FPInnovations MD | Canards Illimités

ROUTES D'ACCÈS ET MILIEUX HUMIDES :
GUIDE SUR LA PLANIFICATION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN

PUBLICATION SPÉCIALE SP-530F

fpinnovations.ca

©2016 FPinnovations. Tous droits réservés.
Toute copie ou distribution non autorisée est strictement interdite.

ROUTES D'ACCÈS ET MILIEUX HUMIDES :
GUIDE SUR LA PLANIFICATION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN

PUBLICATION SPÉCIALE SP-530F

FPINNOVATIONS

Mark Partington, R.P.F., M.Sc.
Clayton Gillies, R.P.F., R.P.Bio.

CANARDS ILLIMITÉS CANADA

Beverly Gingras, M.Sc.
Christopher E. Smith, C.W.B.
Julienne Morissette, Ph.D.

Partington, M., Gillies, C., Gingras, B., Smith, C. & Morissette, J. (2016) Routes d'accès et milieux humides : guide sur la planification, la construction et l'entretien. (Publication spéciale SP-530F) Pointe-Claire, QC : FPInnovations.

ISBN 978-0-86488-574-6 (Imprimé)
ISBN 978-0-86488-575-3 (PDF)
ISSN 1925-0517 (Imprimé)
ISSN 1925-0525 (PDF)

Toutes les photos sont une gracieuseté de FPInnovations, sauf en cas d'indication contraire.

Ressources naturelles Canada | Natural Resources Canada

Canada

SUSTAINABLE FORESTRY INITIATIVE
SFI-00001

Ces travaux ont été financés par Ressources naturelles Canada, conformément à l'entente de contribution du SCF de RNCan et FPInnovations.

Du financement additionnel a été offert par l'entremise du programme Sustainable Forestry Initiative Conservation and Community Partnerships Grant.

TABLE DES MATIÈRES

(Photo : Canards Illimités Canada).

01.
AVANT-PROPOS

Le sujet **6**
Le problème **6**
Ce que ce quide contient **6**
Ce que ce guide ne contient pas **7**
À qui est destiné ce guide? **7**

02.
CONSTRUCTION D'UNE ROUTE D'ACCÈS DANS UN MILIEU HUMIDE **8**

03.
INTRODUCTION

Qu'est-ce qu'une route d'accès? **10**
Qu'est-ce qu'un milieu humide? **10**
Défis associés aux routes d'accès dans les milieux humides **15**
Incidence des routes d'accès sur les milieux humides **15**

04.
CONNAÎTRE LES MILIEUX HUMIDES

Avantages des milieux humides **16**
Classification des milieux humides **17**
Milieux humides organiques 18
Milieux humides minéraux 20
Suintements, résurgences, ruisseaux intermittents et étangs vernaux 22
Complexes de milieux humides **22**
Abondance et diversité des milieux humides à l'échelle régionale **23**
Variation de la végétation 26
Caractéristiques hydrologiques des milieux humides et considérations liées à l'écoulement de l'eau **28**
Considérations hydrologiques locales et régionales **29**
En résumé 30

05.
CONSIDÉRATIONS LIÉES À LA PLANIFICATION

Écoulement des milieux humides **33**
Point de passage **33**
Outils 34
Emplacement des passages 35
Emplacement des conduits 37
Emplacement des matériaux de remblai. 38
Facteurs saisonniers **38**
Hiver 39
Équipement **40**
Cours d'eau définis en milieu humide forestier **41**

06.
APPLICATIONS PRATIQUES

Construction de routes sur les sols des milieux humides **42**
Membranes géosynthétiques 44
Chemins de radiers 48
Autres choix de matériaux de remblai 50
Tapis d'accès temporaires 52
Passages hivernaux temporaires en milieu humide 55
Gestion de l'eau : Écoulement d'eau de surface et sous la surface **56**
Ponceaux 56
Paquets de billes 62
Matelas d'agrégats 64
Chemins de radiers 66
Gestion de l'eau : Traverses de cours d'eau **70**
Ponceaux 70
Arches 72
Ponts 73
Traversées hivernales temporaires 75
Suivi de la performance de la route **76**
Démantèlement et restauration **79**
Gestion de l'érosion et des sédiments **80**

07.
ANNEXE I. REMERCIEMENTS

..... **82**

08.
ANNEXE II. LITTÉRATURE CITÉE

..... **83**

09.
ANNEXE III. LECTURES SUGGÉRÉES

Ressources sur les milieux humides **84**
Ressources sur les routes d'accès **86**

01.
AVANT-PROPOS

LE SUJET

Ce guide porte sur les pratiques liées à la planification, à la construction et à l'entretien des routes d'accès qui traversent des milieux humides. La faible capacité portante des sols et l'abondance d'eau sont des caractéristiques des milieux humides. Ce guide vise à fournir l'information qui permettra de :

- S'assurer que les routes d'accès qui traversent des milieux humides offrent la capacité portante nécessaire à la conception et aux opérations de transport avec un bon rapport coût-efficacité
- Atténuer les impacts des routes d'accès sur les caractéristiques d'écoulement des milieux humides.

LE PROBLÈME

Les sols des milieux humides, habituellement saturés et ayant une faible capacité portante, présentent des défis uniques pour les concepteurs de routes et les équipes de construction. Étant donné que le poids exercé par les remblais routiers peut être nettement supérieur à la capacité portante des sols dans les milieux humides, la conception doit tenir compte de ces conditions difficiles. Les routes d'accès construites sur des milieux humides sont généralement sujettes au tassement et au compactage des sols, ce qui a une incidence sur la performance, la construction et les coûts d'entretien des routes. De plus, ces routes peuvent entraîner des changements aux milieux humides pouvant influencer le processus hydrologique de ces dernières. Le lien hydrologique continu d'un système de milieux humides peut être compromis par le tassement et le compactage des sols.

CE QUE CE GUIDE CONTIENT

Ce guide contient des pratiques visant à aider à la planification, à la construction et à l'entretien de routes d'accès très performantes; ces pratiques permettent aussi de minimiser les effets de ces routes sur l'hydrologie et les processus propres aux milieux humides. Des lignes directrices pour la sélection et la mise en œuvre de ces pratiques sont fournies. Un aperçu des milieux humides, de leur fonction et de leur valeur est également fourni, afin d'améliorer les connaissances et la compréhension de l'objectif des pratiques présentées. On réfère

souvent aux pratiques dont il est question dans ce guide comme les meilleurs pratiques de gestion (MPG), qui ont été développées en fonction des connaissances actuellement disponibles. Les MPG ne s'appliquent pas à toutes les situations; les connaissances et l'expérience à l'échelle locale doivent donc être utilisées pour déterminer la pratique la plus adéquate compte tenu des conditions. La mise en œuvre des MPG est un élément important de la gestion durable des forêts, qui tient compte des fonctions et des processus des milieux humides.

CE QUE CE GUIDE NE CONTIENT PAS

Ce guide ne contient pas de procédures détaillées pour la mise en œuvre des pratiques présentées. Les défis associés à la construction et à l'entretien des routes d'accès dans les régions où le pergélisol est présent ne sont pas abordés. Ce ne sont pas toutes les interactions entre les routes d'accès et les milieux humides qui sont abordées dans le présent guide; ce dernier met l'accent sur les pratiques qui permettent de maintenir le mouvement de l'eau en surface et sous la surface. Ce guide ne remplace pas les exigences fédérales, provinciales ou municipales applicables.

À QUI EST DESTINÉ CE GUIDE?

Ce guide est destiné aux personnes qui assurent la gestion, la planification, la construction et l'entretien des routes d'accès traversant des milieux humides. Ce guide est également conçu pour aider toute personne s'occupant de la gestion des routes d'accès ou de l'atténuation de l'effet des activités forestières sur le rôle et la valeur des milieux humides. Ce guide vise à faire connaître les interactions entre les routes d'accès et les milieux humides, et il pourrait s'avérer intéressant pour les personnes qui assurent la mise en œuvre des pratiques de protection et de gestion des milieux humides.

02.
CONSTRUCTION D'UNE ROUTE D'ACCÈS DANS UN MILIEU HUMIDE

LA CONSTRUCTION D'UNE ROUTE D'ACCÈS DANS UN MILIEU HUMIDE SUPPOSE DEUX CONSIDÉRATIONS PRINCIPALES POUR LES PHASES DE PLANIFICATION, DE CONSTRUCTION ET D'ENTRETIEN :

- S'ASSURER QUE LES ROUTES D'ACCÈS QUI TRAVERSENT DES MILIEUX HUMIDES OFFRENT LA CAPACITÉ PORTANTE À LA CONCEPTION ET AUX OPÉRATIONS DE TRANSPORT AVEC UN BON RAPPORT COÛT-EFFICACITÉ
- ATTÉNUER LES IMPACTS DES ROUTES D'ACCÈS SUR LES PROCESSUS HYDROLOGIQUES DES MILIEUX HUMIDES.

DE NOMBREUX FACTEURS ET DÉCISIONS DOIVENT ÊTRE PRIS EN COMPTE EN MATIÈRE DE PERFORMANCE OPÉRATIONNELLE ET ENVIRONNEMENTALE. VOICI UN RÉSUMÉ DE CERTAINES DÉCISIONS CLÉS QUI DOIVENT ÊTRE PRISES DANS LE PROCESSUS GLOBAL PROPRE À CHAQUE PROJET DE ROUTE D'ACCÈS :

ÉTAPE 1

Identifier la présence de milieux humides dans la planification des routes d'accès. Planifier la route de manière à ce qu'elle respecte les exigences en matière d'opération et de sécurité et, lorsque possible, éviter ou minimiser la longueur des routes construites sur des milieux humides.
Consulter la section sur les considérations liées à la planification.

ÉTAPE 2

Identifier le type de mouvement de l'eau dans l'ensemble des points de passage des milieux humides et appliquer les quatre catégories liées aux considérations d'écoulement des milieux humides.
Consulter la section sur la connaissance des milieux humides : Considérations liées à l'écoulement des milieux humides.

ÉTAPE 3

Déterminer la saison et la durée (permanente ou temporaire) d'utilisation de la route. Certains milieux humides peuvent être utilisés uniquement en conditions de gel, en fonction de leurs caractéristiques d'écoulement.
Consulter la section sur les applications pratiques : Traversées hivernales temporaires.

ÉTAPE 4

En se basant sur la durée (permanente ou temporaire) et la saison d'utilisation de la route, déterminer les options d'amélioration de la capacité portante du sol qui seront utilisées. Pour choisir les options, tenir compte des exigences possibles en matière de démantèlement et de réhabilitation du site.
Consulter la section sur les applications pratiques : Construction de routes sur les sols des milieux humides.

ÉTAPE 5

Déterminer les exigences en matière de passage d'eau en fonction des caractéristiques d'écoulement du milieu humide, afin de minimiser l'incidence de la route sur l'hydrologie du milieu humide, puis choisir un conduit adéquat pour l'écoulement (p. ex. : chemin de radiers, paquet de billots, matelas d'agrégat, etc.).
Consulter la section sur la gestion de l'eau : Écoulement de surface et sous la surface.

ÉTAPE 6

Identifier les traverses de cours d'eau dans le milieu humide et déterminer le type de structure (ponceau, arche ou pont) qui sera utilisée et la méthode d'amélioration des fondations qui sera mise en place.
Consulter la section sur la gestion de l'eau : Traverses de cours d'eau dans un milieu humide.

ÉTAPE 7

Mettre en œuvre un plan de construction de la route, en s'assurant que toutes les normes sont identifiées et respectées, et que les exigences réglementaires soient respectées.

ÉTAPE 8

Surveiller la performance de la route et effectuer de l'entretien pour s'assurer que la route offre une performance opérationnelle et respecte les exigences en matière de sécurité, et que l'incidence sur les milieux humides sont atténuée.
Consulter la section sur les applications pratiques : Suivi de la performance de la route.

03. INTRODUCTION

FIGURE 1A. *Présence d'eau, y compris dans les endroits gorgés d'eau de manière permanente ou saisonnière et eau à la surface ou près de la surface.*

LA CONSTRUCTION DE ROUTES D'ACCÈS DANS LES MILIEUX HUMIDES PRÉSENTE DES DÉFIS SUR LES PLANS ENVIRONNEMENTAL ET OPÉRATIONNEL POUR LES GESTIONNAIRES DE ROUTES. LA NATURE INHÉRENTE DES MILIEUX HUMIDES EST UNIQUE. L'IMPACT DE CES ROUTES SUR LES NOMBREUSES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES MILIEUX HUMIDES CONSTITUE UNE PRÉOCCUPATION GRANDISSANTE POUR L'INDUSTRIE, LES GOUVERNEMENTS ET LES ORGANISMES NON GOUVERNEMENTAUX. GRÂCE À UNE BONNE PLANIFICATION ET À LA COMPRÉHENSION DES MILIEUX HUMIDES, ON PRÉVOIT QUE LES MILIEUX HUMIDES ET LES ROUTES D'ACCÈS POURRONT OFFRIR LA PERFORMANCE ATTENDUE.

QU'EST-CE QU'UNE ROUTE D'ACCÈS?

Les routes d'accès sont des routes non pavées construites pour accéder aux ressources naturelles, comme les routes requises pour la gestion forestière. La planification, la construction et l'entretien des routes d'accès sont nécessaires au soutien de diverses activités industrielles et récréatives. Les routes d'accès dont il est principalement question dans ce guide sont celles qui sont gérées pour soutenir les opérations de récolte et de transport en forêt. Ces routes sont habituellement construites avec des matériaux disponibles sur place, doivent avoir une durée de vie de 5 à 50 ans et sont principalement utilisées par des véhicules industriels lourds. Les conditions liées à la conception et à l'utilisation des routes d'accès conçues pour la foresterie sont similaires à celles utilisées pour les autres volets de l'industrie des ressources naturelles. Les routes d'accès constituent souvent l'accès principal pour les activités récréatives et la découverte de l'arrière-pays.

QU'EST-CE QU'UN MILIEU HUMIDE?

Les milieux humides représentent un type de paysage abondant dans l'ensemble du Canada. Les systèmes de milieux humides peuvent être reliés entre eux sur de grandes distances et peuvent constituer un pourcentage important de la zone d'opération d'une entreprise de ressources naturelles. Les milieux humides offrent de nombreux avantages, dont la purification de l'eau, la modération des inondations, stockage de carbone, un habitat pour les poissons et la faune et une valeur culturelle unique. Certains milieux humides

boisés contiennent aussi des essences commercialisables, ce qui offre une valeur importante à l'industrie forestière.

On compte différents types de milieux humides dans les régions boisées du Canada. Les caractéristiques physiques, chimiques, climatiques et biologiques des différents milieux humides peuvent rendre ces derniers particulièrement sensibles aux routes et aux autres activités industrielles.

Le fait de pouvoir identifier et classer les milieux humides et de comprendre les caractéristiques d'écoulement de l'eau contribuera à aider les planificateurs et gestionnaires de routes d'accès à prendre des décisions pour atténuer l'incidence potentielle sur les milieux humides et à s'assurer que les routes offrent la performance prévue.

Au Canada, on définit les milieux humides de diverses manières. Il n'existe pas de définition unique reconnue par la loi dans l'ensemble des juridictions municipales, provinciales et fédérale. Dans les cas où les milieux humides ne sont pas désignés par une définition spécifique, ils sont souvent compris dans des définitions plus vastes, comme « plan d'eau » ou « eau de surface ». Le Système de classification des terres humides du Canada (SCTHC) offre une définition répandue qui s'applique à toutes les régions :

Terrain saturé d'eau assez longtemps pour favoriser les processus de terres humides ou aquatiques caractérisés par des sols mal drainés, une végétation hydrophile et différentes formes d'activités biologiques adaptées à un milieu humide. (Warner & Rubec, 1997, p. 1).

Selon cette définition, les milieux humides peuvent être de dimensions variables, posséder des sections d'eau libre, être temporairement à sec, boisés ou arbustifs, ou peuvent être dégagés et couverts de mousse, de carex ou d'herbe. Selon le lieu et la saison, il peut être difficile de déterminer si un site est situé dans un milieu humide ou sur un terrain surélevé, bien que certains indicateurs comme le terrain, le sol et la végétation puissent aider à établir le type de zone dont il est question (**FIGURES 1 À 4**).

FIGURE 1B. *Terrain moutonné (Photo : Canards Illimités Canada).*

FIGURE 1C. *Profil de sol minéral avec couche organique peu profonde (moins de 40 cm) sur une couche de sol minéral épuisé (Photo : ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse).*

FIGURE 1D. *Profil de sol organique, dérivé de la tourbe, avec couche organique de plus de 40 cm (Photo : ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse).*

FIGURE 1A , B, C ET D. *Indicateurs généraux des milieux humides.*

FIGURE 2. *Indicateurs sélectionnés liés à l'essence d'arbre quant à la présence de milieux humides. *Peut aussi être associé aux terrains surélevés.*

Épinette noire* (Picea mariana)

Peuplier baumier* (Populus balsamifera)

Mélèze (Larix laricina)

Bouleau blanc* (Betula papyrifera)

FIGURE 3. *Indicateurs sélectionnés liés à l'essence d'arbuste quant à la présence de milieux humides.*

Kalmia à feuilles d'andromède (Kalmia polifolia)

Thé du Labrador (Rhododendron spp.)

Aulne rugueux (Alnus incana)

Saule (Salix spp.)

FIGURE 4. *Indicateurs sélectionnés liés à l'essence de couvre-sol quant à la présence de milieux humides.*

Horsetail (Equisetum spp.)
(Photo : Louisiana-Pacific Canada Ltd.)

Jonc (Juncus spp.)
(photo : A. Morrison)

Carex (Carex spp.)

Mousse de sphaignes (Sphagnum spp.)
(photo : Louisiana-Pacific Canada Ltd.)

DÉFIS ASSOCIÉS AUX ROUTES D'ACCÈS DANS LES MILIEUX HUMIDES

De nombreux défis sont associés à la planification, à la construction et à l'entretien des routes d'accès dans les milieux humides. Ces défis sont principalement attribuables aux sols organiques et à la teneur en humidité élevée associés aux milieux humides, ce qui entraîne des situations comme :

- Le tassement accru de la route, qui peut entraîner la déformation de la surface de roulement et des défauts de surface, comme la formation d'ornières, ou des restrictions d'utilisation saisonnières.
- Le tassement des fondations des traverses de cours d`eau et des structures de drainage. Le tassement total peut se traduire par l'enfoncement du ponceau, ce qui submerge l'entrée et la sortie, tandis qu'un tassement différentiel sur le profil de la route entraîne le soulèvement des extrémités du ponceau.
- La saturation de la fondation en raison de la quantité accrue d'eau, ce qui réduit la portance de la route.

Pour assurer le rendement adéquat des routes d'accès, la présence de sols à forte teneur en humidité et les mouvements d'eau possible en surface et sous la surface doivent également être abordés.

La présence de sol organique et de matériaux fins dans les milieux humides, combinée au manque d'agrégats, peut produire des conditions qui augmentent les coûts de construction de la route. Le manque de matériaux adéquats sur place se traduit par des coûts supérieurs, car ces matériaux doivent être pris à l'extérieur du site puis transportés sur le lieu de construction. La quantité de matériaux de construction adéquats transportés varie selon la longueur du passage du milieu humide, la catégorie de la route et l'alignement (vertical et horizontal) de la route. Les matériaux transportés peuvent provenir des bordures du milieu humide ou de lieux beaucoup plus éloignés.

INCIDENCE DES ROUTES D'ACCÈS SUR LES MILIEUX HUMIDES

Lorsqu'une route d'accès est construite dans un milieu humide, les fonctions hydrologiques de ce dernier peuvent être compromises, ce qui entraîne des conséquences négatives telles que :

- Le compactage des sols des milieux humides sous le poids de la route, ce qui peut entraver le mouvement de l'eau en surface et sous la surface. Le tassement de la route à long terme peut aggraver cette situation.
- Un mauvais écoulement de l'eau à travers la route, ce qui entraîne des accumulations d'eau en amont de la route à mesure que le milieu humide devient saturé. À l'inverse, le côté aval risque de ne pas recevoir suffisamment d'eau pour maintenir les conditions actuelles du milieu humide. Ces deux changements peuvent avoir une incidence sur les capacités de transport et de filtration de l'eau du milieu humide, ainsi que sur le mouvement de l'eau dans le système de milieux humides.

À l'échelle locale, on peut remarquer un changement au sein du milieu humide relativement à l'abondance et à la composition d'arbres et autres communautés de plantes. Un ralentissement de la croissance des arbres, une vigueur moindre et des dommages aux plantes des milieux humides sont des mauvais exemples sur le plan environnemental. De tels changements peuvent altérer la valeur de ces secteurs comme habitat pour la faune.

À l'échelle globale, les forêts boréales et les milieux humides du Canada jouent un rôle important en matière de séquestration et de stockage de carbone. Le régime hydrologique d'un milieu humide est un élément clé qui permet de déterminer son équilibre en carbone; par conséquent, tout changement au régime du milieu humide peut aussi changer son équilibre en la matière. Toute activité de gestion des ressources qui perturbe la capacité d'un milieu humide à séquestrer le carbone peut faire l'objet de vérifications poussées, à mesure que la déclaration des émissions de carbone devient de plus en plus détaillée.

04.
CONNAÎTRE LES MILIEUX HUMIDES

LES MILIEUX HUMIDES REPRÉSENTENT UNE COMPOSANTE ESSENTIELLE DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS DU CANADA ET ILS FOURNISSENT DES SERVICES ÉCOLOGIQUES DE GRANDE VALEUR; ILS JOUENT NOTAMMENT UN RÔLE DE PREMIER PLAN DANS LA RÉGULATION DE L'HYDROLOGIE LOCALE ET RÉGIONALE DES FORÊTS ET SONT À LA FOIS UNE SOURCE ET UNE DÉCHARGE D'EAU ET DE NUTRIMENTS. LES MILIEUX HUMIDES SONT ABONDANTS AU CANADA, ET REPRÉSENTENT PLUS DE 14 % (ENVIRON 1,3 MILLION KM2) DU TERRITOIRE CANADIEN (TARNOCAI, KETTLES, ET LACELLE, 2001). LA PLUPART DE CES MILIEUX HUMIDES (PLUS DE 85 %) SE TROUVENT DANS LA FORÊT TEMPÉRÉE ET DANS LA FORÊT BORÉALE. ON ESTIME QUE LES AVANTAGES ÉCONOMIQUES ANNUELS DES MILIEUX HUMIDES, NOTAMMENT LEUR FONCTION DE STOCKAGE ET DE PURIFICATION DE L'EAU, D'ATTÉNUATION DES INONDATIONS ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, S'ÉLÈVENT À PLUS DE 512 G$ POUR LES CANADIENS (ANIELSKI & WILSON, 2005). PAR CONSÉQUENT, LE MAINTIEN OU L'AUGMENTATION DU NOMBRE ET DE LA QUALITÉ DES MILIEUX HUMIDES EST IMPORTANT À L'ÉCHELLE LOCALE, NATIONALE ET GLOBALE.

AVANTAGES DES MILIEUX HUMIDES

À l'échelle globale, les milieux humides du Canada, particulièrement les tourbières, jouent un rôle capital dans la régulation des gaz à effet de serre, comme le méthane et le dioxyde de carbone, et elles atténuent l'incidence des changements climatiques. Le Canada compte environ 1,14 million de km2 de tourbières (environ le 1/3 des tourbières du monde) (Tarnocai, Kettles, et Lacelle, 2002); on estime qu'elles entreposent 147 milliards de tonnes de carbone et séquestrent de 25 à 37 tonnes de carbone atmosphérique par année (Bridgham, Megonigal, Keller, Bliss, et Trettin, 2006), soit l'équivalent des émissions annuelles de 19 à 28 millions de voitures (United States Environmental Protection Agency, 2014).

Les milieux humides emmagasinent l'eau et la libèrent lorsque les conditions l'exigent. Par conséquent, les milieux humides peuvent contribuer à stabiliser l'écoulement de l'eau pendant les sécheresses et les inondations et à réguler le débit pendant les périodes de pointes lors d'orage, ce qui réduit les risques d'érosion. Comme les milieux humides peuvent ralentir l'écoulement de l'eau, ils filtrent les sédiments. Le surplus de nutriments et de polluants quant à lui, est soit entreposé dans ces sédiments ou absorbé par les racines des plantes ou les micro-organismes.

Les milieux humides fournissent également de l'eau douce en surface et permettent de réapprovisionner les eaux souterraines. De plus, certains plantes, champignons et animaux des milieux humides servent de nourriture (p. ex. : poissons, sauvagines, orignaux, caribou des bois, riz sauvage, petits fruits, têtes de violon et champignons). Ces milieux sont également une source de bois, de

carburant, de tourbe horticole et de fourrure à des fins domestiques et commerciales. Les milieux humides offrent aussi des possibilités en matière d'activités récréatives, notamment le canot, la randonnée, la chasse et l'observation d'oiseaux.

Les milieux humides boréaux et tempérés possèdent une biodiversité riche et offrent un habitat important à des centaines d'espèces de plantes et d'animaux. On estime qu'environ 26 millions d'oiseaux, réparties en 35 espèces de sauvagines, et quelque 7 millions d'oiseaux de rivage, répartis en au moins 19 espèces, utilisent les milieux humides boréaux du Canada comme halte migratoire ou comme habitat de reproduction (Blancher et Wells, 2005). De nombreuses espèces sont considérées comme étant des spécialistes des milieux humides (comme la sauterelle des tourbières) et, au Canada, certaines de ces espèces sont rares, menacées ou en voie de disparition (comme le caribou des bois).

CLASSIFICATION DES MILIEUX HUMIDES

Les systèmes de classification des milieux humides sont développés de manière à ce que les milieux présentant des caractéristiques écologiques différentes soient identifiés de manière distincte. Au Canada, il n'existe pas de système

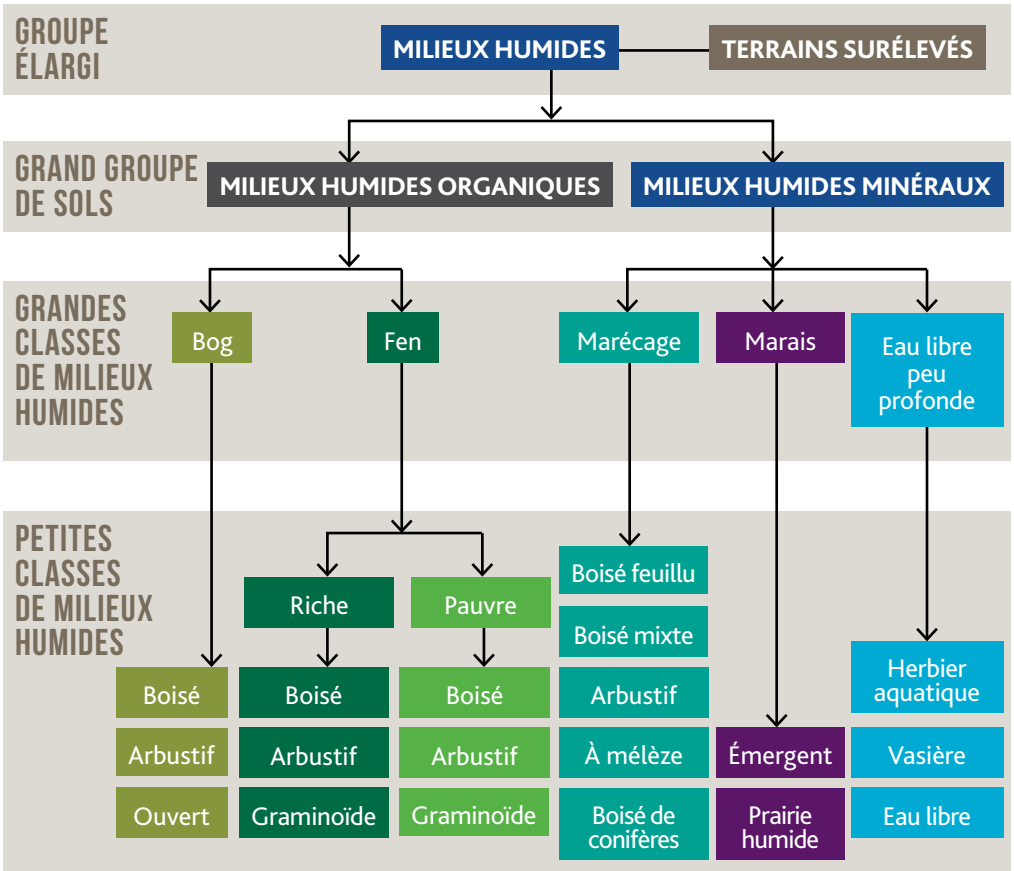


FIGURE 5.
Système de classification amélioré des milieux humides de Canards Illimités Canada pour l'écozone des plaines boréales.

de classification qui soit utilisé de façon uniforme dans l'ensemble du pays. Généralement, les systèmes de classification sont conformes au SCTHC pour au moins cinq grandes classes ou types de milieux humides, en se basant sur des propriétés comme les sols (organique ou minéral), la chimie de l'eau, l'écoulement de l'eau, la nappe phréatique et la végétation. À titre d'exemple, MacKenzie et Moran (2004) divisent les 5 grands types de milieux humides qu'on trouve en Colombie-Britannique en plus de 50 sous-catégories, ou « associations de sites », et Canards Illimités Canada a développé un système de classification amélioré des milieux humides basé sur des critères écologiques pour l'écozone des plaines boréales, ce qui permet de diviser les 5 grandes classes de milieux humides en 19 classes mineures (**FIGURE 5**).

MILIEUX HUMIDES ORGANIQUES

Ces milieux humides possèdent une couche épaisse (plus de 40 cm) de sol organique peu décomposé qui s'accumule lentement avec le temps, en raison des conditions fraîches et humides. Les milieux humides organiques sont aussi appelés tourbières (ou muskeg) et ils représentent le type de milieu humide le plus répandu dans les forêts tempérées et boréales du Canada.

Bogs (tourbières ombrotrophes)

- Les bogs sont des tourbières ayant une couche de tourbe peu décomposée, contenant principalement de la mousse de Sphaigne spp. décomposée.
- Ils peuvent être boisés (p. ex. des épinettes noires rabougries ou de terrains bas de moins de 10 m de hauteur), contenir des arbustes bas (p. ex. : thé du Labrador) ou être des zones ouvertes dominées par des Sphaignes. La **FIGURE 6** montre un bog boisé.
- Ils se situent au même niveau que le sol environnant ou surélevés et sont généralement isolés des eaux souterraines et de l'eau de ruissellement.
- Ils ne contiennent pas d'étendues d'eau libre, mais la tourbe est saturée d'eau.
- Ils reçoivent l'eau et la plupart des

FIGURE 6. *Bog boisé (Photo : Canards Illimités Canada).*

nutriments grâce aux précipitations; ils sont donc considérés comme pauvres en nutriments.

- Ils peuvent être une source importante d'eau pour les forêts adjacentes, particulièrement en période de sécheresse.
- Ils sont considérés comme stagnants, car ils présentent peu ou pas d'écoulement vertical ou latéral à la surface ou sous la surface.

Fens (tourbières minérotrophes)

- Les fens sont des tourbières possédant une couche profonde de sol organique contenant des carex ainsi que des mousses brunes et sphaignes décomposées.
- Ils peuvent contenir des arbres (p. ex. des mélèzes et des épinettes noires rabougries habituellement de moins de 10 m de hauteur), des arbustes (p. ex. des bouleaux nains ou espèces de saules), ou être des zones ouvertes dominées par des carex à feuilles étroites, des herbacées ou des mousses. La **FIGURE 7** montre un fen arbustif.
- Ils sont très connectés aux zones environnantes par les eaux souterraines et l'écoulement d'eau sous la surface.
- Ils reçoivent l'eau des précipitations, du ruissellement de surface et des eaux souterraines; ils sont donc plus riches en nutriments et généralement plus productifs et variés sur le plan biologique que les bogs.
- Ils échangent l'eau et les nutriments avec d'autres milieux humides et les terrains surélevés associés, en fonction de certaines conditions, comme les quantités de précipitations et la teneur en humidité du sol.
- Le niveau de leur nappe phréatique fluctue, mais se trouve généralement à quelques centimètres au-dessus ou au-dessous de la surface.
- L'écoulement latéral de l'eau à la surface ou sous la surface est lent, ou s'effectue par des canaux ou bassins parfois ouverts qui se forment en conditions climatiques normales (à l'exception des fens pauvres en nutriments et contenant des arbres, qui sont considérés comme stagnants et similaires aux bogs).

FIGURE 7. *Fen arbustif (Photo : Canards Illimités Canada).*

MILIEUX HUMIDES MINÉRAUX

Ces milieux possèdent une couche mince (moins de 40 cm) de dépôts organiques et sont caractérisés par des sols riches en nutriments et des niveaux d'eau qui fluctuent. La présence d'une mince couche de dépôts organiques est le résultat de la sécheresse périodique du milieu humide, ce qui permet à la couche organique de se décomposer. Les milieux humides minéraux forment un groupe diversifié qui s'étend des systèmes boisés aux étendues d'eau peu profonde ayant un régime hydrique dynamique. Ces milieux humides se trouvent habituellement dans les dépressions du substrat rocheux, dans les zones plates et mal drainées, ou dans les zones de décharge d'eau au bas des pentes longues et parfois abruptes.

Marécages

- Les marécages sont parfois appelés milieux humides boisés, marécages boisés ou marécages arbustifs.
- Leur sol est à prédominance minérale, bien que des dépôts profonds (plus de 40 cm) de tourbes riches en bois puissent s'y trouver (notamment dans les marécages d'épinette noire ou d'autres conifères).
- Ils peuvent être dominés par des arbres (plus de 10 m de hauteur) ou des arbustes (plus de 2 m de hauteur), et peuvent se trouver dans différents environnements. Bien qu'il soit commun, ce type de milieu humide est le moins bien compris dans les environnements forestiers. La **FIGURE 8** montre un marécage arbustif.
- Leur nappe phréatique fluctue avec les saisons, en raison du ruissellement printanier et des épisodes de forte pluie. Ils connaissent des inondations (surtout lorsqu'ils sont adjacents à des rivières ou à des ruisseaux) et des sécheresses périodiques, et possèdent habituellement des entrées d'eaux souterraines, ce qui contribue à leur productivité.
- Ils agissent souvent à titre de zone de transition entre une forêt de terrain surélevé et un autre type de milieu humide ou une ligne de rivage, et possèdent habituellement un relief de sol fait de buttes et de petites dépressions pouvant contenir des flaques d'eau.
- Les marécages d'épinettes noires qui sont isolés des systèmes d'écoulement doivent être considérés comme stagnants.

FIGURE 8. *Marécage arbustif (Photo : Canards Illimités Canada).*

Marais

- Les marais sont parfois appelés herbier ou prairies humides.
- Ils sont dominés par de la végétation aquatique non ligneuse, comme des carex, des joncs, des roseaux, des scirpes et des quenouilles. Dans les zones d'eau libre, de la végétation flottante (comme des nénuphars) ou submergée (comme les potamots) peut être présente. La **FIGURE 9** montre une prairie humide.
- Ils sont considérés comme des milieux humides inondés, car leur niveau d'eau fluctue selon l'année, la saison et parfois chaque jour, en raison de l'évapotranspiration, des précipitations, du ruissellement en surface, de l'apport des rivières et ruisseaux, des résurgences et de l'écoulement des eaux souterraines.
- Ils subissent un rabattement du niveau d'eau pendant les périodes de sécheresse, ce qui provoque le renouvellement de la végétation grâce aux graines entreposées dans le sol.
- Ils agissent souvent à titre de zone de transition entre l'eau libre, les marécages et les lignes de rivage de terrains surélevés.
- Il s'agit du type de milieux humide le moins fréquent dans les régions forestières.

FIGURE 9. *Prairie humide (Photo : Canards Illimités Canada).*

Eau libre peu profonde

- Ces milieux humides sont aussi souvent appelés étangs, lacs peu profonds, mares, bras morts ou bourbiers.
- S'il y a présence de végétation, cette dernière est dominée par des plantes aquatiques flottantes ou submergées. La **FIGURE 10** montre milieu d'eau libre peu profonde.
- Ils sont habituellement inondés, mais connaissent des fluctuations de leur niveau d'eau sur une base saisonnière, ou pendant les périodes de sécheresse.
- Ils sont généralement dégagés et l'eau est stagnante, d'une profondeur de moins de 2 m.

FIGURE 10. *Eau libre peu profonde (Photo : Canards Illimités Canada).*

SUINTEMENTS, RÉSURGENCES, RUISSEAUX INTERMITTENTS ET ÉTANGS VERNAUX

Les milieux de suintement, les résurgences et les ruisseaux intermittents sont des éléments hydrologiques de grande valeur pouvant être reliés de façon permanente ou saisonnière aux milieux humides, et pouvant influencer l'emplacement et la méthode de construction des routes d'accès. Dans certains cas, ces éléments peuvent aussi être associés aux milieux humides (un ruisseau intermittent peut notamment être un marécage arbustif). Les milieux de suintement sont des zones humides où les eaux souterraines percolent jusqu'à la surface; les résurgences sont des zones discrètes où les eaux souterraines s'écoulent naturellement d'une roche ou à la surface du sol; les ruisseaux intermittents sont de petites zones où une mince couche de sol entrave l'écoulement de l'eau et favorise la saturation de la surface lorsque les précipitations et le ruissellement sont suffisants.

Les étangs vernaux, ou mares temporaires, se forment dans des dépressions relativement petites qui se remplissent temporairement d'eau après la fonte printanière, de fortes pluies ou si la nappe phréatique est haute. Ces mares ne sont généralement pas connectées sur le plan hydrologique aux autres milieux humides ou ruisseaux, mais elles peuvent représenter une source d'eau importante pour la végétation environnante. Les étangs vernaux ne contribuent pas à la reproduction des poissons, mais elles représentent un habitat important pour de nombreuses espèces fauniques adaptées à leurs conditions (p. ex. : grenouilles, salamandres, insectes et crustacés).

COMPLEXES DE MILIEUX HUMIDES

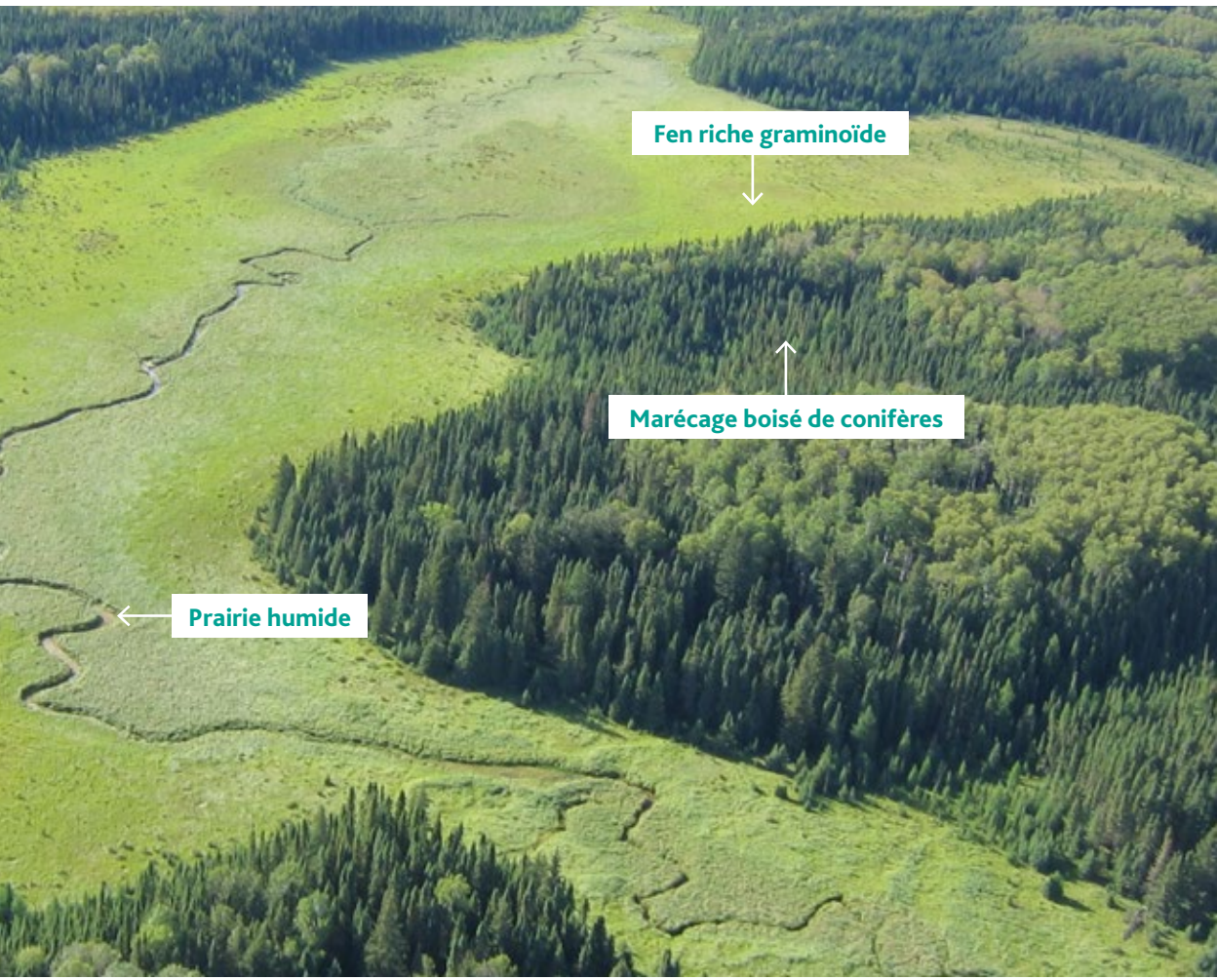
Les milieux humides peuvent se présenter sous forme d'élément indépendant, bien circonscrit et parfois isolé, surtout dans des régions de relief vallonné. Dans les secteurs à relief topographique bas, les milieux humides sont souvent interreliés, ce qui se traduit par un grand complexe de plusieurs milieux humides, passant d'un type à un autre dans le paysage (**FIGURE 11**). Plusieurs classes de milieux humides peuvent être associées à un étang ou à un ruisseau, ou être adjacentes à un site de terrain surélevé. Ces milieux humides riverains se définissent habituellement comme des zones de transition entre l'eau libre et les terrains surélevés et, à mesure que les conditions du sol et d'humidité changent dans cette zone de transition, plusieurs types de milieux humides peuvent se former, comme des marais émergents ou des prairies humides,

FIGURE 11. *Passage d'un complexe de milieux humides : conception de route en fonction des conditions d'écoulement les plus dynamiques (Photo : Canards Illimités Canada).*

des fens boisés ou ouverts, des marécages arbustifs ou de conifères ou une combinaison de ces milieux.

ABONDANCE ET DIVERSITÉ DES MILIEUX HUMIDES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

Les tourbières (bogs et fens) représentent le type de milieu humide le plus abondant dans les forêts canadiennes (environ 87 % de tous les milieux humides au Canada). En fait, les tourbières représentent plus de 30 % de la masse terrestre de l'Ontario et du Manitoba. Les tourbières se trouvent habituellement dans les zones fraîches et relativement plates des forêts nordiques en Alberta, en Saskatchewan, au Manitoba, en Ontario et au Québec, et sont moins fréquentes dans les régions montagneuses de la Colombie-Britannique et du Yukon, où l'eau de surface se déplace rapidement. Les tourbières sont également répandues dans la province de Terre-Neuve-et-Labrador, dans l'est et le sud du Nouveau-Brunswick, ainsi que dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (on y trouve surtout des bogs, car le climat est frais et le relief est généralement plat avec un mauvais drainage).



Les marécages des forêts nordiques sont souvent en bordure de ruisseaux ou de systèmes d'écoulement d'eau, mais ils peuvent être plus répandus en certains endroits. Dans les forêts à latitude moyenne, les marécages de conifères peuvent être fréquents à l'échelle locale sur des pentes faibles recouvertes d'une mince couche de tourbe. Dans les forêts plus au sud au Québec et en Ontario, les marécages de conifères ou de feuillus se trouvent souvent dans les plaines inondables des lacs, des rivières et des ruisseaux. Dans les provinces de l'Est, les marécages se trouvent souvent près des ruisseaux et des rives, et prennent le plus souvent la forme de marécages de conifères ou arbustifs.

Comparativement aux autres types de milieux humides, les marais sont moins abondants dans les régions forestières et se trouvent principalement au sein deltas intérieurs ou le long des rives des lacs et des grands systèmes de ruisseaux, et parfois sous forme isolée.

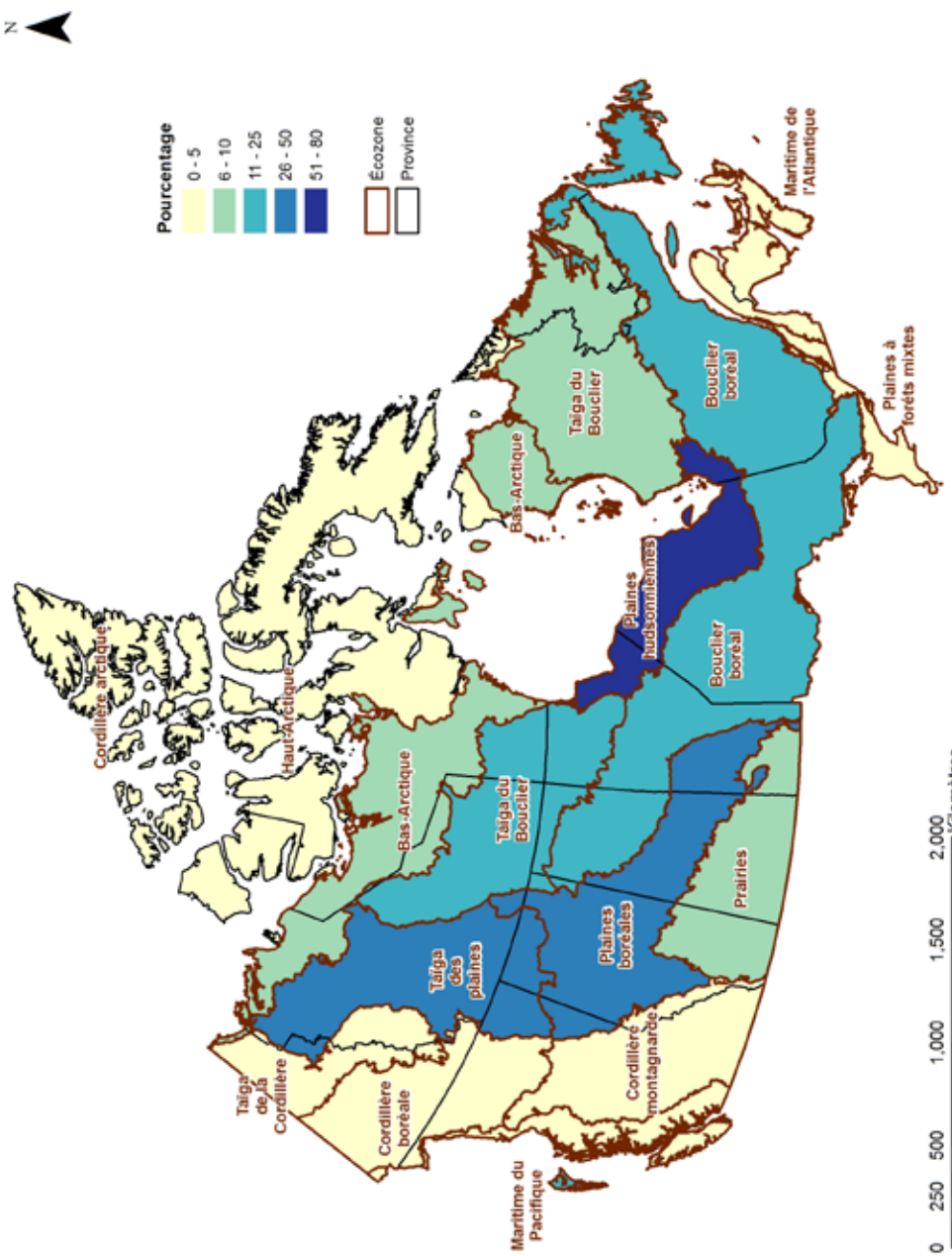
La distribution locale et régionale et la diversité des milieux humides dans les forêts canadiennes dépendent de la géologie superficielle et du substrat rocheux, de la topographie et du climat (**FIGURE 12**).

Par exemple :

- **Écozone des plaines hudsoniennes :** Le terrain plat, le sol imperméable, le mauvais drainage et le climat frais et humide favorisent le développement de milieux humides dans la majorité de cette écozone, ce qui se traduit par la densité la plus élevée et par les plus grands complexes de milieux humides au monde.
- **Écozone des plaines boréales :** Le climat relativement sec, le terrain plat ou légèrement ondulé et une géologie de surface variable favorisent la présence d'un vaste éventail de milieux humides.
- **Écozone du bouclier boréal :** Le climat humide, les sols peu profonds, et les millions de dépressions parmi le substrat rocheux imperméable se traduisent par le plus grand nombre d'hectares de milieux humides au Canada.
- **Écozone maritime de l'Atlantique :** Il s'agit d'une des zones parmi les plus diversifiées au Canada en matière de climat, de topographie et d'écologie, ce qui entraîne la formation de divers types de milieux humides, de milieux humides d'eau douce dans les terrains bas vallonnés aux tourbières dans les zones mal drainées. Les milieux humides sont un élément majeur du paysage des Maritimes, mais ils sont relativement moins abondants que dans les autres régions du Canada.
- **Écozones des cordillères :** Les milieux humides se trouvent ici dans les secteurs plats et mal drainés des plateaux et vallées du substrat rocheux sédimentaire des montagnes. Bien que ces écozones possèdent de grands complexes de milieux humides, on y trouve moins de milieux humides que dans les autres écozones du Canada.

En plus des aspects biophysiques qui régissent la distribution et l'abondance des milieux humides au Canada, l'influence des castors sur les systèmes de milieux humides est importante à certains endroits. L'activité des castors peut bloquer les ruisseaux si des barrages sont construits ou si des ponceaux sont obstrués. Cela se traduit habituellement par la création de nouvelles étendues d'eau ou de milieux humides en amont de la route, et par l'assèchement en aval, ce qui modifie la quantité d'eau ainsi que la quantité et le type de végétation qui y est associée.

FIGURE 12. *Pourcentage de milieux humides au Canada par écozone.*



VARIATION DE LA VÉGÉTATION

Compte tenu des différences en matière de géologie, de topographie et de climat au Canada, les indicateurs de végétation liés aux milieux humides peuvent varier selon la région. Parmi les cinq classes de milieux humides, les marécages, souvent appelés milieux humides boisés, représentent le type qui est le moins bien identifié et dont les essences d'arbres et d'arbustes qui la caractérisent sont les plus variées (**FIGURE 13**).

À l'ouest des Rocheuses, les marécages sont dominés par l'épinette noire, le sapin subalpin, l'aulne rouge, le cèdre rouge de l'Ouest, la pruche occidentale, le cèdre jaune et la pruche alpine, ou diverses essences d'arbustes, comme le bouleau nain, l'aulne rugueux, la spirée rose et diverses espèces de saules.

Dans les plaines boréales, les marécages sont dominés par l'épinette noire, le peuplier baumier, le mélèze, le bouleau blanc, le bouleau de l'Alaska et l'érable du Manitoba, ou diverses essences d'arbustes comme l'aulne rugueux, le cornouiller stolonifère et diverses espèces de saule.

Le bouclier boréal, y compris la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent, possède des marécages de feuillus dominés par le frêne noir, le frêne rouge, l'orme blanc, l'érable rouge, l'érable argenté, l'érable du Manitoba, le bouleau jaune et le bouleau blanc. Les marécages de conifères sont dominés par l'épinette noire, le cèdre blanc, le mélèze et la pruche du Canada, et les marécages arbustifs sont dominés par l'aulne rugueux et diverses espèces de saules.

Dans les provinces de l'Est, les marécages d'épinettes sont fréquents. Les marécages de feuillus sont moins fréquents, mais

FIGURE 13. *Types de marécages sélectionnés répandus au Canada.*

Marécage arbustif *(Photo : Canards Illimités Canada)*

Marécage d'érable argenté *(Photo : Canards Illimités Canada)*

Marécage de bois mixte *(Photo : Canards Illimités Canada)*

TABLEAU 1. *Caractéristiques d'écoulement des milieux humides.*

TYPES D'ÉCOULEMENT	Stagnant	Écoulement latéral lent	Fluctuations saisonnières	Inondé
TYPES DE MILIEU HUMIDE	Bogs (tourbières ombrotrophes)	Fens [a] (tourbières minérotrophes)	Marécages [b]	Marais et eau libre peu profonde

[a] *Lorsqu'ils sont identifiés, les fens boisés pauvres en nutriments doivent être considérés stagnants.*
[b] *Lorsque les marécages de conifères sont isolés et ne font pas partie des systèmes d'écoulement, ils doivent être considérés stagnants.*

ceux qui existent sont surtout dominés par l'érable rouge et les marécages de frêne noir se trouvent dans certaines régions. Les marécages arbustifs sont fréquents et dominés par l'aulne rugueux et le saule.

CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES DES MILIEUX HUMIDES ET CONSIDÉRATIONS LIÉES À L'ÉCOULEMENT DE L'EAU

La compréhension des caractéristiques de chaque milieu humide en matière d'écoulement de l'eau fournit des données pour la planification et la construction des routes d'accès. Selon le climat, la géologie et la topographie, l'eau au sein d'un milieu humide peut se déplacer verticalement (en raison des changements de la nappe phréatique), latéralement (s'il y a déplacement le long du territoire), ou une combinaison des deux. La plupart des milieux humides fonctionnent de façon similaire dans ce contexte, bien qu'on remarque certaines variations. De plus, les milieux humides possédant des caractéristiques d'écoulement similaires peuvent être regroupés, afin de prévoir l'écoulement (en surface et sous la surface) et les fluctuations plus facilement (**TABLEAU 1**). Cette information peut ensuite être utilisée pour guider les décisions liées à la planification et à la construction, de manière à ce que l'hydrologie du milieu humide soit maintenue.

Pour le passage des milieux humides stagnants, il faut considérer que ces derniers :

- reçoivent de l'eau de la pluie ou de la neige, ce qui se traduit habituellement par des fluctuations saisonnières mineures du niveau d'eau;
- sont souvent isolés des autres systèmes de milieux humides, et que l'écoulement sous la surface est minimal;
- possèdent souvent de l'eau en surface ou sous la surface et que la présence d'un canal d'écoulement défini est peu probable; et
- possèdent des couches organiques pouvant être très profondes, d'une profondeur minimale de 40 cm.

Pour le passage des milieux humides à écoulement latéral lent, il faut considérer que ces derniers :

- reçoivent de l'eau des précipitations, du ruissellement et des eaux souterraines;
- sont habituellement reliés aux milieux humides adjacents et peuvent présenter des petits canaux d'écoulement;
- sont habituellement caractérisés par un mouvement d'eau lent à la surface et sous la surface, y compris une décharge continue;
- peuvent connaître une augmentation du volume et de la vitesse de l'écoulement en période de fortes précipitations ou pendant la fonte des neiges;

- ont moins tendance à geler, en raison du mouvement de l'eau à la surface et sous la surface à longueur d'année; et
- possèdent des couches organiques pouvant être très profondes, d'une profondeur minimale de 40 cm.

Pour le passage des milieux humides qui fluctuent avec les saisons, il faut considérer que ces derniers :

- reçoivent de l'eau des précipitations, du ruissellement et des eaux souterraines;
- font souvent parti d'un système d'écoulement de l'eau;
- sont habituellement caractérisés par un mouvement d'eau lent à la surface et sous la surface;
- peuvent connaître un écoulement important au printemps et après de fortes pluies qui peut inonder au-dessus du tapis racinaire, mais peuvent être sèches au cœur de l'été;
- possèdent souvent de petits canaux définis et intermittents d'écoulement d'eau à la surface ou juste sous la surface; et
- possèdent des couches organiques qui sont habituellement peu profondes (moins de 40 cm), mais les marécages de conifères peuvent posséder des couches organiques de plus de 40 cm à certains endroits.

Pour le passage des milieux humides inondés, il faut considérer que ces derniers :

- reçoivent de l'eau des précipitations, du ruissellement et des eaux souterraines;
- peuvent connaître des niveaux d'eau qui fluctuent selon la saison ou sur une base annuelle, ou peuvent s'assécher complètement;
- sont parfois reliés aux systèmes d'écoulement d'eau (ruisseaux ou résurgences);
- peuvent contenir des poissons ou représenter un habitat pour les poissons; et
- doivent être considérés uniquement pour le passage en hiver.

CONSIDÉRATIONS HYDROLOGIQUES LOCALES ET RÉGIONALES

L'identification des types de milieux humides peut servir d'outil d'aide à la décision et fournir des indices sur la permanence, la quantité et le type d'écoulement d'eau vers un milieu humide et à partir de ce dernier. Par conséquent, pour la prise de décision sur le meilleur endroit et la meilleure méthode de passage des milieux humides, il est essentiel d'utiliser des cartes de répartition des milieux humides pour identifier les sites potentiels de passage au sein d'un bassin versant et comprendre les connexions de ce système avec les autres milieux humides à l'endroit où un passage est envisagé. Compte tenu de l'éventail de conditions dans les régions forestières du Canada, il est aussi important de tenir compte des variations locales et régionales sur le mouvement de l'eau dans le paysage, au moment de planifier et de concevoir les routes d'accès.

Il existe des différences régionales en matière d'hydrologie. Généralement, l'hydrologie locale et régionale est influencée par le climat, la géologie du substrat rocheux, la géologie superficielle, le type et la profondeur du sol, la topographie et le réseau de drainage. L'examen de ces facteurs permettra d'aider les responsables de la planification et les opérateurs à effectuer des prévisions plus précises quant à la performance des différents points de passage des milieux humides. Afin de tenir compte des défis associés aux différences régionales en matière d'hydrologie, on recommande que les spécialistes utilisent les ressources disponibles à l'échelle locale, y compris des guides locaux ou régionaux, ainsi que les connaissances et l'expérience des professionnels du secteur.

Climat

Le climat régional et local influence la quantité de ruissellement qu'on peut prévoir, le potentiel de stockage d'eau d'un secteur, ainsi que le type d'écoulement. Les sites dont le climat est humide ou très humide ont davantage tendance à présenter un ruissellement élevé, un potentiel de stockage d'eau inférieur et, par conséquent, plus de déplacement latéral de l'eau dans la zone, contrairement aux milieux subhumides ou secs. Le climat peut varier avec le temps; il est donc important d'incorporer le cycle climatique (période de pluie et période de sécheresse) dans la planification et le processus de prise de décision. Des procédures de planification et d'exploitation qui offrent une bonne performance tant dans les périodes sèches que humides pourraient devoir être mises en œuvre.

Géologie du substrat rocheux, géologie superficielle et sols

La compréhension du climat devient particulièrement intéressante lorsqu'elle est combinée à la compréhension de la géologie du substrat rocheux, de la géologie superficielle et des sols. Par exemple, le potentiel de ruissellement est supérieur dans les zones où le substrat rocheux est imperméable, comme l'écozone du bouclier boréal, comparativement aux zones dont le substrat rocheux est sédimentaire et plus poreux, comme on en trouve dans l'écozone des plaines boréales. De plus, les zones dont les matériaux superficiels sont constitués d'une mince couche à grains fins ou d'argile sont plus susceptibles d'être dominées par l'écoulement d'eau de surface que par un écoulement des eaux souterraines ou sous la surface. Les sols des milieux humides, particulièrement les tourbières, possèdent un contenu organique supérieur aux sols des terrains surélevés, ce qui se traduit par une capacité accrue de stockage d'eau. Par conséquent, les tourbières ont la capacité de déplacer beaucoup plus d'eau que les terrains surélevés (bien que plus lentement). Cependant, même les sols peu profonds des terrains surélevés ont un potentiel de ruissellement supérieur dans les milieux humides et mouillés.

Topographie et réseau de drainage

Dans certains secteurs, la topographie est un facteur déterminant dans le mouvement de l'eau. Par exemple, lorsque les milieux humides sont situés sur un terrain au relief accidenté (p. ex. : les pentes abruptes), on peut s'attendre à du ruissellement considérable et à la fluctuation du débit d'eau. Il est important de tenir compte de ces facteurs. Les milieux humides par ailleurs sont plus souvent reliés (susceptibles) dans les zones à faible relief (pentes douces). Des cartes détaillées de la profondeur de la nappe phréatique peuvent aider à prédire les endroits qui demandent une attention particulière, lorsqu'une telle information est disponible.

EN RÉSUMÉ

En somme, de nombreux facteurs influencent le mouvement de l'eau dans les régions forestières. La compréhension de ces facteurs pour la région où les travaux seront effectués aidera grandement les spécialistes à prédire le mouvement de l'eau dans les milieux humides. Le **TABLEAU 2** présente les principaux facteurs qui influencent le mouvement de l'eau.

TABLEAU 2. *Principaux facteurs qui influencent l'écoulement de l'eau dans les régions forestières.*

ORDRE D'IMPORTANCE LIÉ AUX PRÉVISIONS DE L'HYDROLOGIE	← ÉVENTAIL À CONSIDÉRER →		
CLIMAT	**Sec, aride à subhumide** • Potentiel accru de stockage d'eau • L'écoulement vertical domine • Ruissellement mal coordonné avec les précipitations	**Mouillé, humide** • Potentiel inférieur de stockage d'eau • L'écoulement latéral domine • Ruissellement étroitement lié aux précipitations
GÉOLOGIE DU SUBSTRAT ROCHEUX	**Perméable** • L'écoulement vertical sous la surface domine **Pente du substrat rocheux perpendiculaire à la surface** • Limites complexes du bassin versant	**Imperméable** • L'écoulement latéral de surface domine **Pente du substrat rocheux parallèle à la surface** • Limites simples du bassin versant
GÉOLOGIE SUPERFICIELLE	**Substrat profond** • Écoulement intermédiaire à régional **À grains grossiers** Écoulement des eaux souterraines et sous la surface **Dépôts variant selon l'endroit** • Écoulement complexe des eaux souterraines	**Substrat peu profond** • Écoulement local plus probable **À grains fins** • Écoulement de l'eau de surface et peu profonde, et accumulation dans les dépressions **Dépôts uniformes selon l'endroit** • Écoulement simple des eaux souterraines
TYPE ET PROFONDEUR DU SOL	**Sols minéraux des terrains surélevés** • L'écoulement sous la surface domine • Sols plus profonds • Grand potentiel de stockage d'eau • Ruissellement peu abondant • Végétation à racines profondes accédant à l'eau entreposée	**Sols organiques des terrains bas** • L'écoulement à la surface domine • Sols moins profonds • Petit potentiel de stockage d'eau • Ruissellement abondant • Végétation à racines peu profondes avec un accès limité à l'eau entreposée
TOPOGRAPHIE ET RÉSEAU DE DRAINAGE	**Pentes douces** • Réseau de drainage désorganisé • Ruissellement variable et peu important • Grande recharge des eaux souterraines	**Pentes abruptes** • Réseau de drainage organisé • Ruissellement important et uniforme • Faible recharge des eaux souterraines

[a] *adapté de DeVito et. al. (2005).*

05. CONSIDÉRATIONS LIÉES À LA PLANIFICATION

AU MOMENT DE DÉVELOPPER UN RÉSEAU DE ROUTES D'ACCÈS, LA PERFORMANCE DES ROUTES PEUT ÊTRE OPTIMISÉE ET LA FONCTION DES MILIEUX HUMIDES PEUT ÊTRE MAINTENUE SI LES RESPONSABLES DE LA PLANIFICATION ÉVITENT LES MILIEUX HUMIDES AUTANT QUE POSSIBLE. LA PLANIFICATION DE MANIÈRE À ÉVITER LES MILIEUX HUMIDES ATTÉNUE LES DÉFIS LIÉS À LA CONSTRUCTION DE ROUTES SUR DES SOLS HUMIDES ET AIDE À PROTÉGER L'ÉTAT NATUREL DES MILIEUX HUMIDES EN EMPÊCHANT LES RÉPERCUSSIONS POTENTIELLES.

DANS DE NOMBREUX ENDROITS AU CANADA, IL EST DIFFICILE D'ÉVITER LES MILIEUX HUMIDES, EN RAISON DE LEUR ÉTENDUE. SI UNE ROUTE D'ACCÈS DOIT TRAVERSER UN MILIEU HUMIDE, CETTE ROUTE DOIT ÊTRE SITUÉE DE MANIÈRE À MINIMISER LES EFFETS SUR LE MILIEU HUMIDE ET SA FONCTION ÉCOLOGIQUE, TOUT EN ASSURANT LE RESPECT DES EXIGENCES ÉCONOMIQUES, OPÉRATIONNELLES ET SÉCURITAIRES. LE PASSAGE DES MILIEUX HUMIDES DOIT AUSSI ÊTRE PLANIFIÉ DE MANIÈRE À ÊTRE AUSSI DIRECT ET DROIT QUE POSSIBLE, AFIN DE MINIMISER LES RÉPERCUSSIONS.

LA PLANIFICATION DE LA GESTION DE L'EAU EST INTRINSÈQUEMENT LIÉE AU CHOIX DU LIEU ET DE LA TECHNIQUE DE PASSAGE. GRÂCE À UNE PLANIFICATION ATTENTIVE, À LA CONNAISSANCE DES TYPES DE MILIEUX HUMIDES ET À LEURS CARACTÉRISTIQUES D'ÉCOULEMENT, PUIS À L'UTILISATION DE PRATIQUES EXEMPLAIRES EN MATIÈRE DE GESTION DE L'EAU, IL EST PROBABLE QUE LES MILIEUX HUMIDES ET LES ROUTES D'ACCÈS PUISSENT FONCTIONNER COMME PRÉVU. S'IL EXISTE DES PRATIQUES DE GESTION EXEMPLAIRES OU DES PROCÉDURES NORMALISÉES, ELLES DOIVENT FAIRE PARTIE DE LA PLANIFICATION DE LA ROUTE ET ÊTRE COMMUNIQUÉES AU PERSONNEL SUR LE TERRAIN, AFIN DE S'ASSURER QUE LES PRATIQUES EN MATIÈRE DE CONCEPTION ET DE MITIGATION SOIENT UTILISÉES.

ÉCOULEMENT DES MILIEUX HUMIDES

L'identification du type d'écoulement des milieux humides (stagnant, écoulement latéral lent, fluctuations saisonnières, inondé) peut permettre d'effectuer une évaluation initiale du lieu de construction du réseau routier (p. ex. : identifier les milieux humides à éviter) et des conséquences potentielles sur l'écoulement des eaux. Si un milieu humide doit être traversé, l'identification du type de milieux humides aide à prévoir l'écoulement (en surface et sous la surface) et les fluctuations associées. Cette information peut ensuite être utilisée pour choisir le type de route adéquat qui permet de maintenir la connexion hydrologique naturelle qui ne compromet pas l'écoulement naturel de l'eau. Cette information est importante pour la prise de décisions liées à la route et au point de passage, au calendrier de construction, à la durée de vie des infrastructures (route permanente ou temporaire) et au choix des méthodes de construction selon les conditions du site.

POINT DE PASSAGE

Divers outils et méthodes d'inventaire peuvent être utilisés pour s'assurer que les exigences concernant les routes et les milieux humides soient évaluées et prises en compte. Le choix attentif d'un point de passage peut réduire les impacts sur le milieu humide et assurer la performance optimale de la route, ce qui réduira les coûts d'entretien ou de restauration.

La reconnaissance du terrain est une étape capitale de toute initiative de planification de route d'accès, afin de déterminer le type de milieu humide et le point de passage final. Peu importe les outils utilisés durant la phase de planification, la vérification des attributs sur le terrain aidera à la sélection des pratiques de construction finales. Le besoin de connaître le type de sol des terrains surélevés, les lieux d'excavation possibles et la présence et l'accumulation de sols organiques profonds, d'eau de surface et d'écoulement au sein du milieu humide sont des exemples justifiant une reconnaissance sur le terrain.

Si les caractéristiques du milieu humide ne peuvent être déterminées à l'aide des ressources disponibles, on recommande de faire appel à un spécialiste des milieux humides pour identifier le type de milieu humide et s'assurer que la route soit planifiée de manière à respecter l'écoulement de l'eau ainsi que les exigences réglementaires, environnementales et opérationnelles associées.

OUTILS

Pendant les phases initiales de planification du réseau routier, les outils géomatiques qui gèrent l'imagerie photo et satellitaire, la délimitation des milieux humides, la topographie, la végétation, les éléments écologiques sensibles, la géologie de surface et les modèles hydrologiques applicables doivent être utilisés si possible (**FIGURE 14**). Ces outils sont employés fréquemment pour la gestion forestière et devraient aussi être mis à profit pour aider à localiser les routes d'accès, de manière à minimiser les répercussions sur les milieux humides. Ces outils de planification peuvent notamment servir à déterminer si le passage se fera pour un seul milieu humide isolé ou pour un grand complexe de milieux humides interreliés.

L'utilisation de cartes numériques d'élévation et de modèles hydrologiques, comme l'évaluation des canaux d'écoulement ou les cartes de zones humides (Arp, 2009), peut être utile pour évaluer la zone et aider à comprendre l'hydrologie et les modèles d'écoulement (**FIGURE 15**).

Le fait que l'inventaire des milieux humides et les cartes hydrologiques ne soient souvent pas disponibles représente un défi, car cela se traduit par un manque d'information régionale ou locale. Cette carence fait ressortir l'importance d'utiliser des données de remplacement, comme des cartes d'inventaire forestier pouvant illustrer les milieux humides et les ruisseaux, des cartes de végétation ou, à l'échelle locale, des guides de classification écologique des terres pour déterminer la présence et l'étendue des milieux humides.

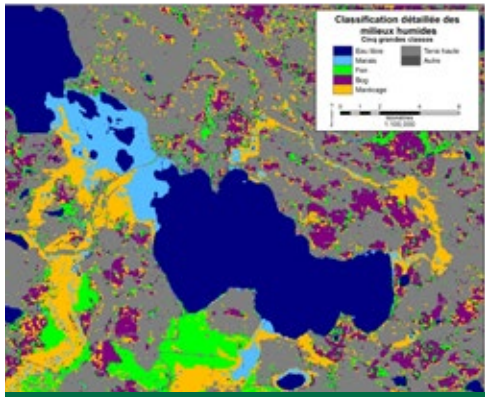


FIGURE 14.
Les outils basés sur la géomatique, comme l'inventaire des milieux humides, peuvent aider à planifier le site (Photo : Canards Illimités Canada).

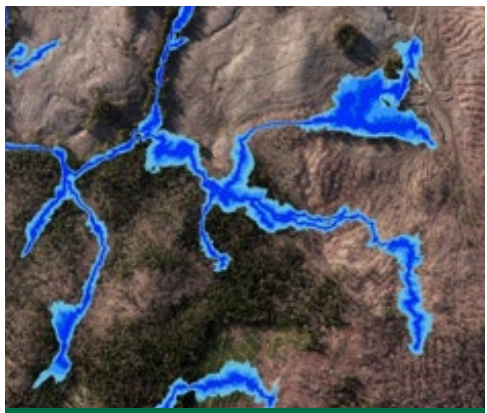


FIGURE 15.
Les modèles hydrologiques, comme les cartes de zones humides, peuvent aider à prévoir les zones où le drainage est faible (Photo : l'Université du Nouveau-Brunswick).

EMPLACEMENT DES PASSAGES

Pendant l'étape de planification de la construction des routes d'accès dans un milieu humide, les caractéristiques de ce dernier doivent être prises en compte pour déterminer le meilleur emplacement pour la route et les meilleures options de gestion de l'eau. Il est primordial d'identifier le type de milieu humide, ce qui donnera une indication initiale du mouvement de l'eau. Parmi les autres indicateurs qui doivent être pris en compte, on trouve l'indicateur d'espèces, de largeur du site de passage, de profondeur du sol ou de la tourbe, de présence d'eau stagnante et d'un cours d'eau défini et si le milieu humide fait partie d'un complexe.

Les éléments hydrologiques comme les suintements, les résurgences, les ruisseaux intermittents, les étangs vernaux et autres éléments avec un écoulement de surface ou sous la surface ne sont souvent pas représentés sur les cartes et ne peuvent être identifiés que par une reconnaissance sur le terrain. Lorsque c'est possible, les éléments hydrologiques doivent être évités; s'il est impossible de le faire, des mesures d'atténuation comme celles qui sont suggérées pour le passage de milieux humides doivent être mises en place.

Dans les réseaux de milieux humides interreliés, le nombre de passages doit être limité, tout en optimisant les besoins opérationnels du réseau routier. Les passages multiples peuvent avoir des effets potentiels cumulatifs sur le réseau de milieux humides et augmenter les coûts de construction à court terme et d'entretien à long terme.

Passages de milieux humides étroits

Le passage d'un milieu humide à son endroit le plus étroit représente souvent le choix le plus judicieux, sous réserve des considérations suivantes :

- Comme les points de passage étroits peuvent être des points de pincement, il est d'autant plus important de s'assurer de la performance optimale d'un conduit, car ce dernier peut représenter le seul endroit où l'écoulement est maintenu.
- Si le milieu humide à traverser fait partie d'un complexe, les sections de ce complexe en aval et en amont du point de passage doivent être prises en compte, car elles peuvent subir des répercussions plus importantes que le point de passage.
- Étant donné que les points de passage étroits peuvent connaître un écoulement supérieur à la surface et sous la surface, il est d'autant plus important d'installer des conduits de dimensions adéquates à l'endroit propice.
- La conception d'un passage doit satisfaire aux exigences maximales des événements d'écoulement anticipés dans ce type de milieu humide.
- Les conduits peuvent devoir être installés selon une densité supérieure pour tenir compte de l'écoulement du milieu humide.
- Les matériaux de construction de la route peuvent provenir de terrains surélevés adjacents.

FIGURE 16. *Plusieurs conduits peuvent être nécessaires pour accommoder l'écoulement du milieu humide.*

FIGURE 17. *Les longs passages peuvent s'étendre sur plusieurs petits terrains surélevés (sols plus secs) qui peuvent être ciblés pour éviter les sols saturés des milieux humides, technique parfois appelée « island hopping ».*

Passages de milieux humides larges

Lorsqu'il est impossible de traverser un milieu humide à son point le plus étroit, il peut être adéquat de le traverser à son point le plus large, sous réserve des considérations suivantes :

- L'installation de plusieurs conduits doit être envisagée de manière à laisser plusieurs passages à l'eau sur toute la largeur du milieu humide (**FIGURE 16**).
- Si un passage s'étend sur plusieurs types de milieux humides, la route devra être construite selon les exigences du milieu humide ayant le régime le plus dynamique.
- Les exigences en matière de matériaux de construction de route dans un milieu humide doivent être déterminées à l'avance, car il est possible que les matériaux adéquats ne soient pas disponibles ou ne puissent être utilisés sans perturber les conditions du milieu humide (**FIGURE 17**).

EMPLACEMENT DES CONDUITS

Le choix de l'emplacement des conduits peut représenter un défi. Voici quelques outils opérationnels et de terrain qui peuvent aider à déterminer l'emplacement adéquat des conduits :

- Les régimes d'écoulement de surface évidents peuvent être observés lors d'une étude du site, ce qui peut aider à déterminer l'emplacement des conduits.
- La végétation qui représente des conditions plus sèches ou humides peut indiquer les différences en matière de taux d'humidité. La végétation d'un milieu humide propre aux zones à taux d'humidité élevé (saules, herbes, etc.) peut indiquer un écoulement possible sous la surface.
- Les petits changements d'élévation, qui peuvent indiquer la présence de canaux d'écoulement, peuvent être déterminés à l'aide de modèles d'élévation numériques LiDAR. Des études du site peuvent être effectuées pour vérifier la pertinence de cette information.
- De petits changements d'élévation difficiles à déceler peuvent être analysés grâce à une étude de l'élévation (niveau à barreau et au laser) dans le milieu humide.
- L'estimation de la profondeur du sol ou de la tourbe à l'aide de sondes peut aider à déterminer l'emplacement potentiel des conduits. Une sonde peut être aussi simple qu'un long bâton ou une tige mince poussée dans le sol du milieu humide (**FIGURE 18**). La profondeur de la tourbe peut être estimée, ce qui aidera à déterminer les méthodes de construction de la route et les besoins en matière de conduits. Les endroits où la profondeur de la tourbe est importante sont souvent un indicateur d'un taux d'humidité ou d'un niveau d'eau supérieur, selon le type de milieu humide.

FIGURE 18. *L'utilisation d'une simple sonde peut aider à estimer la profondeur du sol et à déterminer l'emplacement de la structure de drainage.*

EMPLACEMENT DES MATÉRIAUX DE REMBLAI

Les besoins en matériaux de remblai doivent faire partie de la planification de l'emplacement de la route. Les matériaux de remblai doivent être pris à l'extérieur du site et au-delà de la pente vers le milieu humide, afin de ne pas compromettre l'intégrité du milieu humide (**FIGURE 19**). Les sites d'excavation situés à proximité du passage contribuent à diminuer les coûts de transport des matériaux. En cas d'inquiétudes liées au risque que les sols exposés du site d'excavation se déversent dans le milieu humide, des mesures d'atténuation de l'érosion et du déplacement des sédiments doivent être mises en place. Les sites d'excavation sont souvent placés stratégiquement, afin de limiter la distance de transport et d'influencer l'hydrologie d'un milieu humide. S'il est impossible de trouver des sites d'excavation à proximité du passage, les matériaux devront être importés de l'extérieur.

Si le tracé du passage fait passer ce dernier sur des « îles » ou des terrains surélevés (autres que des milieux humides) avant de poursuivre son chemin, il peut être possible d'utiliser cette île comme site d'excavation. Cette étape permettrait de fournir plus de matériaux de remblai et de limiter la distance de transport. Une autre méthode consiste à choisir l'emplacement de la route en fonction du passage sur des terrains surélevés contenant une source adéquate de matériaux de construction de routes.

FACTEURS SAISONNIERS

Le niveau d'eau et les conditions du sol des milieux humides peuvent varier considérablement pendant l'année, selon le type de milieu humide et les variations climatiques. Ces changements saisonniers et, dans certains cas, de longs cycles de

FIGURE 19. *Schéma montrant l'emplacement stratégique des sites d'excavation sur les terrains surélevés.*

climat sec ou humide peuvent influencer le calendrier et les méthodes de construction des routes, et ils doivent être pris en compte à l'étape de la planification. Les facteurs suivants sont également importants :

- Les sols qu'on trouve souvent dans les milieux humides peuvent être sensibles à l'érosion. Par conséquent, il faut éviter d'exposer les sols pendant les périodes de l'année où les précipitations sont abondantes.
- Le niveau d'eau des milieux humides peut changer sur une base saisonnière et annuelle. Il est donc important de comprendre le type de milieu humide (particulièrement pour les milieux à fluctuation saisonnière) et de planifier en fonction des crues, au lieu de se limiter à l'écoulement et au niveau des eaux au moment de la construction. Par exemple, un marécage arbustif peut être sec en été et connaître un écoulement important au printemps ou pendant un épisode de forte pluie.
- Les conditions des milieux humides peuvent être telles que le poids des machines n'est supporté qu'en conditions de gel.
- Si des précipitations abondantes sont prévues, il faut être prêt à cesser les travaux de construction de route en cours.

HIVER

Dans les endroits où le taux d'humidité du sol est habituellement élevé, comme dans les milieux humides, la construction et l'utilisation des routes se limitent souvent aux conditions de gel hivernal (**FIGURE 20**).

La construction des routes en hiver, tandis que l'écoulement d'eau est minimal, représente des avantages opérationnels et environnementaux; les forêts et les sols sont alors moins endommagés (**FIGURE 21**). Le sol gelé possède une capacité

FIGURE 20. *Le passage des milieux humides en conditions de gel hivernal peut offrir des avantages sur le plan opérationnel et de la protection des milieux humides.*

FIGURE 21. *Site d'une route hivernale où les perturbations de sol sont minimales.*

portante accrue, et l'écoulement d'eau est minimal dans bon nombre de types de milieux humides. Cette capacité portante accrue permet au sol de mieux résister au poids de l'équipement lourd. La protection de l'intégrité des sols en surface et en profondeur entraîne un avantage direct sur la connectivité hydrologique du milieu humide.

Pendant la construction d'une route dans un milieu humide en conditions hivernales, il est important de connaître le type de milieu humide, son hydrologie et de tenir compte des éléments suivants :

- Les milieux humides à écoulement latéral lent, comme les fens, peuvent connaître un mouvement supérieur pendant l'année, mettre du temps à geler complètement et être susceptibles aux inondations.
- Les milieux humides à écoulement latéral lent et à fluctuation saisonnière, comme les fens et les marécages, risquent de ne pas connaître de formation importante de glace; cette dernière peut donc être mince et faible et, dans certains cas, l'eau peut s'écouler à la surface, ce qui peut présenter des problèmes de sécurité.
- Pour favoriser le gel en profondeur, enlever la couche de neige isolante et faire circuler la machinerie sur chenilles sur l'ensemble de la zone. Ces techniques permettent d'accélérer la pénétration du gel en profondeur.
- Utiliser de la neige ou un mélange de neige et de matériaux de remblai pour former la surface de la route. Cette pratique permet de limiter le recours aux sites d'excavation, qui peuvent entrainer des répercussions sur l'hydrologie du milieu.
- Les opérations sur les routes hivernales doivent cesser dès l'apparition de conditions de dégel. Des dommages peuvent être occasionnés au milieu humide si le sol dégelé est endommagé par des ornières ou comprimé au point où les conditions hydrologiques sont touchées.

ÉQUIPEMENT

Pour la construction de routes sur des sols à faible capacité portante (comme des milieux humides), il est recommandé d'utiliser de l'équipement qui exerce aussi peu de pression sur le sol que possible, comme des excavatrices ou des bouteurs. Cette pratique est particulièrement importante pendant les phases initiales de construction, avant que la fondation de la route ne soit construite. Les machines exerçant une pression inférieure sur le sol peuvent atténuer les entraves à l'écoulement dans les milieux humides, en réduisant la formation d'ornières et la compression du sol. L'utilisation de ce type de machine peut aussi limiter l'enfoncement de ces dernières, ce qui augmente la productivité et réduit la consommation de carburant.

En choisissant le type d'équipement utilisé pour la construction de la route, il est important de tenir compte des éléments suivants :

- L'utilisation d'équipement plus léger et de plus petite taille permet de réduire la pression exercée au sol comparativement à l'équipement standard, qui peut être redirigé vers les sites surélevés (mieux drainés).
- L'utilisation de chenilles larges sur les excavatrices et les bouteurs permet de réduire davantage la pression exercée sur le sol et d'améliorer la flottaison de l'équipement.
- L'utilisation de pneus de flottaison et la diminution de la pression des pneus sur les pneus standards peuvent éviter la préoccupation d'enlisement à certains endroits. (**FIGURE 22**).
- Si les camions doivent circuler sur un sol à faible capacité portante, il faut envisager de réduire le poids des camions.
- Les camions à benne articulés exercent une pression inférieure sur le sol (pneus larges, pression de gonflage inférieure) que les camions standards.

- Envisager l'utilisation de camions à déversement arrière plutôt qu'à déchargement central, car ceux-ci n'ont pas besoin de circuler sur une fondation sans remblai.
- Dans les grands chantiers où il est fréquent de traverser des milieux humides, l'utilisation d'une flotte spécialisée d'équipement exerçant une faible pression au sol devrait être envisagée.

COURS D'EAU DÉFINIS EN MILIEU HUMIDE FORESTIER.

Les milieux humides sont souvent situés près des lacs, des rivières ou des ruisseaux et peuvent y être reliés. De plus, des cours d'eau définis peuvent couler dans les milieux humides, comme les fens, les marécages et les marais. Ces ruisseaux peuvent contenir des poissons et donc être soumis à des exigences règlementaires pour les travaux à proximité, notamment pour la construction de routes. Il est important d'identifier les points de passage et de déterminer les exigences réglementaires et opérationnelles qui doivent être respectées.

FIGURE 22. *Les camions munis de pneus larges exercent une pression inférieure sur le sol et conviennent aux sites ayant une faible capacité portante.*

06. APPLICATIONS PRATIQUES

LA CONSTRUCTION DE ROUTES D'ACCÈS DANS LES MILIEUX HUMIDES PEUT REPRÉSENTER DE NOMBREUX DÉFIS, QU'ON PEUT REGROUPER EN DEUX GRANDES CATÉGORIES :

1. LA CONCEPTION ET LA CONSTRUCTION DES ROUTES D'ACCÈS DANS LES MILIEUX HUMIDES DE MANIÈRE À RÉPONDRE AUX ATTENTES EN MATIÈRE DE PERFORMANCE DE LA ROUTE
2. LA PROTECTION DE L'INTÉGRITÉ DES MILIEUX HUMIDES PAR LA GESTION DE L'ÉCOULEMENT EN SURFACE, SOUS LA SURFACE ET DANS LES CANAUX DÉFINIS INHÉRENTS AUX MILIEUX HUMIDES

Ces deux défis sont intimement liés, car bon nombre de solutions et de pratiques en matière de conception, de construction et d'entretien des routes peuvent s'appliquer aux deux.

Parmi les cinq grands types de milieux humides, ce sont surtout les bogs, les fens et les marécages qui sont souvent traversés en conditions non gelées. Les milieux humides inondés, comme les milieux d'eau libre peu profonde et les marais, sont

FIGURE 23. *Passage de milieu humide récemment dégagé, présentant des perturbations mineures au tapis racinaire et aux couches de tourbe (en haut) et vue rapprochée d'une tourbière typique (en bas).*

rarement traversés en période non gelée et sont habituellement utilisés en hiver. Pour cette raison, bon nombre de considérations liées à la conception des routes présentées dans ce guide ne s'appliquent pas aux milieux inondés, à l'exception des pratiques recommandées pour une utilisation saisonnière ou hivernale.

CONSTRUCTION DE ROUTES SUR LES SOLS DES MILIEUX HUMIDES

Cette section propose un aperçu des techniques de construction et de conception des routes d'accès sur des sols à faible capacité portante, qu'on trouve souvent dans les milieux humides. Chaque route qui traverse un milieu humide doit être conçue en fonction des conditions du milieu humide, notamment la capacité portante du sol, le type de milieu humide, les caractéristiques d'écoulement de l'eau et la saison. De plus, le choix des techniques de gestion de l'eau et des méthodes de construction représente une décision importante ayant une incidence sur la conception de la route.

Un élément capital et commun à la construction de routes dans les bogs, les fens et les marécages afin de minimiser les perturbations du sol, consiste à traverser

la zone à l'aide d'équipement à flottaison élevée et en conditions de gel. Le maintien du sol, du tapis racinaire et des souches dans un état relativement intact permettra de conserver le peu de portance que ce terrain peut offrir à la construction routière (**FIGURE 23**).

Les matériaux les plus souvent utilisés pour construire des routes dans des milieux humides sont la terre et les matériaux granulaires, provenant du site ou transportés depuis l'extérieur. Les matériaux proviennent habituellement de sites d'excavation à proximité et sont transportés vers le lieu de construction (dans le cas des longs passages) ou le long du fossé à l'extérieur du milieu humide. Cependant, comme l'extraction des matériaux provenant de ce dernier endroit risque d'avoir une incidence sur l'hydrologie du milieu humide, les matériaux doivent être pris à l'extérieur du site autant que possible (**FIGURE 24**).

Voici des considérations dont il faut tenir compte pour l'utilisation de la terre et des matériaux granulaires locaux :

- L'utilisation de la terre et des matériaux granulaires peut ajouter une charge statique importante aux passages des milieux humides et doit souvent être combinée à des méthodes de remplacement, à des matériaux légers et à des conduits, afin de construire un passage efficace qui n'entraîne pas le blocage de l'écoulement de l'eau.
- Dans le cas des longs passages, il peut être difficile d'obtenir des matériaux granulaires pour la construction de la route. Dans ces cas, les matériaux devront être transportés de l'extérieur.
- En cas de problèmes pour l'obtention de matériaux de remblai locaux ou importés, d'autres techniques de construction peuvent être utilisées pour réduire le volume de matériaux requis. Par exemple, un chemin de radiers peut être utilisé pour construire les couches inférieures de la

FIGURE 24. *L'extraction des matériaux le long du fossé risque d'influencer l'hydrologie du milieu humide. Envisager de prendre les matériaux à l'extérieur du milieu humide si possible.*

route, ou des membranes géosynthétiques peuvent être installées pour réduire la quantité de matériaux requise.

- Un élément important de la planification du site consiste à connaître l'emplacement des matériaux de remblai adéquats. La connaissance des formations géologiques locales, comme les eskers, peut être pratique.

MEMBRANES GÉOSYNTHÉTIQUES

Les membranes géosynthétiques, comme les géotextiles, les géogrilles et les géocellules sont des technologies éprouvées qui améliorent la performance structurale des routes d'accès. Les membranes géosynthétiques sont aussi utilisées pour atténuer les impacts des routes d'accès sur l'hydrologie des milieux humides.

Les membranes géosynthétiques possèdent cinq fonctions principales : la séparation, le renforcement, la filtration, le drainage et le confinement. Dans les cas des routes d'accès en milieu humide, la fonction principale des membranes géosynthétiques consiste à séparer deux types de sols. En agissant à titre de séparateur, la membrane peut augmenter la stabilité des sols sous-jacents et augmenter leur performance. L'utilisation de géotextiles sur des sols fins peut diminuer la contamination des granulats lorsque ces sols sont mélangés au matériau sous-jacent. Par conséquent, les géotextiles diminuent les risques de ruptures localisées, qui se produisent typiquement lorsqu'une pression est exercée sur les granulats du dessus et que ceux-ci sont forcés de pénétrer dans le matériau sous-jacent en raison d'une charge dynamique de roue (**FIGURE 25**).

Les géotextiles peuvent aussi agir à titre de séparation entre le matériau de construction de la route, les structures de drainage et d'autres matériaux, comme les tapis de broussailles et les chemins de radiers. Cela peut aider à empêcher les particules fines de combler les vides créés par les structures de drainage ou les chemins de radiers. Cela assure que l'écoulement de l'eau se poursuit comme prévu, que l'eau continue de circuler sous la route et que les coûts d'entretien soient minimisés.

Les géosynthétiques peuvent également renforcer le matériau sous-jacent des routes sur des sols de très faible capacité portante. Pour que le géosynthétique fournisse un renfort adéquat, la membrane doit être bien ancrée, tout en conservant sa capacité de déformation (étirement). Une fois sous tension, le tissu offre le renforcement requis (**FIGURE 26**).

Les géosynéthiques sont offerts sous plusieurs formes; les géotextiles tissés, les géogrilles et les géocellules sont utilisés pour la construction de routes d'accès dans les milieux humides. Le choix du type de géosynthétique doit être basé sur la fonction désirée (séparation ou renforcement). Peu importe le produit utilisé, il est important de l'installer de la manière recommandée par le fabricant et de l'utiliser selon sa fonction prévue.

GÉOTEXTILES

Les membranes géotextiles sont soit tissées ou non tissées et elles possèdent des propriétés et des applications différentes (**FIGURE 27**).

- Les géotextiles tissés sont fabriqués par l'entrelacement, habituellement à angle droit, de deux groupes de fibres ou plus. Ce processus crée un tissu relativement rigide

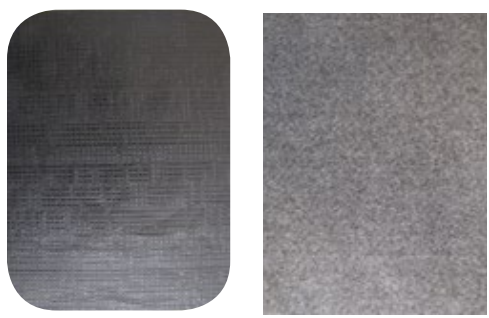


FIGURE 27. *Les membranes géotextiles tissées (à gauche) et non tissées (à droite) possèdent des propriétés différentes.*

qui s'étire de 5 % à 20 % sous tension. Les membranes géotextiles tissées peuvent être utilisées comme renforcement ou séparation.

- Les géotextiles non tissés sont produits par le rassemblement de fibres selon des angles divers. Ce processus crée un tissu qui s'étire considérablement sous tension et est surtout utilisé comme séparateur.

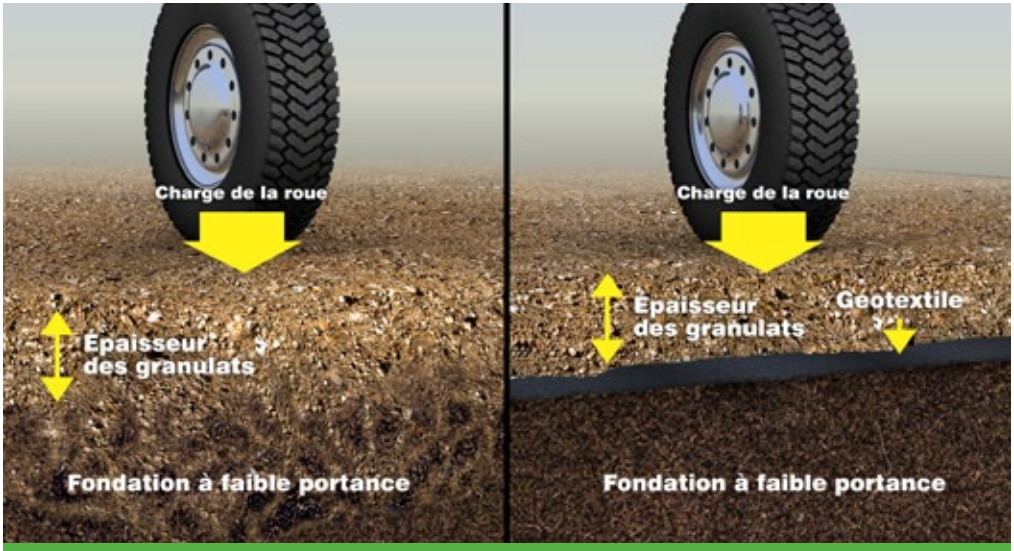


FIGURE 25. *Les géotextiles peuvent agir à titre de couche de séparation pour minimiser les défaillances de roulement et diminuer l'épaisseur des granulats de surface.*

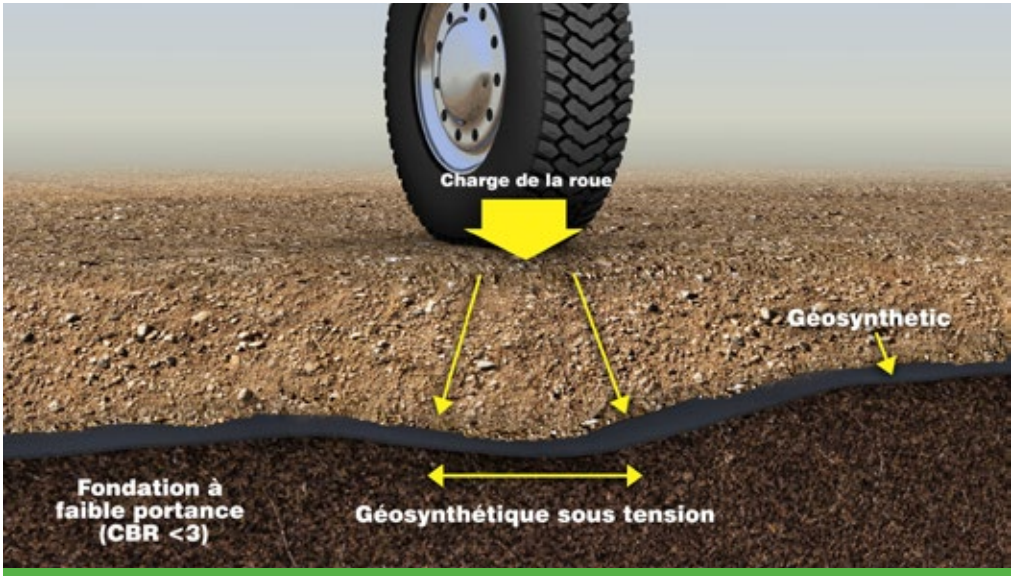


FIGURE 26. *Un géosynthétique sous tension peut offrir un renforcement.*

GÉOGRILLES

Les géogrilles sont faites de polypropylène à haute résistance (**FIGURE 28**). Les géogrilles offrent une résistance en tension très élevée et sont conçues pour le renforcement et le confinement. Elles peuvent être utilisées en combinaison avec une membrane géotextile si une séparation est requise. Lorsqu'une géogrille est utilisée avec un matériau granulaire adéquat, ce dernier s'imbrique dans les ouvertures de la géogrille (**FIGURE 29**).

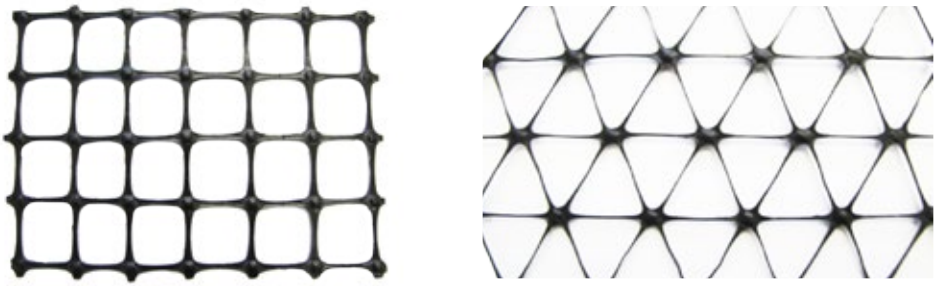


FIGURE 28. *Les géogrilles sont offertes en format bi-axial (ouvertures de forme carrée) ou tri-axial (ouvertures de forme triangulaire).*

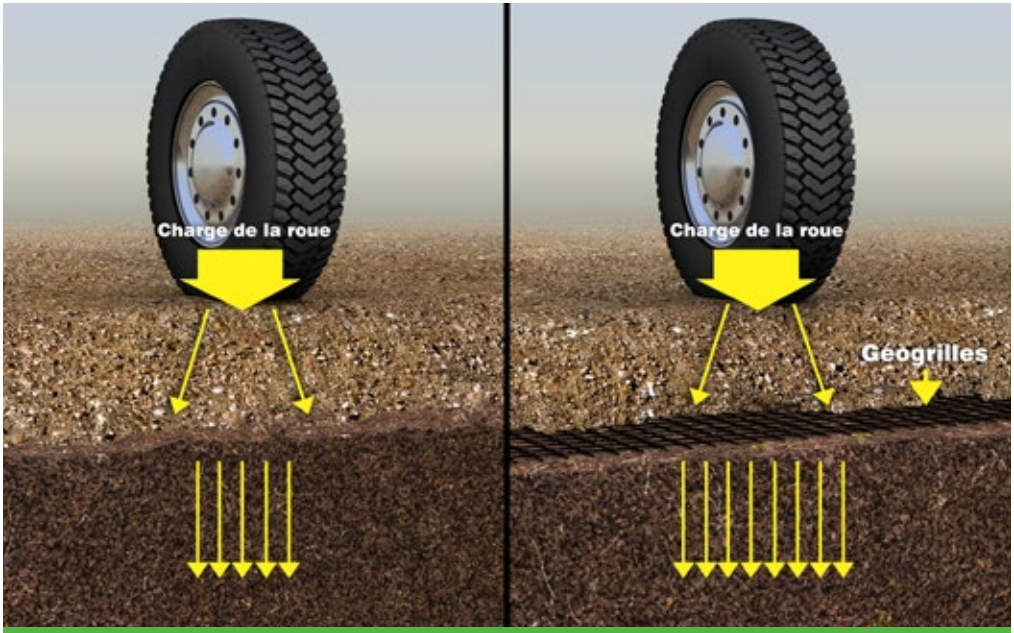


FIGURE 29. *Les géogrilles agissent à titre de renforcement pour le sol de fondation des routes, en empêchant les granulats de se mélanger au sol sous-jacent. Elles permettent aussi de mieux distribuer les contraintes verticales (effet de raquette).*

GÉOCELLULES

Les géocellules perforées (aussi appelées confinement cellulaire) sont faites de polyéthylène haute densité (PEHD) pour former des structures en forme de nid-d'abeilles (**FIGURE 30**). Les géocellules confinent les matériaux de remblai, ce qui accroit la résistance de ces derniers à la déformation due à la charge. Les géocellules et les matériaux de remblai agissent ainsi à titre de plateforme qui distribue les charges sur le sol sous-jacent. Les matériaux de granulométrie fine, comme le sable, peuvent être utilisés en combinaison avec des géocellules. Les perforations des parois des cellules permettent le drainage latéral.

FIGURE 30. *Les géocellules perforées stabilisent et confinent les matériaux de remblai. Elles sont souvent utilisées lorsqu'une charge élevée est prévue et que les matériaux granulaires ne sont pas disponibles (Photo : Presto Geosystems).*

CHOIX D'UN GÉOSYNTHÉTIQUE

Étant donné qu'il existe un grand éventail de géosynthétiques de différentes marques, et parce qu'il est difficile de déceler les différences entre les produits similaires, il peut être difficile de savoir quel produit utilisé dans une situation donnée. Il est important de travailler avec un fournisseur de géoysynthétiques ou un expert en conception de route pour déterminer le produit le plus adéquat et pour connaître les procédures d'installation selon les fonctionnalités prévues du produit, et de l'utilisation de la route d'accès **(TABLEAU 3)**.

TABLEAU 3. *Lignes directrices générales pour l'application des géotextiles, géogrilles et géocellules.*

GÉOSYNTHÉTIQUES	COÛTS	SÉPARATION	RENFORCEMENT	FILTRATION
GÉOTEXTILE TISSÉ	✓	✓✓✓	✓✓	✓
GÉOTEXTILE NON TISSÉ	✓	✓✓✓		✓✓✓
GÉOGRILLES	✓✓	✓	✓✓✓	
GÉOCELLULES	✓✓✓		✓✓✓	

FIGURE 31. *Exemple de chemin de radiers.*

CHEMINS DE RADIERS

Il est pratique courante de traverser les milieux humides en déposant des billes de pleine longueur côte à côte et perpendiculaire au sens de la circulation prévue. Une telle utilisation de billes s'appelle un chemin de radiers (FIGURE 31). Les billes permettent à la mise en forme de la route d'être plus large, ce qui distribue la force exercée par les matériaux de remblai et les véhicules sur une plus grande surface, augmentant ainsi la capacité portante. L'espace entre les billes permet aussi à l'eau de circuler sous la surface de la route.

Voici quelques considérations dont il faut tenir compte à ce sujet :

- Les chemins de radiers sont souvent construits au moment du défrichement, lorsque les zones de sol mou sont identifiées.
- Les billes peuvent également être livrées au lieu de construction à l'aide d'une débusqueuse ou d'un porteur, puis être mises en place par une excavatrice, une abatteuse-groupeuse ou une abatteuse-façonneuse. Une fois que les billes sont placées, la capacité portante est améliorée permettant le passage des équipements lourds (comme les bouteurs) utilisés pour terminer la construction de la route (**FIGURE 32**).
- Une membrane de géotextile peut être placée sur la surface du sol, avant de placer les billes, puis le remblai du chemin, afin de séparer ce dernier du sol du milieu humide et des matériaux de remblai. Cette pratique aide à empêcher le sol et les matériaux de remblai de remplir les vides entre les billes et facilite l'écoulement de l'eau.
- La dimension, la longueur et l'espèce des billes utilisées pour fabriquer le tapis de radiers sont déterminées par la disponibilité, les conditions du marché, les normes d'utilisation et d'autres facteurs. L'utilisation de billes de faible valeur est souvent préconisée.

FIGURE 32. *Bouteur travaillant sur un chemin de radiers pour étendre une couche de remblai.*

- Le diamètre des billes doit être suffisant de façon à pouvoir supporter les charges; le diamètre le plus petit peut osciller entre 10 et 25 cm.
- Pour accroître la largeur de la base de la route et répartir la charge sur une grande surface, des billes de pleine longueur doivent être utilisées. Tant les conifères que les feuillus peuvent être utilisés.
- Les billes qui dépassent le remblai de la route et qui sont exposées risquent de se dégrader, et ne pourront fournir la fonction attendue. Les chemins de radiers, particulièrement pour les routes permanentes, doivent être couverts intégralement afin d'éviter la pourriture.
- La hauteur d'un passage dépend du site. Les structures comportent habituellement une seule couche de billes, mais peuvent aussi en comprendre deux ou trois, selon le diamètre des billes et le caractère (permanent ou temporaire) de la route. La deuxième couche d'un chemin de radiers risque moins de s'enfoncer dans le sol (**FIGURE 33**). L'orientation des billes les unes par rapport aux autres risque davantage d'être une préoccupation dans le cas des tiges à grand diamètre. Le rang de billes doit être relativement de niveau, ce qui peut exiger d'aligner la base des billes du deuxième rang avec le sommet des billes du premier rang.
- Les chemins de radiers sont souvent construits en hiver. Le sol gelé accroit la résistance du sol, ce qui empêche l'équipement lourd de s'enfoncer et d'endommager les milieux humides. Une fois la section de chemin de radiers terminée, la route peut être utilisée en toute saison (**FIGURE 34**).
- Les cimes et les branches peuvent être ajoutées sur le dessus des billes pour former une couche de broussailles. Le tapis de broussailles agit comme une couche de séparation entre les matériaux de construction et les billes. Cette technique contribue à empêcher le matériau de la surface de roulement de s'infiltrer dans l'espace entre les billes.

FIGURE 33. *Une section de chemin de radiers en cours de construction avec des billes de pleine longueur de grand diamètre, plus d'un rang d'épaisseur. À remarquer: le sens des billes est en alternance pour que la structure soit droite, ainsi que l'utilisation d'une membrane géotextile sous les billes.*

FIGURE 34. *Construction d'une section de chemin de radiers pendant l'hiver, avec une membrane géotextile placée sur la surface du sol (en haut). La construction terminée, construite à l'aide de matériaux granulaires livrés (en bas).*

FIGURE 35. *Exemple de matériaux de remblai légers fait de fibre de bois.*

AUTRES CHOIX DE MATÉRIAUX DE REMBLAI

Les matériaux de remblai légers, comme le polystyrène expansé (PSE) ou la fibre de bois, sont parfois utilisés dans la construction de routes pour diminuer la pression exercée sur les sols à faible portance (**FIGURES 35 ET 36**). L'utilisation de matériaux de remblai légers sur la surface intacte d'un milieu humide aidera à diminuer les forces de compression qui s'exercent sur la couche de tourbe ainsi que le tassement de la route. Les matériaux légers ne sont pas conçus pour être utilisés sur des sols stables ou fermes, qui risquent peu de se comprimer ou de se tasser avec le temps, comme la couche de sol sous la tourbe.

Voici quelques considérations dont il faut tenir compte à ce sujet :

- Si la fibre de bois est utilisée pendant la construction de la route, une membrane géotextile placée sous la fibre peut l'empêcher de s'enfoncer dans le milieu humide et aider au démantèlement et à la réhabilitation du site.
- Si une fibre de tremble est utilisée près d'un environnement aquatique, les normes gouvernementales doivent être prises en compte, car il peut être nécessaire d'assurer la gestion des lixiviats.
- Des blocs de PSE sont souvent utilisés comme matériaux de remblai pour les projets routiers municipaux et les autoroutes. Le transport des blocs de PSE vers un milieu humide éloigné peut rendre leur utilisation moins rentable que dans le cas des projets traditionnels de construction routière (**FIGURE 37**).

FIGURE 36. *Route faite en fibre de bois.*

FIGURE 37. *Blocs de PSE comme matériau léger utilisés pour l'approche d'un pont (Photo : Tembec).*

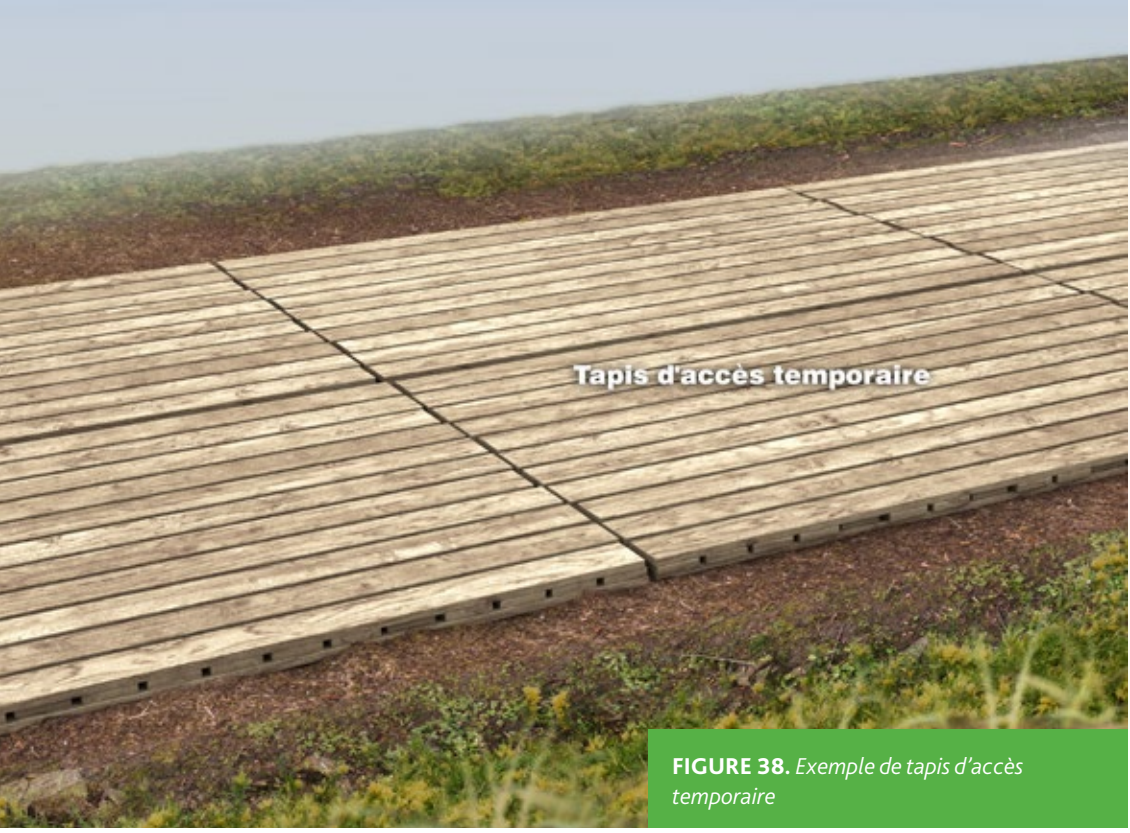


FIGURE 38. *Exemple de tapis d'accès temporaire*

TAPIS D'ACCÈS TEMPORAIRES

Les tapis d'accès temporaires (plate-forme) sont faits de divers matériaux, y compris du bois résineux ou feuillu, du bois laminé composite, du bambou, du PEHD, du polypropylène composite avec enveloppe de fibre de verre et du caoutchouc (**FIGURES 38 ET 39**). Ces tapis sont notamment utilisés pour les routes d'accès temporaires aux sites miniers, aux puits ou aux pipelines, ainsi que pour l'installation de lignes de transmission.

Les tapis temporaires sont de forme carrée ou rectangulaire et sont offerts en diverses dimensions, mais font habituellement 2,4 m de largeur (8 pieds) par 4,3 m de longueur (14 pieds).

Lorsqu'ils sont utilisés pour un accès temporaire, ces tapis constituent un système qui crée une surface de roulement dans les zones de faible capacité portante, comme les milieux humides. Ils sont modulaires, réutilisables, peuvent être loués (au lieu de les acheter), permettent de distribuer la charge sur une grande surface donnant ainsi une flottaison adéquate à l'équipement lourd qui les utilise.

FIGURE 39. *Tapis temporaires faits de bois et d'acier (en haut) et entièrement en bois (en bas). Noter que les deux tapis faits entièrement en bois superposés possèdent un système à trois tiges pour s'imbriquer avec les tapis adjacents, lorsqu'ils sont mis bout à bout.*

Voici quelques considérations dont il faut tenir compte à ce sujet :

- Les tapis doivent être utilisés uniquement pour un accès temporaire et doivent être enlevés après l'utilisation.
- Les tapis en bois sont généralement lourds, et peuvent devenir plus lourds lorsqu'ils sont saturés d'eau et sales.
- En raison de leur poids, de l'équipement lourd est nécessaire pour charger et décharger les tapis et la livraison au site peut exiger plus qu'un camion.
- Les tapis peuvent s'incruster ou geler dans le sol, ce qui peut nuire à l'écoulement sous la surface, et ils peuvent devenir difficiles à retirer.
- Les tapis peuvent s'enfoncer dans le sol; il peut être nécessaire d'utiliser deux tapis dans certaines sections.
- Les tapis peuvent se briser et se déformer pendant la construction, l'utilisation et le retrait, ce qui peut entraîner des pertes et coûts de remplacement.
- Les tapis doivent habituellement être nettoyés avant d'être réutilisés sur un autre site. Le nettoyage des tapis aide à éliminer les polluants ou les bactéries, champignons ou graines nuisibles et contribue à empêcher la propagation des espèces envahissantes.
- Les tapis de bois possèdent des ouvertures pouvant permettre aux contaminants de s'infiltrer, tandis que les tapis de composite possèdent un système unique de verrouillage et une bordure superposée qui forme une barrière continue.
- Les avantages associés à l'utilisation de tapis pour le maintien de l'écoulement dans les différents types de milieux humides n'ont pas été entièrement évalués; il est nécessaire d'en tenir compte si cette méthode est retenue.
- Des précautions doivent être prises lors de l'utilisation de tapis sur des milieux humides à écoulement latéral lent ou à fluctuations saisonnières, car la modification du niveau d'eau après la fonte des neiges ou les épisodes de pluie peuvent se traduire par l'écoulement de l'eau sur les tapis.
- S'il est nécessaire d'augmenter la capacité d'écoulement sous les tapis, l'utilisation de conduits supplémentaires doit être envisagée.

Des tapis de caoutchouc ou en composite sont aussi offerts pour une utilisation sur des sols faibles (**FIGURE 40**). Les tapis de caoutchouc sont plus lourds que les tapis de bois et, par conséquent, leur coût d'expédition est élevé. De plus, comme ils ont tendance à s'enfoncer dans les sols mous et humides, ils doivent être superposés. Les tapis de caoutchouc sont plus coûteux que les tapis de bois, mais ils résistent mieux

FIGURE 40. *Tapis de caoutchouc fait de pneus recyclés (en haut) et tapis de plastique composite (en bas)*
(Photo : Alberta Environment and Parks).

à l'usure et aux dommages, ils ne gèlent pas sur place et ont une durée de vie assez longue.

Les tapis de bambou et de composite sont relativement légers comparativement aux tapis de bois et de caoutchouc et, par conséquent, soins moins dispendieux à transporter. Les tapis de bambou sont moins dispendieux que les tapis de composite, mais plus dispendieux que les tapis de bois. Comme les tapis de composite sont des produits d'ingénierie, leur résistance est plus uniforme que les tapis de bois et ils sont plus durables.

PASSAGES HIVERNAUX TEMPORAIRES EN MILIEU HUMIDE

Lorsqu'une route hivernale, qui traverse un milieu humide, arrive à la fin de sa période d'utilisation au printemps, que la température augmente et que la neige fond, la gestion de l'eau est une priorité. Une attention particulière doit être accordée afin d'arrêter l'utilisation de la route dès que la température augmente et que le sol commence à dégeler. Des dommages importants peuvent être causés au milieu humide s'il se crée des ornières sur le sol dégelé ou s'il est comprimé au point d'altérer les conditions hydrologiques estivales (**FIGURE 41**).

Voici quelques éléments dont il faut tenir compte pour la construction de routes d'accès hivernal temporaires dans un milieu humide :

- Lorsque la route est utilisée en conditions de gel, il n'y a habituellement pas d'écoulement d'eau à la surface, et l'écoulement sous la surface (le cas échéant) est probablement maintenu au sein du sol non perturbé.
- Des mouvements d'eau peuvent se produire pendant l'hiver dans les milieux humides à écoulement latéral lent. Par conséquent, il peut être nécessaire d'employer des techniques pour favoriser le gel en profondeur. Ces sites peuvent exiger des conduits ou d'autres méthodes liées aux routes d'hiver. La compréhension des caractéristiques d'écoulement des milieux humides qui seront franchis peut aider le personnel de la planification et des opérations à choisir le lieu le plus adéquat et les options en matière de gestion d'eau.
- Avant la fonte des neiges et après l'interruption de la circulation pour la saison, il est pratique courante de favoriser le drainage au moyen de canaux à travers la route. Pour ce faire, on peut creuser une tranchée dans la neige et le gravier, afin de favoriser l'écoulement de surface et sous la surface. Cette technique permet d'éviter que l'eau s'écoule sur toute la route, ce qui peut causer de l'érosion et d'autres dommages.

FIGURE 41. *Les routes d'accès hivernal dans les milieux humides, qui entraînent moins d'ornières et de compression, peuvent avoir une très faible incidence sur la végétation de surface et le sol si elles sont construites et utilisées adéquatement.*

GESTION DE L'EAU : ÉCOULEMENT D'EAU DE SURFACE ET SOUS LA SURFACE

Des pratiques de construction bien planifiées et bien exécutées doivent comprendre des dispositions adéquates pour le mouvement et le drainage de l'eau. La gestion de l'eau est un aspect important de tout projet de construction de route, mais elle est particulièrement importante pour les passages de milieux humides. Le choix de l'endroit adéquat pour le passage et de l'emplacement des conduits n'est pas simple. L'identification des caractéristiques du milieu humide peut aider à prendre les bonnes décisions et à comprendre les caractéristiques d'écoulement de ce milieu. La mise en pratique de ces considérations représente probablement une situation inhabituelle et complexe pour bon nombre de gestionnaires de ressources naturelles, mais ces pratiques peuvent grandement contribuer à diminuer les coûts de construction et d'entretien, ainsi que les répercussions sur l'écoulement du milieu humide.

PONCEAUX

CLes ponceaux représentent la technique principale de gestion de l'eau pour laisser l'eau s'écouler d'un côté à l'autre de la route. Parmi les matériaux généralement utilisés, on trouve la tôle ondulée galvanisée et le PEHD. Lorsque les ponceaux servent à maintenir l'écoulement de l'eau au sein d'un milieu humide, ils doivent être placés à des endroits qui permettent à l'eau de circuler librement en aval.

Avantages

Les ponceaux peuvent favoriser l'écoulement en surface et sous la surface s'ils sont partiellement enfouis pendant l'installation. Ce faisant, la portion au-dessus du sol permet l'écoulement de l'eau en surface (orages, crues saisonnières, etc.), et la portion enfouie offre un passage pour l'eau peu profonde, sous la surface. La profondeur d'enfouissement correspond habituellement à 40 % du diamètre des ponceaux ronds ou 20 % de la hauteur des arches, ce qui permet à la partie la plus large d'être près de la surface du sol. Étant donné que le tapis racinaire et la surface du sol seront perturbés pendant l'enfouissement du ponceau, des renforts seront requis pour améliorer la capacité portante du sol. Les ponceaux peuvent comprendre une partie coupée en biseau. L'enfouissement et les extrémités biseautées aident à favoriser l'écoulement de l'eau sous le ponceau (**FIGURE 42**).

FIGURE 42. *Ponceau partiellement enfoui (à gauche) et ponceau préparé avec un chanfrein (à droite).*

Limitations

En raison de la faible capacité portante des sols des milieux humides, les ponceaux peuvent s'enfoncer avec le temps (**FIGURE 43**). Cet enfoncement (tassement) peut être uniforme, ce qui fait en sorte que les extrémités se retrouvent entièrement sous la terre ou la surface de l'eau, ou non uniforme, ce qui se traduit par des extrémités pointées vers le haut. On installe souvent un ponceau cambré en prévision du tassement du centre du ponceau. Les ponceaux qui s'enfoncent dans certains milieux humides et deviennent submergés avec le temps ne cessent pas forcément de fonctionner et peuvent continuer d'agir à titre de conduit hydraulique. Certains ponceaux sont installés de façon à être complètement enfouis comme méthode de gestion de l'eau sous la surface.

Dans certains cas, il est nécessaire d'installer plusieurs ponceaux pour assurer l'écoulement de l'eau. Un ponceau simple peut devenir un point de pincement qui augmente la vélocité de l'écoulement et peut être facilement obstrué par des débris flottants et l'activité des castors.

FIGURE 43. *Ponceaux enfouis sous la surface de l'eau.*

Application

Les ponceaux doivent être de dimensions adéquates et être espacés dans le milieu humide de manière à offrir une capacité d'écoulement qui correspond à l'écoulement prévu et à la longueur du passage. Règle générale, les ponceaux de tôle utilisés dans les milieux humides sont d'un diamètre allant de 250 à 800 mm. Lorsque des ponceaux de plus petit diamètre sont utilisés, ils sont souvent faits de PEHD.

L'espacement adéquat des ponceaux au sein d'un milieu humide peut être difficile à déterminer. Il peut varier en fonction des exigences de la zone en matière d'écoulement. Le fait de placer un ponceau à chaque extrémité d'un milieu humide permet un accès facile aux sols des terrains surélevés servant à l'installation du ponceau et à la construction de ses fondations. Cela s'applique aussi à tous îlots (terrains surélevés) pouvant se trouver dans un passage de milieu humide. Selon la longueur des passages, l'espacement peut varier : de deux à trois ponceaux, espacés de 15 m, dans les secteurs à écoulement concentré, à des ponceaux espacés uniformément tous les 250 m (**FIGURE 44**).

Règle générale : le diamètre des ponceaux n'est pas aussi important que l'espacement des ponceaux. Compte tenu de la lenteur du mouvement de l'eau; les ponceaux ont tendance à équilibrer le niveau d'eau de part et d'autre de la route et ne sont souvent pas utilisés au maximum. Dans le cas des systèmes de milieux humides à fluctuations saisonnières connaissant un écoulement d'eau considérable à certaines périodes de l'année (épisode de pluie, fonte des neiges, etc.), des ponceaux de plus grandes dimensions peuvent être nécessaires. Lorsque l'eau se retrouve au milieu de deux ponceaux le long d'une route, elle doit se déplacer parallèlement à la route jusqu'à ce qu'elle atteigne un ponceau. Il existe des techniques pour favoriser et diriger l'écoulement vers les ponceaux espacés, comme l'utilisation de ponceaux de PEHD perforé et flexible de petit diamètre. Le **TABLEAU 4** présente l'espacement maximal recommandé pour les ponceaux.

FIGURE 44. *Route nouvellement construite dans un bog boisé présentant des ponceaux équidistants.*

TABLE 4. *Recommandations sur l'utilisation de ponceaux en fonction des caractéristiques d'écoulement des milieux humides* [a, b]

ESPACEMENT DES PONCEAUX	Stagnant	Écoulement latéral lent	Fluctuations saisonnières
	Grand espacement	Espacement moyen à grand	Petit espacement
ESPACEMENT MAXIMAL DES PONCEAUX, ROUTE PERMANENTE	200 m	150 m	100 m
ESPACEMENT MAXIMAL DES PONCEAUX, ROUTE TEMPORAIRE	250 m	200 m	150 m
DIAMÈTRE DES PONCEAUX	250–500 mm	500–800 mm	> 800 mm

[a] *Lorsque les ponceaux sont utilisés comme conduits, la longueur du passage du milieu humide aidera à calculer le nombre idéal de ponceaux. Au moins un ponceau doit être utilisé, peu importe la longueur du passage.*

[b] *La plage d'espacements recommandés peut aussi être influencée par des caractéristiques propres au milieu humide. Par exemple, lorsqu'un passage est situé à une entrée étroite du milieu humide, un plus petit espacement peut être requis, afin de tenir compte de l'effet d'entonnoir. Les extrémités des passages, près des sols secs des terrains surélevés, peuvent offrir de meilleures conditions pour l'installation des ponceaux et le tassement potentiel avec le temps.*

Pour les longs passages qui exigent l'installation de plusieurs ponceaux, un espacement équidistant des ponceaux est à préconiser, car les études détaillées du terrain ne permettront peut-être pas d'identifier avec précision les emplacements idéaux. L'installation de ponceaux selon un espacement agressif (de 25 à 50 m) peut offrir une meilleure certitude quant au maintien de la connectivité hydrologique, ce qui se traduit par un rendement supérieur du point de vue environnemental (**FIGURE 45**). Cette approche devrait être envisagée dans les endroits éloignés, où il est difficile d'envoyer de l'équipement lourd s'il est nécessaire d'effectuer d'autres travaux.

Dans les endroits où il est possible de surveiller la performance d'un passage, des ponceaux supplémentaires peuvent être installés ultérieurement si des indicateurs (comme l'accumulation d'eau) en montrent la nécessité. Cette technique est fastidieuse et coûteuse, car les coûts liés au transport de l'équipement sur le site et à l'installation des nouveaux ponceaux s'ajoutent aux coûts initiaux. Cela met l'accent sur l'importance de tenir compte de l'emplacement des ponceaux au moment de la construction initiale du passage.

FIGURE 45. *Ponceaux rapprochés qui équilibrent l'écoulement des deux côtés de la route dans une partie de milieu humide où il y a présence d'eau libre (Photo : Tembec).*

Sur les routes temporaires ou hivernales, un chemin de radiers peut être placé autour du ponceau pour augmenter la capacité d'écoulement. Cette technique est plus adéquate pour les routes temporaires, car il n'est pas possible de compacter le remblai près du ponceau et sur ce dernier (**FIGURE 46**). La compaction du remblai donne l'effet d'une arche ce qui est plus adéquat pour les passages permanentes.

Considérations liées à l'écoulement en milieu humide

Les ponceaux peuvent être utilisés dans tous les types de milieux humides, y compris les milieux stagnants, à écoulement latéral lent et à fluctuations saisonnières.

Voici d'autres éléments dont il faut tenir compte :

- Les ponceaux peuvent être utilisés en combinaison avec d'autres pratiques, comme les chemins de radiers, les paquets de billes ou les matelas d'agrégats, afin de laisser l'eau s'écouler adéquatement à travers la route.
- Dans les milieux humides stagnants, l'emploi de ponceaux très espacés devrait être envisagé (**FIGURE 47**).
- Dans les systèmes à écoulement latéral lent, l'utilisation de ponceaux de taille moyenne devrait être envisagée (**FIGURE 48**).
- Dans les milieux à fluctuations saisonnières, l'emploi de grands ponceaux rapprochés devrait être envisagé (**FIGURE 49**).
- Dans les milieux humides à fluctuations saisonnières, où l'écoulement et le niveau d'eau ont tendance à augmenter durant la saison humide et à diminuer durant la saison sèche, des ponceaux de différentes hauteurs (profondeur d'enfouissement) peuvent être nécessaires pour s'adapter aux variations de profondeur et de débit.

FIGURE 46. *Billes placées de chaque côté du ponceau et sur ce dernier. À noter: l'utilisation d'un géotextile de séparation sur la partie exposée des billes empêche les matériaux de remblai d'aboutir dans le cours d'eau.*

FIGURE 47. *Pour assurer l'écoulement dans les milieux humides stagnants, utiliser des ponceaux de petit diamètre très espacés.*

FIGURE 48. *Pour assurer l'écoulement dans les milieux à écoulement latéral lent, utiliser des ponceaux de diamètre moyen.*

FIGURE 49. *Pour assurer l'écoulement dans les milieux humides à fluctuations saisonnières, utiliser des ponceaux de grand diamètre très rapprochés.*

FIGURE 50. *Exemple de paquet de billes.*

PAQUETS DE BILLES

Les paquets de billes peuvent être utilisés pour laisser l'eau s'écouler et équilibrer le niveau d'eau des deux côtés d'un passage d'un milieu humide. Un paquet de billes est construit en disposant des billes à travers la route, comme une structure de chemin de radiers (**FIGURE 50**).

Avantages

Les espaces linéaires créés par la disposition des billes côte à côte permettent à l'eau de passer dans la structure. L'utilisation de billes récoltées à proximité du lieu de construction est une option rentable pour construire un conduit. Les paquets de billes sont moins propices à être bloqués par les barrages de castors que les ponceaux, car la décharge lente et continue à travers la structure ne produit pas de son d'eau courante, qui attire souvent les castors.

Limitations

Les routes temporaires conviennent mieux aux petits paquets de billes à un étage. Compte tenu de la nature temporaire de la route, et considérant que ces structures seront retirées lors du démantèlement, le paquet de billes peut être construit selon des exigences moins strictes (sans besoin d'être coupées à longueur ou bien recouvertes) (**FIGURE 51**).

FIGURE 51. *Paquet de billes installé à travers une route d'accès temporaire dans un marécage arbustif. La structure a une épaisseur d'une bille et possède une couche de séparation sur les billes et les matériaux de la route. Noter que les ponceaux sont faciles à intégrer dans ce type de structure.*

Application

L'espacement des paquets de billes doit être similaire à l'espacement préconisé pour les ponceaux. Une couche de géotextile doit être placée sur la structure, afin d'empêcher les matériaux de remblai de la route de s'infiltrer dans les espaces; un géotextile de est aussi recommandée sous le paquet de billes ou autour de l'ensemble du paquet. Le fait de construire la structure avec plusieurs couches de billes augmente la capacité d'écoulement (**FIGURE 52**).

Considérations liées à l'écoulement dans les milieux humides

Les paquets de billes peuvent être utilisés dans tous les types de milieux humides, y compris les milieux stagnants, à écoulement latéral lent et à fluctuations saisonnières.

Voici d'autres éléments dont il faut tenir compte :

- Les paquets de billes doivent être utilisés comme une partie d'un ensemble de pratiques, et non comme une pratique employée seule.
- Les paquets de billes doivent être vus comme une méthode pour régler les problèmes de mouvement de l'eau sur une route existante ou une route temporaire, et non pour une nouvelle route permanente.
- Dans les systèmes à écoulement latéral lent et à fluctuations saisonnières, le nombre de billes dans un paquet peut être augmenté, afin d'obtenir la capacité d'écoulement désirée.

FIGURE 52. *Première rangée d'un paquet de billes dans une tranchée excavée (à gauche); deuxième rangée d'un paquet de billes avant le retrait des cimes (au centre); route terminée montrant le paquet de billes recouvert d'une membrane géotextile (à droite). Noter que ce paquet de billes a été installé à travers une route existante, afin d'accroître l'écoulement de l'eau.*

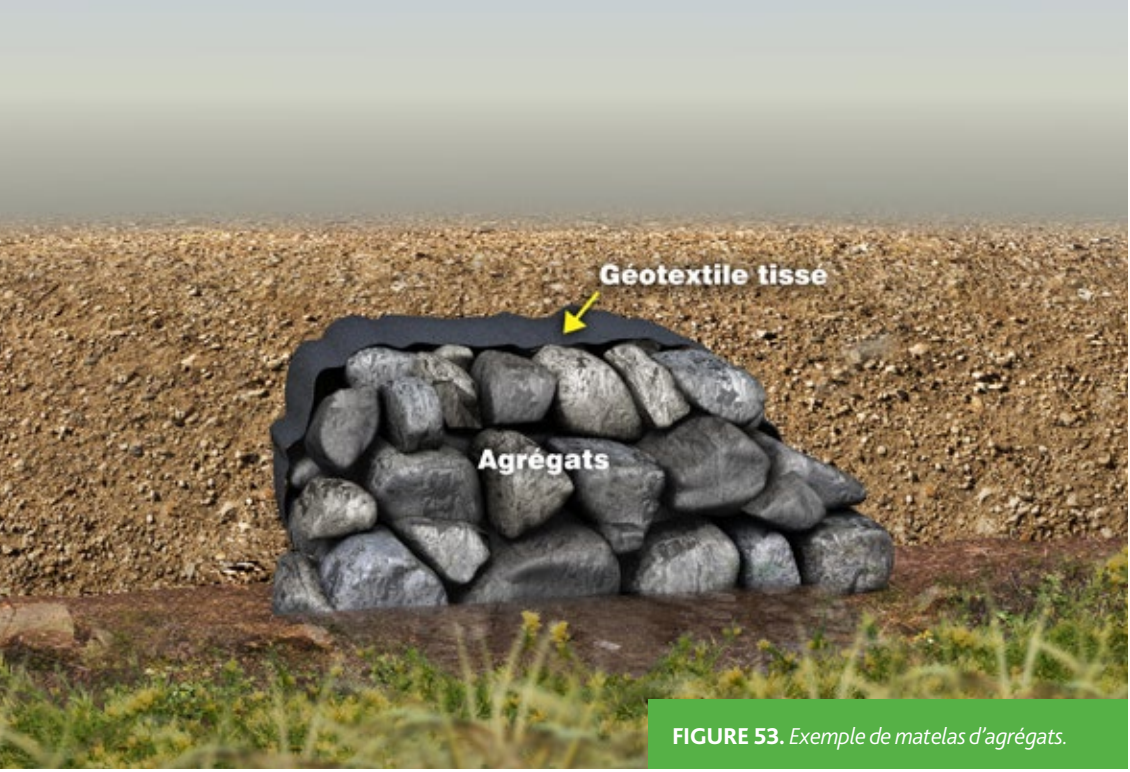


FIGURE 53. *Exemple de matelas d'agrégats.*

MATELAS D'AGRÉGATS

Des sections de routes, y compris les ponts-jetées et les approches de ponts, peuvent être faites d'agrégats anguleux, qui permettent à l'eau de passer dans les espaces entre les morceaux. Cette technique est souvent appelée matelas d'agrégats et elle convient tant aux routes temporaires que permanentes (**FIGURE 53**).

Avantages

Les routes construites avec un matelas d'agrégats permettent à l'eau de passer dans toute la longueur de la section construite. Des matelas d'agrégats ont été utilisés pour faire passer l'eau aux points de passage du milieu humide.

Limitations

Une attention particulière doit être portée de manière à empêcher les particules fines de combler les espaces entre les agrégats, ce qui empêcherait l'eau de circuler. Une membrane géotextile est souvent utilisée pour séparer la surface de roulement de la route et les sols sous-jacents des agrégats, afin d'empêcher les particules fines de descendre dans les espaces et de bloquer l'écoulement. Il est essentiel d'empêcher la base de se remplir, afin de laisser l'eau s'écouler. Le retrait d'un matelas d'agrégats peut être difficile lorsque la route est démantelée. Pour cette raison, son utilisation est préférable pour les routes permanentes. Les matelas d'agrégats s'appliquent bien aux milieux humides ayant de la tourbe peu profonde ou des sols organiques. Dans les sites ayant une couche de tourbe profonde, les agrégats peuvent s'enfoncer. Si le retrait de la structure constitue une préoccupation, une membrane géosynthétique peut être installée sous les agrégats pour renforcer la fondation.

Application

La longueur du matelas d'agrégats peut varier, allant de la pleine largeur du milieu humide à de petites sections placées selon un espacement stratégique ou prédéfini, ou selon l'écoulement anticipé et la dynamique associée. Cependant, comme c'est le cas des chemins de radiers, des conduits

FIGURE 54. *Route d'accès nouvellement construite dans un milieu humide illustrant la taille et la profondeur des roches utilisées pour le matelas d'agrégats.*

supplémentaires peuvent être intégrés. La décision de le faire est souvent prise en fonction du site.

Les agrégats anguleux représentent le matériau le plus souvent utilisé dans les matelas d'agrégats, et l'angularité est un élément clé pour former une base stable et imbriquée.

L'utilisation d'une membrane géotextile sous les agrégats doit être envisagée, non seulement à titre de séparateur, mais aussi pour augmenter la capacité portante; à condition toutefois que celle-ci soit bien ancrée aux souches restantes. Cette augmentation de la capacité portante peut permettre une réduction de l'épaisseur du remblai, une réduction du tassement et une diminution des besoins d'entretien.

Il est important de s'assurer que les agrégats soient libres de particules fines, afin de favoriser l'écoulement dans les espaces. Les particules fines peuvent être séparées des agrégats plus gros en rinçant les agrégats une fois en place, en les tamisant au site de chargement ou en n'utilisant pas la dernière partie de la benne des camions, puisque c'est là que les particules fines s'accumulent. Après la livraison des agrégats, les matériaux peuvent être poussés et roulés en place grâce à l'équipement sur le site. Le fait de rouler les matériaux contribue à concentrer les particules fines dans la partie inférieure de la couche, où elles risquent moins de restreindre le drainage.

Par exemple, la couche de fondation d'agrégats peut être faite de pierres de <=60 cm (24 po) jusqu'à une profondeur d'un mètre et être aussi large que la catégorie de route le nécessite (**FIGURE 54**). Afin d'empêcher les particules fines de descendre dans les espaces au sein de la fondation, une couche de séparation doit être placée sur celle-ci avant l'installation du matériau de la surface de roulement.

Considérations liées à l'écoulement dans les milieux humides

Les matelas d'agrégats peuvent être utilisés dans tous les types de milieux humides, y compris les milieux stagnants, à écoulement latéral lent et à fluctuations saisonnières.

Voici d'autres éléments dont il faut tenir compte :

- Les matelas d'agrégats doivent être utilisés comme une partie d'un ensemble de pratiques, et non comme une pratique employée seule.
- Dans les milieux humides stagnants ou à écoulement latéral lent, un matelas d'agrégats peut atténuer le besoin de recourir à des conduits supplémentaires.

FIGURE 55. *Exemple de chemin de radiers qui assure l'écoulement de l'eau à travers une route.*

CHEMINS DE RADIERS

En plus d'être utilisés comme méthode visant à augmenter la capacité portante de la fondation de la route, les chemins de radiers peuvent aussi servir à assurer l'écoulement en surface et sous la surface en milieu humide (**FIGURE 55**).

Avantages

Les routes construites de radiers permettent à l'eau de passer dans toute la longueur de la section construite. Les espaces entre les billes sont autant d'ouvertures pour favoriser le mouvement de l'eau en surface et sous la surface (**FIGURE 56**).

FIGURE 56. *Deux chemins de radiers illustrant l'utilisation de billes comme couche de séparation et de matériaux de remblai dans une route traversant un milieu humide.*

FIGURE 57. *Chemin de radiers avec une épaisseur de deux ou trois billes et un ponceau pour augmenter la capacité d'écoulement. La flèche montre le géotextile de séparation entre le dessus des billes et le dessous de la fondation de la route. La profondeur des matériaux de remblai montré est similaire à celle du chemin de radiers.*

Limitations

Si des broussailles sont installées sur les chemins de radiers, les aiguilles ou les feuilles peuvent se détacher et entraver la circulation de l'eau avec le temps. Dans le cas des routes temporaires, cela ne risque pas de nuire à l'écoulement de l'eau; par contre, dans le cas des routes permanentes, une couche de séparation doit être installée entre les billes et le tapis de broussailles.

Application

Pour favoriser l'écoulement et s'assurer que les espaces demeurent dégagés, une couche supérieure de géotextile peut être utilisée comme séparateur entre les billes et les matériaux de remblai de la route. Autrement, une couche de broussailles (branches, tiges et cimes) peut être placée sur les billes du chemin de radiers comme séparateur entre la fondation de la route et les billes. L'eau passera plus facilement si le passage comporte deux étages de billes. En période de crue saisonnière, l'eau pourra passer dans les espaces entre les billes du deuxième étage. L'installation d'une membrane géotextile sur le tapis racinaire doit être envisagée, pour séparer les billes du sol du milieu humide et empêcher les espaces de se remplir.

Des ponceaux peuvent être intégrés au chemin de radiers pour accroître la capacité d'écoulement (**FIGURE 57**). Lorsqu'on utilise des billes comme matériaux de remblai autour d'un ponceau, des précautions doivent être prises pour éviter que les billes ne perforent la paroi du tuyau.

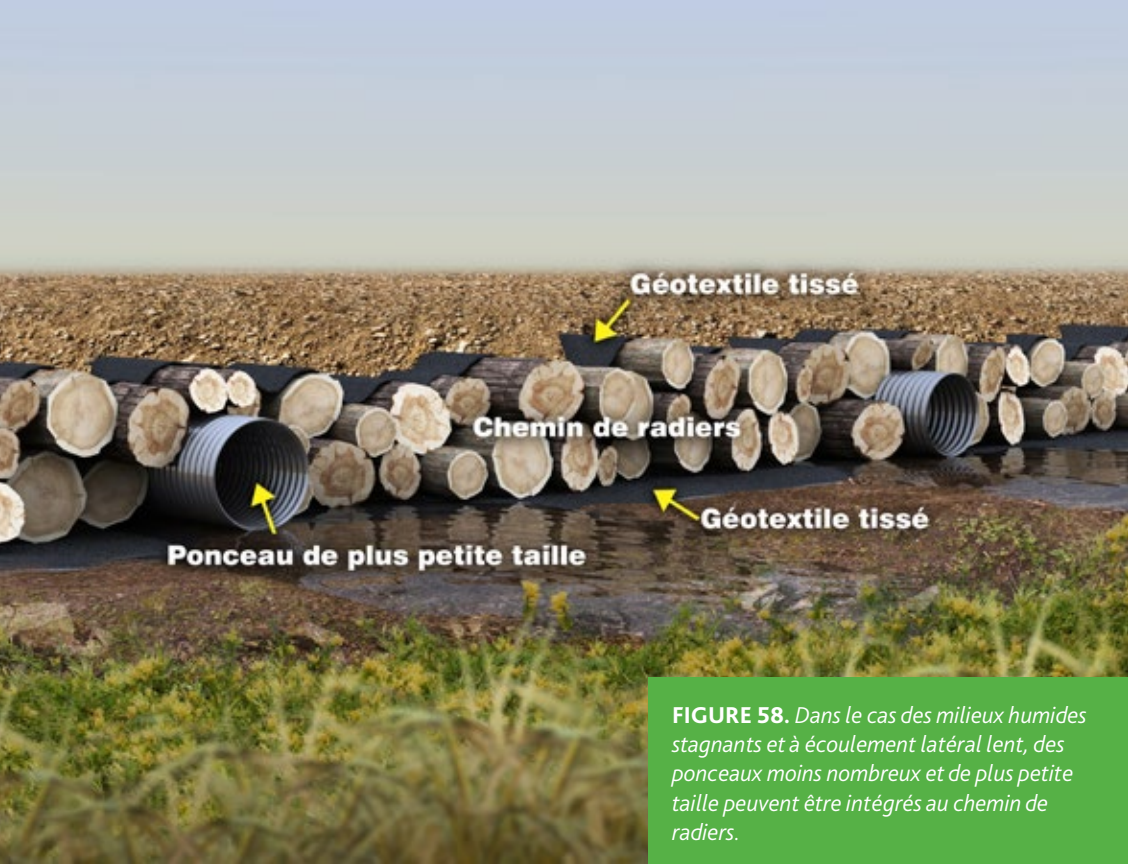


FIGURE 58. *Dans le cas des milieux humides stagnants et à écoulement latéral lent, des ponceaux moins nombreux et de plus petite taille peuvent être intégrés au chemin de radiers.*

Considérations liées à l'écoulement dans les milieux humides

Les chemins de radiers peuvent être utilisés dans tous les types de milieux humides, y compris les milieux stagnants, à écoulement latéral lent et à fluctuations saisonnières.

Voici d'autres éléments dont il faut tenir compte :

- Les chemins de radiers doivent être utilisés comme une partie d'un ensemble de pratiques, et non comme une pratique employée seule.
- Les chemins de radiers doivent être installés tous le long d'un passage, afin de favoriser l'écoulement requis.
- Le nombre et le type de ponceaux devant être utilisés en combinaison avec cette méthode dépendent du type de milieu humide traversé.
- Dans le cas des milieux humides stagnants et à écoulement latéral lent, des ponceaux moins nombreux et de plus petite taille peuvent être intégrés au chemin de radiers (**FIGURE 58**).
- Si des caractéristiques d'écoulement plus dynamiques sont prévues, comme pour les milieux humides à fluctuations saisonnières, des ponceaux plus rapprochés et de plus grande taille peuvent être utilisés (**FIGURE 59**).
- D'autres ponceaux sont souvent utilisés dans les parties basses d'un passage, ou en présence d'un suintement défini ou d'un ruisseau intermittent (**FIGURE 60**).

À mesure que les connaissances et la sensibilisation liées aux milieux humides et à leur interaction avec les routes d'accès augmentent, d'autres idées et technologies novatrices de passages peuvent émerger (**FIGURE 61**).

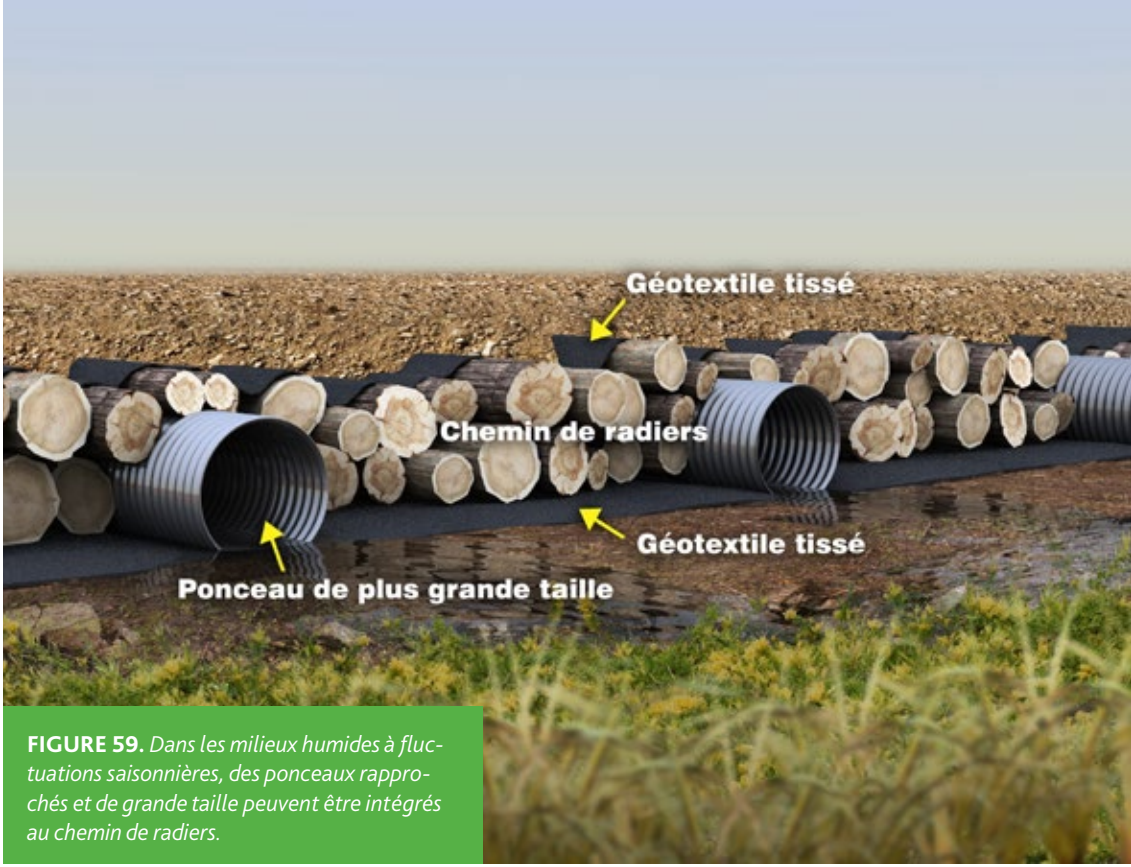


FIGURE 59. *Dans les milieux humides à fluctuations saisonnières, des ponceaux rapprochés et de grande taille peuvent être intégrés au chemin de radiers.*

FIGURE 60. *Un ponceau a été incorporé dans ce chemin de radiers pour augmenter la capacité d'écoulement. Le ponceau a été placé dans une partie basse, où on anticipe un écoulement supérieur. Noter que la membrane géotextile utilisée comme séparateur a été fixée en l'enroulant autour d'une bille.*

FIGURE 61. *Un pont supporté par des piliers permet une portée au-dessus de l'eau et des endroits sensibles des milieux humides (Photo : Landmark Solutions).*

GESTION DE L'EAU : TRAVERSES DE COURS D'EAU

L'installation de structures de traverses de cours d'eau dans des canaux définis au sein de milieux humides présente des défis uniques. La faible capacité portante des sols est fréquente au sein des milieux humides. Elle peut se traduire par des problèmes de performance de la route, en plus de compromettre la capacité des structures à atteindre les exigences en matière de protection des poissons et des habitats aquatiques. Pour s'assurer que la performance désirée soit atteinte, des pratiques novatrices d'amélioration des fondations doivent être mises en place. Les cours d'eau qui traversent les milieux humides sont souvent larges et peu profonds. Ils ont un écoulement lent et ont tendance à déborder sur les rives en raison des inondations fréquentes.

Un canal défini devrait être géré de manière adéquate, qu'il soit sur un terrain surélevé ou dans un milieu humide. La réglementation provinciale et fédérale qui s'applique à la gestion des cours d'eau à poisson, des bassins versants communautaires, des prises d'eau et de la connectivité des cours d'eau doit être suivie. La dimension nécessaire des structures pour respecter la périodicité requise varie selon la province; une périodicité de 50 à 100 ans est fréquente.

PONCEAUX

Les ponceaux sont les structures les plus utilisées dans les routes traversant les milieux humides. Un des problèmes les plus courants est le tassement total ou différentiel du ponceau dans le sol sous le poids du remblai. Ce phénomène est souvent évident au centre du ponceau et lui donne une forme en banane; les extrémités du ponceau étant plus hautes que son centre. Cela peut nuire au libre passage de l'eau, des poissons et d'autres espèces aquatiques.

La conception et la construction d'une fondation solide pour les structures de traverses d'un plan d'eau dans les milieux humides peuvent représenter un défi, en raison des sols profonds et de la nappe phréatique souvent élevée. Lorsque c'est possible, la première étape pour obtenir une fondation solide consiste à évaluer l'endroit où le ponceau doit être installé et s'il est adéquat d'excaver les sols organiques en surface jusqu'à ce qu'on atteint un sol plus stable. Dans l'affirmative, après l'excavation, la fondation peut être construite et surélevée pour atteindre la hauteur requise.

Dans le cas contraire, d'autres options d'amélioration des fondations peuvent être envisagées.

L'utilisation de géosynthétiques (membranes géotextiles, géogrilles ou géocellules) peut aider à améliorer la fondation du ponceau, car ils agissent à titre de séparateur et de renforcement. En fonction des caractéristiques du site, des exigences liées à la conception et aux opérations, de nombreuses solutions peuvent être adoptées avec les géosynthétiques.

Les **FIGURES 62** à **64** présentent des exemples de techniques d'amélioration des fondations qui ont été implémentés pour des petites structures. Ces techniques peuvent être modifiées en fonction des connaissances locales et de l'expérience sur le terrain. On peut notamment utiliser des dispositifs d'amélioration de la portance des ponceaux installés dans les milieux humides et pour les traverses de cours d'eau.

FIGURE 62.
Une tranchée est excavée jusqu'à l'obtention d'un matériau stable, qui est recouvert d'un géotextile tissé, puis la tranchée est remplie de matériaux granulaires compactés.

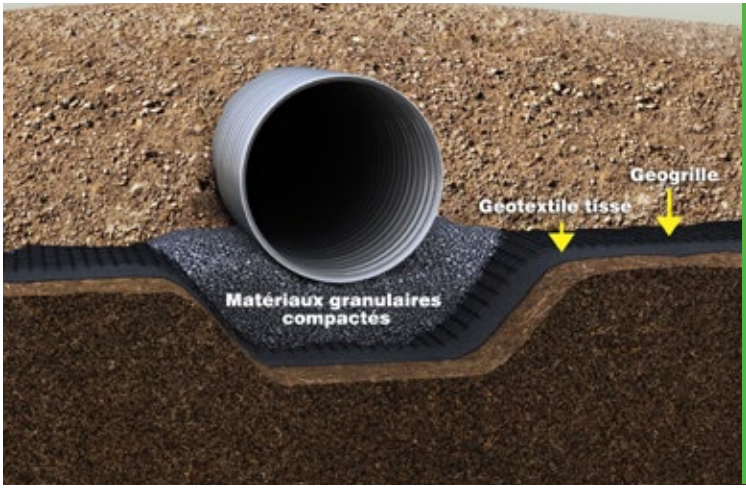


FIGURE 63.
S'il est impossible d'atteindre un du sol stable, une tranchée peu profonde peut être excavée pour obtenir la hauteur désirée pour la structure; la tranchée est alors recouverte d'un géotextile tissé et d'une géogrille, puis remplie de matériaux granulaires compactés.

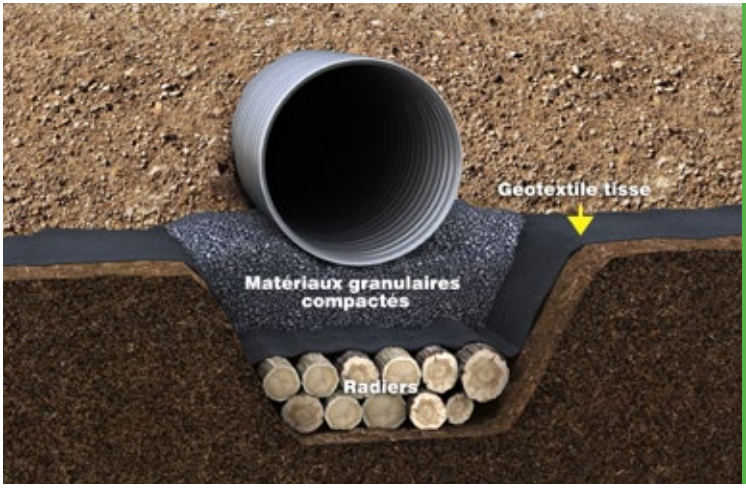


FIGURE 64.
S'il est impossible d'atteindre un sol stable, une tranchée peu profonde peut être excavée puis remplie de couches, multiples ou alternées, de radiers. Un géotextile tissé est ensuite ajouté comme séparateur, avant de préparer la fondation pour l'installation du ponceau.

FIGURE 65. *Fondations typiques d'une arche à fond ouvert : assise ondulée (à gauche) et fondation en béton préfabriqué (à droite).*

ARCHES

Les arches à fond ouvert peuvent représenter une alternative en matière de traverses de cours d'eau, mais elles ont besoin de fondations adéquates qui peuvent être difficiles à installer dans un milieu humide. Les assises ondulées et les fondations en béton préfabriqué sont deux types de fondations utilisées fréquemment (**FIGURE 65**). Les dimensions de l'arche doivent faire en sorte que les fondations soient situées à l'extérieur de la ligne naturelle des hautes eaux du cours d'eau. Il est important de faire en sorte que les fondations ne soient pas endommagées par les forces de l'eau courante. Peu importe le concept retenu, la stabilisation des fondations à l'aide d'agrégats de grandes dimensions permettra de les protéger.

Les fondations des arches à fond ouvert installées dans un endroit où la capacité du sol est inférieure au minimum requis devront être améliorées (**FIGURE 66**).

FIGURE 66. *Séquence des étapes pour améliorer la capacité portante d'un site pour l'installation d'une arche à fond ouvert. Le sol ne respecte pas les exigences de conception des assises ondulées (à gauche); des agrégats de grandes dimensions ont été placés après l'excavation du sol (au centre); du sable a été utilisé pour niveler le site avant l'installation de l'arche (à droite). Le cours d'eau a ensuite été détourné à nouveau pour passer sous l'arche.*

FIGURE 67. *Culée sur pieux (à gauche) et murs de soutènement sur pieux (à droite).*

PONTS

Les ponts représentent parfois la méthode de choix pour traverser les cours d'eau larges, lorsque les objectifs de protection du site ou de l'environnement sont stricts, ou lorsque le cours d'eau est une voie navigable. Les ponts sont une option plus coûteuse que les ponceaux, et ils sont donc rarement utilisés pour traverser de petits cours d'eau. Les ouvertures sous le pont permettent aux débris de circuler librement dans le canal; il n'y a donc pas de risque d'obstruction.

Les culées du pont doivent répondre à des exigences en matière de capacité portante; des matériaux légers, comme des blocs de PSE, peuvent être particulièrement pratiques pour le remblai de ces sites. Les culées à pieux sont fréquemment utilisées; la **FIGURE 67** en montre un exemple. Des agrégats sont souvent utilisés pour protéger les culées et les rives du canal, mais ils peuvent être trop lourds pour être utilisés dans un milieu humide. L'utilisation d'un géotextile ou d'une géogrille peut améliorer les conditions de portance du site.

FIGURE 68. *Les ponts flottants éliminent certaines exigences en matière de capacité portante liées aux culées typiques. Ici, on a choisi un pont flottant pour traverser un canal défini dans un milieu humide, car ce canal ne gèle pas jusqu'au fond en hiver, et il n'était pas toujours possible de construire un pont de glace au bon moment.*

FIGURE 69. *Un pont est utilisé pour traverser un canal où un ponceau conviendrait moins bien.*

Lorsqu'on utilise un pont pour traverser un cours d'eau défini au sein d'un milieu humide, les approches sont habituellement surélevées de chaque côté (**FIGURE 69**). Les intervenants devraient envisager l'utilisation de ponceaux ou d'autres options de traverses de cours d'eau au sein des approches pour répondre aux exigences d'écoulement latéral et d'inondation propres au site (**FIGURE 70**).

FIGURE 70. *Des ponceaux peuvent être installés dans les approches pour assurer la connectivité hydrologique du milieu humide. Un matériau de remblai perméable, conçu et placé de manière à laisser l'eau passer, peut également être envisagé.*

TRAVERSÉES HIVERNALES TEMPORAIRES

Des traversées hivernales temporaires peuvent être construites selon un vaste éventail de techniques de construction. La neige et la glace sont souvent utilisées comme matériaux économiques pouvant avoir une bonne performance sur le plan environnemental (**FIGURE 71**). On utilise aussi souvent des ponts portatifs, des paquets de billes recouverts de neige et des ponceaux recouverts de neige (**FIGURE 72**). Dans le cas des ponts portatifs, les culées ne sont pas nécessaires. Les culées peuvent être lourdes et représenter un problème en matière de tassement pendant les périodes hors gel. Les structures dans le cours d'eau, comme les paquets de billes et les ponceaux, doivent être retirées avant la crue printanière, afin de ne pas nuire à l'écoulement. Les paquets de billes permettent un certain écoulement, mais ne sont pas suffisants pour le débit d'écoulement auquel on assiste souvent dans les canaux définis dans les périodes hors gel. Les ponceaux utilisés pour les traversées hivernales peuvent être de taille inférieure à ce qui serait normalement exigé pour les périodes hors gel. Tant les ponceaux que les paquets de billes doivent être retirés avec soin, afin d'éviter d'endommager les rives et le canal lors du dégel. Ce type de structure dans le cours d'eau a tendance à adhérer aux rives après avoir été utilisée pendant l'hiver.

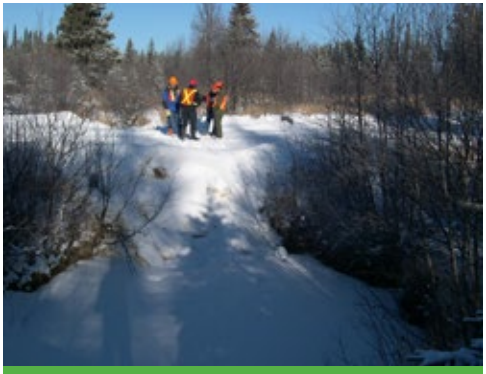


FIGURE 71. *Traversée hivernale faite de neige et de glace.*

FIGURE 72. *Trois méthodes utilisées fréquemment pour la construction de traversées hivernales.*

FIGURE 73. *L'utilisation de pieux pour identifier l'emplacement des ponceaux peut permettre à réduire les endommagements souvent causés durant l'entretien de la route et le déneigement. L'identification permet aussi de tenir un inventaire des infrastructures.*

SUIVI DE LA PERFORMANCE DE LA ROUTE

La mise en œuvre du plan de suivi de performance de la route et d'inspection est une étape importante du processus de gestion de la route, tant pour les routes permanentes que temporaires. Les défis associés au maintien des routes qui traversent des milieux humides à un certain niveau de conception et performance justifient le besoin d'effectuer un suivi et un entretien continus.

Il peut être difficile de déterminer si un passage permet de maintenir l'écoulement d'un milieu humide, étant donné que les indicateurs de restriction à l'écoulement (les changements de végétation de part et d'autre du passage) peuvent mettre des années avant de se manifester. Pour cette raison, les conditions de la route et du milieu humide doivent être suivies, afin d'évaluer si les structures actuelles nécessitent des réparations ou un remplacement, si des nouveaux conduits doivent être installés, ou si une route doit être réparée ou mise à niveau. Dans le cas des ponceaux, il peut être difficile d'établir le nombre et l'emplacement exact durant la construction initiale dans un milieu humide; cependant, un programme de suivi efficace permet d'identifier les besoins futurs de la route en matière de drainage et l'emplacement des ponceaux supplémentaires.

Un élément important pour le suivi de la performance de la route consiste à s'assurer de conserver un inventaire et une base de données adéquats de la route et des infrastructures associées. Cela peut comprendre le maintien d'un inventaire basé sur un système d'information géographique et l'utilisation de pieux ou de fanions en bordure de route pour identifier les infrastructures critiques, comme les ponceaux (**FIGURE 73**). Les inspections périodiques peuvent fournir des données servant à identifier les problématiques communes aux passages de milieux humides et faire ressortir les pratiques qui répondent aux objectifs de performance de la route.

On dénombre de nombreux indicateurs pouvant contribuer à déterminer si les routes d'accès ont un impact négatif sur l'hydrologie du milieu humide et si la route a besoin d'entretien.

Indicateurs sur la route :

- Les défauts de surface, tel l'orniérage, sont un indicateur d'une teneur en eau élevée dans la structure souvent attribuable à une infiltration d'eau dans les sous-couches pénétrant par le côté ou le dessous (**FIGURE 74**).
- Des ponceaux perchés ou enfouis qui ne répondent plus aux besoins d'écoulement de l'eau (**FIGURE 75**).
- L'érosion excessive des remblais de la route qui bloque les ponceaux et érode la surface de la route (**FIGURE 76**).
- Alignement vertical inégal de la route, résultant de l'enfoncement de la fondation de la route et du blocage de l'écoulement sous la surface (**FIGURE 77**).

FIGURE 74. *La formation d'ornières à la surface de la route peut indiquer des problèmes dans les couches sous-jacentes.*

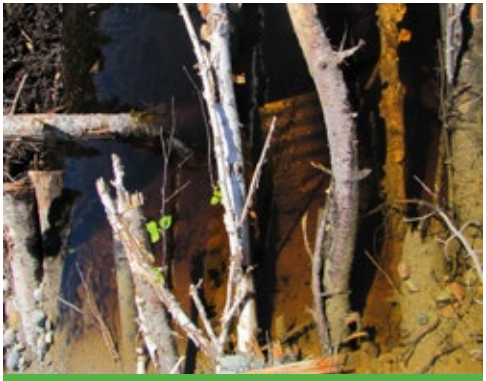


FIGURE 75. *Les ponceaux qui se sont enfouis depuis leur position originale risquent de ne plus satisfaire aux critères de conception.*

FIGURE 76. *L'érosion des remblais peut bloquer les ponceaux et nuire à l'écoulement de l'eau.*

FIGURE 77. *Les surfaces de route inégales peuvent indiquer un tassement.*

FIGURE 78. *Le dépérissement des arbres et des arbustes (à droite sur la photo) peut être un indicateur d'un changement de degré d'humidité du sol.*

Indicateurs sur le site :

- Dépérissement ou réduction de la vigueur des arbres, des arbustes ou de la végétation à la suite de l'augmentation du niveau d'eau et d'humidité du sol d'un côté de la route (**FIGURE 78**).
- Changement d'essence d'arbres ou de composition de la végétation en réponse au changement du niveau d'humidité du sol.
- Augmentation du niveau d'eau en surface et formation de mares d'eau d'un côté de la route (**FIGURE 79**).
- Fossés remplis d'eau en permanence des deux côtés de la route, ce qui est symptomatique d'une nappe phréatique élevée et le blocage de l'écoulement latéral dans le milieu humide (**FIGURE 80**).

FIGURE 79. *Le blocage de l'écoulement des milieux humides peut entraîner la formation de mares d'eau et un impact négatif sur la route.*

FIGURE 80. *Des fossés remplis en permanence peuvent être une conséquence dans certains types de milieux humides et peuvent avoir un impact négatif sur la performance de la route (Photo : Tembec).*

DÉMANTÈLEMENT ET RESTAURATION

La désactivation (démantèlement) et la restauration des routes d'accès sont souvent effectuées pour de nombreuses raisons, dont l'atteinte d'objectifs en matière de gestion des forêts, les exigences entourant les habitats fauniques et la restriction de l'accès au public. Les routes qui traversent les milieux humides peuvent être démantelées en tout ou en partie et le site peut être restauré, en fonction des exigences opérationnelles futures et de la règlementation en vigueur. Dans le cas des passages, l'objectif consiste à maintenir ou à restaurer la végétation du milieu humide ainsi que l'écoulement de l'eau.

La décision de retirer les structures de passage de l'eau pour faciliter le démantèlement de la route doit tenir compte de nombreux facteurs opérationnels et environnementaux, dont certains sont propres aux routes d'accès dans les milieux humides. Dans le cas des routes devant être démantelées, le processus doit être pris en compte pendant les phases de planification et de construction, de manière à ce que les matériaux et les techniques utilisés puissent faciliter le retrait des matériaux et augmenter les chances de réussite de la restauration.

La restauration des milieux humides peut être plus complexe que pour les sites situés dans les forêts des terrains surélevés. La conscience de cette situation pendant les phases de planification, de construction et d'utilisation peut contribuer à réduire les coûts de la restauration et à s'assurer que cette dernière atteint les objectifs désirés. Le démantèlement et la restauration des structures de passage des milieux humides peuvent être plus efficaces lorsque les dommages au sol, à la végétation et à l'hydrologie sont minimes, ce qui est rendu possible grâce à la planification et à la construction attentives des structures.

Voici quelques éléments à retenir sur le démantèlement des routes d'accès dans les milieux humides :

- Pour faciliter le retrait des conduits, la méthode d'installation utilisée devrait être prise en compte. Par exemple, si un paquet de billes est installé, les billes peuvent être attachées au moyen d'un câble, afin de pouvoir être retirées en une seule étape.
- La sélection d'un géosynthétique résistant peut réduire le risque de déchirure au moment du retrait. Le géosynthétique peut également être installé de manière à en faciliter le retrait, comme en enveloppant une extrémité autour d'une bille ou en la fixant à un morceau de bois, qui sera plus facile à retirer et à saisir à l'aide du godet d'une excavatrice (**FIGURE 81**).
- S'il est nécessaire d'utiliser des produits de gestion de l'érosion pour la route, notamment dans les fossés ou sur les talus de la route, des produits biodégradables ou photodégradables devraient être envisagés. Ces produits, conçus pour se dégrader lentement, peuvent plus facilement être laissés sur le site. Il en découle des économies en plus que les produits qui se dégradent ne nuiront pas à la restauration du site.
- Pour faciliter le démantèlement, il est important de planifier et d'assigner l'équipement adéquat. Par exemple, une excavatrice munie d'un pouce hydraulique peut aider au retrait des conduits.

FIGURE 81. *Un géotextile tissé est fixé à un morceau de bois pour en faciliter le retrait au moment du démantèlement.*

Lorsque le démantèlement partiel d'un passage d'un milieu humide est envisagé, les structures de drainage et les sections de la route peuvent être enlevées jusqu'à l'atteinte du niveau naturel du sol (**FIGURE 82**). Dans ce cas, les structures de drainage retirées et l'excavation subséquente à travers la route permettent de conserver l'écoulement de l'eau en surface et sous la surface.

En cas de démantèlement partiel, tout le matériau excavé, comme les chemins de radiers ou paquets de billes, doit être retiré du milieu humide et empilé ou étendu à l'extérieur du passage. Les matériaux excavés peuvent être utilisés pour la restauration partielle des sites. Les structures comme les ponceaux doivent aussi être enlevées du site et détruites adéquatement ou réutilisées ailleurs.

Le démantèlement total d'une route peut être envisagé s'il est réalisable sur le plan opérationnel, comme dans le cas des passages courts, ou lorsque la régénération totale du site doit être effectuée conformément à la réglementation, ou pour des besoins liés à la faune ou à l'écologie. Dans le cas d'un démantèlement total, une partie ou l'ensemble des travaux effectués à l'aide d'équipement lourd doit être fait pendant des conditions de gel, afin de ne pas perturber les sols du milieu humide. Tous les matériaux et structures doivent être retirés, détruits, réutilisés ou servir à la régénération des sites excavés.

Bien qu'une route puisse ne plus être nécessaire pour l'usage industriel, du trafic léger peut toujours y circuler et doit être envisagé. Le passage à gué aménagé est une pratique courante lors du retrait des structures, mais il faut toujours tenir compte du trafic. Cependant, le sol mou qu'on trouve typiquement dans les milieux humides (particulièrement les sols organiques profonds) fait en sorte qu'il est difficile de construire et d'entretenir des passages à gué qui permettent le passage des véhicules, tout en respectant les objectifs écologiques.

FIGURE 82. *Le retrait des conduits et l'excavation à travers la route peuvent aider à restaurer l'écoulement latéral naturel en surface et sous la surface.*

Pour cette raison, si le public doit continuer à accéder au territoire dans un milieu humide, le fait de laisser la structure en place et de mettre en œuvre un programme d'entretien et d'inspection peut représenter la meilleure solution à long terme.

GESTION DE L'ÉROSION ET DES SÉDIMENTS

La prévention du déversement des sédiments dans le cours d'eau est l'objectif principal de la gestion de l'érosion et des sédiments. Les sols exposés sont vulnérables aux forces de l'érosion. Lorsque les sédiments entrent dans un milieu humide, ils peuvent dégrader la qualité de l'eau et de l'habitat. L'écoulement de surface est souvent lent dans les milieux humides, et les forces d'érosion sont minimes (à l'exception des milieux humides à fluctuations saisonnières). Les sols exposés sont plus facilement érodés par l'énergie de la pluie et de l'écoulement de surface (p. ex. : l'érosion de surface, en ruisselets ou en rigole) que les sols protégés. À l'étape de la planification des mesures de gestion de l'érosion et des sédiments, il est nécessaire de tenir compte des caractéristiques fondamentales et uniques à un environnement de milieu humide, comme sa proximité avec l'eau et la nappe phréatique.

Bon nombre de techniques de confinement

des sédiments demandent de la longueur, de la profondeur et de l'espace pour leur permettre de se déposer. Par exemple, la construction d'un bassin de rétention pour capturer les sédiments ou d'un fossé de sortie n'est pas possible dans un milieu humide, en raison de la hauteur de la nappe phréatique. Étant donné que de nombreuses techniques de gestion des sédiments sont difficiles à réaliser dans un milieu humide, la prévention de l'érosion au départ devrait être une priorité.

L'utilisation d'une surface de roulement en agrégats permet non seulement de répondre à une exigence d'ingénierie, mais aussi de limiter l'érosion. Le matériau de surface peut avoir des dimensions et des épaisseurs variées (**FIGURE 83**).

L'eau qui s'écoule sur la surface de la route risque de causer de l'érosion, peu importe la distance. Une route avec une bonne couronne permettra d'éliminer l'eau et d'éviter qu'elle s'accumule et qu'elle circule sur la surface. Une couronne aide à évacuer l'eau en favorisant le drainage vers l'extérieur de la route sur une distance relativement courte, ce qui diminue le risque d'érosion de la surface. Une couronne de 4 à 6 % (pente transversale) est habituellement suffisante. Le maintien de la pente s'effectue grâce au nivelage périodique selon les techniques adéquates. La ligne de fossé, ou l'absence de ligne de fossé (situation fréquente dans les milieux humides) doit être prise en compte, afin de ne pas éliminer la végétation établie dans le milieu humide (**FIGURE 84**).

Des mesures de gestion de l'érosion et des sédiments doivent être mises en place pendant le démantèlement d'un passage, afin de réduire les risques de déversement de sédiments dans le milieu humide. Par exemple, dans le cas des chemins de radiers, la majorité des billes peuvent être laissées sur place après avoir retiré les matériaux de remblai et la couche de séparation. Les billes peuvent s'enfoncer partiellement ou totalement dans le sol du milieu humide, et le fait de les retirer peut introduire des sédiments dans le milieu humide et causer plus de dommages que si elles étaient laissées là. Une solution consisterait à enlever seulement quelques billes, afin d'assurer un bon écoulement (grâce au sol enfoncé laissé après le retrait des billes). Ces ouvertures peuvent être effectuées selon un espacement défini ou être axées sur les parties basses. Une couche de séparation en géotextile résistant peut aider à mieux contenir le matériau de la route pendant le démantèlement, comparativement à un géotextile faible, qui risque de se déchirer au moment de l'enlever.

FIGURE 83. *L'utilisation d'une surface de roulement en agrégats protège les sous-couches contre l'érosion.*

FIGURE 84. *Le boulet de matériau formé par une niveleuse près de l'accotement de la route sera étendu sur la route pour créer une couronne. Une attention particulière doit être accordée à la végétation en bordure de route.*

07.
ANNEXE I. REMERCIEMENTS

LES AUTEURS SOUHAITENT REMERCIER LES PARTENAIRES ET MEMBRES DU COMITÉ DE RÉVISION SUIVANTS POUR LEUR SOUTIEN ET COMMENTAIRES TOUT AU LONG DE LA RÉDACTION DE LA PRÉSENTE PUBLICATION.

PARTENAIRES DU PROJET

- Comité de mise en œuvre de la norme SFI du centre du Canada
- John Gilbert – J.D. Irving Ltd.
- Donna Kopecky et Brian Nickel – Louisiana-Pacific Canada Ltd.
- Peter McLaughlin – Ministère de l'Environnement et Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick
- Mike Maxfield – Produits forestiers Résolu
- Wendy Crosina – Weyerhaeuser Company

COMITÉ D'EXAMEN

- Thorsten Hebben et Matthew Wilson – Environnement et Parcs Alberta
- Janet Lane – Domtar
- Steve Gilliss – EACOM Timber Corporation
- Joe Churcher, Brian Naylor, Jim Rice, et Jim Saunders – Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario
- Kenny Johnston – Tembec

08.
ANNEXE II. LITTÉRATURE CITÉE

Anielski, M., & Wilson, S. (2005). *Counting Canada's natural capital: Assessing the real value of Canada's boreal ecosystems.* Ottawa, ON: Initiative boréale canadienne.

Arp, P. A. (2009). *High-resolution flow-channel and wet areas maps: A tool for better forest operations planning* (Sustainable Forest Management Network Research Note No. 55). Edmonton, AB: Université de l'Alberta.

Blancher, P., et Wells, J. (2005). *The boreal forest region: North America's bird nursery*. Ottawa, ON: Initiative boréale canadienne.

Bridgham, S. D., Megonigal, J. P., Keller, J. K., Bliss, N. B., et Trettin, C. (2006). The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands,* 26(4), 889–916.

Devito, K., Creed, I., Gan, T., Mendoza, C., Petrone, R., Silins, U., & Smerdon, B. (2005). A framework for broad-scale classification of hydrologic response units on the Boreal Plain: Is topography the last thing to consider? *Hydrological Processes*, 19(8), 1705–1714. doi:10.1002/hyp.5881

MacKenzie, W. H., et Moran, J. R. (2004). *Wetlands of British Columbia: A guide to identification* (Land Management Handbook No. 52). Victoria, BC: Ministry of Forests.

Tarnocai, C., Kettles, I. M., et Lacelle, B. (2001). *Wetlands of Canada.* Ottawa, ON: Agriculture et Agroalimentaire Canada, Division de la recherche.

Tarnocai, C., Kettles, I. M., et Lacelle, B. (2002). *Base canadienne de données sur les tourbières.* Commission géologique du Canada, dossier 4002.

United States Environmental Protection Agency. (2014). Greenhouse gas equivalencies calculator.

Warner, B. G., et Rubec, C. D. A. (éditeurs). (1997). *Système de classification des terres humides du Canada* (2ième ed.). Waterloo, ON: University of Waterloo, Wetlands Research Centre.

09.
ANNEXE III.
LECTURES SUGGÉRÉES

RESSOURCES SUR LES MILIEUX HUMIDES

Écozones des cordillères (Colombie-Britannique, sud-ouest de l'Alberta)

MacKenzie, W. H., et Moran, J. R. (2004). *Wetlands of British Columbia: A guide to identification* (Land Management Handbook No. 52). Victoria, BC: Ministry of Forests.

Pike, R. G., Redding, T. E., Moore, R. D., Winkler, R. D., et Bladon, K. D. (Eds.). (2010). *Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia* (Land Management Handbook No. 66). Victoria, BC: Ministry of Forests.

Écozone des plaines boréales (nord-est de la Colombie-Britannique, centre de la Saskatechewan, centre et ouest du Manitoba)

Alberta Environment and Sustainable Resource Development. (2015). *Alberta Wetland Classification System.* Edmonton, AB: Water Policy Branch, Policy Division.

Canards Illimités Canada. (2014). *Field guide: Boreal wetland classes in the Boreal Plains ecozone of Canada.* Edmonton, AB.

MacKenzie, W. H., et Moran, J. R. (2004). *Wetlands of British Columbia: A guide to identification* (Land Management Handbook No. 52). Victoria, BC: Ministry of Forests.

McLaughlan, M. S., Wright, R. A., et Jiricka, R. D. (2010). *Field guide to the ecosites of Saskatchewan's provincial forests.* Prince Albert, SK: Ministère de l'Environnement de la Saskatchewan, service des forêts.

Smith, K. B., Smith, C. E., Forest, S. F., et Richard, A. J. (2007). *A field guide to the wetlands of the Boreal Plains ecozone of Canada.* Edmonton, AB: Canards Illimités Canada, division boréale de l'Ouest

Écozone du bouclier boréal (nord-est de l'Alberta, nord de l'Ontario, centre et sud-est du Manitoba, Ontario, Québec, Terre-Neuve-et-Labrador)

Ecological Land Classification Working Group. (2009). *Ecosites of Ontario* (Projet opérationnel, 20 avril 2009, Grands lacs et Saint-Laurent). Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario.

Ecological Land Classification Working Group. (2009). *Ecosites of Ontario* (Projet opérationnel, 20 avril 2009, Boréal). Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario.

McLaughlan, M. S., Wright, R. A., et Jiricka, R. D. (2010). *Field guide to the ecosites of Saskatchewan's provincial forests.* Prince Albert, SK: Ministère de l'Environnement de la Saskatchewan, service des forêts.

Ontario Wetland Evaluation System (manuel, région du Sud). (2014). Queen's Printer for Ontario.

Ontario Wetland Evaluation System (manuel, région du Nord). (2014). Queen's Printer for Ontario.

Écozone maritime de l'Atlantique (sud-est du Québec, Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse)

Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, direction du poisson et de la faune (2006). *New Brunswick wetland classification for 2003 – 2012 photo cycle.*

Nova Scotia Department of Natural Resources. (2004). *Wetland classification and vegetation typing.*

Québec Ministère du Développement durable, de l'Environnement. (2015). *Identification et délimitation des milieux humides de Québec méridional.* Les publications du Québec.

Général

Canadian Wetland Inventory.

Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., et LaRoe, E. T. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States.* Washington, DC : U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.

Smith, C., Morissette, J., Forest, S., Falk, D., et Butterworth, E. (2007). *Synthesis of technical information on forest wetlands in Canada* (Technical Bulletin No. 938). Cary, NC: National Council for Air and Stream Improvement, Inc.

Tiner, R. W. (2005). *In search of swampland: A wetland sourcebook and field guide* (2nd ed.). New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Warner, B. G., et Rubec, C. D. A. (éditeurs). (1997). *Système de classification des terres humides du Canada* (2ième ed.). Waterloo, ON: University of Waterloo, Wetlands Research Centre.

RESSOURCES SUR LES ROUTES D'ACCÈS

Bloser, S., Creamer, D., Napper, C., Scheetz, B., et Ziegler, T. (2012). *Environmentally sensitive maintenance practices for dirt and gravel roads.* United States Department of Agriculture, Forest Service, Centre for Dirt and Gravel Studies.

Canards Illimités Canada, Louisiana-Pacific Canada Ltd, FPInnovations, Weyerhaeuser Company, Spruce Products Ltd. (2014). *Operational guide: Forest road wetland crossings.* Version 1.0 44p

Gillies, C.T. (2011). *Water management techniques for resource roads in wetlands.* (Rapport de contrat 652). Pointe-Claire, QC : FPInnovations.

Gillies, C. T. (2007). *Méthodes de contrôle de l'érosion et des sédiments pour les routes forestières et les traversées de cours d'eau.* (Rapport Avantage, Vol. 9, No 5). Pointe-Claire, QC : FPInnovations.

Keller, G., et Sherar, J. (2003). *Low-volume roads engineering, best management practices field guide.* United States Department of Agriculture, Forest Service.

Legere, G., & Blond, E. (2002).*Applicabilité des géosynthétiques de renforcement sur tourbière en voirie forestière.* (Rapport Avantage Vol.3 No 25.). Pointe-Claire, QC : Inst. can. rech. en genie for. (FERIC).

FPInnovations

SIÈGE SOCIAL
POINTE-CLAIRE

570, Boul. Saint-Jean
Pointe-Claire, QC
Canada H9R 3J9
T 514 630-4100

QUÉBEC

319, rue Franquet
Québec, QC
Canada G1P 4R4
T 418 659-2647

VANCOUVER

2665, East Mall
Vancouver, C.-B.
Canada V6T 1Z4
T 604 224-3221