INRS
UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

CENTRE
EAU
TERRE
ENVIRONNEMENT

Préoccupations et recommandations à l'égard des impacts hydrologiques sur les milieux humides touchés par le Projet d'Oléoduc Énergie Est sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec

Rapport Final

Par
Alain Rousseau, ing., PhD.[1]
Maxime Fossey, doctorant, M.Sc.[1]

Rapport présenté à
La Communauté métropolitaine de Québec

Centre Eau Terre Environnement
Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE)
490, rue de la Couronne
Québec (QC) G1K 9A9

Document scientifique et technique R1653

Janvier 2016

[1] Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

© Alain N. Rousseau, 2015

Sommaire exécutif

La société TransCanada a annoncé sa volonté de poursuivre l'élaboration d'un nouveau projet d'oléoduc : l'Oléoduc Énergie Est. Ce projet se définit par un pipeline de 4600 km reliant les territoires de l'Alberta et de la Saskatchewan aux raffineries de l'Est du Canada. Ce plan comporte trois volets incluant la conversion d'un gazoduc en pipeline, la construction de nouveaux oléoducs, ainsi que la construction d'installations connexes.

Le présent rapport examine les préoccupations à l'égard de l'hydrologie des milieux humides relatives au projet Oléoduc Énergie Est au Québec. Plus spécifiquement, ces préoccupations portent sur les impacts potentiels que le projet pourrait avoir sur le fonctionnement hydrologique des milieux humides situés sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ). Les préoccupations rapportées sont fondées sur l'observation croisée des documents du tracé proposé par TransCanada, traversant les villes de Saint-Augustin-de-Desmaures et de Lévis sur 60 kilomètres, et de la cartographie des milieux humides, fournis par la CMQ.

Après examen des documents fournis, il apparaît qu'il existe certains manques quant à l'identification des milieux humides potentiellement affectés et aux informations nécessaires à la caractérisation de ces derniers. Aussi, il y a matière à amélioration sur ces aspects afin de préjuger de la vulnérabilité hydrologique de ces milieux au regard du projet et d'établir les enjeux spécifiques ainsi que les recommandations et précautions à suivre. Ces points sont présentés brièvement ci-dessous et analysés de manière approfondie dans le corps du présent rapport, ainsi il y a lieu de :

- Intégrer les milieux humides dans leur unité hydrographique fonctionnelle afin de s'assurer d'une évaluation hydrologique pertinente.
- Mettre en place des campagnes de reconnaissance de terrain aux fins d'inventaire exhaustif.
- Procéder à la caractérisation du fonctionnement hydrologique des milieux humides impactés aux fins de modélisation et d'évaluation de leur capacité de résilience, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle régionale (c.-à-d., bassin versant).
- Évaluer plus clairement les dégradations potentielles affectant les milieux humides.

Nos observations caractérisent ces préoccupations sur le constat de lacunes à combler lors du processus d'évaluation d'impact du projet sur les milieux humides. Aussi, nous avons établi des recommandations sur des mesures à prendre pour les combler.

Table des matières

Introduction 1

Caractérisation des milieux humides 1

Objet du rapport 3

Partie 1 5

Relevé des préoccupations - *Enjeux liés aux milieux humides* 5

Une méconnaissance de la spécificité des milieux humides et de leur fragilité 5

Une prise en compte partielle des zones humides et de leur complexe 6

Une évaluation insuffisante de leur fonctionnement hydrologique 8

Un manque d'information quant au degré de dégradation 9

Partie 2 11

Recommandations hydrologiques - *Mesures de précaution à l'égard du projet* 11

Analyse de l'état initial des sites et de leur environnement 11

Identification du milieu humide 11

Mise en contexte dans son unité hydrologique fonctionnelle 11

Méthodologie préconisée pour l'évaluation du fonctionnement hydrologique des sites 12

Évaluation des transferts d'eau et de l'hydropériode en conditions initiales 12

Détermination du degré de dégradation 13

Évaluation des transferts d'eau et de l'hydropériode en conditions futures (phase d'exploitation) 13

Conduite de projet en milieu humide 14

Conclusion 17

Annexes 21

Annexe A : Secteur de Saint-Augustin-de-Desmaures 23

Annexe B : Secteur de Lévis Est – Voie ferrée 24

Annexe C : Présentation du 08/10/2015 26

Introduction

Caractérisation des milieux humides

De l'échelle locale …

Les **milieux humides** sont des structures paysagères particulières s'établissant au sein de secteurs réunissant des **conditions hydrologiques** (*ex.*, hydropériode[2]) et des **caractéristiques physico-chimiques des sols** (*ex.*, hydrostratigraphie[3]) favorables à des périodes de saturation en eau des sols. Ces facteurs, définis à la fois par les historiques climatique et géologique du secteur, conditionnent l'établissement d'**écosystèmes**[4] tels que les milieux humides. Par ailleurs, les **interactions** existantes entre l'écosystème établi et la variabilité des facteurs ayant régi son établissement (Mitsch and Gosselink, 2000; Zoltai and Vitt, 1995) aboutissent à une déclinaison importante des typologies observables au sein d'un même écosystème. Ainsi, comme le montre la définition établie lors de la Convention de Ramsar (1971) et toujours en vigueur auprès du secrétariat de la Convention (2006) - *« …étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres. »*, les milieux humides regroupent de nombreuses typologies. Pour le Canada, Warner et Rubec (1997) proposent cinq typologies : (i) **les marécages**, (ii) **les marais**, (iii) **les eaux de surface**, (iv) **les tourbières ombrotrophes** et (v) **les tourbières minérotrophes**.

À cette **typologie paysagère**, basée notamment sur une reconnaissance visuelle des milieux humides au regard de sa végétation dominante, il est préconisé d'établir une **classification fonctionnelle** reposant sur des critères géomorphologiques et intégrant préférentiellement les conditions hydrologiques (Brinson, 1993; Brinson, 2009). Cette classification est particulièrement reconnue pour les évaluations de projets impliquant la **gestion de milieux humides** (Brinson and Rheinhardt, 1996; Gwin et al., 1999). Ainsi, à des fins d'évaluation du rôle hydrologique des milieux humides (contribution du milieu humide à la quantité des eaux de surface), une discrimination basée sur leur connexion

[2] L'hydropériode hydrique définit la fréquence, la durée, l'intensité et la saisonnalité des variations du niveau d'eau dans un système.
[3] L'hydrostratigraphie définit l'arrangement des unités géologiques en considérant leur perméabilité respective.
[4] Le terme écosystème se définit par son biotope (milieu aux caractéristiques physiques et chimiques relativement homogènes) et sa biocénose associée (formes de vie le composant – faune, flore, micro-organismes).

au cours d'eau adjacent peut être faite (Brooks et al., 2011) selon les modalités suivantes : **milieu riverain** (lien direct au cours d'eau) et **milieu isolé** (lien indirect au cours d'eau).

Les milieux humides riverains se définissent comme des milieux où les sols sont périodiquement inondés par les crues. Ils englobent les milieux compris dans le réseau hydrographique (Cowardin et al., 1979) et les secteurs bordant ce dernier (Brooks et al., 2011) dont l'hydrologie est régie principalement par l'eau souterraine (Mitsch and Gosselink, 2007) et les apports de surface provenant du réseau hydrographique connexe (Middleton, 2002). Les milieux isolés se définissent comme des milieux où les eaux sont plus ou moins permanentes et dont l'hydrologie est régie principalement par les fluctuations de la nappe phréatique (Yetter, 2004) alimentée par les précipitations et les apports de l'aire drainée par le milieu (Buteau et al., 1994).

… À l'échelle régionale

Le milieu humide ainsi défini localement, ne peut être dissocié de **l'unité hydrologique fonctionnelle** à laquelle il appartient : le **bassin versant**. Dès lors, une **vision intégrative** du milieu humide est essentielle lorsqu'il s'agit de préserver ou de restaurer son intégrité hydrologique. Cette dernière repose sur deux principaux paradigmes : (i) une vision multidimensionnelle et (ii) une vision interdépendante, se rapportant l'une et l'autre à des dimensions spatiales et temporelle.

La **vision multidimensionnelle** du milieu humide rend compte de sa localisation au sein du bassin versant (voir Annexe C aux fins d'illustration des propos). Ainsi, la localisation du milieu humide peut se faire selon deux axes : (i) un axe vertical, définissant un **gradient amont/aval** et (ii) un axe horizontal, définissant un **gradient basé sur l'ordre de Strahler**[5]. Ces deux gradients reflètent certaines caractéristiques physiques du bassin versant (pente, perméabilité des sols) conditionnant la capacité de transport ou de rétention des écoulements de surface et de subsurface au sein de l'**aire drainée**[6] (ou aire d'alimentation) par le milieu humide. La **vision interdépendante** du milieu humide rend compte des interactions directes et indirectes existantes entre les composantes définissant le milieu humide, énumérées plus haut, à savoir, les conditions hydrologiques, les caractéristiques physico-chimiques des sols et l'écosystème en place. Cette dernière fait le lien entre la dynamique fonctionnelle du milieu humide, les

[5] L'ordre de Strahler rend compte de la structure et de la densité du réseau hydrographique en indiquant le niveau de complexité de son réseau d'affluents.

[6] L'aire drainée d'un milieu humide se définit comme la zone adjacente à ce dernier contribuant à sa dynamique hydrologique et au maintien de ses fonctionnalités.

conditions locales (aire drainée) et régionales du bassin versant et le degré de connectivité avec le réseau hydrographique.

De nombreuses études ont d'ores et déjà démontré le rôle hydrologique majeur des milieux humides notamment sur (voir Annexe C) : (i) la réduction des pointes de crues par le biais de leur fonction de stockage d'eau, et (ii) le soutien aux débits d'étiage de par leur fonction de retard aux écoulements (Demissie and Khan, 1993; Padmanabhan and Bengtson, 2001; Wang et al., 2010; Yang et al., 2010). En parallèle, des travaux de développement de modèles hydrologiques (Bensalma et al., 2015; Fossey et al., 2015a; Liu et al., 2008; Wang et al., 2008) basés sur cette classification fonctionnelle et intégrant cette vision intégrative, émergent. De récentes études d'évaluation des fonctions hydrologiques des milieux humides soutiennent que ces dernières sont dépendantes à la fois de leur localisation sur le bassin versant et de leur degré de connectivité avec le réseau hydrographique (Fossey et al., 2015b; Golden et al., 2015; Martinez-Martinez et al., 2014).

Objet du rapport

Une vision intégrative limite les artefacts d'interprétation liés à des considérations spécifiques aux sites et permet de mettre en évidence les expressions différenciées des fonctionnalités d'un milieu humide donné dans le temps et dans l'espace. Ainsi, dans le cadre de cette évaluation de projet, et à des fins de recommandations hydrologiques pour la prise de mesures de précaution à l'égard des milieux humides, il apparait essentiel de considérer le milieu humide selon deux niveaux de caractérisation. D'une part, une détermination de sa typologie et de sa connexion au cours d'eau adjacent à l'échelle locale, et d'autre part, sa localisation sur le bassin versant et son degré de connectivité avec le réseau hydrographique à une échelle plus globale. Cette double détermination, intégrant le milieu humide dans son unité hydrologique fonctionnelle qu'est le bassin versant, permet, *a minima*, d'évaluer de manière objective les précautions nécessaires à respecter au sein même du milieu et de son aire drainée associée.

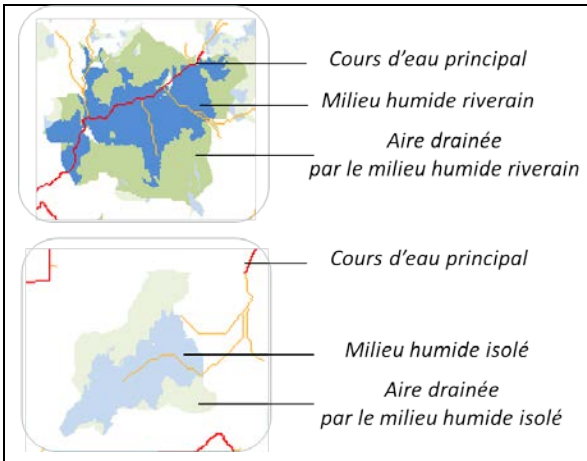
Le présent rapport met l'accent, dans une première partie, sur les préoccupations à l'égard du fonctionnement hydrologique des milieux humides en dressant un constat argumenté des manques actuels aux fins d'évaluation pertinente des enjeux. Dans une seconde partie, une traduction de ces préoccupations, sous forme de recommandations/demandes et de mesures de précaution à suivre à l'égard du projet de TransCanada sur le territoire de la CMQ, est établie.

Partie 1

Relevé des préoccupations - *Enjeux liés aux milieux humides*

Une méconnaissance de la spécificité des milieux humides et de leur fragilité

La cartographie détaillée des milieux humides rend bien compte des différentes typologies canadiennes reconnues (eaux peu profondes, marais, marécages, tourbière bog et tourbière fen) et identifie deux autres typologies (prairie humide et tourbière boisée). Cependant, ce simple inventaire, permettant d'identifier au préalable les grands espaces remarquables, ne semble pas suffisant pour décrire d'un point de vue hydrologique les milieux humides. Une approche multiscalaire devrait être intégrée afin d'établir une caractérisation plus fine des milieux humides. Les données acquises par le biais du Programme d'Acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES-CMQ) (Talbot Poulin et al., 2013) sur le territoire de la CMQ (couvrant les portions aval des bassins des rivières Aulneuse, Chaudière, Etchemin et autres petits cours d'eau) doivent être valorisées (topographie, pente, hydrographie, pédologie) et la mise en contexte au sein du bassin versant d'appartenance (localisation, degré de connectivité et aire drainée) doit être réalisée dans le but d'établir, *in fine*, les enjeux et vulnérabilités spécifiques.



Des études démontrent que l'ensemble de ces caractéristiques régulent la dynamique hydrologique des milieux humides, en conditionnant les écoulements de surface et de subsurface les alimentant ou les traversant (Euliss and Mushet, 1996; Nilsson *et al.*, 2013; Rains *et al.*, 2015), et déterminent alors, dans une certaine mesure, leur vulnérabilité face à de potentielles perturbations.

Ces caractéristiques peuvent rendre les milieux humides plus ou moins sensibles à des modifications de leur dynamique hydrologique. Ainsi, par extension aux travaux d'Euliss et Mushet (1996), des milieux humides intégrés dans un environnement ouvert (aire drainée peu végétalisée – cas des zones d'emprise du projet) ou des milieux humides peu connectés (milieux isolés, haut de versant), réactifs aux variations des niveaux d'eau, apparaissent plus vulnérables.

Autrement dit, au regard des données fournies, seules les typologies des milieux humides apparaissent. Des recoupements avec les données acquises par le biais du PACES-CMQ vont-ils être faits ? Une description plus fine des milieux humides identifiés par cartographie, incluant le type de sol en présence et leur arrangement stratigraphique, les directions et les sens des écoulements au sein des milieux et sur leur aire drainée est-elle envisagée ? Aussi, un rappel sur le bassin versant d'appartenance, incluant le pourcentage de milieux humides et/ou d'aires drainées concernés et la situation par rapport au cours d'eau à proximité (défini par son ordre de Strahler) est-il prévu ?

A ce stade, les préoccupations majeures portent sur cette caractérisation individuelle des milieux humides indispensable à la bonne compréhension de leur fonctionnement hydrologique. En effet, quelques études (Nilsson *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2014) ont mis en évidence la variabilité des dynamiques hydrologiques que pouvaient présenter des milieux humides partageant des caractéristiques pédologiques communes. Cet effet singulier est le résultat d'une combinaison particulière des paramètres descriptifs demandés, à savoir : les caractéristiques intrinsèques du milieu, la localisation sur le bassin versant et son degré de connectivité avec le réseau hydrographique.

D'autre part, outre les considérations relatives au maintien de l'intégrité hydrologique des milieux humides, de récentes études basées sur l'évaluation de leurs impacts sur l'hydrologie à l'échelle du bassin versant, tendent à démontrer que : (i) les milieux humides isolées tendent à augmenter les bas débits (9% à 39%) et diminuer les débits de pointe de crues (-11% à -14%) (Evenson *et al.*, 2015), et (ii) les milieux humides isolés localisés en tête de bassin versant et les milieux humides riverains associés à des cours d'eau majeurs (ordre de strahler de 3 ou supérieur) tendent à avoir un impact prépondérant sur les bas débits et sur les débits de pointe de crues (Fossey *et al.*, 2015b).

De plus, concernant le tracé de l'oléoduc ne traversant pas directement un milieu humide, une attention particulière sera-t-elle portée à un impact potentiel que ce dernier pourrait avoir sur l'aire drainée d'un milieu humide adjacent ? Un secteur, en particulier, situé sur Saint-Augustin-de-Desmaures (annoté sur le document en Annexe A) pourrait être situé dans l'aire drainée de milieux humides situés en aval, cette considération a-t-elle était prise en compte ?

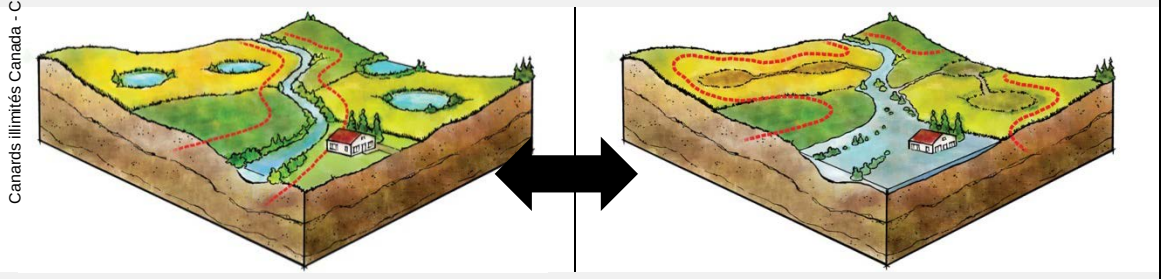
Une prise en compte partielle des zones humides et de leur complexe

Il est mentionné ici que la limite de reconnaissance cartographique des milieux humides est de 0,3 ha. Cependant, des zones humides de taille plus restreinte, non inventoriées,

peuvent posséder un intérêt. Ce dernier, s'il est limité au niveau individuel et local, peut s'avérer majeur à l'échelle d'un sous-bassin ou d'un bassin versant. L'effet cumulé de la dégradation de ces petits milieux peut engendrer des conséquences significatives sur le fonctionnement hydrologique d'un secteur plus vaste et avoir notamment des répercussions sur les secteurs aval. À ce titre, des investigations de terrain supplémentaires (longeant le tracé et la zone d'emprise) devraient être menées pour vérifier la présence de ces petits milieux humides.

Ces milieux humides, pourtant d'intérêt, ne figurent pas sur les documents fournis, des vérifications de terrain ont-elles été prévues ? Ces petits milieux humides feront-ils l'objet d'une vérification particulière ? Aussi et pour reprendre les préoccupations citées ci-avant, de nombreux milieux humides identifiés par cartographie longent le tracé de l'oléoduc sans le croiser, une attention sera-t-elle portée au cas où le tracé de l'oléoduc serait situé sur l'aire drainée de ces milieux humides ou encore sur celle de petits milieux humides aujourd'hui non identifiés ?

En effet, l'ensemble des milieux humides présents sur le territoire jouent un rôle sur l'hydrologie à l'échelle du bassin versant. Selon une étude de Wang *et al*. (2010), la perte de milieux humides (moins de 3 % du territoire) peut engendrer une hausse du débit de crue de l'ordre de 40 %. D'autres résultats montrent que la perte de milieux humides (approximativement 10 % du territoire) peut engendrer une baisse des débits estivaux de l'ordre de 45 % (Fossey *et al.*, 2014). De plus, ces impacts sur les débits en aval varient dépendamment du milieu humide considéré (Annexe C – pages 23-24).



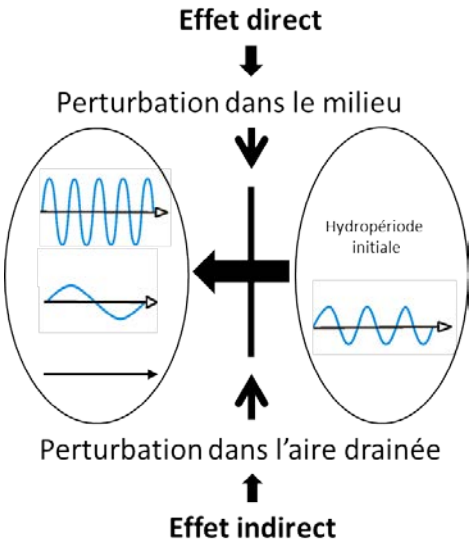
La perte de milieux humides engendre non seulement la perte effective du milieu et les fonctionnalités associées, mais diminue sensiblement le stockage des eaux en amont cours d'eau adjacents. De ce fait, deux phénomènes sont observés : (i) un arrêt des contributions retardées aux écoulements favorisant les étiages estivaux, et (ii) une augmentation des volumes d'eau ruisselés favorisant les épisodes de crues.

Pour des secteurs dont la stratigraphie des sols a déjà été modifiée (voie ferrée) et sur lesquels le tracé de l'oléoduc passe, une réduction supplémentaire de l'aire drainée des milieux humides situés en aval (carte en Annexe B) pourrait être préjudiciable. Il est

mentionné que le tracé de l'oléoduc longe cette voie, mais est-il bien prévu en amont de cette dernière ?

Une évaluation insuffisante de leur fonctionnement hydrologique

Comme énoncé plus haut, les milieux humides ne doivent pas être considérés comme des systèmes individualisés. Leur fonctionnement hydrologique est associé à des relations complexes en leur sein et avec le milieu environnant qui participe à leur alimentation en eau. De ce fait, la seule reconnaissance du milieu humide ne suffit pas. Il faut délimiter également son aire drainée, comme soulevé ci-avant, définissant son bassin (ou aire) d'alimentation. Le fonctionnement des milieux humides est donc défini, ici, comme sa dynamique hydrologique caractérisée, par : (i) son hydropériode et (ii) ses échanges avec le milieu environnant. L'hydropériode, caractéristique fondamentale du maintien de l'intégrité fonctionnelle et physique du milieu humide, se définit par la fréquence, la durée, l'intensité et la saisonnalité des variations du niveau d'eau au sein du milieu. Les échanges se définissent comme étant les transferts d'eau (entrée et sortie) dans le milieu contrôlant l'hydropériodicité. Ces considérations, tenant lieu de bilan hydrologique, doivent être quantifiées à des fins de détermination des conditions initiales du milieu, d'évaluation préliminaire des perturbations potentielles, et de référence pour des suivis ultérieurs de contrôle.



Des perturbations occasionnées au sein du milieu humide ou dans son aire drainée peuvent aboutir à des résultats similaires et engendrer des modifications de sa dynamique hydrologique.
Ainsi, un milieu humide peut présenter plusieurs types de perturbations se traduisant par:

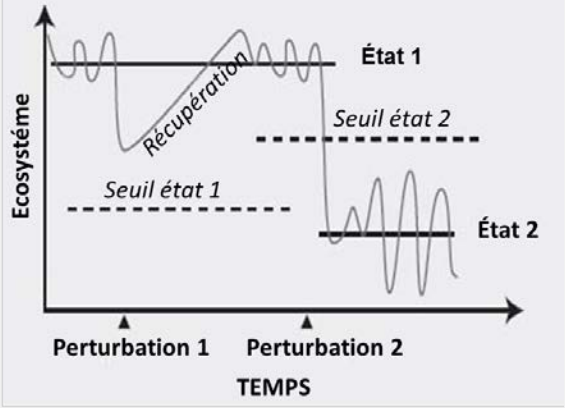
- Des périodes en eau/sèche plus fréquentes et moins longues
- Des périodes en eau/sèche moins fréquentes et plus longues
- Un arrêt complet du cycle de l'hydropériode

Aucune information fournie ne fait état d'une description des conditions hydriques des milieux humides. Outre la typologie des milieux humides identifiés et à identifier, sur quels critères se basent la caractérisation hydrologique de ces milieux ? L'évaluation des

perturbations et des impacts ne peut se faire en se limitant aux seules informations de surface. Des études plus approfondies pour déterminer cette dynamique hydrologique sont-elles prévues ?

Un manque d'information quant au degré de dégradation

Sans une évaluation appropriée, il est courant d'observer des dégradations non anticipées à plus ou moins long terme. Au-delà de la destruction directe d'un milieu humide, des dégradations mal évaluées, au sein même du milieu ou dans son milieu environnant (aire drainée) peuvent provoquer une fragmentation du milieu ou une discontinuité hydrologique défavorable à la pérennité de l'écosystème et par là de ses fonctionnalités. De plus, des perturbations telles que l'ouverture du milieu (déboisement, débroussaillage) sont souvent des facteurs propices à un appauvrissement global (flore, faune) pouvant engendrer des modifications hydrologiques (bilan hydrologique – déficit ou bénéfice évapotranspiratoire). C'est pourquoi, il importe de définir explicitement le type d'intervention découlant du tracé de l'oléoduc, à savoir direct (intervention sur le milieu) ou indirect (intervention sur son aire drainée), ainsi que le degré de dégradation attendue, à savoir temporaire (phase de travaux) ou permanent (phase d'exploitation). À cette caractérisation devra être associée une évaluation de l'impact subi, déterminant de ce fait le caractère réversible de la dégradation (atteinte/dépassement de seuil critique) en comparaison à la capacité de résilience du milieu.



(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

En effet, des perturbations affectant la dynamique hydrologique des milieux humides peuvent être temporaires et occasionner des effets réversibles (Ishida *et al.*, 2006) dès lors que la structure même du milieu n'est pas atteinte. Le retour aux conditions initiales est alors dépendant de sa capacité de résilience. Cependant, des perturbations prolongées et/ou répétées peuvent diminuer cette capacité de résilience et engendrer des effets irréversibles.

Pour répondre à cette préoccupation, un cahier des charges clair stipulant les aspects techniques et définissant les phases d'intervention du chantier sera-t-il fourni ?

Partie 2

Recommandations hydrologiques - *Mesures de précaution à l'égard du projet*

Afin de répondre aux préoccupations hydrologiques liées aux enjeux des milieux humides, les recommandations proposées sont axées sur : (i) l'analyse de l'état initial des sites et de leur environnement, (ii) la méthodologie préconisée pour l'évaluation du fonctionnement hydrologique des sites, et (iii) la conduite du projet en milieu humide.

Analyse de l'état initial des sites et de leur environnement

Cette première partie comprend la démarche à adopter pour la réalisation d'un portrait se voulant exhaustif et cohérent des sites impactés directement ou indirectement par l'ensemble du linéaire impacté par le tracé de l'oléoduc.

Pour les sites identifiés au préalable par la carte détaillée des milieux humides, et au regard des informations disponibles (ex. : PACES-CMQ), les indications suivantes sont souhaitées :

Identification du milieu humide

(i) Bassin versant d'appartenance (Aulneuse, Chaudière, Etchemin ou à la Scie)
(ii) Typologie du milieu (marais, marécages, tourbières, …)
(iii) Connexion au cours d'eau adjacent (isolé ou riverain)
(iv) Surface/Végétation dominante
(v) Séquence hydrostratigraphique

Mise en contexte dans son unité hydrologique fonctionnelle

(i) Localisation sur le bassin versant (gradient amont/aval)
(ii) Degré de connectivité au réseau hydrographique (lien à l'ordre de Strahler)
(iii) Identification de son aire drainée (surface, végétation dominante)
(iv) Topographie générale (pente sur le secteur)

D'autre part, pour les milieux non identifiés (petits milieux non cartographiés au préalable) et pour l'ensemble du linéaire impacté par le tracé, il est souhaitable :

(i) De procéder à une vérification de terrain de la présence ou non de tels milieux humides sur le linéaire impacté par le tracé

(ii) D'identifier les tronçons du linéaire affectant une aire d'alimentation et de caractériser le milieu humide associé

Ces informations sont la base minimale pour une appréhension globale des milieux. Ces dernières pourront être utilisées à des fins de classification de l'importance hydrologique d'un milieu humide pour un secteur donné et donc de préjuger de l'impact que des perturbations sur le milieu humide auraient sur l'hydrologie locale et régionale. En effet, une même typologie de milieu humide n'a pas la même valeur hydrologique (performances variables en termes de fonctionnement – stockage des eaux, temps de rétention et écoulements différés en aval du milieu) quant à son impact sur les écoulements en aval et sur les débits des cours d'eau associés. Ainsi, au regard de l'ensemble de ces données, des fiches d'identité de chacun des milieux humides perturbés devront être fournies pour une évaluation ultérieure et pour définir des plans d'action/d'intervention appropriés.

Méthodologie préconisée pour l'évaluation du fonctionnement hydrologique des sites

Cette seconde partie comprend les points méthodologiques détaillés des notions à quantifier pour réaliser l'évaluation du fonctionnement hydrologique des sites.

Évaluation des transferts d'eau et de l'hydropériode en conditions initiales

Il s'agit ici, de caractériser le fonctionnement hydrologique « de référence » du milieu humide qui dépend, dans une large mesure, des conditions d'écoulement au sein du milieu humide et de son aire d'alimentation.

(i) Évaluer les volumes d'eau entrant/sortant

Il s'agit d'établir un bilan hydrologique simple permettant d'évaluer un volume d'eau présent dans le milieu humide. Ce bilan est fondé sur le principe que le total des apports au milieu (précipitation, apport du bassin par ruissellement de surface ou de subsurface) doit être égal au total des sorties (évapotranspiration, ruissellement de surface ou de subsurface) plus la variation positive ou négative d'un volume d'eau stocké dans le milieu. En théorie pour qu'un milieu humide se maintienne en son état, cette variation doit s'équilibrer (être nulle) à moyen (quelques années) et long (plus de dix ans) termes.

(ii) Déterminer les périodes de charge/décharge et de hautes eaux/basses eaux

Ces données définissent l'hydropériode du milieu humide, à savoir, la fréquence, la durée, l'intensité et la saisonnalité des variations du niveau d'eau dans un système. Tenant compte du fait que cette hydropériodicité est un phénomène clé dans le maintien fonctionnel et physique du milieu, cette dernière ne doit pas subir de

perturbations significatives[7] (arrêt du cycle charge/décharge – conditions de hautes eaux ou des basses eaux permanentes).

Détermination du degré de dégradation

(i) Déterminer le type de dégradation (modification de surface – déboisement; modification de structure – remblai, extraction, orniérage)
(ii) Déterminer si la dégradation est temporaire (phase de travaux) ou permanente (phase d'exploitation)
(iii) Déterminer si la dégradation est directe (au sein du milieu) ou indirecte (au sein de l'aire drainée)

Ces données vont permettre d'évaluer, *a priori*, la capacité de résilience du milieu humide face à ces perturbations/dégradations. À titre d'exemple, un rétablissement du couvert végétal (sans modification de la structure du sol) peut prendre entre 3 ans (fens) et 20 ans (bogs) (Nilsson *et al.*, 1990).

Évaluation des transferts d'eau et de l'hydropériode en conditions futures (phase d'exploitation)

(i) De la même manière, procéder à un bilan hydrologique comme indiqué ci-dessus
(ii) Estimer si une tendance évolutive (déficit d'eau ou gain) existe

Ainsi, si une tendance est suspectée, il est possible que la dégradation soit irréversible (dépassement du seuil de résilience).

L'ensemble de ces informations est essentiel dans la caractérisation de la vulnérabilité d'un milieu et des enjeux spécifiques le concernant.

Pour réaliser cette évaluation, il est possible de mettre en place une modélisation hydrologique simple. Considérant : (i) un volume d'eau entrant (précipitation intégrée sur la surface du milieu humide et de son aire drainée), (ii) une représentation du milieu humide et de son aire drainée définie par sa stratigraphie et la conductivité hydraulique associée), (iii) un taux d'infiltration couplé à des équations d'écoulement en milieu saturé et non saturé et (iv) un volume d'eau sortant par écoulement et évapotranspiration. Ces données de simulation obtenues au pas de temps journalier seraient à fournir afin de définir l'hydropériodicité du milieu humide dans ces conditions initiales. La variation du jeu de données de paramétrage simulant alors les changements

[7] À ce stade, il est difficile de quantifier ces perturbations et sont alors considérées comme significatives les perturbations aboutissant à un état permanent d'une condition donnée.

dans les conditions de surface ou de conductivité des sols seraient également à fournir. Une comparaison de ces données de simulation, sur une période minimale de cinq ans, devra être réalisée pour évaluer la présence/absence de tendances évolutives dans la dynamique hydrologique des milieux humides impactés par le projet.

Conduite de projet en milieu humide

Cette dernière partie comprend des recommandations générales quant aux précautions à prendre lors d'intervention en milieu humide.

- **La période d'intervention** doit tenir compte de deux principaux facteurs : la portance des sols et leur résistance à la déformation et le cycle de vie des espèces en place. En effet, plus les conditions sont humides et plus le sol est vulnérable au phénomène d'orniérage (déformation plastique des sols et compaction) modifiant les processus d'écoulement. Des interventions en période sèche ou de gel sont recommandées, tout comme l'utilisation de machineries adaptées réduisant la pression au sol. Aussi, le respect du cycle de vie des espèces (faune et flore) en favorisant des interventions hors de périodes critiques (reproduction, croissance et floraison) diminue les risques de perturbations (mortalité, appauvrissement du stock de graines) pouvant engendrer à moyen terme des modifications significatives de l'écosystème.

- **La gestion des remblais** est une composante majeure du succès de restauration des sites. Elle doit tenir compte de l'hydrostratigraphie. En effet, le respect de la stratification initiale permettant le maintien de la granulométrie et de la conductivité hydraulique associées peut favoriser la remise en équilibre du système. De plus, le reboisement peut accélérer substantiellement la remise en état du couvert végétal initial. Ainsi, la préservation des couches de surface pouvant renfermer un stock de graines, et leur bonne gestion (respect de la stratigraphie, remblais locaux) peuvent favoriser les recolonisations ultérieures.

- **Les objectifs de restauration** doivent être clairement définis avant la phase d'intervention pour préjuger du succès de ceux-ci. En fonction des conditions hydrologiques initiales (caractéristiques présentées plus haut) et du degré de dégradation évalué, des objectifs quant au maintien/retour de ces conditions doivent être clairement établis. Ces objectifs doivent être assortis d'un calendrier prévisionnel de résultats (réalisation en phase d'intervention/d'exploitation, atteintes des résultats à court/moyen/long termes).

- **Le suivi post-restauration durant la phase d'exploitation** doit être établi. Pour ce faire des indicateurs de suivi doivent être définis. Ces indicateurs peuvent être

obtenus par l'intermédiaire de modélisation (préconisée plus haut) afin d'évaluer, *a priori*, les résultats attendus. Dans ce cas, il serait alors possible, par exemple, d'évaluer le temps nécessaire théorique pour un retour aux conditions hydrologiques initiales. Ces indicateurs peuvent également être obtenus par des suivis *in situ* permettant des mesures directes. Dans ce cas, il serait alors possible de faire un suivi des profils de conductivités hydrauliques des sols après remise en place des remblais par exemple. Il serait également possible de suivre les débits dans les cours d'eau en aval des milieux humides.

L'ensemble de ces mesures est bien de limiter l'impact du projet sur les milieux naturels et la mise en place d'indicateurs permet de s'assurer de la bonne mise en œuvre des mesures et recommandations préconisées. Aussi, le suivi post-restauration durant la phase d'exploitation est primordial. Il permet, à travers les indicateurs, d'identifier, le cas échéant, les objectifs non atteints et de définir des améliorations à apporter.

Conclusion

L'ensemble des préoccupations relevées et des recommandations formulées tendent à mettre l'accent sur le caractère fondamental d'une vision intégrative du milieu humide. En effet, il ressort que le milieu humide ne peut être dissocié de son unité hydrologique fonctionnelle que forme le bassin versant. À ce titre, deux échelles d'étude sont proposées :

- Une échelle locale définissant et caractérisant le milieu humide
- Une échelle « régionale » évaluant les interactions existantes entre le milieu humide et son environnement

À ces deux échelles, une évaluation pertinente de la vulnérabilité du milieu humide et de son complexe est possible. C'est aussi à ces deux échelles que peuvent être évalués non seulement les impacts que le projet Oléoduc Énergie Est pourrait avoir sur les milieux humides situés sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), mais également les répercussions que ces impacts pourraient avoir sur l'ensemble de l'hydrologie du secteur.

Bibliographie

Bensalma, F., Rousseau, A.N., Fossey, M., Ben Nasr, I., 2015. Uncertainty and sensitivity analyses of the wetland modules of a distributed hydrologic model. Advanced in Wetlands Hydrology and Water Quality Processes, under review.

Brinson, M.M., 1993. Changes in the functioning of wetlands along environmental gradients. Wetlands, 13: 65-74.

Brinson, M.M., 2009. The United States HGM (hydrogeomorphic) approach, The wetlands handbook, Chapter 22. Wilwy-Blackwell, Oxford, pp. 486-512.

Brinson, M.M., Rheinhardt, R., 1996. The role of reference wetlands in functional assessment and mitigation. Ecological Applications, 6: 69-76.

Brooks, R., Brinson, M., Havens, K., Hershner, C., Rheinhardt, R., Wardrop, D., Whigham, D., Jacobs, A., Rubbo, J., 2011. Proposed Hydrogeomorphic Classification for Wetlands of the Mid-Atlantic Region, USA. Wetlands, 31(2): 207-219.

Buteau, P., Dignard, N., Grondin, P., 1994. Système de classification des milieux humides du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Secteur des Mines, 25 pages.

Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C., 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States, U.S. Department of the Interior. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., 131 pages.

Demissie, M., Khan, A., 1993. Influence of Wetlands on Streamflow in Illinois. Illinois State Water Survey. Report of Investigation 561, Champaign, IL. 47 pages.

Euliss, N.H., Mushet, M.D., 1996. Water-level fluctuation in wetlands as a function of landscape condition in the prairie pothole region. Wetlands, 16(4).

Evenson, G.R., Golden, H.E., Lane, C.R., D'Amico, E., 2015. Geographically isolated wetlands and watershed hydrology: A modified model analysis. Journal of Hydrology, 529: 240-256.

Fossey, M., Rousseau, A.N., Bensalma, F., Savary, S., Royer, A., 2015a. Integrating isolated and riparian wetland modules in the PHYSITEL/HYDROTEL modelling platform: model performance and diagnosis. doi: 10.1002/hyp.10534. Hydrological Processes 29, 4683–4702.

Fossey, M., Rousseau, A.N., Savary, S., 2015b. Assessment of the impact of spatio-temporal attributes of wetlands on stream flows using a hydrological modelling framework: A theoretical case study of a watershed under temperate climatic conditions. Hydrological Processes, DOI: 10.1002/hyp.10750.

Fossey, M., Rousseau, A.N., Savary, S., Royer, A., 2014. Assessment of the impact of the spatial distribution of isolated and riparian wetlands on watershed hydrology using a mathematical modelling framework AGU San Francisco.

Golden, H.E., Sander, H.A., Lane, C.R., Zhao, C., Price, K., D'Amico, E., Christensen, J.R., 2015. Relative effects of geographically isolated wetlands on streamflows: a watershed-scale analysis. doi: 10.1002/eco.1608. Ecohydrology.

Gwin, S.E., Kentula, M.E., Shaffer, P.W., 1999. Evaluating the effects of wetlands regulation through hydrogeomorphic classification and landscape profiles. Wetlands, 19: 477-789.

Ishida, C.K., Kelly, J.J., Gray, K.A., 2006. Effects of variable hydroperiods and water level fluctuations on denitrification capacity, nitrate removal, and benthic-microbial community structure in constructed wetlands. Ecological Engineering, 28(4): 363-373.

Liu, Y., Yang, W., Wang, X., 2008. Development of a SWAT extension module to simulate riparian wetland hydrologic processes at a watershed scale. Hydrological Processes, 22(16): 2901-2915.

Martinez-Martinez, E., Nejadhashemi, A.P., Woznicki, S.A., Love, B.J., 2014. Modeling the hydrological significance of wetland restoration scenarios. Journal of Environmental Management, 133(0): 121-134.

Middleton, B.A., 2002. Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the natural Hydrological Balance. National Wetlands Research Center, USGS, Lafayette, Louisiana. New York: 320 pages.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecological Economics, 35(1): 25-33.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2007. Wetlands, 4th ed., John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, NY. 600 pages

Nilsson, H.D., Famous, N.C., Spencer, M.P., 1990. Harvested Peatland Reclamution: Harvesting Impacts, Case Studies and Reclamation Options. Unpublished report. Down East Peat L.P. Cherryfield (Maine).

Nilsson, K.A., Rains, M.C., Lewis, D.B., Trout, K.E., 2013. Hydrologic characterization of 56 geographically isolated wetlands in west-central Florida using a probabilistic method. Wetlands Ecology and Management, 21: 1-14.

Padmanabhan, G., Bengtson, M.L., 2001. Assessing the influence of wetlands on flooding. In : Hayes D.F. (Ed.). Process Wetlands Engineering and River Restoration, vol.110, Reno, Nevada. 12 pages

Park, J., Botter, G., Jawitz, J.W., Rao, P.S.C., 2014. Stochastic modeling of hydrologic variability of geographically isolated wetlands: Effects of hydro-climatic forcing and wetland bathymetry. Advances in Water Resources, 69(0): 38-48.

Rains, M.C., Leibowitz, S.G., Cohen, M.J., Golden, H.E., Jawitz, J.W., Kalla, P., Lane, C.R., Lang, M.W., McLaughlin, D.L., 2015. Geographically isolated wetlands are part of the hydrological landscape. doi: 10.1002/hyp.10610. Hydrological Processes.

Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2006. Le Manuel de la Convention de Ramsar : Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar 1971). 4e éd, Gland, Suisse : Secrétariat de la Convention de Ramsar, 124 pages.

Talbot Poulin, M.C., Comeau, G., Tremblay, Y., Therrien, R., Nadeau, M.M., Lemieux, J.M., Molson, J., Fortier, R., Therrien, P., Lamarche, L., Donati-Daoust, F., Bérubé, S., 2013. Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, Rapport final. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, mars 2013, 172 pages, 19 annexes, 28 cartes.

Wang, X., Shang, S., Qu, Z., Liu, T., Melesse, A.M., Yang, W., 2010. Simulated wetland conservation-restoration effects on water quantity and quality at watershed scale. Journal of Environmental Management, 91(7): 1511-1525.

Wang, X., Yang, W., Melesse, A.M., 2008. Using hydrological equivalent wetland concept within SWAT to estimate streamflow in watersheds with numerous wetlands. Transactions of the ASABE, 51(1): 55-72.

Warner, B.G., Rubec, C.D.A., 1997. Système de classification des terres humides du Canada. Centre de recherche sur les terres humides, Université de Waterloo., Waterloo, Ontario, Canada. 72 pages

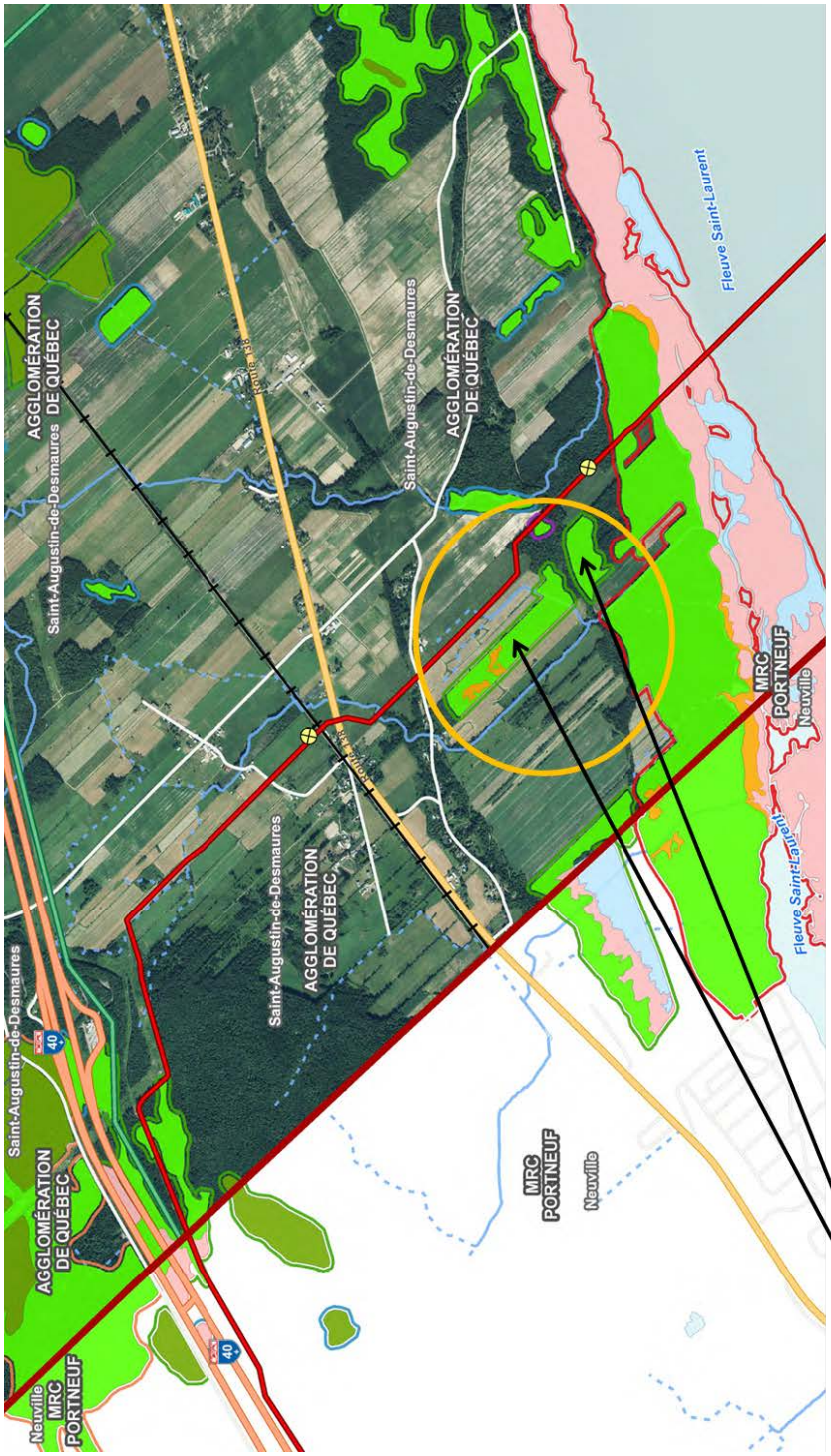
Yang, W., Wang, X., Liu, Y., Gabor, S., Boychuk, L., Badiou, P., 2010. Simulated environmental effects of wetland restoration scenarios in a typical Canadian prairie watershed. Wetlands Ecology and Management, 18(3): 269-279.

Yetter, J.C., 2004. Hydrology and geochemistry of freshwater wetlands on the Gulf of Mexico of Veracruz. University of Waterloo Thesis, Waterloo, Mexico, 336 pages.

Zoltai, S.C., Vitt, D.H., 1995. Canadian wetlands: Environmental gradients and classification. Plant Ecology, 118(1): 131-137.

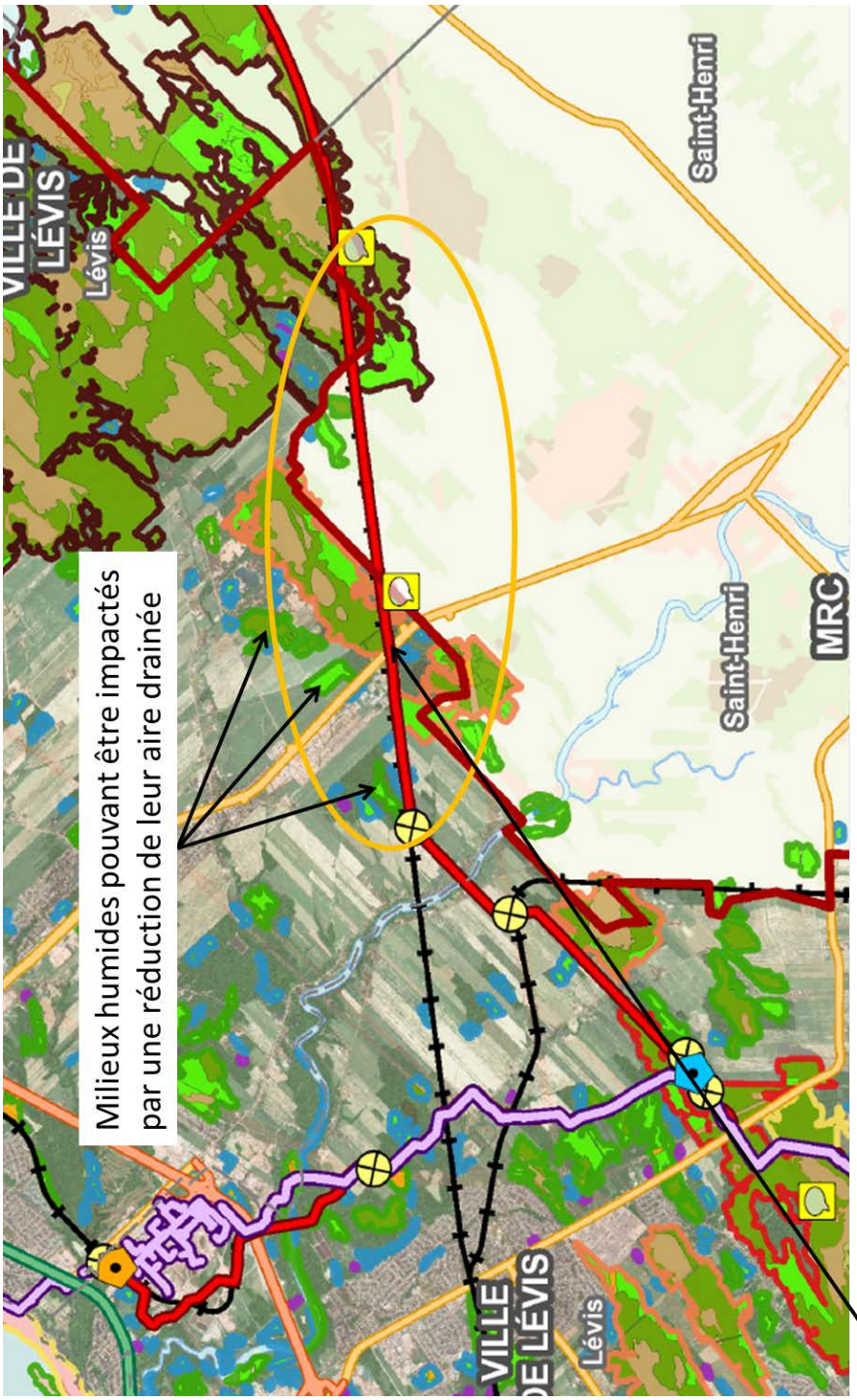
Annexes

Annexe A : Secteur de Saint-Augustin-de-Desmaures



Le tracé de l'oléoduc pourrait se situer dans l'aire drainée de ces deux milieux humides incluant des marécages et des prairies humides.

Annexe B : Secteur de Lévis Est – Voie ferrée



Compte tenu très probablement des directions et sens d'écoulements des eaux, le tracé devrait être localisé en amont de la voie ferrée afin de ne pas réduire davantage l'aire drainée des milieux humides situés en aval.

Annexe C : Tracé du pipeline – Segment Québec



Annexe D : Présentation du 08/10/2015

Comité d'experts – Projet d'Oléoduc d'Énergie Est

Rencontre de démarrage

Mesures de précaution à l'égard du projet
Les milieux naturels et humides

ALAIN N. ROUSSEAU ET MAXIME FOSSEY

8 octobre 2015, 12h15 – 14h30
Bureau de la CMQ
2875, boul. Laurier, Delta III, 10e étage

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Plan de présentation



- Origine des zones humides
- Types de zones humides
- Connectivité des zones humides
- Zones humides et recherche en hydrologie
- Causes multiples de dégradation

Origine des zones humides

- **L'hydrologie**
  Condition préalable à la constitution des sols hydromorphes et à l'expression des fonctionnalités
- **La physico-chimie des sols**
  Les écoulements selon la structure et la composition intrinsèque du sol (stratification)
- **Le biotope**
  Interaction directe ou indirecte entre le paysage environnant avec le milieu humide

Interactions spatiale et temporelle

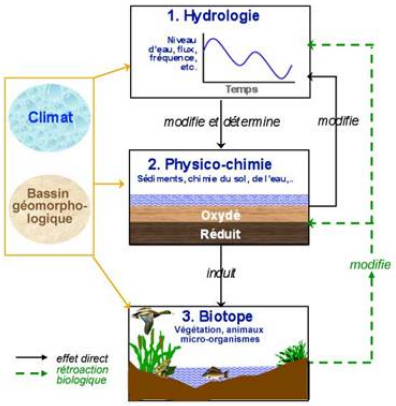


Schéma du fonctionnement d'une zone humide (d'après Mitsch & Gosselink, 2000)

Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Types de zones humides





Tourbières boisées



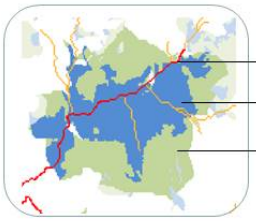


Marécages isolés ou riverains

Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Connectivité des zones humides





Classification selon le fonctionnement hydrologique

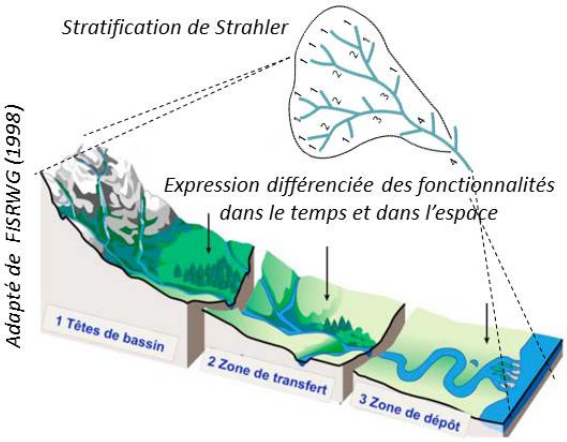
- Zones humides classées selon leur connectivité au réseau hydrographique (Brooks *et al.*, 2011)

Vision intégrative

- La zone humide délimitée par sa propre surface et son aire drainée

Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Zones humides et recherche en hydrologie



Gradient de distribution

- Répartition le long d'un gradient amont/aval et selon l'ordre des cours d'eau

Dynamique fonctionnelle

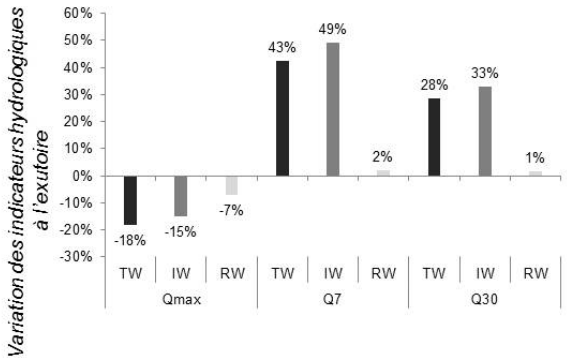
- Lien entre connectivité et fonctionnalité
- Lien entre caractéristiques spatiales du milieu humide et fonctionnalité
- Lien entre conditions locales du bassin et fonctionnalité

Zones humides et recherche en hydrologie

Rôle majeur des zones humides sur l'hydrologie

(Padmanabhan and Bengtson, 2001 ; Wang et al., 2010 ; Fossey et al., 2015a)

- Réduction des pics de crue
- Soutien aux débits d'étiage



Impact de la présence de zones humides sur les débits à l'exutoire du bassin de la Bécancour

Communauté métropolitaine de Québec

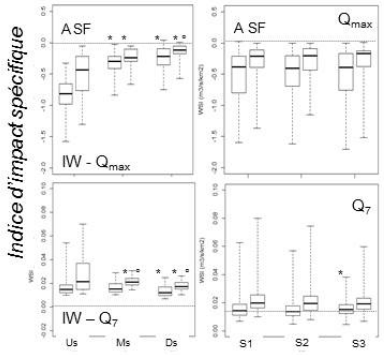
Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Zones humides et recherche en hydrologie

Milieux isolés (IW)

- Leurs impacts dépendants de leur localisation sur le bassin versant et de leur connectivité au cours d'eau (Fossey *et al.*, 2015b, en révision)



Gradient amont/aval

- Efficacité plus grande sur la réduction des hauts débits et sur le soutien aux étiages quand situées en amont

Gradient selon Strahler

- Efficacité « constante » pour l'ensemble des débits

Impact spécifique des zones humides isolées sur les débits à l'exutoire du Bassin de la Bécancour selon un gradient amont/aval et l'ordre de Strahler

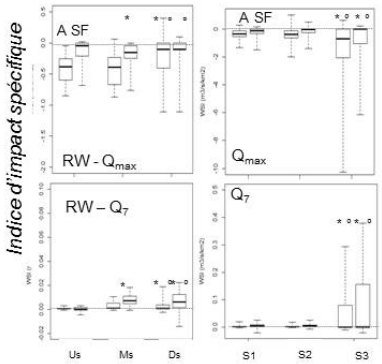
Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Zones humides et recherche en hydrologie

Milieux riverains (RW)

- Leurs impacts dépendants de leur localisation sur le bassin versant et de leur connectivité au cours d'eau (Fossey *et al.*, 2015b, en révision)



Gradient amont/aval

- Zones plus réactives avec efficacité plus variable quand situées en aval

Gradient selon Strahler

- Efficacité plus grande sur la réduction des hauts débits et sur le soutien aux étiages quand situées sur des cours d'eau principaux

Impact spécifique des zones humides riveraines sur les débits à l'exutoire du Bassin de la Bécancour selon un gradient amont/aval et l'ordre de Strahler

Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Des causes multiples de dégradation

Effet direct

Remblaiement - comblement

Fractionnement/Destruction du milieu
Perturbation à court terme des conditions hydriques
Modification à long terme de sa structure

Effet indirect

Modification du paysage environnant

Modification de son aire drainée
Perturbation des conditions d'écoulement
Perturbation des conditions hydriques



Remblais



Boisement et drainage



Hydropériodicité

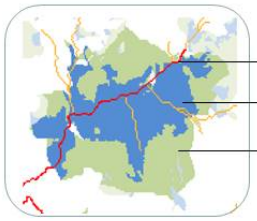
Hydropériodicité

Facteur clé du maintien de l'intégrité physique et fonctionnelle du milieu humide

Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Causes multiples de dégradation



Cours d'eau principal

Milieu humide riverain

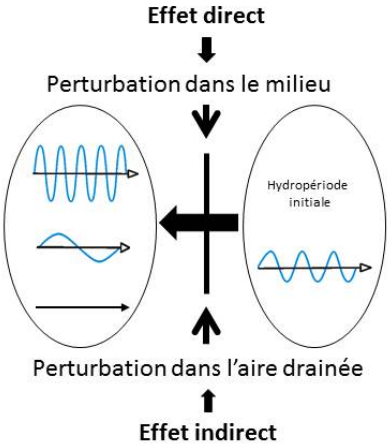
Aire drainée par le milieu humide riverain



Cours d'eau principal

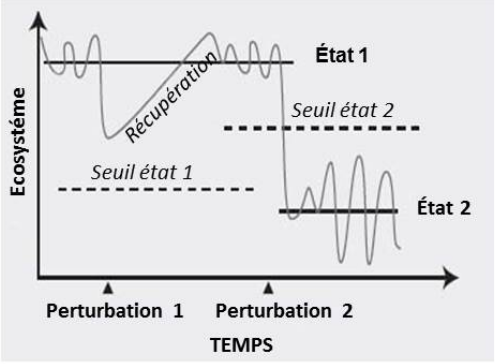
Milieu humide isolé

Aire drainée par le milieu humide isolé



Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Causes multiples de dégradation



(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

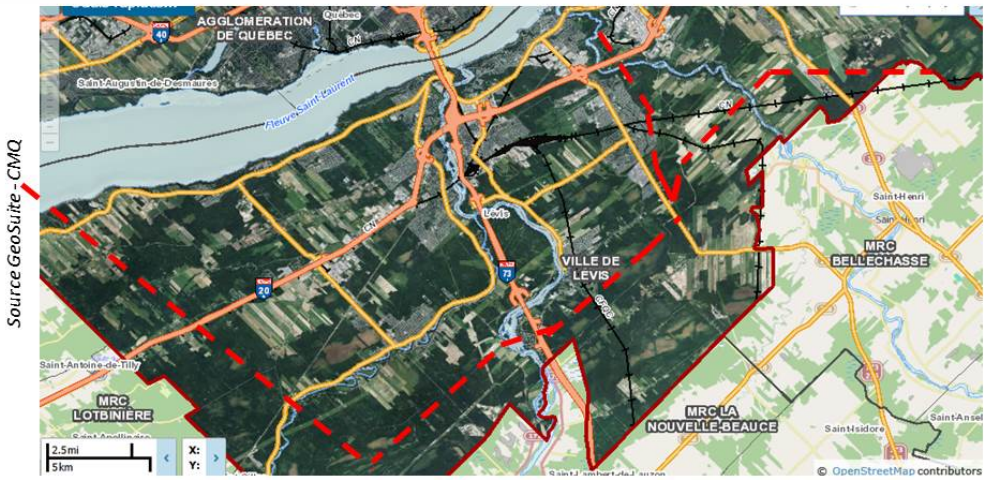
- **Variabilité**
  Conditions au sein du milieu autour d'un axe
- **Résilience**
  Capacité du système à retourner à son état d'origine après une perturbation
- **Seuil**
  Limite à ne pas franchir afin de me pas modifier de manière permanent le comportement moyen du milieu

INRS
Université d'avant-garde

Centre - Eau Terre Environnement

INRS
UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Données techniques



Source GeoSuite - CMQ

Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Données techniques

Source EES – Vol 13, partie B – Addenda à l'EES vol2



Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Données techniques – Secteur CMQ

Caractéristiques du tracé

- Traverse les territoires de St-Augustin-de-Desmaures et de Levis
- Traversée du St Laurent dans le secteur St-Nicolas
- Au Nord longe l'autoroute 40 et le Gazoduc Trans Québec et Maritimes
- Au sud longeant en partie le Gazoduc de TQM et le Pipeline St Laurent vers l'est
- Emprise en construction (60 m) / en exploitation (20 à 25m)
- Profondeur minimale de la canalisation 0.9 m en milieu boisé et 1.2 m en milieu agricole
- Au total 60 km sur le territoire de la CMQ (52 km de conduite principale + 8 km de conduite latérale vers la raffinerie Valero)

Environnement

- Franchissement sans tranchée pour le St-Laurent, Beaurivage, Chaudière – Forage FDH ou par tunnel
- Franchissement de 73 cours d'eau, dont la rivière Etchemin par tranchée dont 31 en amont de la prise d'eau de la rivière Chaudière
- Station de pompage 61-62 de Lévis à L'islet évaluée à risque

Communauté métropolitaine de Québec

Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est

Projet Révisé – Segment Québec

Caractéristiques du tracé

- Au total 625 km de tracé principal (*suppression de 68 km hors secteur CMQ*)
- Au total 7.6 km de canalisation latérale (*suppression de 2.5 km sur le secteur de Lévis*)
- 860 franchissements de cours d'eau (*modification possible de l'endroit de franchissement mais conservation des cours d'eau inventoriés*)
- 21 cours d'eau dans les stations de pompage
- 23 franchissements de cours d'eau dans les stations de pompage

Environnement

- 82 bassins versants concernés (62 en rive nord et 20 en rive sud)
- Aucune acquisition de données supplémentaires concernant les milieux humides
- La caractérisation des effets résiduels sur l'hydrologie reste inchangée (non significatifs)

Conclusion révisée

- Les données disponibles mises à jour ne modifient pas les recommandations et conclusions relatives au secteur de la CMQ

Centre - Eau Terre Environnement
INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE

Références

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35(1): 25-33.

Brooks, R. et al., 2011. Proposed Hydrogeomorphic Classification for Wetlands of the Mid-Atlantic Region, USA. *Wetlands*, 31(2): 207-219.

Padmanabhan, G., Bengtson, M.L., 2001. Assessing the influence of wetlands on flooding. In : Hayes D.F. (Ed.). Process Wetlands Engineering and River Restoration, vol.10, Reno, Nevada.

Wang, X. et al., 2010. Simulated wetland conservation-restoration effects on water quantity and quality at watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 91(7): 1511-1525.

Fossey, M., Rousseau, A.N., Bensalma, F., Savary, S., Royer, A., 2015a. Integrating isolated and riparian wetland modules in the PHYSITEL/HYDROTEL modelling platform: model performance and diagnosis. *Hydrological Processes* doi: 10.1002/hyp.10534.

Fossey, M., Rousseau, A.N., Savary, S., 2015b. Assessment of the impact of spatio-temporal attributes of wetlands on stream flows using a hydrological modelling framework: A theoretical case study of a watershed under temperate climatic conditions. *Hydrological Processes* , submitted

Communauté métropolitaine de Québec
Comité d'experts – Projet d'oléoduc d'Énergie Est