

Guide d'inventaire pour l'estimation des stocks de carbone dans les milieux humides

Mai 2024

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par l'équipe de recherche de Michelle Garneau du Centre de recherche sur la dynamique du système Terre de l'Université du Québec à Montréal (Geotop-UQAM), en partenariat avec la Direction des milieux humides du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP).

Référence à citer

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

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

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

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN : 978-2-550-97462-8 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2024

Équipe de réalisation

Rédaction

Laboratoire C-PALEO du centre Geotop-UQAM

Gabriel Magnan
Michelle Garneau
Léonie Perrier
Joannie Beaulne
Nicole K. Sanderson
Guillaume Primeau

Collaboration

Direction des milieux humides, MELCCFP

Simon Lamoureux
Vanessa Viera
Kate Boothroyd-Roberts
Martin Joly

Direction générale de l'expertise en transition climatique et énergétique, MELCCFP

Daniel Lachance

Révision

Direction des milieux humides, MELCCFP

Geneviève Dufour Tremblay
Gabrielle Fortin

Table des matières

Équipe de réalisation	iii
Liste des figures	v
Remerciements	vi
Avant-propos	vii
Introduction	1
Notions théoriques	2
Les milieux humides et le cycle du carbone terrestre	2
Stockage du carbone dans les milieux humides	3
Quantifier un stock de carbone dans un milieu humide	4
Procédure pour la quantification des stocks de carbone	6
Stratégie d’inventaire	6
Inventaire pour quantifier la masse de carbone organique du sol (COS)	8
Inventaire pour quantifier la masse de carbone de la biomasse ligneuse (CBL)	14
Calcul des masses et des stocks de carbone	15
Pour plus d’informations...	16
Références bibliographiques	17
Glossaire	19
Liste des abréviations et symboles	21
Annexe 1 – Échelle de décomposition de von Post	22
Annexe 2 – Liste des espèces communes des milieux humides du sud du Québec dont le DHS doit être mesuré	23
Annexe 3 – Types de milieux humides utilisés pour le calcul des masses de COS (Magnan et collab., 2023).	24

Liste des figures

Figure 1. Dynamique du carbone dans les milieux humides. _____	2
Figure 2. Répartition du carbone dans les sols et la biomasse aérienne des différents types de milieux humides en comparaison avec les forêts sur sols non hydromorphes _____	3
Figure 3. Schéma représentant le calcul du stock de carbone dans une tourbière, à partir de mesures de masses de carbone (COS et CBL) dans plusieurs stations d'inventaire. _____	5
Figure 4. Exemples de stratégie d'inventaire des masses de carbone visant à quantifier le stock de carbone dans des milieux humides de différentes superficies. _____	7
Figure 5. Schéma synthèse des mesures de COS et de CBL à effectuer à une station d'inventaire. _____	8
Figure 6. Mesures de l'épaisseur d'un dépôt organique dans différents types de milieux humides. _____	10
Figure 7. Exemples d'un blocage lors de l'enfoncement de la sonde dans le dépôt organique (à gauche) et d'un refus minéral net lorsque le dépôt minéral sous-jacent est atteint (à droite). _____	11
Figure 8. Degré de décomposition de la matière organique: fibrique, mésique, humique. _____	13
Figure 9. Emplacement des mesures de A) DHP et B) DHS, selon différents scénarios de croissance des tiges des arbres et arbustes. _____	15

Remerciements

Ce guide d'inventaire pour l'estimation des stocks de carbone a été élaboré par l'équipe de recherche de la professeure Michelle Garneau ([laboratoire C-PALEO](#)) au Centre de recherche sur la dynamique du système Terre (Geotop) de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), sous la direction de Gabriel Magnan et Michelle Garneau, en collaboration avec la Direction des milieux humides et la Direction de la prospective climatique et de l'adaptation. Les travaux de recherche ont été financés par le Plan pour une économie verte 2030, sous la *mesure 1.11.1 Conserver les milieux naturels prioritaires*. Ils s'inscrivent plus spécifiquement dans l'action *1.11.1.1 Outiller le gouvernement et le monde municipal pour conserver les réservoirs de carbone prioritaires*.



Tourbière de la Grande Plée Bleue à Lévis. Crédit photo: MELCCFP.

Avant-propos

Le Plan pour une économie verte (PEV) 2030 est la première politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques du Québec. Celle-ci nous engage dans un projet ambitieux jetant les bases d'une économie sobre en carbone, résiliente face aux changements climatiques et plus prospère à l'horizon 2030.

Le PEV 2030 reconnaît le rôle des milieux naturels dans la lutte contre les changements climatiques. Les milieux humides jouent un rôle primordial dans les bilans de **gaz à effet de serre (GES)** en emmagasinant d'importantes quantités de carbone dans leur sol et dans leur végétation. En effet, certains milieux humides, particulièrement les **tourbières**, accumulent du carbone depuis des millénaires et ont eu un effet refroidissant sur le climat. Il est donc fondamental de prioriser la conservation des milieux humides.

L'action *1.11.1.1 Outiller le gouvernement et le monde municipal pour conserver les réservoirs de carbone prioritaires* du PEV 2030 permet de répondre à ce besoin de conservation. Considérant que de nombreux réservoirs prioritaires se trouvent dans les milieux humides, il est devenu nécessaire de développer une méthode permettant de quantifier les réserves de carbone de ces milieux en contexte québécois. Les méthodes existantes pour quantifier les stocks de carbone des milieux humides impliquent un effort considérable de récolte d'échantillons sur le terrain et d'analyses en laboratoire, limitant considérablement la collecte de données à grande échelle sur le territoire québécois. La méthode simple de terrain proposée permet de mieux quantifier les **stocks de carbone** afin d'appuyer les décisions d'aménagement du territoire dans un contexte de lutte aux changements climatiques.

Introduction

La modernisation de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) et l'adoption de la Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques (LCMHH) ont jeté les bases d'un nouveau régime d'autorisation environnementale au Québec. Parmi les modifications législatives apportées en 2017, la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (chapitre C-6.2, appelé communément la Loi sur l'eau) aura permis de reconnaître le rôle fondamental des milieux humides dans le stockage du carbone et l'atténuation des impacts des changements climatiques (article 13.1). Ainsi, la présence des milieux humides offre des bénéfices qui méritent d'être mieux connus et mis en valeur.

Dans le cadre de l'application de la LCMHH et de la mise en œuvre du Plan d'action pour une économie verte (PEV) 2030, il est devenu nécessaire d'estimer rigoureusement et systématiquement les stocks de carbone dans les différents types de milieux humides à l'aide d'une méthode simple et efficace. En effet, ces données sont essentielles pour identifier les milieux humides dont la conservation est prioritaire. Ces données pourraient également servir éventuellement à documenter les pertes de carbone associées à la destruction ou à l'altération de ces milieux (ex. : drainage ou développement résidentiel). La perte des stocks de carbone terrestre est irrécupérable à court terme, en plus de provoquer des émissions des gaz à effet de serre (GES), ce qui nuit aux efforts de lutte contre les changements climatiques. Bien que les tourbières soient déjà reconnues comme d'immenses réservoirs de carbone (Garneau et van Bellen, 2016), il n'existe à ce jour que des bases de données fragmentaires sur les valeurs des stocks de carbone entreposés dans les différents milieux humides du Québec.

Le présent guide vise à permettre la quantification des stocks de carbone entreposés dans les milieux humides à partir de mesures simples effectuées sur le terrain. La méthode a été développée pour les milieux humides non pergélisolés des régions tempérées et boréales. Elle sera utile pour les différents intervenants qui souhaiteront documenter les stocks de carbone des milieux humides (acteurs gouvernementaux et municipaux, organismes à but non lucratif, consultants, etc.). Elle permettra d'uniformiser la collecte de données sur les stocks de carbone des milieux humides. La méthodologie présentée dans ce guide peut être utilisée sur une base volontaire, dans un contexte d'aménagement du territoire et de lutte contre les changements climatiques, ou selon des contextes particuliers nécessitant ce type de données détaillées, par exemple à des fins d'acquisition de connaissances.

Les inventaires réalisés à partir de cette méthode permettront d'atteindre les objectifs suivants :

- Développer une base de données accessible et centralisée sur les stocks de carbone;
- Réaliser une cartographie des stocks de carbone dans les différents types de milieux humides;
- Développer des outils d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire et la conservation des milieux humides;
- Suivre l'évolution dans le temps des stocks de carbone au Québec.

Notions théoriques

Les milieux humides et le cycle du carbone terrestre

Les milieux humides regroupent plusieurs types d'écosystèmes saturés d'eau ou inondés pendant une période suffisamment longue pour que l'eau ait un impact sur le sol ou la végétation qui s'y trouve. Parmi ces milieux, on trouve les **tourbières ouvertes**, les **tourbières boisées**, les **marécages** et les **marais** (Lachance et collab., 2021). Les milieux humides constituent certains des plus importants réservoirs terrestres de carbone (C). Leur conservation est d'ailleurs reconnue comme l'une des meilleures solutions fondées sur la nature pour lutter contre les changements climatiques (Drever et collab., 2021; Taillardat et collab., 2020). L'altération et la destruction de ces milieux naturels peuvent perturber leur cycle du carbone et provoquer d'importantes émissions de GES, dont le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4).

Dans les milieux humides, des échanges de carbone s'effectuent entre le sol, la végétation et l'atmosphère (flux terrestres de carbone) (figure 1). Le CO_2 est assimilé par les plantes lors de la photosynthèse. Le CO_2 et le CH_4 sont les principaux GES libérés dans l'atmosphère lors de la respiration de la végétation ou de la **décomposition** de la **matière organique**. Du **carbone organique dissous (COD)** est également produit et transporté par les eaux superficielles et souterraines (flux aquatiques de carbone). Les milieux humides ont généralement un bilan de carbone négatif à l'échelle annuelle, c'est-à-dire qu'ils absorbent plus de carbone qu'ils en émettent, ce qui en fait d'importants puits de carbone terrestre (Shukla et collab., 2019, Taillardat et collab., 2020).

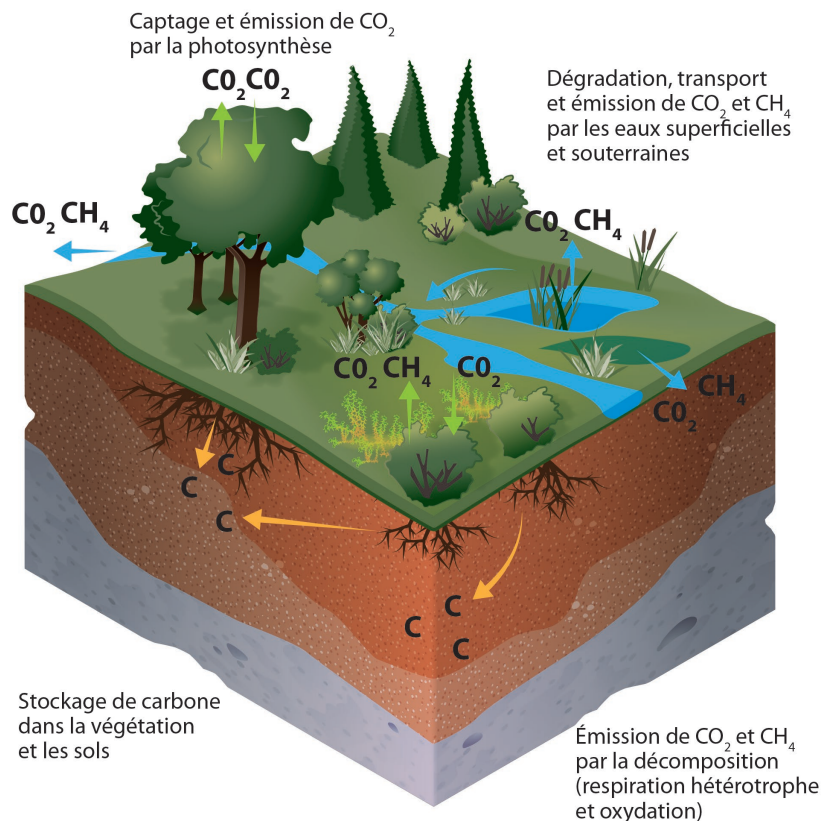


Figure 1. Dynamique du carbone dans les milieux humides. Les flèches représentent la direction des échanges, mais ne quantifient pas les flux.

Stockage du carbone dans les milieux humides

Dans les milieux humides, le carbone s'accumule annuellement dans la végétation et dans le sol où il peut s'entreposer pendant des dizaines, voire des milliers d'années (FAO, 2017). Le processus de **stockage du carbone organique du sol (COS)** est principalement contrôlé par les conditions hydrologiques et physico-chimiques qui influencent les taux de décomposition de la matière organique (Rydin et Jeglum, 2013).

Il existe d'importantes différences dans la répartition du carbone parmi les types de milieux humides (figure 2). Les tourbières stockent les plus grandes quantités de carbone, dont l'essentiel se trouve dans les **dépôts organiques** épais de leur sol (**tourbe**). Dans ces milieux, la production et l'accumulation de matière organique excèdent la décomposition, en raison des **conditions anaérobiques** et acides ainsi que de la faible activité biologique dans les sols saturés en eau en permanence. Les tourbières boisées, qui sont caractérisées par des dépôts organiques plus décomposés, ont généralement des quantités de COS inférieures à celles des tourbières ouvertes, mais elles possèdent une **biomasse aérienne** plus élevée.

Dans les marais et marécages, la matière organique est moins abondante dans les sols en raison d'une plus grande variabilité hydrologique et d'une décomposition accrue de la végétation sous **conditions aérobiques**. Dans les marais, la quantité de carbone dans la végétation est relativement faible et la quantité de COS est généralement inférieure aux autres types de milieux humides. Dans les marécages, une portion importante du carbone est stockée dans la végétation ligneuse et ces milieux ont une masse de COS semblable à celle des forêts sur sols non **hydromorphes** (figure 2).

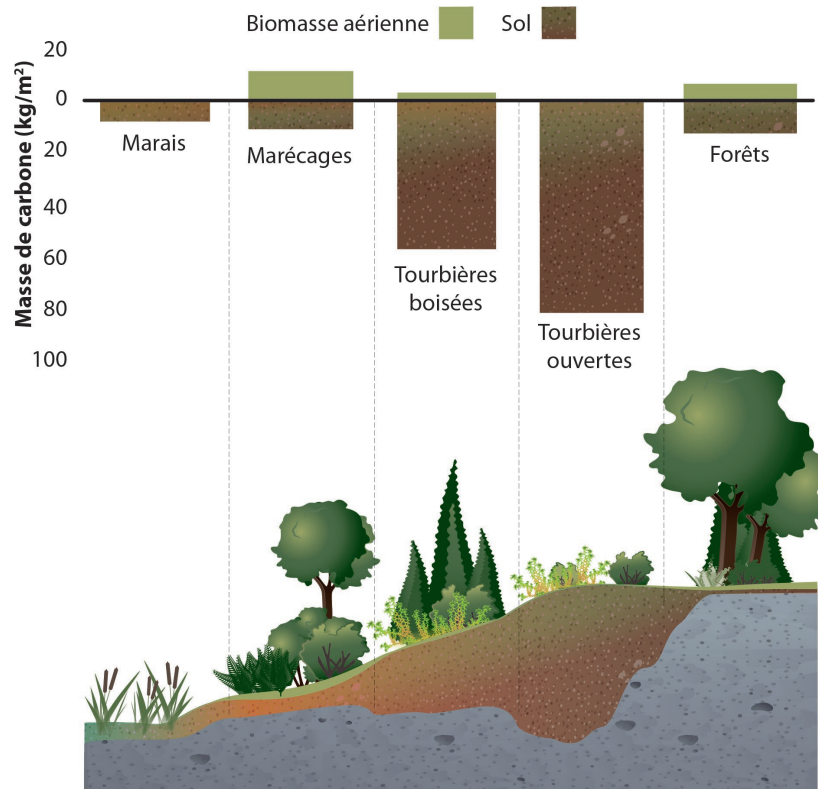


Figure 2. Répartition du carbone dans les sols et la biomasse aérienne des différents types de milieux humides en comparaison avec les forêts sur sols non hydromorphes (source des données : laboratoire C-PALEO). La classification des milieux humides utilisée pour synthétiser les données est celle présentée dans Lachance et collab. (2021).

Quantifier un stock de carbone dans un milieu humide

La méthode présentée dans ce guide vise à récolter les données permettant de quantifier le carbone entreposé dans les sols et la biomasse ligneuse aérienne des tourbières, marécages et marais. Cette méthode ne s'applique pas aux étangs, qui ont une dynamique de stockage du carbone organique distincte en eau peu profonde, ni aux milieux humides pergélisolés.

Les stocks de carbone sont estimés à partir de mesures de la **masse de carbone organique du sol (COS)** et de la **masse de carbone de la biomasse ligneuse (CBL)** à différentes stations d'inventaire. La masse de COS est calculée à l'aide d'une synthèse de données de densité de carbone (Magnan et collab., 2023). La masse de CBL est calculée à partir d'**équations allométriques** adaptées aux différentes espèces d'arbres et d'arbustes (ex. : Lambert et collab., 2005). Les valeurs de masse de carbone calculées à différentes stations d'inventaire peuvent ensuite être extrapolées à l'ensemble de la superficie d'un milieu humide pour obtenir une valeur de stock de carbone (figure 3).

La méthode consiste en trois étapes :

1. Élaboration de la stratégie d'inventaire
2. Inventaire sur le terrain
3. Calcul des masses et des stocks de carbone

Le présent guide décrit en détail les deux premières étapes. La troisième étape est présentée brièvement dans ce guide et la procédure détaillée est disponible sur le [site Web du MELCCFP](#).

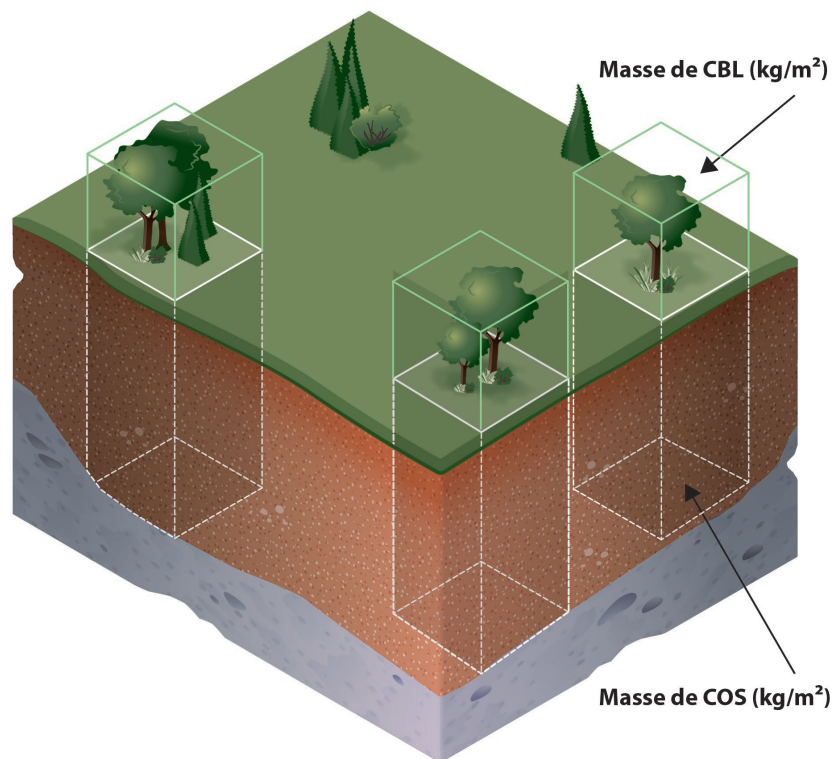
Calcul des masses et stocks de carbone

Densité de COS (kg/m^3) : Quantité de carbone organique du sol par unité de volume.

Masse de COS (kg/m^2) : Densité moyenne de carbone (kg/m^3) multipliée par l'épaisseur (m) du dépôt organique.

Masse de CBL (kg/m^2) : Somme des quantités de carbone entreposées dans les arbres et grands arbustes (composantes aériennes) pour une surface donnée.

Stock de carbone (kg ou t) : Pour un écosystème entier ou en partie (ex. : tourbière) – masse moyenne de COS et de CBL (kg/m^2) de plusieurs stations d'inventaire multipliée par la superficie d'un milieu humide.



$$\text{Stock de carbone (kg)} = \text{masse moyenne de carbone (kg}/\text{m}^2) \times \text{superficie (m}^2)$$

Figure 3. Schéma représentant le calcul du stock de carbone dans une tourbière, à partir des mesures de masse de carbone (COS et CBL) dans plusieurs stations d'inventaire.

Procédure pour l'inventaire des stocks de carbone

Des documents utiles en lien avec ce guide, dont un formulaire papier pour les inventaires, sont disponibles sur le [site Web du MELCCFP](#).

Stratégie d'inventaire

Pour obtenir une valeur représentative du stock de carbone d'un milieu humide, l'équipe de recherche du laboratoire C-PALEO (Centre Geotop-UQAM) suggère, à partir des analyses réalisées, l'effort d'inventaire suivant en fonction de la superficie de l'**unité de végétation homogène (UVH)**¹ :

- <1 hectare : 3 stations par hectare;
- 1-10 hectares : 1 station par hectare;
- 10-100 hectares : 1 station par 3 hectares;
- >100 hectares : 1 station par 10 hectares.

Ces recommandations s'appliquent à des UVH dans lesquelles le dépôt organique et le couvert végétal ligneux (arbres et arbustes) sont relativement homogènes. Un effort d'inventaire plus élevé peut s'avérer nécessaire afin d'obtenir une valeur plus précise du stock de carbone, notamment lorsque les épaisseurs du dépôt organique sont très variables au sein d'une même UVH. Il est aussi possible de réduire l'effort d'inventaire, en particulier pour une UVH de grande superficie (>100 hectares), lorsqu'elle est assez homogène.

Lorsque les inventaires visent à quantifier le stock de carbone à l'échelle d'un grand complexe de milieux humides comportant de nombreuses UVH (de types, formes et superficies variables), il est possible de réduire l'effort d'inventaire en additionnant les superficies des UVH similaires d'un même type de milieu humide et non pas en considérant chaque UVH comme étant distincte.

Les stations d'inventaire, qui correspondent à des placettes de 100 m², doivent être positionnées afin de couvrir de façon optimale l'ensemble de l'UVH, en utilisant une grille de points, pour bien caractériser la variabilité de la topographie et de l'épaisseur du dépôt organique. Cette étape peut être réalisée à l'aide d'outils géomatiques (figure 4).

¹ Pour plus de détails sur les UVH, se référer au guide *Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional* ([Lachance et collab., 2021](#)).



Figure 4. Exemples de stratégies d'inventaire des masses de carbone visant à quantifier le stock de carbone dans des milieux humides de différentes superficies. Les stations sont placées aléatoirement à l'intérieur de chaque carré de la grille.

Les inventaires doivent être réalisés à une période de l'année permettant l'acquisition de données fiables. Les milieux humides sont souvent inondés au printemps, ce qui peut nuire aux mesures de l'épaisseur du dépôt organique. La période la plus propice pour inventorier la biomasse ligneuse est lorsque les arbres et les arbustes ont un feuillage, ce qui facilite leur identification.

Lors de la visite sur le terrain, les stations peuvent être déplacées lorsque la position initiale est inaccessible ou si des perturbations sont observées. Comme cette méthode s'applique aux milieux humides naturels, les stations devraient être localisées suffisamment loin des perturbations pouvant affecter l'hydrologie du site et le couvert végétal ligneux (fossés, drains, remblais, lignes électriques, sentiers, coupes forestières, etc.). De plus, les stations situées trop près des limites du milieu humide ou d'un écotone entre deux UVH devraient être déplacées.

Inventaire pour quantifier la masse de carbone organique du sol (COS)

Matériel nécessaire

- Pelle
- Tarière pédologique
- Ruban à mesurer
- Sonde Oakfield avec tiges d'extension (un minimum de 7 mètres est recommandé)

Les inventaires sont réalisés à l'intérieur d'une placette de 100 m² (10 m × 10 m) et de quatre sous-placettes de 25 m² (5 m × 5 m). Il est important de bien délimiter la placette et les sous-placettes pour s'assurer que leur superficie est la plus exacte possible afin d'éviter des erreurs dans le calcul de la masse de carbone par unité de surface en kg/m² (figure 5).

Pour calculer la masse de COS, trois mesures d'épaisseur du dépôt organique doivent être effectuées aléatoirement à l'intérieur de trois sous-placettes de 25 m², en s'assurant de laisser une distance minimale de 5 mètres entre les trois points de mesure (figure 5).

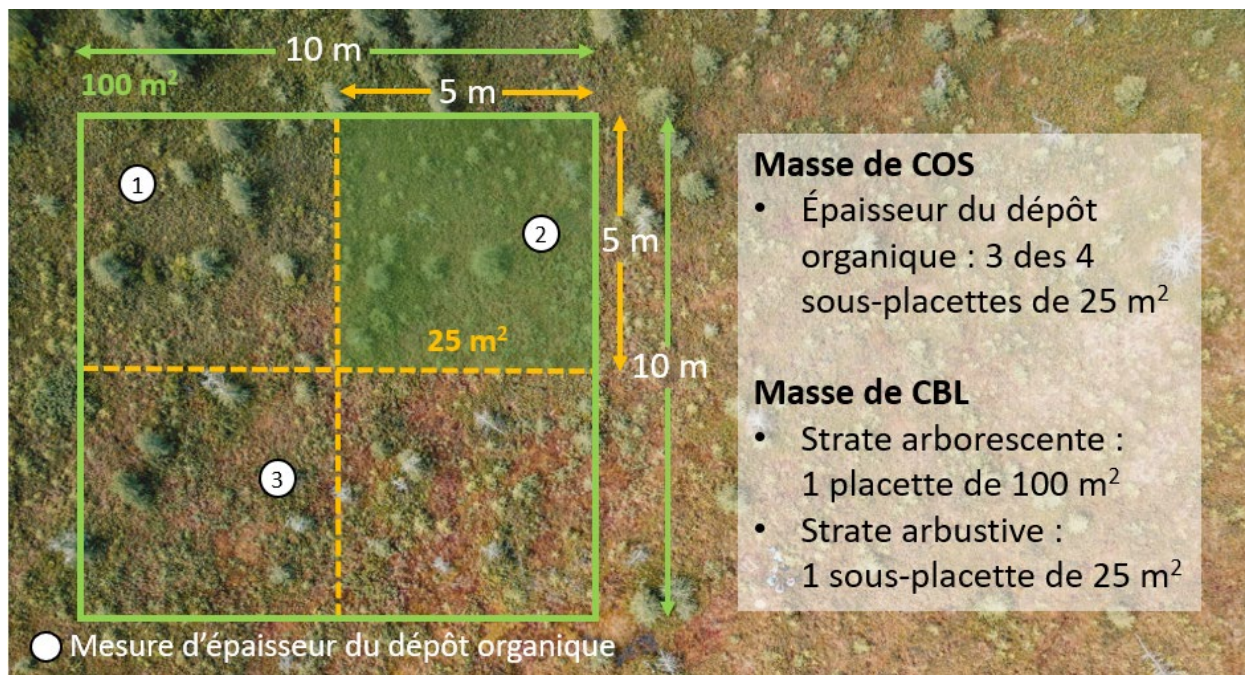


Figure 5. Schéma synthèse des mesures de COS et de CBL à effectuer à une station d'inventaire.

Techniques de mesure de l'épaisseur du dépôt organique

La mesure de l'épaisseur du dépôt organique doit inclure la litière et le dépôt dominé par la matière organique (>50 %), qui se distingue par sa couleur foncée, généralement brune ou noire, liée à l'abondance de la matière organique (figure 6).

Marais et marécages

Dans les marais et les marécages, où se trouve un dépôt organique mince (< 30 cm), la mesure de l'épaisseur du dépôt devrait idéalement s'effectuer sur un **profil de sol** réalisé avec une pelle. Une tarière pédologique ou une sonde de type Oakfield peuvent aussi être utilisées. Dans les sols hydromorphes minéraux des marais et des marécages, il est parfois difficile de distinguer la transition entre le dépôt organique et le **dépôt minéral** sous-jacent. L'absence de dépôt organique est également commune dans les marais et les marécages littoraux.

Tourbières

Dans une tourbière, l'épaisseur du dépôt organique est mesurée à l'aide d'une sonde Oakfield avec des tiges d'extension (figures 6 et 7). La sonde doit être enfoncée dans le dépôt organique jusqu'à ce qu'une forte résistance soit rencontrée, ce qui indique l'atteinte du dépôt minéral ou de la roche-mère à la base (**refus minéral net**). Le dépôt organique est généralement beaucoup plus facile à pénétrer avec la sonde que le dépôt minéral sous-jacent. La longueur totale de la sonde enfoncée doit être mesurée jusqu'au contact minéral. Pour faciliter les mesures, les tiges de la sonde Oakfield peuvent être graduées à intervalles de 50 cm. Après avoir retiré la sonde du sol, il est nécessaire d'identifier le contenu de la cuillère pour valider le contact entre le dépôt organique et le dépôt minéral (figure 6). La cuillère de la sonde Oakfield doit être vidée et nettoyée entre chaque mesure.



Figure 6. Mesure de l'épaisseur d'un dépôt organique dans différents types de milieux humides. Les lignes tiretées orange représentent la zone de contact entre le dépôt organique et le dépôt minéral.

Mesure du dépôt organique : cas particuliers

Dépôt minéral à particules fines

Une précaution supplémentaire s'impose lorsque le dépôt minéral est composé de particules fines (ex. : argiles ou sables fins). Le refus peut alors être beaucoup moins net que dans le cas d'un dépôt minéral grossier (ex. : graviers). Il se peut alors que la sonde pénètre trop profondément dans le dépôt minéral, ce qui peut entraîner une surestimation de la masse de COS. Si la sonde semble avoir pénétré trop profondément, par exemple lorsque la cuillère est remplie de sables fins ou d'argiles, une autre mesure doit être effectuée à une profondeur moindre afin que la transition organique/minérale soit clairement identifiée dans la cuillère.

Blocage par matériel ligneux

La présence de matériel ligneux (ex. : souches ou racines) dans le dépôt organique peut empêcher l'enfoncement de la sonde jusqu'au dépôt minéral (voir l'exemple de blocage dans la figure 7). Lorsqu'un tel blocage survient avant d'atteindre le dépôt minéral, une deuxième tentative de mesure doit être effectuée à un autre endroit à l'intérieur de la sous-placette de 25 m². Il faut tenter d'atteindre le dépôt minéral sous-jacent pour confirmer l'épaisseur réelle du dépôt organique, car un blocage peut entraîner une sous-estimation importante de la masse de COS d'une station d'inventaire.

Dépôt minéral très dur ou roche-mère

Si la sonde atteint une surface très dure semblant correspondre au dépôt minéral ou à la roche-mère, mais qu'il est impossible de récolter le dépôt minéral, cette mesure devrait tout de même être considérée comme un refus minéral net et non pas comme un blocage. Dans ce cas, la profondeur atteinte avec la sonde correspond à l'épaisseur réelle du dépôt organique.

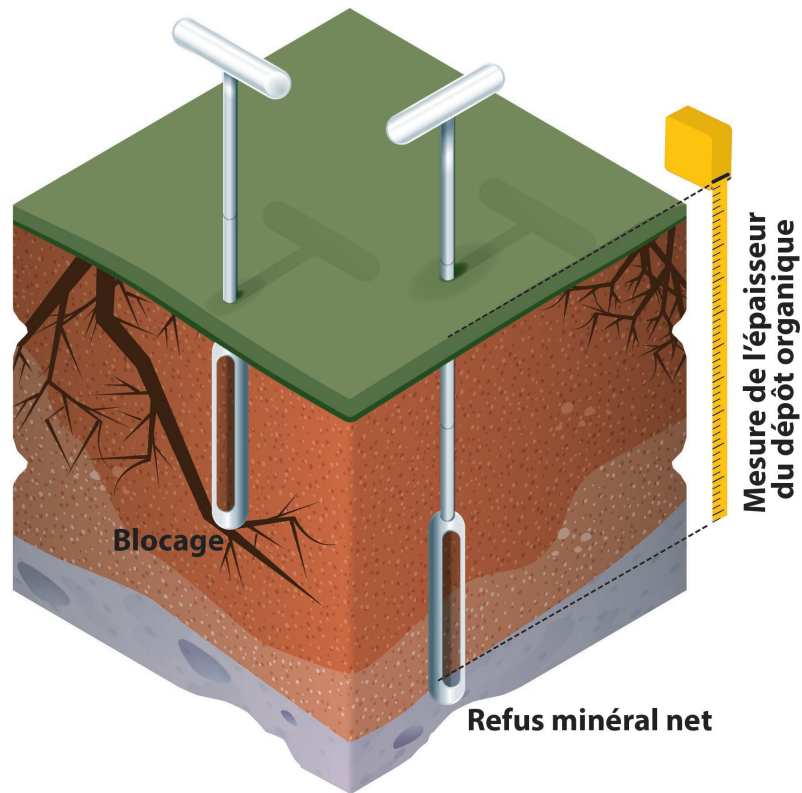


Figure 7. Exemples d'un blocage lors de l'enfoncement de la sonde dans le dépôt organique (à gauche) et d'un refus minéral net lorsque le dépôt minéral sous-jacent est atteint (à droite).

Le degré de décomposition (fibrique/mésique/humique) doit également être déterminé lorsque l'épaisseur du dépôt organique est supérieure à 30 cm (Figure 8). Une seule mesure du degré de décomposition est requise par station. Cette mesure doit être effectuée dans l'étage intermédiaire du dépôt organique (50-100 cm de profondeur) à l'aide d'une tarière pédologique. Si l'épaisseur du dépôt organique est inférieure à 50 cm, le niveau de décomposition moyen de l'entièreté du dépôt doit être noté. Comme la densité de carbone augmente avec le degré de décomposition de la matière organique, cette information peut permettre d'accroître la précision des calculs de la masse de COS (Magnan et collab., 2023). Une description de la méthode d'estimation visuelle du degré de décomposition de la matière organique en utilisant l'échelle de von Post est fournie à l'annexe 1.

Il est recommandé de prendre des photos des échantillons prélevés dans la tarière ou la sonde Oakfield. Les photos devraient montrer 1) l'échantillon de matière organique prélevé pour déterminer le degré de décomposition de von Post et 2) la zone de contact entre le dépôt organique et le dépôt minéral.



Figure 8. Degrés de décomposition de la matière organique: fibrique, mésique et humique. (Voir l'échelle de von Post à l'annexe 1.)

Inventaire pour quantifier la masse de carbone de la biomasse ligneuse (CBL)

Pour calculer la masse de CBL, la biomasse ligneuse aérienne doit être estimée à l'intérieur de la placette de 100 m² pour la strate arborescente (tiges d'une hauteur >4 m) et dans une sous-placette de 25 m² pour la strate arbustive (tiges d'une hauteur comprise entre 1,3 m et 4 m) (figure 5). Seules les tiges ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) minimal de 1 cm doivent être mesurées. Les petits arbustes (hauteur <1,3 m ou DHP <1 cm) sont exclus des estimations, car ils ne représentent qu'une proportion négligeable (<1 %) de la masse totale de carbone d'une station. De plus, les tiges des arbres et arbustes morts sont exclues des inventaires.

Chaque arbre ou grand arbuste vivant doit être identifié à l'espèce et son DHP doit être mesuré pour pouvoir estimer la masse de CBL à partir des équations allométriques. Pour la plupart des espèces arbustives, la mesure du diamètre à hauteur de souche (DHS) de la tige est également requise pour pouvoir estimer la masse de CBL (voir la liste des taxons dans l'annexe 2).

Le DHP et le DHS sont mesurés à l'aide d'un ruban circonférentiel ou d'un compas forestier (figure 9). Il est aussi possible de mesurer la circonférence des tiges à l'aide d'un ruban à mesurer conventionnel et de diviser le résultat par π (3,1416) pour obtenir le diamètre. Le DHP est mesuré perpendiculairement à l'axe du tronc à une hauteur de 1,3 m au-dessus du sol. Si le tronc présente une irrégularité (ex. : bosse, nœud, ou cicatrice) à cette hauteur, le DHP doit être mesuré au-dessus ou en dessous de la déformation, le plus près possible de la hauteur de référence (figure 9). S'il y a une fourche à hauteur de poitrine, le DHP est mesuré sous la division des tiges. Si la fourche se trouve en dessous de la hauteur de référence de 1,3 m, le DHP de chaque tige est mesuré comme un individu distinct (D'Eon et collab., 1994). La mesure du DHS, pour sa part, doit être effectuée à la base de la tige à une hauteur de 15 cm par rapport à la surface du sol. Si un arbuste a une croissance en bouquet à partir du **collet** (ex. : aulne), chaque tige est mesurée individuellement. À l'inverse, lorsque les tiges se séparent au-delà de 15 cm de hauteur, seule la tige principale sous-jacente est mesurée (figure 9).

À chaque station, il est recommandé de prendre des photos (1) de la vue d'ensemble, (2) des strates basses <1,3 m (muscinale et herbacée), (3) de la strate arbustive (1,3 m à 4 m) et (4) de la strate arborescente >4 m. La prise de ces photos est essentielle, notamment pour la validation des types de milieux humides inventoriés après le travail de terrain, car cette information est requise lors du calcul des masses de COS.



Figure 9. Emplacement des mesures de A) DHP et B) DHS, selon différents scénarios de croissance des tiges des arbres et arbustes.

Calcul des masses et des stocks de carbone

La procédure détaillée pour effectuer le calcul des valeurs de masses et de stocks de carbone (COS et CBL) des milieux humides à partir des mesures effectuées sur le terrain est disponible sur le [site Web du MELCCFP](#). Il est important de suivre cette procédure afin de standardiser les données à des fins d'analyse et de comparaison. Un aperçu des grandes étapes de calcul est présenté ci-dessous.

Masse de COS par station d'inventaire

Pour pouvoir effectuer le calcul de la masse de COS, il est nécessaire d'identifier le type de milieu humide en suivant les critères présentés dans le guide *Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional* (Lachance et collab., 2021). Les classes de milieux humides utilisées pour les calculs sont présentées dans l'annexe 3 du présent guide.

La masse de COS d'une station d'inventaire est calculée à partir de l'épaisseur moyenne des trois mesures du dépôt organique. Les calculs ont été développés pour chaque type de milieu humide à partir d'une base de données de densités de COS provenant d'analyses de carottes de sol en laboratoire (Magnan et collab., 2023). La masse de COS (kg/m^2) est calculée à partir de ces données, en multipliant l'épaisseur moyenne du dépôt organique (m) par la valeur moyenne de densité de COS (kg/m^3) ou en utilisant l'équation de la relation linéaire entre l'épaisseur du dépôt organique et la masse de COS.

La précision des calculs est plus élevée pour les tourbières que pour les marais et les marécages, car la densité et la masse de COS sont moins bien documentées dans ces derniers types de milieux humides. Si l'objectif de l'inventaire est d'obtenir des valeurs précises de masse de COS, il est recommandé d'échantillonner des carottes de sol et d'effectuer des analyses de densité de carbone en laboratoire (voir Magnan et collab., 2023), particulièrement pour les marécages et les marais où il peut être plus difficile d'estimer visuellement l'épaisseur du dépôt organique.

Masse de CBL par station d'inventaire

L'utilisation d'équations allométriques permet de convertir les mesures de DHP (ou de DHS) en biomasse ligneuse aérienne totale (kg) pour une station d'inventaire. Une équation distincte est utilisée pour chaque espèce (ou groupe d'espèces) d'arbre ou d'arbuste présente dans la station d'inventaire. La masse de CBL (kg/m^2) est ensuite calculée en multipliant la valeur de biomasse obtenue (kg) par la valeur standard de 50 % de contenu en carbone (GIEC, 2006), puis en la divisant par la superficie (m^2) de la station.

Stock de carbone

Le stock de carbone (kg ou t) d'une UVH est calculé en multipliant la valeur moyenne de la masse totale de carbone (COS + CBL) de toutes les stations inventoriées par la superficie de cet UVH. Les stocks de carbone des différentes UVH peuvent ensuite être additionnés afin d'obtenir une valeur à l'échelle d'un complexe de milieux humides.

Pour plus d'informations...

En cas de questions concernant la méthode de collecte de données ou de calcul, le lecteur pourra contacter la Direction des milieux humides du MELCCFP à l'adresse suivante :

milieuxhumides@environnement.gouv.qc.ca.

Références bibliographiques

- D'EON, S.P., MAGASI, L.P., LACHANCE, D., DESROCHERS, P. (1994). Canada's National Forest Health Monitoring Plot Network Manual on Plot Establishment and Monitoring (Revised). *Petawawa National Forestry Institute: Ontario, CA, USA*.
- DREVER, C.R., COOK-PATTON, S.C., AKHTER, F. et collab. (2021). « Natural climate solutions for Canada ». *Science Advances*, 7: 1-13. [<https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/sciadv.abd6034>].
- FAO (2017). *Carbone Organique du Sol: une richesse invisible*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. [<https://www.fao.org/3/i6937FR/i6937fr.pdf>].
- GARNEAU, M., VAN BELLEN, S. (2016) Synthèse de la valeur et de la répartition du stock de carbone terrestre au Québec, Rapport final présenté au Ministère du développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Chaire DÉCLIQUE, Centre Géotop et Département de géographie, Université du Québec à Montréal, 36 pages et annexes, [https://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/rapport_final.pdf]
- GIEC (2006). *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, Chapitre 8 : Établissements. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/4_Volume4/V4_08_Ch8_Settlements.pdf].
- LACHANCE, D., FORTIN, G., DUFOUR TREMBLAY, G. (2021) Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional - version décembre 2021, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction adjointe de la conservation des milieux humides, Québec, 70 pp. + annexes, [<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-identif-dellimit-milieux-humides.pdf>].
- LAMBERT, M.C., UNG, C.H., RAULIER, F. (2005) Canadian national tree aboveground biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 1996–2018.
- MAGNAN, G., GARNEAU, M., BEAULNE, J., LAVOIE, M., PELLERIN, S., PERRIER, L., RICHARD, P.J.H., SANDERSON, N. (2023) A simple field method for estimating the mass of organic carbon stored in undisturbed wetland soils. *Mires and Peat*, 29: 1-13.
- RYDIN, H., J.K. JEGLUM (2013). *The biology of peatlands*, Second Edition, Oxford University Press, 382 pages.
- SAUCIER, J.P., BERGER, J.-P., D'AVIGNON, H., RACINE, P. (1994). Le point d'observation écologique (pp. 1-126). Gouvernement du Québec, Ministère des ressources naturelles.
- SHUKLA, P.R., SKEA, J., CALVO BUENDIA, E. et collab. (2019). IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

TAILLARDAT, P., THOMPSON, B.S., GARNEAU, M, TROTTIER, K, FRIESS, D.A. (2020). « Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration ». *Interface Focus*, 10, 20190129 [<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsfs.2019.0129>].

Glossaire

Biomasse aérienne	Poids sec de la matière végétale contenue au-dessus du sol, incluant notamment les tiges, les souches, les branches, l'écorce et le feuillage.
Carbone organique dissous (COD)	Ensemble du carbone contenu dans les molécules organiques que l'on retrouve sous forme dissoute, c'est à dire mobile dans l'eau.
Carbone organique du sol (COS)	Portion du carbone qui demeure dans le sol à la suite de la décomposition partielle de la biomasse végétale.
Collet	Point de transition entre les racines et le tronc.
Condition aérobie	Milieu dans lequel l'oxygène est disponible, permettant ainsi l'oxydation de la matière organique et la transformation du carbone en dioxyde de carbone (CO ₂).
Condition anaérobie	Désigne l'absence d'oxygène dans un milieu.
Décomposition	Processus de dégradation de la matière organique en composés simples organiques et inorganiques. La matière organique se décompose beaucoup plus lentement sous conditions anaérobiques que sous conditions aérobiques.
Dépôt organique	Accumulation de matière organique dans le sol.
Dépôt minéral	Dépôt meuble sur lequel s'est développé le milieu humide (ex. argiles, sables, graviers). Le contact entre le dépôt organique et le dépôt minéral est confirmé par un refus minéral net lors de l'enfoncement d'une sonde.
Équation allométrique	Équation permettant d'estimer la biomasse d'une espèce ligneuse (arbre ou arbuste) à partir de mesures effectuées sur le terrain telles que le diamètre de la tige (hauteur de poitrine ou de souche).
Gaz à effet de serre (GES)	Gaz présents dans l'atmosphère terrestre qui ont la propriété d'absorber le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, contribuant ainsi au réchauffement climatique. Les plus importants GES sont le dioxyde de carbone (CO ₂), le méthane (CH ₄) et le protoxyde d'azote (N ₂ O).
Hydromorphe	Caractéristique d'un sol dont la formation est influencée par une saturation en eau temporaire ou permanente.
Marais	Milieu humide inondé de façon permanente, semi-permanente ou temporaire. Un marais est dominé par une végétation herbacée (émergente, graminéoïde ou latifoliée) croissant sur un sol minéral ou organique et la strate d'arbres et d'arbustes couvre moins de 25 % de sa superficie.
Marécage	Milieu humide dominé par une végétation ligneuse (arbustive ou arborescente) couvrant plus de 25 % de la superficie, croissant sur un sol minéral de mauvais ou très mauvais drainage. Le marécage peut être soumis

à des inondations saisonnières ou être caractérisé par un sol saturé en eau de façon permanente ou temporaire.

Matière organique

Matière carbonée produite par les organismes vivants (animaux, végétaux ou micro-organismes) qui se décompose et peut s'accumuler dans le sol. La matière organique du sol est la fraction constituée de débris végétaux à différents niveaux de décomposition (ex. fibrique, mésique, humique).

Refus minéral net

Forte résistance rencontrée lors de l'enfoncement d'une sonde dans un dépôt organique qui indique l'atteinte du dépôt minéral ou de la roche-mère à la base.

Profil de sol

Coupe verticale montrant tous les horizons d'un sol incluant les fractions organiques et minérales.

Stockage du carbone

Entreposage à long terme du carbone dans les sols et la biomasse végétale des milieux humides. Le carbone stocké est retiré de l'atmosphère, ce qui contribue à réduire les GES et ainsi à atténuer le réchauffement climatique.

Tourbe

Accumulation de matière organique partiellement décomposée issue de plantes mortes (ex. sphaignes, mousses brunes, bois) sous des conditions saturées en eau. La tourbe correspond au dépôt organique épais (>30 cm) et exclut le couvert végétal vivant.

Tourbière

Milieu humide où le processus d'accumulation de la matière organique prévaut sur les processus de décomposition, résultant en la formation d'un dépôt organique d'une épaisseur minimale de 30 cm (tourbe).

Tourbière boisée

Tourbière constituée d'arbres de plus de 4 m de hauteur avec un couvert égal ou supérieur à 25 %.

Tourbière ouverte

Tourbière non boisée dans laquelle les arbres de plus de 4 m de hauteur couvrent moins de 25 % de la superficie du milieu.

Unité de végétation homogène

Zone humide à l'intérieur de laquelle le type de milieu et la végétation est homogène. Plusieurs unités de végétation homogènes (UVH) différentes peuvent être présentes à l'intérieur d'un complexe de milieux humides. Pour plus de détails, se référer au guide *Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional* ([Lachance et collab., 2021](#)).

Liste des abréviations et symboles

C	Carbone
CBL	Carbone de la biomasse ligneuse
CH₄	Méthane
CO₂	Dioxyde de carbone
COD	Carbone organique dissous
COS	Carbone organique du sol
DHP	Diamètre à hauteur de poitrine
DHS	Diamètre à hauteur de souche
GES	Gaz à effet de serre
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
PEV	Plan pour une économie verte
UQAM	Université du Québec à Montréal
UVH	Unité de végétation homogène

Annexe 1 – Échelle de décomposition de von Post

CLASSE	DESCRIPTION
Fibrique	
1	Couche de mousse vivante, qui ne peut être considérée comme de la tourbe.
2	Tourbe morte, dont la structure végétale est complète. Solution jaunâtre et claire. L'échantillon est spongieux et élastique; il reprend sa forme après avoir été pressé.
3	Matière végétale très facile à distinguer. Solution jaune renfermant quelques débris végétaux. Coloration plus sombre, bonne élasticité.
4	Matière végétale en voie de décomposition. Solution brun pâle renfermant des débris végétaux. L'échantillon garde parfaitement l'empreinte des doigts entre lesquels aucune tourbe ne s'écoule.
Mésique	
5	Matière végétale amorphe et non structurée. Solution nettement brune. Lorsqu'on presse l'échantillon, il s'en écoule une petite quantité entre les doigts.
6	Plus de la moitié de l'échantillon est décomposée. Solution brun foncé. Lorsqu'on presse l'échantillon, il s'en écoule environ le tiers entre les doigts.
Humique	
7	Impossible de distinguer la matière végétale originale. Lorsqu'on presse légèrement l'échantillon, il s'en écoule un peu de solution très foncée et, quand on le presse plus fortement, on en perd plus de la moitié.
8	Si l'échantillon est pressé délicatement, il ne s'en échappe pas plus des deux tiers.
9	Échantillon très homogène et amorphe, ne renfermant ni racine, ni fibre. Lorsqu'on le presse, on perd presque tout l'échantillon, mais il ne s'en écoule aucune solution.
0	Matière homogène, à consistance gélatineuse. Tout l'échantillon s'échappe lorsqu'on le presse. Ces sols très rares se retrouvent surtout dans de la tourbe sédimentaire.

Source : Le point d'observation écologique (Saucier et collab., 1994)

Annexe 2 – Liste des espèces communes des milieux humides du sud du Québec dont le DHS doit être mesuré

Taxon – nom commun	Taxon – nom scientifique
Amélanchiers	<i>Amelanchier spp.</i>
Aronie à fruits noirs	<i>Aronia melanocarpa</i>
Aubépines	<i>Crataegus spp.</i>
Bouleau nain	<i>Betula pumila</i>
Cerisier à grappes	<i>Prunus virginiana</i>
Cerisier de Pennsylvanie	<i>Prunus pensylvanica</i>
Chèvrefeuilles	<i>Lonicera spp.</i>
Cornouillers	<i>Cornus spp.</i>
Dirca des marais	<i>Dirca palustris</i>
Dièreville chèvrefeuille	<i>Diervilla lonicera</i>
Houx verticillé	<i>Ilex verticillata</i>
If du Canada	<i>Taxus canadensis</i>
Myrique baumier	<i>Myrica gale</i>
Némopanthe mucroné	<i>Nemopanthus mucronatus</i>
Nerpruns	<i>Rhamnus spp.</i>
Noisetier à long bec	<i>Corylus cornuta</i>
Physocarpe à feuilles d'obiers	<i>Physocarpus opulifolius</i>
Sorbiers	<i>Sorbus spp.</i>
Spirées	<i>Spiraea spp.</i>
Sumac vinaigrier	<i>Rhus typhina</i>
Sureaux	<i>Sambucus spp.</i>
Viornes	<i>Viburnum spp.</i>

Annexe 3 – Types de milieux humides utilisés pour le calcul des masses de COS (Magnan et collab., 2023).

Classes de milieux humides	Sous-classes de milieux humides	Végétation non-ligneuse commune	Végétation ligneuse commune
Tourbières	Bog ouvert	Sphaignes (ex., <i>Sphagnum fuscum</i> , <i>S. magellanicum</i>)	<i>Vaccinum</i> spp., <i>Rhododendron</i> spp., <i>Picea mariana</i> , <i>Larix laricina</i>
	Fen ouvert	Cyperacées, mousses brunes (ex., <i>Scorpidium</i> spp., <i>Straminergon</i> spp., <i>Warnstorfia</i> spp.)	<i>Andromeda polifolia</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Myrica gale</i>
	Tourbière boisée	Sphaignes (<i>Sphagnum capillifolium</i> , <i>S. girgensohnii</i>), mousses hypnacées (ex., <i>Dicranum</i> spp., <i>Pleurozium schreberi</i>)	<i>Picea mariana</i> , <i>Larix laricina</i> , <i>Abies balsamea</i> , <i>Thuja occidentalis</i> , <i>Acer rubrum</i> , <i>Tsuga canadensis</i> , <i>Kalmia angustifolia</i> , <i>Rhododendron groenlandicum</i>
Marécages ¹	Marécage arborescent feuillu	Fougères (e.g. <i>Onoclea sensibilis</i> , <i>Osmunda regalis</i>), prêles (<i>Equisetum</i> spp.)	<i>Acer saccharinum</i> , <i>Acer rubrum</i> , <i>Salix</i> spp., <i>Ulmus</i> spp., <i>Fraxinus nigra</i> , <i>Fraxinus americana</i>
	Marécage arborescent coniférien	Mousses hypnacées (ex., <i>Dicranum</i> spp., <i>Pleurozium schreberi</i>)	<i>Picea mariana</i> , <i>Abies balsamea</i> , <i>Alnus</i> spp.
Marais ²	Marais eau douce	<i>Typha latifolia</i> , <i>Sagittaria latifolia</i> , <i>Pontederia cordata</i> , <i>Scirpus</i> spp., <i>Sparganium</i> spp., <i>Calamagrostis canadensis</i>	<i>Salix</i> spp., <i>Alnus incana</i> subsp. <i>rugosa</i>
	Marais eau salée	Spartines (ex., <i>Sporobolus alterniflorus</i> , <i>S. pumilus</i>), <i>Salicornia</i> spp.	<i>Myrica gale</i> , <i>Spiraea alba</i> var. <i>latifolia</i>

¹Il est parfois difficile de distinguer les marécages arborescents des tourbières boisées. Sur le terrain, le critère de l'épaisseur moyenne du dépôt organique (>30 cm pour les tourbières) permet de les distinguer.

²Les prairies humides sont incluses dans la catégorie des marais d'eau douce. Cette catégorie inclut à la fois les écosystèmes lotiques et lentiques.



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

Québec 