au Vermont, au New Hampshire et dans l'État de New York où des zones tampons sont systématiquement reconnues pour une partie ou la totalité des milieux humides et bénéficient généralement du même niveau de protection que le milieu auquel elles se rapportent. La distance protectrice reconnue dans la majorité des cas est d'environ 30 mètres. Nous notons aussi une pratique particulièrement pertinente en Écosse, où des milieux humides sont reconnus comme des « écosystèmes terrestres dépendants des eaux souterraines » et bénéficient d'une zone tampon protégée de 100 ou 250 mètres, limitant les activités qui peuvent y être exercées.

Ensuite, aux fins de la rédaction finale du présent rapport, nous avons procédé à un examen attentif des activités de prélèvement d'eau souterraine exercées à proximité d'un milieu humide. Nous avons remarqué que l'identification de milieux humides situés à proximité doit souvent être documentée dans la demande d'autorisation et constitue, dans les quatre juridictions américaines étudiées, ainsi qu'en Angleterre, un facteur à considérer par l'analyste de la demande. La description détaillée des interactions entre les eaux souterraines et les milieux humides requise au New Hampshire est particulièrement intéressante. Le Maine et le Vermont donnent aussi d'excellents exemples de refus systématique des autorisations de prélèvements d'eau souterraine en l'absence d'une preuve que les milieux humides à proximité n'en subiront pas d'effet néfaste. L'État de New York offre tant qu'à lui un pouvoir de refus, de modifications ou d'imposition de conditions en présence d'un milieu humide impacté dans un périmètre de 1 000 pieds (c'est-à-dire environ 300 mètres) de la zone de prélèvement. Ces illustrations sont en contraste frappant avec le Québec, qui n'encadre pas explicitement dans sa réglementation les effets du prélèvement d'eau lui-même sur les milieux humides.

Finalement, le dernier volet de la recherche visait la désignation de milieux humides d'intérêt particulier, qui permet une protection habituellement supérieure des milieux humides ainsi hiérarchisés. Quant à l'opportunité de désigner de tels milieux, on distingue trois cas de figure. D'une part, l'Angleterre, l'Ontario, le Nouveau-Brunswick, le New Hampshire et la France, comme au Québec, prévoient un pouvoir discrétionnaire de désigner certains milieux humides d'intérêt. Des critères qualitatifs sont établis pour encadrer la discrétion du ministre en la matière. Notons que les critères établis en Ontario et au Nouveau-Brunswick, de même qu'en Angleterre, sont plus détaillés que ceux du Québec. D'autre part, le Maine et le Vermont ont intégré une classification préalable des milieux humides à leur régime de protection, selon des critères préétablis. Enfin, du côté de New York, un mécanisme « sur demande » existe, assorti d'une liste de critères permettant de désigner automatiquement les milieux humides qui y répondent. L'identification des milieux humides d'intérêt n'y dépend donc pas de l'exercice d'un pouvoir discrétionnaire.

Il est intéressant de noter que dans la plupart des juridictions, la désignation d'un milieu humide d'intérêt est reliée à son lien hydrologique avec les eaux souterraines. Au Québec, seuls des critères très généraux existent, fournissant peu de munitions pour encadrer la

discrétion du ministre chargé de désigner⁸⁵. Dans le contexte où le Projet de loi 46⁸⁶ vient tout juste d'être déposé, une belle fenêtre d'opportunité semble ouverte pour suggérer des critères s'inspirant des autres juridictions et en cohérence avec la science, en lien notamment avec le rapport important qui existe entre les fonctions hydrologiques des milieux humides et les flux d'eaux souterraines. Loin de fournir un tel niveau de précision, la version actuelle du Projet de loi maintient, voire amplifie, le caractère hautement discrétionnaire et imprécis des critères qui commandent la désignation. Si le projet de loi est adopté dans sa forme actuelle, les motifs de désignation qui ont trait à la sauvegarde de l'intégrité des milieux humides et à l'impact des changements climatiques sur ceux-ci seraient simplement écartés⁸⁷. Le ministre ne serait donc plus encouragé à en tenir compte dans l'exercice de son pouvoir.

⁸⁵ *Loi sur la conservation du patrimoine naturel*, RLRQ, c. 61.01, art. 13.

⁸⁶ Projet de loi n° 46, *Loi modifiant la Loi sur la conservation du patrimoine naturel et d'autres dispositions*, 42^e lég. (Qc), 1^{ère} sess., 2019.

⁸⁷ Le projet de loi 46 prévoit l'abrogation du par. 1° de l'art. 13 al. 2 de la *Loi sur la conservation du patrimoine naturel* (RLRQ, .

ANNEXE 1

COMPARAISON DES RÉGIMES D'AUTORISATION D'ACTIVITÉS EN MILIEUX HUMIDES

Juridiction	Critères d'assujettissement et type d'autorisation nécessaire
Ontario	<p>Une activité qui entraîne un rejet, soit une matière qui entre ou peut entrer en contact direct ou indirect avec l'eau, en milieu humide est <u>présumée dégrader</u> la qualité de l'eau et nécessite donc une autorisation environnementale⁸⁸.</p> <p>Une activité en milieu humide peut aussi être interdite ou réglementée par le pouvoir de zonage de l'office de la protection de la nature⁸⁹. Le cas échéant, un permis délivré par l'office de la protection de la nature sera requis.</p>
Nouveau-Brunswick	<p>Un permis de modification délivré par le ministre est requis pour tout projet ou construction qui modifie de manière provisoire ou définitive une terre humide, au sens très large de « modification » donné par la loi, nécessite un permis avant d'être entrepris (sauf exception pour certaines activités agricoles énoncées dans la loi et par règlement)⁹⁰.</p> <p>Ces permis sont de plusieurs types, selon le risque et selon le nombre de modifications impliquées : (a) permis standard (b) permis provisoire (c) permis de modifications multiples (d) permis de certification (e) permis d'urgence (f) renouvellement ou révision⁹¹.</p> <p>Au soutien de cette exigence, le gouvernement du Nouveau-Brunswick rend public les lignes directrices applicables aux activités soumises à une demande de permis de modification. Celles-ci précisent le type de modifications assujetties :</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>« Les modifications nécessitant l'obtention d'un permis de modification d'un cours d'eau et d'une terre humide, incluent, mais ne sont pas limitées à, la coupe d'arbres, de défrichage, la perturbation du sol, y compris des travaux d'essouchement, de déblaiement, de préparation du terrain, de terrassement, de remblayage et d'aménagement paysager, la construction d'ouvrages comme une maison, un camp, un garage, un patio ou une</i></p>

⁸⁸ Loi sur les ressources en eau, art. 1(3) ; Loi sur la protection de l'environnement, art. 9(1), 20.2 et 20.3.

⁸⁹ Loi sur les offices de protection de la nature, art. 28(1).

⁹⁰ Loi sur l'assainissement de l'eau, L.N.-B. 1989, c. C-6.1 D.C., art. 15(1)(b).

⁹¹ Ibid.

	<p><i>promenade de bois, l'aménagement d'infrastructures, l'installation d'une fosse septique et d'un champ d'épuration, la construction de routes, y compris l'installation d'un ponceau ou la construction d'un pont, et l'aménagement d'une entrée.</i> »⁹²</p> <p>Une exemption est par ailleurs prévue pour les terres humides de moins d'un hectare <u>et</u> qui ne sont pas contiguë à un cours d'eau⁹³. Il s'agit d'une reconnaissance claire de la connectivité hydrologique entre les éléments du réseau d'un bassin versant.</p>
<p>Vermont*</p>	<p>L'assujettissement au processus d'autorisation du Vermont est intrinsèquement lié au système de classification des milieux humides selon leur valeur et leurs fonctions. Ils sont divisés en trois classes. Les classes I et II correspondent aux milieux humides d'importance (« <i>significantive</i> »). Ceux-ci requièrent automatiquement un permis en vertu des <i>Vermont Wetland Rules</i>, à moins d'une exemption ou de figurer dans la liste des utilisations autorisées (« <i>allowed uses</i> »)⁹⁴.</p> <p>L'État du Vermont applique le "critère fonctionnel", qui se décline en divers facteurs qui sont pris en considération dans la classification des milieux humides, dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'importance du milieu humide pour le stockage temporaire des eaux de crues et du ruissellement ; - l'importante contribution du milieu humide à la protection de l'eau de surface et de l'eau souterraine ; - l'importance du milieu humide pour le contrôle de l'érosion ; etc.⁹⁵ <p>Les milieux humides de classe I sont spécifiquement cartographiés (par le <i>Vermont Significant Wetland Inventory</i> – « <i>VSWI</i> ») sur une carte interactive⁹⁶. Une autorisation dans un milieu humide de classe I ne peut être délivrée que pour des raisons de santé ou sécurité publique⁹⁷.</p>

⁹² GOUVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK, *Lignes directrices sur la revue des demandes de permis de modification d'un cours d'eau et d'une terre humide*, 2017, [en ligne : <<https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Wetlands-TerreHumides/LignesDirectricesSurLaRenenuDesDemandesDePermisDeModification.pdf>>].

⁹³ *Règlement sur la modification des cours d'eau et des terres humides*, r. 90-80, art. 3(1.1). Pour d'autres précisions et exemptions, voir le règlement : [en ligne : <http://laws.gnb.ca/fr/showfulldoc/cr/90-80/#anchorga:s_17>].

⁹⁴ *Vermont Statutes*, title 10, c. 37, [en ligne : <<https://legislature.vermont.gov/statutes/chapter/10/037>>], art. 913.

⁹⁵ *Vermont Wetland Rules* (2017), [en ligne : <https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/wsmd_VermontWetlandRules_2018.pdf>], s. 4.2 et s.

⁹⁶ Voir en ligne : <http://vtanr.maps.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=02c6944d246e4b70b0db02660912f754#>.

⁹⁷ *Vermont Wetland Rules* (2017), [en ligne : <https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/wsmd_VermontWetlandRules_2018.pdf>], s. 9.1.

	<p>Les milieux humides de classe II sont <u>présumés</u> tomber sous le couvert de cette protection si l'une des situations suivantes s'applique :</p> <p><i>a. The wetland is of the same type and threshold size as those mapped on the VSWI maps: i.e.; open water (pond); emergent marsh; shrub swamp; forested swamp; wet meadow; beaver pond or beaver meadow; bog or fen; or greater than 0.5 acres.</i></p> <p><i>b. The wetland contains woody vegetation and is <u>adjacent</u> to a stream, river or open body of water.</i></p> <p><i>c. The wetland contains dense, persistent non-woody vegetation and is <u>adjacent</u> to a stream, river or open body of water.</i></p> <p><i>d. The wetland is a vernal pool that provides amphibian breeding habitat.</i></p> <p><i>e. The wetland is a headwater wetland.</i></p> <p><i>f. The wetland is <u>adjacent</u> to impaired waters and the impairment is related to wetland water quality functions.</i></p> <p><i>g. The wetland contains a species that appears in the NNHP database as rare, threatened, endangered or uncommon; or is a natural community type that is rare or uncommon.</i></p> <p><i>h. The wetland has been previously designated as a significant wetland.</i></p> <p><i>i. It is within sixty (60) days after the landowner has received notice of a preliminary wetland determination pursuant to Section 8.1 of these rules. »⁹⁸ (nous soulignons)</i></p> <p>Le caractère adjacent du milieu humide est déterminé selon les règles de procédures rendues disponible par l'Agence des ressources naturelles⁹⁹.</p> <p>Les milieux humides de classe III ne sont pas protégés par les <i>Vermont Wetland Rules</i>, mais des règlements spécifiques peuvent s'appliquer.</p> <p>Finalement, l'exercice classification est chapeauté par un guide de procédure¹⁰⁰.</p>
<p>Maine*</p>	<p>Un permis est requis pour les activités suivantes – appelées « altérations » –, si elles sont exercées dans (“<i>in, on or over</i>”) un milieu humide côtier ou d'eau douce (voir les définitions) ou sur une zone</p>

⁹⁸ *Vermont Wetland Rules* (2017), [en ligne :

<https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/wsm/VermontWetlandRules_2018.pdf>], s. 4.6.

⁹⁹ *Vermont Wetland Rules Contiguous Wetlands Procedure* (2017), [en ligne:

<<https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/wetlands/docs/VWRContiguous2017.pdf>>].

¹⁰⁰ *Class II and Class III Wetland Determination Procedure* (2013), [en ligne :

<https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/wetlands/docs/wl_determ_pro.pdf>]

	<p>adjacente à un milieu humide côtier ou d'eau douce remplissant certaines conditions :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>“Dredging, bulldozing, removing or displacing soil, sand, vegetation or other materials”;</i> ● <i>“Draining or otherwise dewatering”;</i> ● <i>“Filling, including adding sand or other material to a sand dune”;</i> ● <i>“Any construction, repair or alteration of any permanent structure”¹⁰¹.</i> <p><u>Exemptions</u></p> <p>Une longue liste d'exemptions existe, celle-ci incluant les activités qui affectent moins de 4 300 pieds carrés de superficie de milieux humides, et qui répondent aux autres exigences de l'exemption¹⁰².</p> <p>Par règlement, les « altérations » mineures sont aussi susceptibles d'être exemptées, suite à une étude au cas par cas :</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>“(1) An activity disturbing very little soil such as installing a fence post or planting shrubs by hand;</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>(2) The addition of a minor feature to an existing structure such as a bench or hand rail; and</i></p> <p style="padding-left: 40px;"><i>(3) The construction, repair or alteration of a small structure with minimal impact such as a nesting box, pasture fence, or staff gauge”¹⁰³</i></p> <p><u>Condition d'obtention d'un permis</u></p> <p>En vertu de la <i>Natural Resources Protection Act</i>, le demandeur doit démontrer que l'activité qu'il entend exercer rencontre les normes (« standards ») prévus par la loi.</p> <p>Ces normes comprennent, par exemple, les trois suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'activité ne cause pas déraisonnablement d'érosion du sol ou une atteinte aux transferts naturels de terre (“soil”) - l'activité n'interfère pas déraisonnablement dans l'écoulement naturel des eaux de surface, ni des eaux souterraines.
--	--

¹⁰¹ NRPA, ss. 480-C, [en ligne: <<http://www.mainelegislature.org/legis/statutes/38/title38sec480-C.html>>], par. 17.

¹⁰² *Id.*, ss. 480-Q, [en ligne: <<http://www.mainelegislature.org/legis/statutes/38/title38sec480-Q.html>>].

¹⁰³ WWP, préc., note 26, s. 3(B).

	<p>- l'activité ne contrevient à aucune loi sur la qualité de l'eau, incluant celles qui gouvernent la classification particulière des eaux¹⁰⁴.</p> <p>Par ailleurs, si l'activité comprend un prélèvement d'eau souterraine, le demandeur doit démontrer qu'il n'y aura pas d'effet indu déraisonnable sur les milieux humides¹⁰⁵.</p> <p>D'autres critères s'ajoutent à cette liste conformément au <i>Wetland and Waterbodies Protection Rule</i>. En effet, il y est expressément mentionné qu'une activité sera considérée avoir un impact déraisonnable¹⁰⁶ sur l'environnement si (1) elle cause une perte de superficie, de fonctions ou de valeur d'un milieu humide <u>et</u> (2) une alternative moins dommageable pour l'environnement existe. L'initiateur de projet doit donc fournir, au soutien de sa demande de permis, une analyse des alternatives pour démontrer qu'une telle alternative n'existe pas¹⁰⁷. De plus, il doit minimiser le plus possible ses impacts. Finalement, même si la demande répond à ces deux critères, la délivrance du permis sera refusée si les normes de la NRPA ci-dessus ne sont pas respectées. Pour évaluer ces critères, le décideur considère notamment les effets cumulatifs des impacts mineurs sur le milieu humide, selon les paramètres suivants : « <i>the degree of harm or benefit to the resource; the frequency of similar impacts; the duration of the activity and ability of the resource to recover; the proximity of the activity to protected or highly developed areas; traditional uses; the ability of the activity to perform as intended; public health or safety concerns addressed by the activity; and the type and degree of benefit from the activity (public, commercial or personal)</i> »¹⁰⁸.</p>
<p>New Hampshire *</p>	<p>Le régime d'autorisation des activités en milieu humide est encadré par la <i>New Hampshire Fill and Dredge in Wetlands Act</i>, communément appelée <i>The Wetlands Act</i>¹⁰⁹. Tout projet examiné dans le cadre d'une demande d'intervention est alors classé selon son niveau d'impact (minimal, mineur ou majeur). Les exigences pour le demandeur sont modulées en fonction de ce niveau d'impact. Dans tous les cas, l'étude de la demande vise à assurer que les impacts sont évités et minimisés le plus possible¹¹⁰.</p>

¹⁰⁴ *Natural Resources Protection Act*, 38 MRSA, ss. 480-D.

¹⁰⁵ *Ibid.*

¹⁰⁶ À noter que pour un milieu humide d'intérêt, l'impact est toujours considéré déraisonnable, sauf s'il s'agit d'une activité qui entre dans les situations prévues par la loi (d'intérêt public, santé, sécurité, restauration, etc.), auquel cas la même règle que pour les autres milieux humides s'applique.

¹⁰⁷ WWP, préc., note 26, s. 4(A).

¹⁰⁸ *Id.*, s. D(1)-(2).

¹⁰⁹ *New Hampshire Revised Statutes (RSA)*, 2018, titre L, [Env-482-A](#).

¹¹⁰ *New Hampshire Water Resources Primer*, c. 5, [en ligne : https://www.des.nh.gov/organization/divisions/water/dwgb/wrpp/documents/primer_chapter5.pdf], p. 9.

	Notons que des règles particulières s'appliquent pour les <i>tidal wetlands</i> ¹¹¹ .
New York*	L'État de New York contrôle spécifiquement deux types de milieux humides sur son territoire : les « tidal wetlands » (milieu humides sujets aux marées océaniques et contenant des plantes hydrophiles – répandus aux abords de la Rivière Hudson et de Long Island) ¹¹² et les « freshwater wetlands » supérieurs à 12,4 acres ou désignés pour leur importance locale particulière ¹¹³ . Ces milieux humides sont cartographiés. La zone ainsi délimitée dans les cartes est protégée et toute activité qui y est exercée requiert une autorisation ¹¹⁴ . Les activités prohibées incluent les suivantes : « construction of buildings, roadways, septic systems, bulkheads, dikes, or dams; placement of fill, excavation, or grading; modification, expansion, or extensive restoration of existing structures; drainage, except for agriculture; clear-cutting of trees; removing beaver dams; drilling wells; and applying pesticides » ¹¹⁵ .
Angleterre	Voir l'ANNEXE 3.
France	Une déclaration est requise pour l'assèchement, la mise en eau, l'imperméabilisation et le remblaiement de zones humides ou de marais d'une superficie de 0,1 à 1 hectare ¹¹⁶ ou toute autre activité qui n'est pas susceptibles de « réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter gravement atteinte à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique » ¹¹⁷ . Face à une telle déclaration, le ministre conserve ses pouvoirs de refus advenant la non-conformité à un document d'urbanisme ou le non-respect d'intérêts environnementaux, comme la prévention de toute dégradation des eaux souterraines ¹¹⁸ .

¹¹¹ *New Hampshire Code of Administrative Rules*, Env-Wt 300, art. 301.02 et 600 et s. ; Cowardin, L.M., "Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States", 1979, [en ligne: <<https://www.des.nh.gov/organization/divisions/water/wetlands/documents/cowardin.pdf>>].

¹¹² NY ECL, préc., note 33, ss. 25-0103, [en ligne: <<http://assembly.state.ny.us/leg/?cl=37&a=115>>].

¹¹³ NY ECL, préc., note 33, ss. 24-0301, [en ligne: <<http://assembly.state.ny.us/leg/?cl=37&a=107>>].

¹¹⁴ NY ECL, préc., note 33, ss. 24-0701 à 24-0105, [en ligne: <<http://assembly.state.ny.us/leg/?cl=37&a=109>>] ; NY ECL, préc., note 33, ss. 24-0801 [en ligne: <<http://assembly.state.ny.us/leg/?cl=37&a=110>>]. NY ECL, ss. 25-0401 à 25-0405, [en ligne: <<http://assembly.state.ny.us/leg/?cl=37&a=118>>].

¹¹⁵ DEC, *Freshwater Permit Application Program: Introduction*, [en ligne: <<http://www.dec.state.ny.us/website/dcs/freshwet/index.html>>].

¹¹⁶ *Code de l'environnement*, art. L214-2 et R214-1, point 3.3.1.0.

¹¹⁷ *Id.*, art. L214-3(II).

¹¹⁸ *Id.*, art. L211-1(I)(2°).

	<p>Une autorisation ministérielle est requise pour l'assèchement, la mise en eau, l'imperméabilisation et le remblaiement de zones humides ou de marais <u>de plus d'un hectare</u>¹¹⁹, ainsi que pour toute autre activité susceptible de « réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter gravement atteinte à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique »¹²⁰.</p> <p>L'autorisation ne peut être accordée que si les mesures qu'elle comporte sont conformes aux prescriptions de la loi. Elles doivent par exemple garantir la prévention de toute dégradation des eaux souterraines, ainsi que respecter les objectifs relatifs aux émissions de gaz à effet de serre¹²¹.</p> <p>S'il s'agit d'un projet hydraulique agricole ou de travaux miniers dans une zone humide : la procédure d'examen au cas par cas s'ajoute au simple traitement de la demande d'autorisation¹²².</p> <p>Une autorisation ministérielle suite à une enquête publique est requise pour des travaux miniers ou de stockage souterrain provoquant un terrassement total d'un volume supérieur à 20 000 mètres cubes ou entraînant la dissolution de certaines couches du sous-sol, ou effectués sur des terrains humides ou des marais¹²³.</p>
--	--

*Aux États-Unis, les « *waters of the United States* », qui sont parfois des milieux humides, sont soumis à un programme de régulation des déversements de matériaux de dragage ou de remblai au niveau national. Un permis est donc requis pour ces activités, qui regroupent par exemple les projets de barrages, de digues, d'autoroutes, d'aéroports, ainsi que les projets miniers. Ce programme est basé sur la séquence éviter-minimiser-compenser, en ce qu'il prohibe tout dragage ou remblai si « (1) a practicable alternative exists that is less damaging to the aquatic environment or (2) the nation's waters would be significantly degraded »¹²⁴. Tout initiateur de projet doit donc d'abord démontrer que les démarches pour éviter les impacts sur le milieu humide ont été remplies, que les impacts potentiels ont été minimisés et que les impacts inévitables seront compensés.

¹¹⁹ *Code de l'environnement*, art. L214-3(I) et R214-1, point 3.3.1.0.

¹²⁰ *Id.*, art. L214-3.

¹²¹ *Id.*, art. L181-3 et L-211-1.

¹²² *Id.*, annexe de l'art. R122-2.

¹²³ *Id.*, annexe de l'art. 123-1.

¹²⁴ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Permit Program under CWA – Section 404*, [en ligne : <<https://www.epa.gov/cwa-404/permit-program-under-cwa-section-404>>].

ANNEXE 2

QUESTIONS DE RECHERCHE COUVERTES PAR LA PHASE 2 DU RAPPORT

Question visant uniquement la recherche sur l'Angleterre : Comment la protection des milieux humides s'orchestre-t-elle? Quels lois, règlements et guides d'application serait-il pertinent de consulter pour cerner correctement cet encadrement?

Voir les amendements au rapport aux sections 1.1.1 et 1.2 e), ainsi que l'Annexe 3.

Questions pour l'ensemble des juridictions, à adresser aux personnes-ressources ciblées :

1. Dans quelle mesure l'encadrement juridique des activités impactant les flux d'eau souterraine (pompage, drainage, création d'étangs...) tient compte de la présence d'un milieu humide à proximité?
2. Existe-t-il des guides ou autres documents administratifs visant à encadrer la discrétion de l'autorité gouvernementale responsable d'autoriser les activités identifiées à la question 1? Si oui, pouvez-vous nous transmettre ces guides ou nous indiquer où les trouver?
3. Est-ce que des distances séparatrices avec les milieux humides peuvent être imposées à titre de conditions d'autorisation des activités visées à la question 1? Si oui, connaissez-vous des exemples concrets où cela a été fait, et pouvez-vous nous en transmettre quelques-uns?
4. Existe-t-il un registre public d'autorisations environnementales? Si oui, pouvez-vous nous indiquer comment les consulter?
5. Avez-vous des exemples de milieux humides qui ont été désignés d'importance particulière, et se voit donc accorder une protection supplémentaire?

Au besoin, voici ci-dessous une reformulation des questions pour mieux préciser nos besoins aux personnes-ressources. L'une ou plusieurs de ces questions et/ou sous-sections peuvent être sélectionnées pour être plus concis et espérer un meilleur taux de réponses si d'autres démarches semblent nécessaires.

Nous nous intéressons principalement aux activités exercées **hors** milieux humides ou en périphérie de ceux-ci, mais qui ont tout de même un impact sur leurs fonctions hydrologiques étant donné leur proximité. Parmi les activités ciblées, nous retenons celles qui impactent directement les flux d'eau souterraine (pompage, drainage, création d'étangs,...). *A priori*, les règles applicables aux activités exercées dans un milieu humide ne sont donc pas pertinentes pour nos fins, sauf dans la mesure où ces règles sont applicables dans un certain périmètre de protection autour du milieu humide (« zone tampon »).

Question principale : Dans ce contexte, est-ce que les régimes juridiques applicables aux activités impactant les flux d'eau souterraine (pompage, drainage, création d'étangs...) tiennent compte de la présence d'un milieu humide à proximité?

- **Sous-question 1 :** Existe-t-il des guides ou d'autres documents administratifs visant à encadrer la discrétion de l'autorité gouvernementale responsable d'autoriser les activités identifiées à la question 1? Si oui, pouvez-vous nous transmettre ces guides ou nous indiquer où les trouver?

De tels outils internes pourraient nous fournir des critères plus quantitatifs (ex : des distances séparatrices entre une source d'eau souterraine et un milieu humide) sur lesquels se basent les analystes lorsqu'ils délivrent une autorisation.

- **Sous-question 2 :** À votre connaissance, existe-t-il dans de telles distances séparatrices avec les milieux humides pouvant être imposées à titre de conditions d'autorisation des activités visées à la question 1? Si oui, connaissez-vous des exemples concrets où cela a été fait, et pouvez-vous nous en transmettre quelques-uns?
- **Sous-question 3 :** Pour trouver des exemples concrets, savez-vous comment nous pourrions avoir accès au registre d'autorisations environnementales? Est-il public? Si oui, pouvez-vous nous indiquer comment les consulter?

Dans un autre ordre d'idées, avec les récentes modifications législatives qui ont eu lieu au Québec, nous nous intéressons aussi à comparer le régime québécois de désignation de milieux humides d'importance particulière à ceux qui sont en place dans d'autres juridictions.

- Avez-vous des exemples de milieux humides qui ont été désignés d'importance particulière, et se voit donc accorder une protection supplémentaire?
- Est-ce que le fait de désigner des milieux humides d'importance a un impact sur la protection d'une « zone tampon » en périphérie d'un milieu humide ou sur les distances imposées avec les activités exercées à proximité?

ANNEXE 3

COMPLÉMENT D'INFORMATION SUR LE RÉGIME ANGLAIS

Le régime d'autorisation environnementale

En Angleterre, le régime d'autorisation environnementale est prévu dans le règlement *Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2016*¹²⁵ (« EPR »), qui a été adopté en vertu de la *Pollution Prevention and Control Act 1999*. Ce régime est fondé sur une approche basée sur le risque¹²⁶, comme c'est le cas pour la *Loi sur la qualité de l'environnement* au Québec. Alors que l'annexe 22 des EPR concerne les eaux souterraines, aucune section n'encadre spécifiquement les activités qui ont lieu à l'intérieur ou à proximité d'un milieu humide. La protection des milieux humides est donc très fragmentée et repose sur plusieurs mécanismes juridiques différents.

Les différents types de permis se distinguent selon cette approche en fonction du risque. L'*Environment Agency* et les autorités locales peuvent délivrer trois types de permis différents : les permis standards (*standard permits*), les permis sur mesure (*bespoke permit*) et les permis consolidés (*consolidated permits*)¹²⁷. Si les permis standards sont soumis une évaluation générique des risques (plus simple et moins chère), les permis sur mesure doivent procéder à une évaluation exhaustive des risques (pour des projets complexes aux impacts potentiellement élevés). Les permis consolidés concernent les organisations qui doivent obtenir plusieurs permis.

Le système anglais d'autorisation environnementale repose sur le modèle « source-pathway-receptor ». Les demandeurs de permis (lorsqu'ils sont nécessaires) doivent donc identifier la source de la pollution, le chemin que celle-ci va emprunter et les récepteurs qui seront impactés. Selon ce modèle, les milieux humides et hydriques sont des récepteurs et sont des « écosystèmes dépendant des eaux souterraines ».

En ce qui concerne le régime anglais de délivrance des permis environnementaux, il importe d'aborder la méthode d'évaluation du risque pour les projets à impact élevé. L'Agence environnementale (*Environment Agency*) a développé une méthodologie pour évaluer les risques, soit le *Environmental Protection Operator and Pollution Risk Appraisal* (EP OPRA)¹²⁸. La méthodologie comprend la prise en compte de cinq attributs : la complexité, la localisation, les émissions, la performance de l'opérateur et la cote de conformité. Les milieux humides sont donc considérés lors de la description de la localisation de l'activité, puisque c'est à cette étape que l'on va déterminer les récepteurs clés qui pourraient être affectés par

¹²⁵ 2016 No. 1154, en ligne : < <http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2016/1154/contents/made>>.

¹²⁶ Adrian Belcham, *Manual of Environmental Management*, Routledge, 2015, Abingdon, p. 5

¹²⁷ Adrian Belcham, *supra*, p. 71.

¹²⁸ EA, OPRA for EPR version 3.91, Annex A- Opra schemes for installations, Avril 2017, en ligne : <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/782760/LIT_6817.pdf>. ATTENTION : la méthode est en cours de révision et il me semble que celle-ci soit partiellement en vigueur. Le passage concernant la localisation semble en vigueur, du moins.

l'activité. Il s'agit en quelque sorte d'un système de pointage qui inclut les habitats, les eaux souterraines, la sensibilité et les eaux réceptrices.

Ainsi, pour les installations plus complexes et à haut risque (celles qui requièrent un *bespoke permit*), une étude approfondie de la localisation est nécessaire, qui tienne compte de :

- la présence humaine à proximité;
- les aires protégées (une distance de 2 km d'un *site of special scientific interest* est requise¹²⁹);
- l'aquifère et les eaux souterraines;
- la sensibilité des eaux réceptrices, dont les milieux humides (une étude doit être effectuée si l'activité se situe à 10 mètres d'une eau réceptrice, sauf s'il s'agit d'un système entièrement fermé);
- la présence d'un ruissellement direct ;
- la présence d'une *Air Quality Management Areas* (AQMA) ;
- la présence d'une plaine inondable.

Le droit pertinent issu de l'Union européenne

Si le Royaume-Uni fait bonne figure au niveau de la protection de ces écosystèmes de surface dépendants des eaux souterraines, c'est assurément en raison des directives européennes qui obligent les États membres à élaborer des mesures à cet égard. En tête de liste, il faut expliquer le rôle prépondérant de la Directive-cadre sur l'eau¹³⁰ (DCE) dans la protection de cette ressource.

La DCE est applicable à tous les États membres de l'Union européenne et doit être obligatoirement mise en œuvre par ceux-ci. La DCE est venue mettre en place une gestion intégrée de l'eau par bassin hydrographique, alors que chaque bassin fera l'objet d'un plan de gestion¹³¹.

Au Royaume-Uni, chaque bassin hydrographique a dû concevoir un plan de gestion de district hydrographique (*River Basin Management Plan*, RBMP). Les RBMP de l'Angleterre

¹²⁹ Selon le régime de la *Countryside and Rights of Way Act* : < <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2000/37/contents>>. Pour les milieux humides qui sont désignés comme sites Ramsar, d'autres distance doivent également être respectées:

- si émission dans l'air = 10 kilomètres
- si centrale électrique = 15 kilomètres
- aucune émission dans l'air = 1 kilomètre
- site d'enfouissement qui attire les mouettes et les corbeaux = 5 kilomètres
- autres sites d'enfouissement = 2 kilomètres

¹³⁰ DIRECTIVE 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, [en ligne : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32000L0060>].

¹³¹ Lavallée et al, page 82 : «Ces plans constituent en quelque sorte les cartes d'identité des bassins, comprenant une description générale de caractéristiques du district hydrographique, un résumé des pressions et incidences sur la qualité de l'eau, une carte des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau, un résumé des objectifs à atteindre, un résumé du programme de mesures adopté en vue d'atteindre ces objectifs, etc.»

inclut la nécessité de protéger les sites Ramsar et d'en assurer une utilisation durable¹³². Pour assurer la mise en œuvre de la DCE, des changements législatifs ont également eu lieu, alors que l'Angleterre et le Pays de Galles ont adopté certains règlements, dont *The Water Environment (Water Framework Directive) (England and Wales) Regulations 2017*¹³³.

De plus, la DCE vient déterminer des objectifs environnementaux à respecter, dont certains concernent les eaux souterraines. L'article 4 de la DCE vient préciser que :

Les États membres mettent en œuvre les mesures nécessaires pour prévenir ou limiter le rejet de polluants dans les eaux souterraines et pour prévenir la détérioration de l'état de toutes les masses d'eau souterraines [...]

Les États membres protègent, améliorent et restaurent toutes les masses d'eau souterraines, assurent un équilibre entre les captages et le renouvellement des eaux souterraines afin d'obtenir un bon état des masses d'eau souterraines, conformément aux dispositions de l'annexe V [...]

Les États membres mettent en œuvre les mesures nécessaires pour inverser toute tendance à la hausse, significative et durable, de la concentration de tout polluant résultant de l'impact de l'activité humaine afin de réduire progressivement la pollution des eaux souterraines [...].

L'annexe 2 de la DCE prévoit également que les États membres doivent procéder à une caractérisation initiale de toutes les masses d'eaux souterraines, ce qui comprend leur emplacement et leur limites, les pressions, les sources de pollution (diffuses et ponctuelles), le captable, la recharge artificielle, le caractère général des couches supérieures et « les masses d'eau souterraines pour lesquelles il existe des écosystèmes d'eaux de surface ou des écosystèmes terrestres directement dépendants ». Ainsi, la DCE est venue populariser les « écosystèmes terrestres dépendants des eaux souterraines », ou les *Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems* (« GWDTes ») en anglais, qui concernent surtout les milieux humides¹³⁴. Il faut également noter que l'annexe 2 de la DCE élabore une série d'éléments à considérer pour procéder à une caractérisation plus détaillée des masses d'eaux souterraines. D'autres ressources peuvent être consultés¹³⁵.

¹³² Les RBMP sont disponibles en ligne : < <https://www.gov.uk/government/collections/river-basin-management-plans-2015>>.

¹³³ Disponible en ligne : <<http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2017/407/contents/made>>.

¹³⁴ Dans un article sur le sujet, on peut lire que « Ecosystems that are maintained by direct or indirect access to groundwater, and rely on the flow or chemical characteristics of groundwater for some or all of their water requirements, are collectively known as groundwater dependent ecosystems (GDEs). GDEs can exist above (terrestrial vegetation, seep/spring, river/stream, wetland, estuary) and within subterranean (aquifer, cave, hyporheic zone) environment. Melissa M. Rohde, « A Global Synthesis of Managing Groundwater Dependent Ecosystems Under Sustainable Groundwater Policy » (2017) 55 : 3 Groundwater.

¹³⁵ Guidance document n° 12: The role of wetlands in the Water Framework Directive : <[https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20\(WG%20B\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20(WG%20B).pdf)>. voir aussi : Technical Report no 6: Technical Report on Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems: <https://circabc.europa.eu/sd/a/0500f8ef-d16b-4086-a152-d783d19bb0b8/Technical_report_No6_GWDTes.pdf>.