



MESURER LE CARBONE DANS LES SOLS NON TOURBEUX

GUIDE COMPLÉMENTAIRE



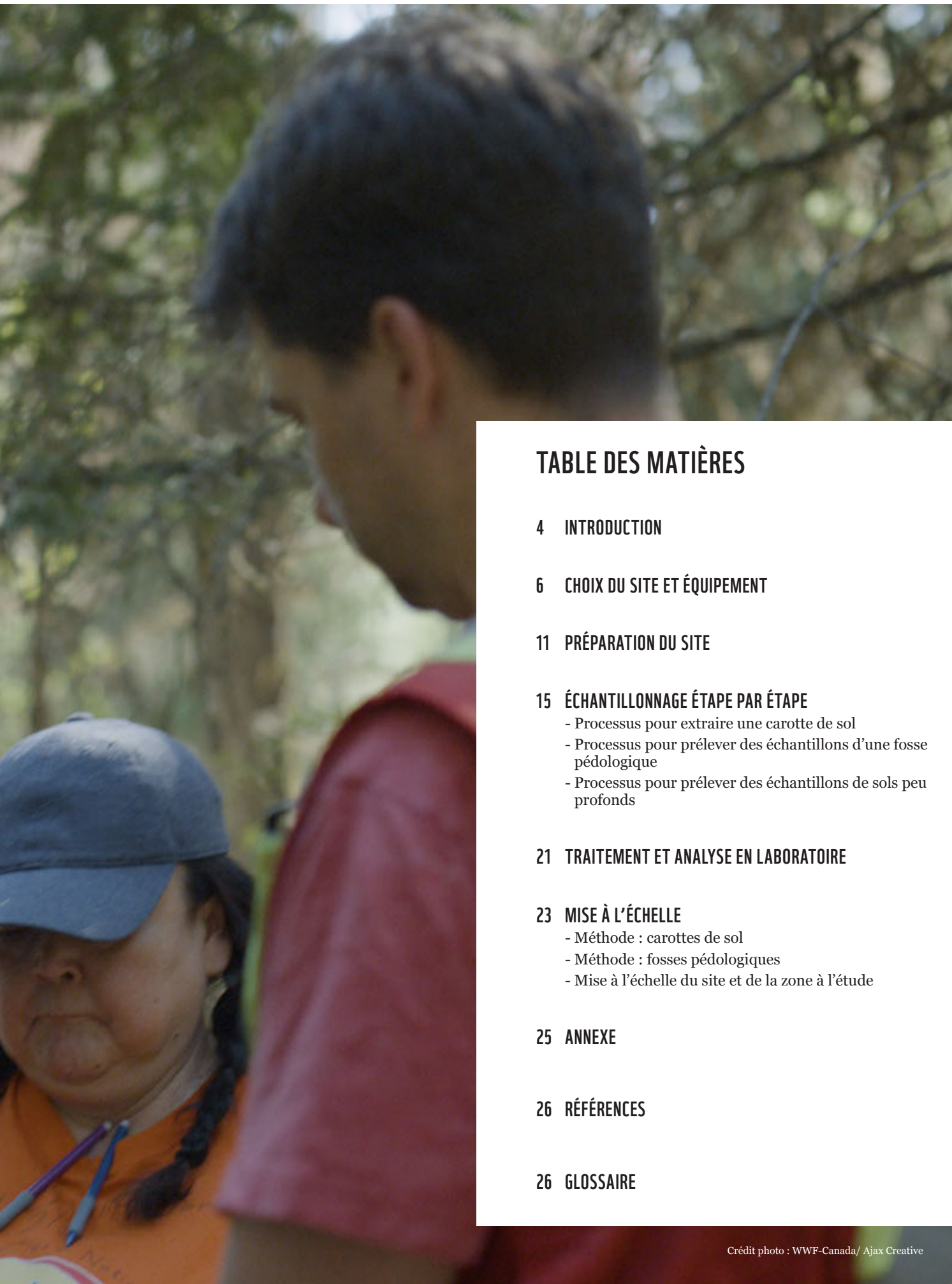


TABLE DES MATIÈRES

4 INTRODUCTION

6 CHOIX DU SITE ET ÉQUIPEMENT

11 PRÉPARATION DU SITE

15 ÉCHANTILLONNAGE ÉTAPE PAR ÉTAPE

- Processus pour extraire une carotte de sol
- Processus pour prélever des échantillons d'une fosse pédologique
- Processus pour prélever des échantillons de sols peu profonds

21 TRAITEMENT ET ANALYSE EN LABORATOIRE

23 MISE À L'ÉCHELLE

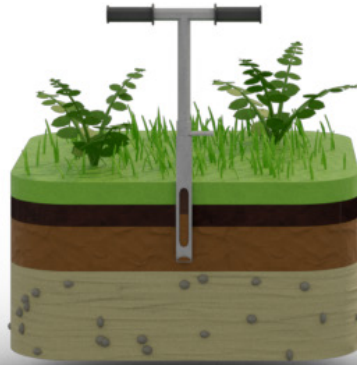
- Méthode : carottes de sol
- Méthode : fosses pédologiques
- Mise à l'échelle du site et de la zone à l'étude

25 ANNEXE

26 RÉFÉRENCES

26 GLOSSAIRE

MESURER LE CARBONE DANS LES SOLS NON TOURBEUX



INTRODUCTION

Le sol représente la plus grande réserve de carbone terrestre dans le cycle terrestre du carbone. Au Canada seulement, on estime que les sols non tourbeux contiennent plus de 208 milliards de tonnes de carbone dans le mètre supérieur. Les sols séquestrent le carbone à travers divers processus, notamment la photosynthèse et la sédimentation. Ces processus sont aussi responsables de recycler les nutriments, de purifier l'eau et de soutenir la biodiversité.

Depuis quelque temps, on assiste à un intérêt croissant pour la protection, la gestion responsable et la restauration des sols à titre de solutions climatiques basées sur la nature, en raison de leur capacité à capter et à stocker le carbone atmosphérique. Si le carbone est emmagasiné temporairement au-dessus du sol, soit le matériel végétal au sol de ces écosystèmes, la majorité du carbone est stocké pour de plus longues périodes dans les sols. Ainsi, pour estimer les stocks de carbone, nous devons d'abord creuser les sols en question!

ÉTAPES POUR LA MESURE PRÉCISE DES STOCKS DE CARBONE

Il y a deux méthodes plus courantes pour mesurer la quantité de carbone emmagasiné dans le sol des écosystèmes terrestres (p. ex., les forêts, les prairies herbeuses) : extraire des carottes de sol et creuser des fosses pédologiques. Une troisième méthode, pour l'échantillonnage des sols peu profonds, est aussi expliquée dans ce guide. Les trois méthodes atteignent des objectifs similaires, soit échantillonner le sol à différentes profondeurs et en analyser la masse volumique apparente et la teneur en carbone. Ces trois méthodes s'appliquent à des sols non saturés (c'est-à-dire au-dessus de la nappe phréatique).

Pour chacune de ces méthodes, il y a trois étapes pour obtenir des mesures précises du stock de carbone dans le sol :

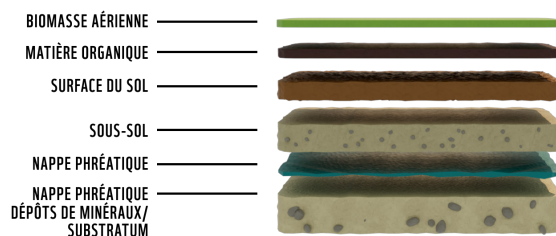
1. Séparer le sol en couches distinctes.
2. Déterminer la masse volumique apparente d'échantillons de chaque couche.
3. Calculer la teneur en carbone des échantillons.

Dans ce guide et la vidéo correspondante, nous démontrons comment échantillonner le sol sur le terrain et nous décrivons les analyses de laboratoire subséquentes nécessaires à l'obtention de valeurs de carbone. Planifiez adéquatement les analyses de laboratoire pour vous assurer que les données collectées atteignent les objectifs finaux du projet. Vous trouverez plus bas de l'information détaillée sur le traitement des échantillons pour les analyses scientifiques. Contactez le laboratoire tôt dans le processus pour connaître leurs exigences spécifiques.

Puisqu'il y a une grande diversité de types de sol à travers le pays, les outils nécessaires à votre site précis peuvent varier. Pour une liste exhaustive des autres techniques potentielles, consultez Bansal *et al.* (2023) et *The Blue Carbon Handbook* (2023).

1^{RE} ÉTAPE

SÉPARER LE SOL



2^E ÉTAPE

DÉTERMINER LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE



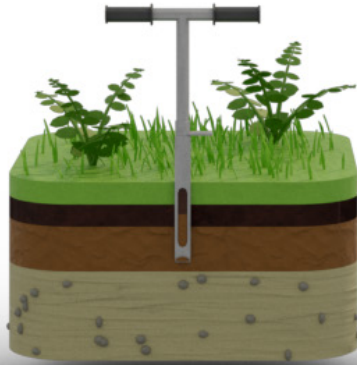
3^E ÉTAPE

CALCULER LA TENEUR EN CARBONE





CHOIX DU SITE ET ÉQUIPEMENT



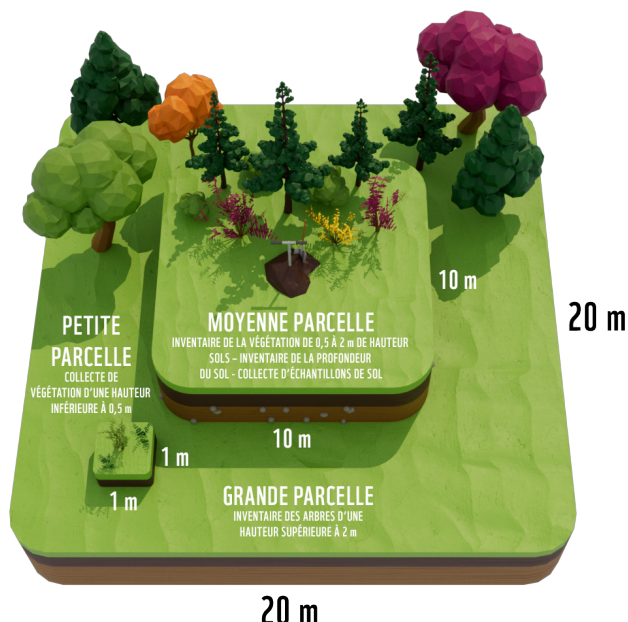


Diagramme schématisant d'un plan d'échantillonnage emboîté, où les sols sont échantillonnés au sein des trois types de végétation, dans les grandes, moyennes et petites parcelles correspondantes.

ÉCHANTILLONNAGE DE DIVERS RÉSERVOIRS DE CARBONE

L'équipe pourrait vouloir prélever des échantillons de différents réservoirs de carbone (p. ex., des arbres, de petits végétaux et des sols) d'une même zone. La méthode utilisée pour cela est celle du plan d'échantillonnage emboîté. En fait, il s'agit de délimiter des parcelles pour chaque réservoir de carbone qui se chevauche dans une zone à l'étude.

Le plan d'échantillonnage emboîté consiste à cartographier des parcelles selon la densité de la végétation (grande, moyenne, faible) et selon le carbone du sol avant de commencer l'échantillonnage. Dans les parcelles permanentes où les inventaires de surveillance du carbone auront lieu au même endroit pendant de nombreuses années, assurez-vous que l'échantillonnage du carbone du sol et toute autre technique d'échantillonnage « destructif » sont effectués en dehors des zones des parcelles où un échantillonnage non destructif est effectué (p. ex., les parcelles de végétation; voir le document « Guide complémentaire : plan d'échantillonnage » dans notre bibliothèque de ressources en ligne).

L'échantillonnage de tourbe est une technique d'échantillonnage destructive; pour autant, les relevés de végétation doivent être complétés **avant** que les échantillons de sol soient extraits dans tous les types de parcelles.

Pour les plus petites zones d'étude (p. ex., 50 hectares ou moins), un **relevé systématique de la profondeur des sols** à l'aide d'une sonde peut aider à sélectionner les sites d'étude et l'emplacement des parcelles. Les plus grandes zones d'étude (p. ex., 10 000 hectares ou plus) exigent l'utilisation d'un logiciel de cartographie pour la sélection de l'emplacement des parcelles. Plus de plus amples renseignements, voir le document « Guide complémentaire : plan d'échantillonnage », dans la bibliothèque en ligne.

Remarque : « La profondeur du sol » se réfère à la profondeur qui va de la surface du sol jusqu'au substratum, ou argile ferme, roche-mère ou autre couche sous-jacente.

Il existe deux façons de procéder à des relevés du site pour constater la variation dans la profondeur du sol. Ces deux méthodes sont décrites dans les étapes ci-dessous.

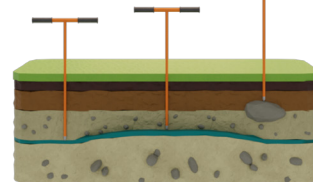
Avant d'extraire des carottes, il est important de réfléchir aux lieux de l'échantillonnage et à la logistique relative aux sites de carottage. Prenez en compte les éléments suivants :

- Où est située la zone à l'étude?
- Quelle est la superficie de la zone à l'étude?
- Quelles variations y a-t-il à travers la zone à l'étude?

Ces éléments aideront à définir les principaux aspects de la conception du projet, notamment :

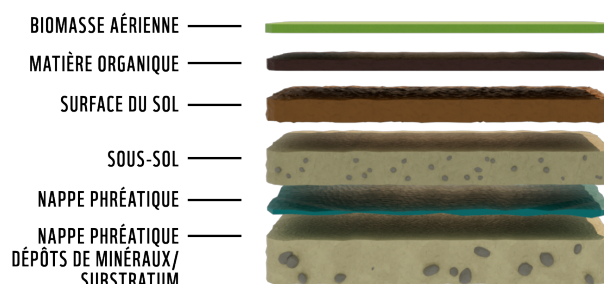
- Le nombre de sites requis au sein de la zone à l'étude
- L'emplacement des sites
- Le nombre de carottes à extraire dans chaque site
- La profondeur des carottes

SONDE POUR LE SOL



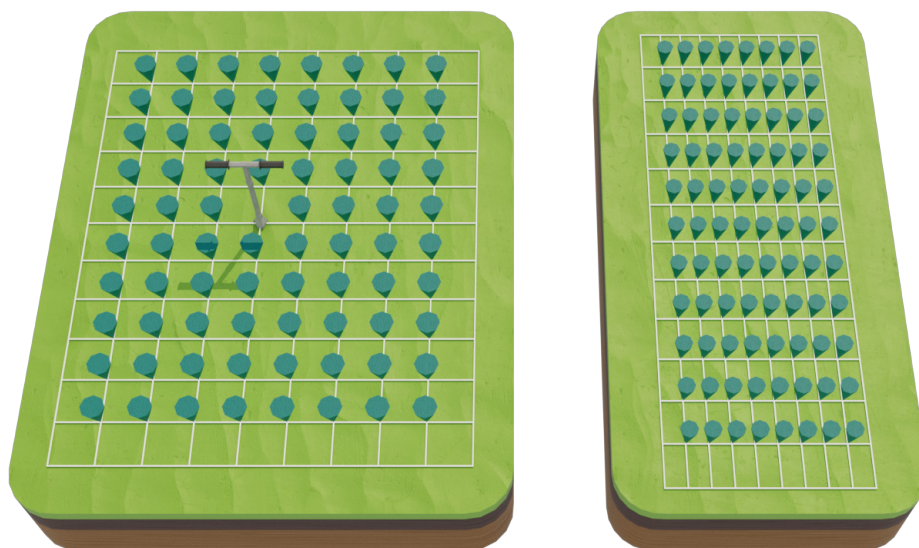
1^{RE} ÉTAPE

SÉPARER LE SOL



PREMIÈRE ÉTAPE : RELEVÉ SYSTÉMATIQUE DU SITE

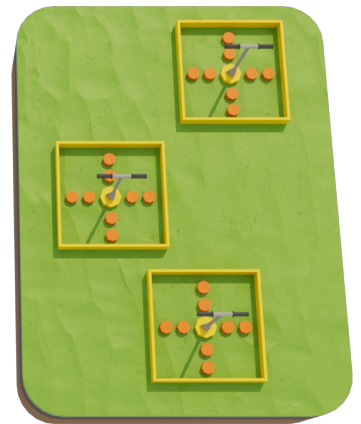
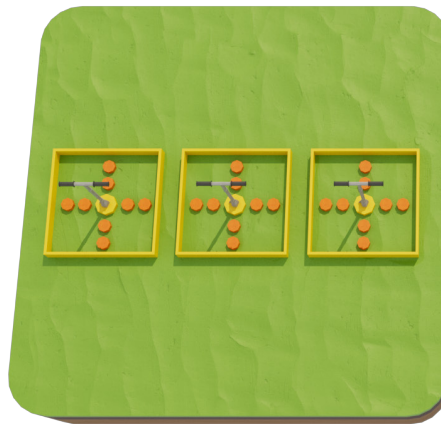
1. La première méthode, qui est prévue avant d'aller sur le terrain, implique de placer numériquement une grille sur le site. Sur le terrain, cette grille sert de carte où les profondeurs peuvent être mesurées avec une sonde à chaque intersection des lignes de la grille. Généralement, les lignes sont espacées de 10 à 25 m.
2. La seconde méthode consiste également à prélever des échantillons à 10 à 25 m d'intervalle, mais elle repose sur l'utilisation d'une boussole et d'un ruban à mesurer.
 - En commençant à une des extrémités du site, utilisez la boussole pour tirer un ruban à mesurer de 10 à 25 m à travers le site. Mesurez et consignez la profondeur du sol à chaque extrémité du ruban à mesurer. Ensuite, remplacez le ruban à mesurer sur les 10 à 25 m suivants, à partir du bout du ruban dans la même direction, et mesurez à nouveau la profondeur du sol à chaque extrémité du ruban à mesurer. Lorsque vous atteignez la limite du site, placez-vous perpendiculairement à la ligne actuelle et avancez de 10 à 25 m. Placez le ruban à mesurer dans la direction opposée, parallèlement à la première ligne, en continuant à prendre les mesures de la profondeur du sol à chaque extrémité du ruban. Répétez ces étapes pour l'ensemble du site afin d'obtenir la mesure de la profondeur du sol à chaque intersection de 10 à 25 m du site.



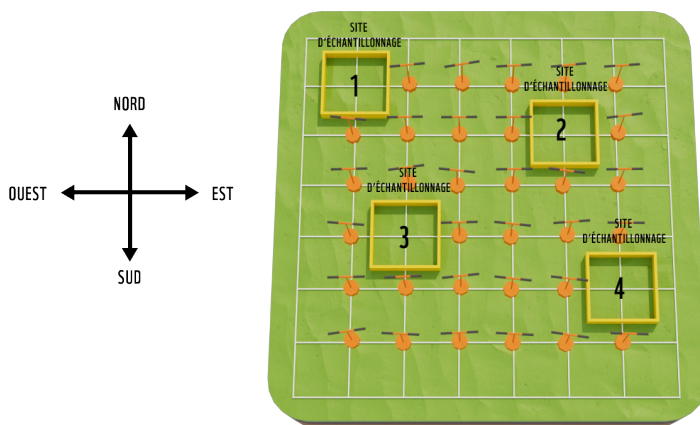
DEUXIÈME ÉTAPE : DÉLIMITATION DES PARCELLES

À même le site, les parcelles peuvent être établies dans diverses profondeurs de sol pour capter les variations à travers le site. Au sein de chaque parcelle, les profondeurs des sols sont mesurées à chaque intersection de ligne de la parcelle. L'objectif ici est de prendre des mesures de la profondeur du sol à chaque intersection de 1 m dans une parcelle de 10 m sur 10 m. Il existe deux méthodes principales pour y arriver.

1. La première méthode consiste à superposer numériquement une grille de 1 m sur 1 m à la parcelle et à relever la profondeur du sol à chaque intersection de la grille.



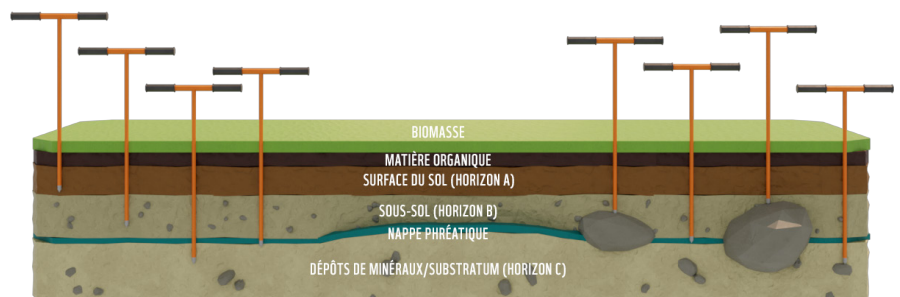
SCHEMA DE DÉLIMITATION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE



2. Une autre façon de procéder consiste à commencer au bord de la parcelle et à tirer un ruban à mesurer d'un côté à l'autre (10 m).

Tirez un deuxième ruban à mesurer perpendiculairement au premier, en commençant à une des extrémités du premier ruban. Prenez une mesure de la profondeur du sol à chaque mètre le long du deuxième ruban. Déplacez le ruban, un mètre à la fois, le long de la parcelle et continuez ce processus, ce qui revient à mesurer la profondeur à chaque intersection d'un mètre dans la parcelle.

Une sonde de sol est un outil utile pour faire un relevé du site avant de sélectionner un emplacement d'échantillonnage, et elle peut indiquer la profondeur de l'échantillonnage. Il est important de collecter suffisamment d'échantillons de sol pour représenter les variations de la profondeur du sol à travers les parcelles. Avec des carottes de moins de 30 cm, de multiples échantillons peuvent être pris dans une parcelle ou un transect pour capter les variations à travers la parcelle et obtenir des échantillons plus représentatifs du site à l'étude.

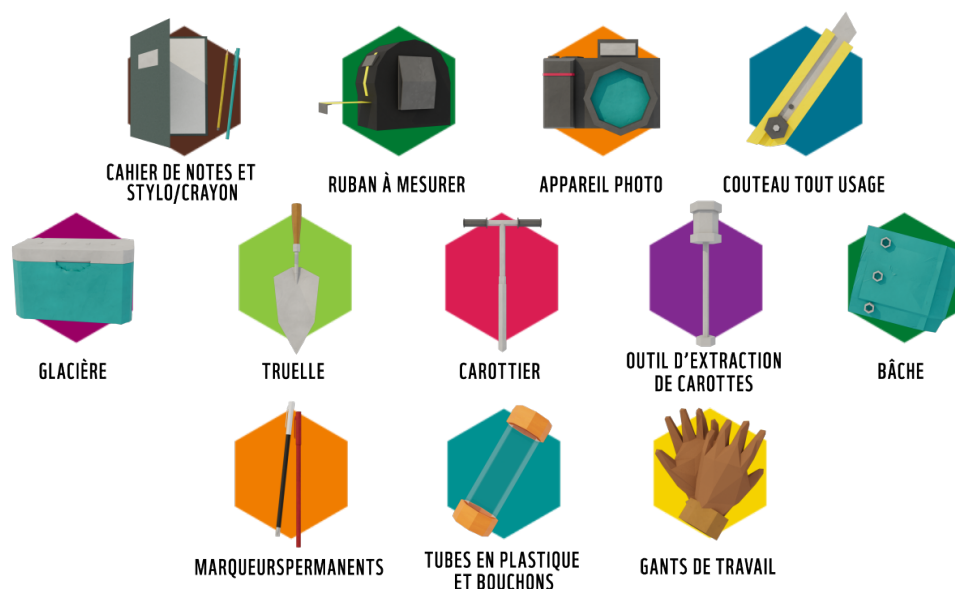


RÉSUMÉ DE LA SECTION : CHOIX DU SITE

- À l'intérieur de chaque site, utilisez une sonde de sol pour faire un relevé de la profondeur du sol jusqu'au substratum à chaque intersection de 10 à 25 m dans la grille recouvrant le site à l'étude.
- Délimitez des parcelles dans le site pour capter les variations de profondeur du sol.
- Effectuez des relevés tous les 1 m x 1 m dans une parcelle de 10 m x 10 m pour vous assurer que la localisation des carottes/échantillons est représentative de toute la parcelle.

ÉQUIPEMENT DE TERRAIN REQUIS

VOICI DE DONT VOUS AUREZ BESOIN :



Pour établir une parcelle :

- GPS
- Gants de travail
- Sonde de sol
- Ruban à mesurer
- Couteau
- Appareil photo
- Cahier de notes
- Marqueurs permanents
- Bâches
- Ciseaux
- Sacs refermables

Pour extraire une carotte de sol :

- Carottier
- Outils d'extraction de carottes
- Glacière ou bac de rangement
- Bâches
- Tubes en plastique
- Bouchons pour tube en plastique
- Cahier de notes
- Marqueurs permanents
- Ruban à mesurer
- Ruban adhésif en toile
- Matériau d'emballage
- Glacière

Pour prendre des échantillons d'une fosse pédologique :

- Pelle
- Anneau d'échantillon de sol/disque de masse volumique apparente
- Sacs refermables
- Marqueurs permanents
- Glacière

Pour prendre des échantillons de surface peu profonde :

- Pelle/plantoir
- Sacs refermables
- Marqueurs permanents
- Cadre/moule de 0,25 m sur 0,25 m
- Glacière



PRÉPARATION DU SITE

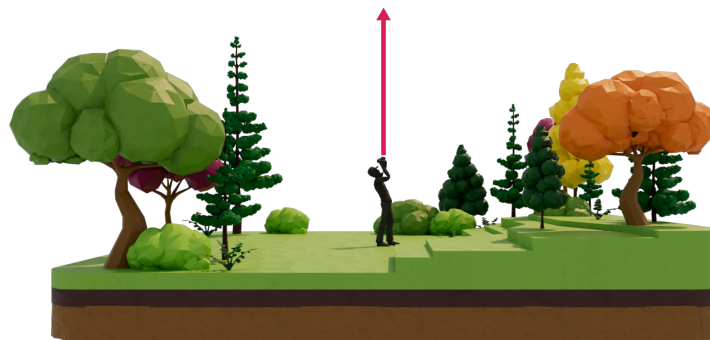
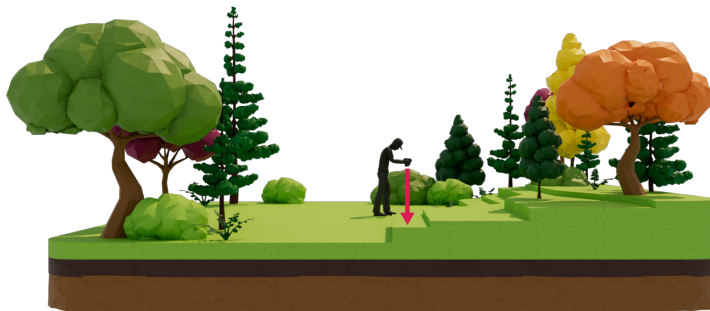


PRÉPARATION DU SITE

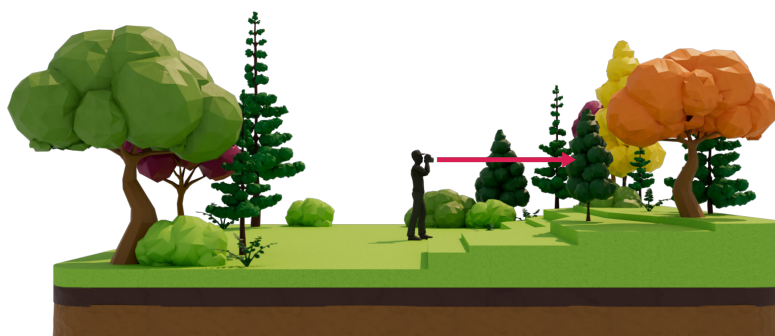
Une fois l'équipe arrivée au site, documentez la végétation en utilisant un protocole normalisé de série photo.

PROTOCOLE NORMALISÉ DE SÉRIE PHOTO

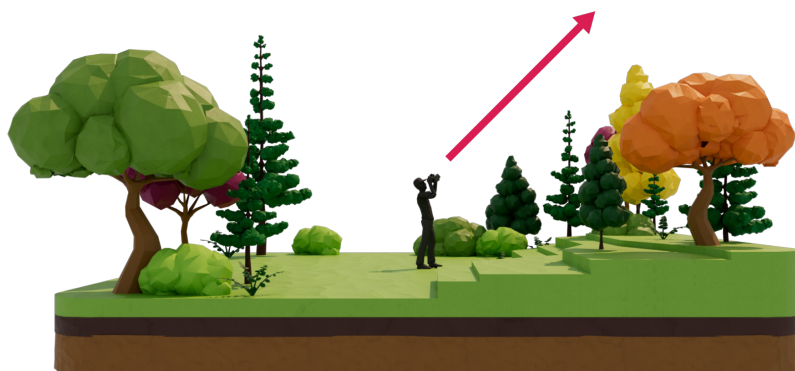
1. Commencez par documenter la végétation et le couvert forestier (s'il y en a) en prenant deux photos du site :
 - a. L'une montrant un point de vue vers le bas (végétation)
 - b. L'une montrant un point de vue vers le haut (canopée)



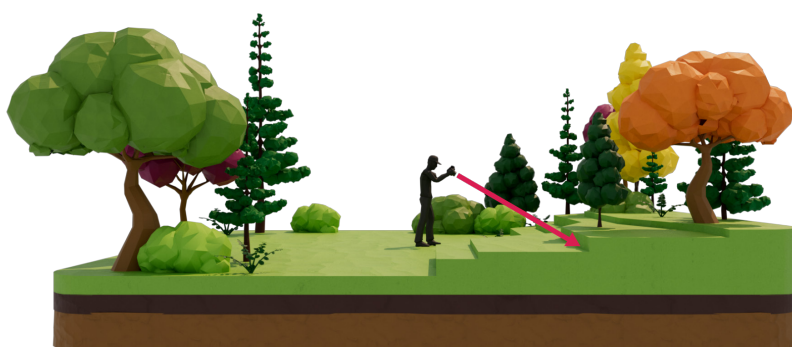
2. Depuis le même point, tournez-vous vers chaque point cardinal et prenez trois photos :
 - a. Une parallèle au sol



PRÉPARATION DU SITE



b. Une à un angle de 45 degrés vers le haut



c. Une à un angle de 45 degrés vers le bas

14 PHOTOS

3 PHOTOS DE CHAQUE
POINT CARDINAL

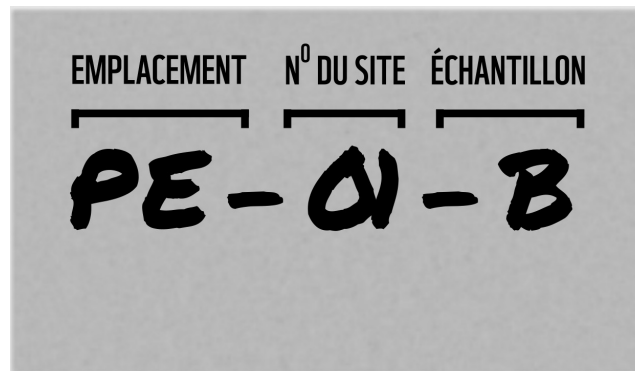
1 PHOTO RÉPERTORIAN
LA VÉGÉTATION

1 PHOTO RÉPERTORIAN
LE COUVERT FORESTIER



3. Une fois cette tâche terminée, vous disposerez de 14 photos du site (soit trois photos pointant vers chaque point cardinal, une de la végétation et une du couvert forestier).

Veillez à enregistrer l'emplacement du site sur un GPS à l'aide d'un point de repère et à noter les coordonnées et l'identifiant du site dans un cahier de notes. Quelque soit le nombre d'échantillons prélevés, nous recommandons d'utiliser une approche systématique (c.-à-d. l'utilisation de numéros d'identification uniques ou CoreID) pour étiqueter chaque carotte. Par exemple, le numéro d'identification « PE-01-B » indique l'emplacement (PE correspond à Peawanuck), le numéro de la carotte ou site de carottage (« 01 » désigne le site 1) et l'ordre de l'échantillon (« B » est le deuxième échantillon).

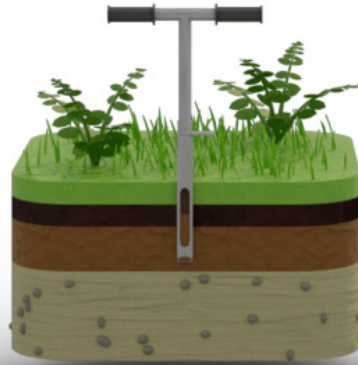


RÉSUMÉ DE LA SECTION : PRÉPARATION DU SITE

- Notez le numéro d'identification (CoreID) de la carotte. Par exemple, PE-01-B représente « emplacement-site-numéro d'échantillon ».
- Notez la latitude, longitude et altitude du site de carottage.
- Documentez la végétation du site de carottage en utilisant un protocole d'une série de 14 photographies en prenant des photos du site de carottage qui pointent :
 - vers le haut (canopée)
 - vers le bas (végétation)
 - vers chaque point cardinal : une parallèle au sol; une à 45 degrés vers le haut; et une à 45 degrés vers le bas.



ÉCHANTILLONNAGE

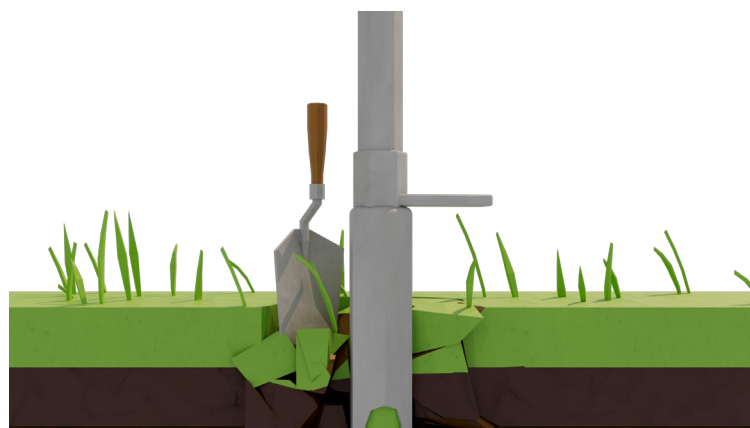
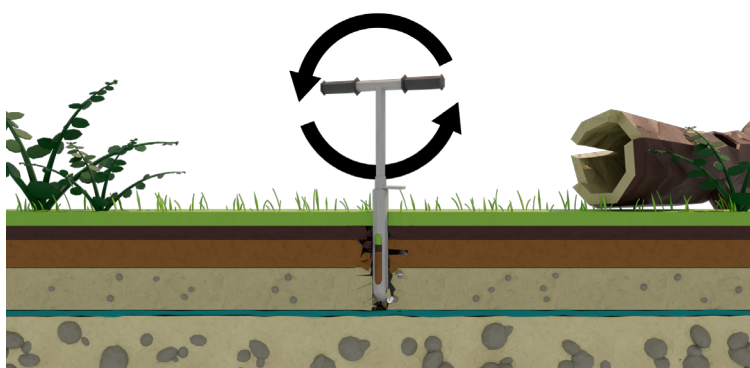
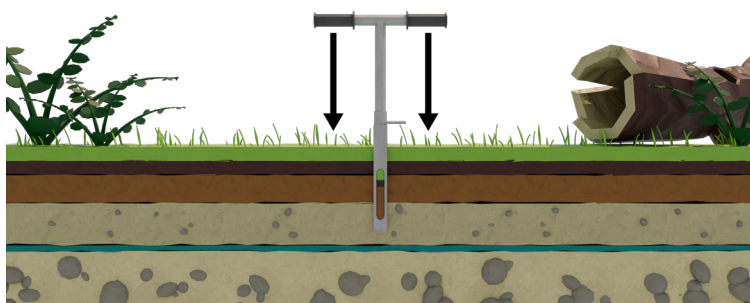


Si vous disposez d'un carottier, nous en recommandons l'usage pour obtenir des échantillons, parce que c'est la méthode la plus efficace pour obtenir une carotte entière. C'est aussi plus simple et rapide que d'autres méthodes, parce que de multiples carottes peuvent être extraites de la même parcelle.

Obtenir une carotte de surface requiert un **carottier de surface**. Les carottiers viennent en toutes sortes de forme et de taille pour accommoder vos besoins et objectifs particuliers de recherche. Ils nécessitent tous les mêmes étapes de base.

PROCESSUS ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR EXTRAIRE UNE CAROTTE DE SOL

- 1) Avant de commencer, trouvez un surface plane près de la parcelle à échantillonner, étendez une bâche et préparez tout l'équipement requis.
- 2) Poussez lentement le carottier dans le sol, en le gardant à la verticale autant que possible.
 - a) Vous pouvez utiliser un carottier à bord dentelé pour couper dans les sols contenant des racines coriaces. Avec cet outil, il est aussi important d'essayer de réduire la compaction autant que possible.
- 3) La profondeur de chaque carotte dépend de chaque site, mais elle devrait d'abord être estimée à l'aide d'une sonde de sol.
 - a) Une fois que la profondeur désirée est établie, extrayez autant de sol que possible jusqu'à la profondeur désirée pour obtenir les meilleures mesures de masse volumique apparente et de carbone pour chaque couche de sol.
- 4) Avec la carotte pleinement insérée, faites pivoter le carottier de gauche à droite et secouez-le pour détacher le fond de la carotte de la base des sédiments.
 - a) Si la carotte est prise, creusez autour du carottier pour lui donner plus d'espace, ou coupez le sol avec une truelle ou un couteau.
- 5) Une fois que la carotte est libérée, retirez le carottier avec l'échantillon à l'intérieur.
- 6) Maintenez une pression sur le bout de la carotte pour l'empêcher de s'échapper du carottier.
- 7) Une fois extrait, placez le carottier à l'horizontale et placez un tube de plastique pour carotte, coupé sur le long, autour.

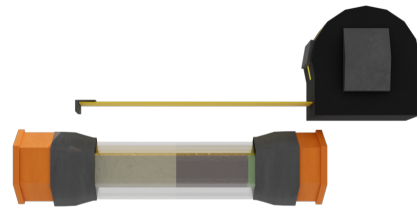
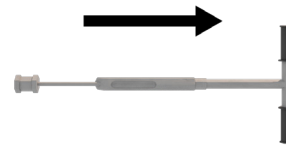


ÉCHANTILLONNAGE

- 8) En utilisant l'outil d'extraction de la carotte, poussez l'échantillon du bas vers le haut du carottier. Le tube en plastique devrait être ajusté pour recevoir l'échantillon lorsqu'il sort du haut du carottier.
- 9) Une fois l'échantillon complètement sorti, placez les bouchons étiquetés sur le haut et le bas du tube. Collez-les avec du ruban adhésif en toile. Appliquez aussi une bande de ruban adhésif du côté coupé du tube.
- 10) Mesurez la longueur de la carotte et la profondeur du trou dont elle est extraite, et inscrivez ces mesures dans le cahier de notes. La profondeur du trou est la véritable profondeur de la carotte, alors que la longueur de la carotte extraite peut être moindre à cause de la compaction. Il est important de corriger cette compaction au moment de mesurer en laboratoire la masse volumique apparente de la carotte.
- 11) Identifiez l'échantillon et entreposez-le dans une glacière.

Les carottes peuvent être transportées au laboratoire pour la suite du processus; elles y seront sectionnées par type de couche de sol, mesurées pour obtenir le volume, pesées pour obtenir la masse volumique apparente, et analysées pour connaître leur teneur en carbone.

POUSSEZ LA CAROTTE DU BAS VERS LE HAUT



MESUREZ LA LONGUEUR DE VOTRE CAROTTE ET LA PROFONDEUR DU TROU

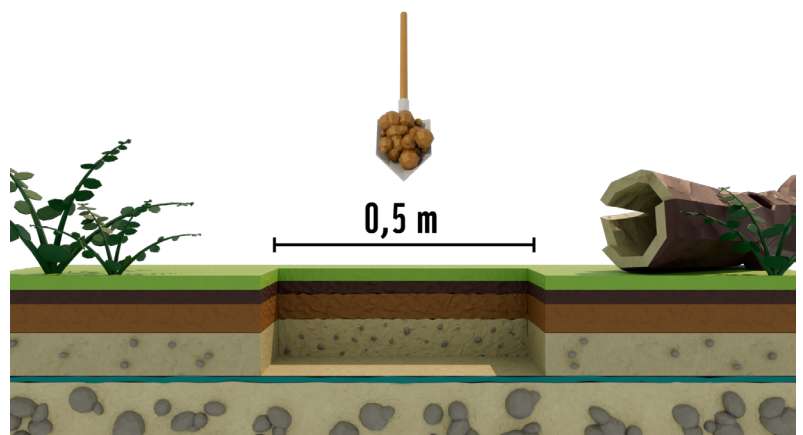
RÉSUMÉ DE LA SECTION : EXTRAIRE UNE CAROTTE DE SOL

- Trouvez une surface plane près de la parcelle à échantillonner, étendez une bâche et préparez tout l'équipement requis.
- Poussez lentement le carottier dans le sol, en le gardant à la verticale autant que possible.
- Une fois le carottier pleinement inséré, faites-le pivoter de gauche à droite et secouez-le pour détacher le fond de la carotte de la base des sédiments.
- Retirez le carottier avec l'échantillon à l'intérieur. Maintenez une pression sur le bout de la carotte pour l'empêcher de s'échapper du carottier.
- Placez le carottier à l'horizontale et placez un tube en plastique pour carotte autour.
- Utilisez un outil d'extraction de la carotte pour pousser l'échantillon dans le tube. Placez les bouchons étiquetés sur le haut et le bas du tube et collez-les avec du ruban adhésif.
- Mesurez et notez la longueur de la carotte et la profondeur du trou.
- Identifiez l'échantillon et entreposez-le dans une glacière.

PROCESSUS ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR EXTRAIRE DES ÉCHANTILLONS D'UNE FOSSE PÉDOLOGIQUE

La seconde méthode implique de creuser une fosse et d'utiliser un carottier horizontal. Cette méthode est conçue pour exposer les horizons du sol et c'est la meilleure méthode si d'autres propriétés du sol doivent aussi être mesurées. Toutefois, cela prend plus de temps et d'efforts que le carottage.

1. Au site sélectionné, creusez un trou d'au moins 0,5 m de largeur.
 - a. Le trou devrait être assez profond pour exposer tous les horizons du sol et assez large pour extraire facilement des échantillons de chaque horizon.



2. Identifiez chaque couche de sol par son groupe principal d'horizon de sol en utilisant le Système canadien de classification des sols, mentionné en annexe. Des distinctions sont faites entre la couleur, la texture et la profondeur de l'horizon de sol.
3. Dans votre carnet de notes, inscrivez la couche de sol, la profondeur par incrément, la couleur et la texture pour classer les horizons.



4. Au moyen d'un petit moule dont le volume est connu, qu'on appelle un anneau ou cylindre d'échantillonnage, collectez un échantillon dans le milieu de chaque horizon afin d'en déterminer la masse volumique apparente.
5. Placez l'échantillon dans un sac refermable identifié.
6. Des échantillons additionnels de chaque couche doivent être placés séparément dans des sacs différents pour les analyses en laboratoire de la teneur en carbone ou d'autres tests.

COLLECTEZ DES ÉCHANTILLONS DU MILIEU DE CHAQUE COUCHE DE SOL



RÉSUMÉ DE LA SECTION : EXTRAIRE DES ÉCHANTILLONS D'UNE FOSSE PÉDOLOGIQUE

- Au site sélectionné, creusez un trou d'au moins 0,5 m de largeur et de la profondeur désirée de l'échantillonnage.
- Pour chaque couche de sol, notez la profondeur, la couleur et la texture des intervalles.
- Identifiez les sacs refermables avec un numéro d'identification unique et l'intervalle de profondeur de l'échantillon pour chaque couche.
- À l'aide d'un anneau ou cylindre d'échantillonnage, prélevez un échantillon du milieu de chacune des couches de sol et transférez chaque échantillon dans son sac respectif adéquatement étiqueté.
Notez que des échantillons additionnels de chaque couche peuvent être récoltés et transférés dans des sacs séparés.
- Placez les échantillons dans une glacière.

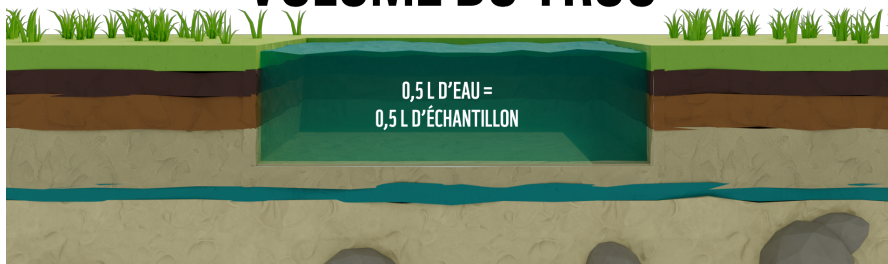
PROCESSUS ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR EXTRAIRE DES ÉCHANTILLONS SOLS PEU PROFONDS

La dernière méthode ne s'applique qu'aux sols très peu profonds, comme ceux qu'on trouve à travers le Bouclier canadien. Si cette méthode est moins précise parce qu'elle ne peut échantillonner des couches distinctes, elle peut être utile dans des conditions appropriées.

Étapes pour récolter des échantillons des sols peu profonds :

1. Utilisez un cadre pour creuser un petit trou.
2. Récoltez tout l'échantillon d'un seul coup et transférez-le dans un sac refermable.
3. Remplissez l'espace de l'échantillon avec un matériau d'un volume connu (comme de l'eau) pour déterminer le volume de l'échantillon, donnée qui sera utilisée pour déterminer la masse volumique apparente de l'échantillon de sol.
4. **Notez l'identifiant unique** de l'échantillon et **son volume** dans le cahier de notes.
5. Emballez, étiquetez, puis déposez votre échantillon dans une glacière jusqu'à ce qu'il puisse être transféré dans un congélateur pour analyse en laboratoire.

UTILISEZ DE L'EAU POUR DÉTERMINER LE VOLUME DU TROU

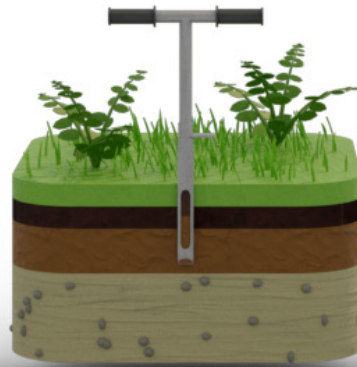


RÉSUMÉ DE LA SECTION : RÉCOLTER DES ÉCHANTILLONS DES SOLS PEU PROFONDS

- Au site sélectionné, creusez un petit trou suivant un cadre dont les dimensions sont connues.
- Récoltez tout l'échantillon et transférez-le dans un sac refermable étiqueté avec un identifiant d'échantillon.
- Remplissez l'espace de l'échantillon avec un matériau d'un volume connu (comme de l'eau) pour déterminer le volume de l'échantillon de sol.
- Notez l'identifiant unique de l'échantillon et son volume dans le carnet de notes.



TRAITEMENT ET ANALYSE EN LABORATOIRE



TRAITEMENT ET ANALYSE EN LABORATOIRE

Si vous planifiez procéder à l'analyse en laboratoire de façon indépendante, veuillez consulter le document « Guide complémentaire : analyse en laboratoire ».

Autrement, les carottes de sol peuvent être envoyées à un laboratoire pour analyse et, dans ce cas, il est important de contacter le laboratoire à l'avance pour connaître les exigences spécifiques en matière de manutention, d'emballage et de livraison des échantillons.

Il y a de multiples méthodes pour déterminer le contenu en carbone des échantillons; la liste ci-dessous offre un aperçu des méthodes habituelles et de ce qu'elles impliquent pour le calcul des stocks de carbone.

Masse volumique apparente sèche — Pour estimer les stocks de carbone dans un écosystème, il est essentiel de déterminer au préalable la quantité de matériau que contient l'écosystème.

La masse volumique apparente sèche est une mesure du poids et du volume d'un échantillon après séchage; ce poids est ensuite divisée par le volume pour obtenir une valeur de la masse volumique de l'échantillon (normalement en gramme par centimètre cube g/cm^3). Combiner la masse volumique apparente sèche avec d'autres analyses comme la présence de carbone, de nitrogène, de métaux lourds et de polluants ajoute de l'information précieuse qui peut servir au projet.

Teneur en humidité — Connaître la teneur en eau d'un échantillon est important afin de déterminer les conditions du sol.

On y parvient en pesant un échantillon frais du sol, en séchant l'échantillon dans un four pour en évaporer l'eau avant de le peser à nouveau.

La différence entre le poids de l'échantillon frais et séché correspond à la teneur en humidité de l'échantillon.

La perte au feu à 550 °C (PAF550)—

Une fois séchés, les échantillons sont brûlés dans un four à moufle réglé à 550 °C. Dans ces conditions, la matière organique (c.-à-d. les matières mortes d'origine végétale devenues tourbe ou sol) est brûlée, convertie en CO_2 et en vapeur d'eau, et libérée de l'échantillon. L'échantillon qui reste après quatre heures de combustion est constitué de la portion inorganique de la tourbe ou du sol. La différence entre le poids de l'échantillon avant et après l'opération de combustion représente la PAF (perte au feu) ou la portion de matières organiques.

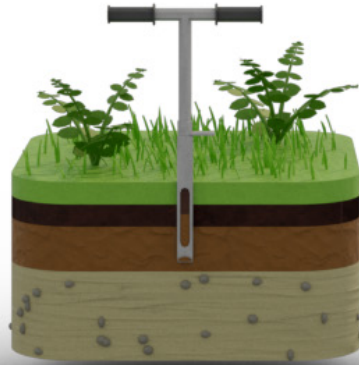
Facteur de conversion du carbone —

Dans la matière organique, le carbone équivaut généralement à 50 % du poids. En utilisant cette valeur, nous pouvons convertir l'estimation de la matière organique à partir de la PAF pour estimer la portion de carbone organique de l'échantillon en multipliant la valeur PAF550 par 0,5.

D'autres méthodes peuvent se révéler plus pratiques pour estimer la teneur en carbone des écosystèmes où le sol contient une grande portion de matière inorganique. Dans ce cas, des méthodes comme la spectroscopie infrarouge du carbone organique, la dissolution acide du CO_2 du carbone inorganique et un analyseur d'élément CHN pour déterminer le carbone total peuvent être utilisées. Pour plus d'information sur ces méthodes, veuillez consulter le document « Guide complémentaire : analyse en laboratoire ».



MISE À L'ÉCHELLE



METTRE LES ÉCHANTILLONS À L'ÉCHELLE DES CAROTTES, PUIS DES SITES, ET ENFIN DE LA ZONE À L'ÉTUDE

Le stock de carbone total du sol dans une zone à l'étude est déterminé par la quantité de carbone dans une zone définie et par la profondeur du sol. Il est important de définir la profondeur à laquelle vous mesurez et calculez le stock de carbone du sol, généralement exprimé à 30 cm, 50 cm, 1 m ou 2 m de profondeur. Pour calculer le carbone total du sol dans la zone à l'étude, vous devez connaître les renseignements suivants :

- La masse volumique apparente (g/cm^3)
- La teneur totale en carbone (% de C) ou teneur en carbone organique (% de C_{org})
- Carottes : intervalle de profondeur de la sous-section d'une carotte (en cm) = profondeur du trou (en cm) - profondeur de la partie supérieure
- Fosses pédologiques : intervalle de profondeur de la couche de sol (en cm) = profondeur de la couche de sol inférieure — profondeur de la couche de sol supérieure (en cm)

MÉTHODE : CAROTTES DE SOL

La quantité moyenne de carbone dans les carottes de sol peut être déterminée de la façon suivante.

1. Pour chaque sous-section de carotte, calculez la masse volumique de carbone du sol :
 - **Équation 1 : Masse volumique de carbone dans le sol (g par cm^3) = masse volumique apparente (g/cm^3) * (% de $C_{\text{org}}/100$)**
 - **Note :** La teneur totale en carbone (%) peut être remplacée par la teneur en carbone organique (% de C_{org}) pour déterminer la masse volumique du carbone organique dans le sol ($\text{g } C_{\text{org}}/\text{cm}^3$).
2. Pour calculer la quantité de carbone dans une sous-section, multipliez chaque valeur de masse volumique de carbone du sol obtenue dans l'équation 1 par l'intervalle de profondeur de la sous-section (en cm) :
 - **Équation 2 : Stock de carbone moyen dans une sous-section (g/cm^2) = masse volumique du carbone du sol (g/cm^3) * intervalle de profondeur (cm)**
 - **Note :** L'intervalle de profondeur est soit pour la sous-section de carotte ou pour la couche de sol, selon la méthode d'échantillonnage utilisée.
3. Pour obtenir la le stock de carbone moyen (g/cm^2) de la carotte, additionnez la valeur de chaque sous-section calculée ci-dessus :
 - **Équation 3 : Stock de carbone moyen d'une carotte (g/cm^2) = somme du stock de carbone moyen des sous-sections**

○ **Note :** Les sous-sections doivent totaliser 100 % de la carotte pour obtenir la moyenne de contenu en carbone.

4. Convertissez le stock de carbone moyen de la carotte (g/cm^2) de l'équation 3 en unités de kg/m^2 en multipliant par 10, ou plus formellement :

○ **Équation 4 : Stock de carbone moyen d'une carotte (kg/m^2) = stock de carbone moyen de la carotte (g/cm^2) * (1 $\text{kg}/1000 \text{ g}$) * (10 000 cm^2/m^2)**

5. Répétez les étapes un à quatre pour chaque carotte.

MÉTHODE : FOSSES PÉDOLOGIQUES

La quantité moyenne de carbone dans les fosses pédologiques peut être déterminée de la façon suivante.

6. Pour chaque sous-échantillon de la fosse pédologique obtenu pour chaque couche de sol, calculez la masse volumique de carbone organique :

○ **Équation 1 : Masse volumique de carbone dans le sol (g par cm^3) = masse volumique apparente (g/cm^3) * (% de $C_{\text{org}}/100$)**

○ **Note :** La teneur totale en carbone (%) peut être remplacée par la teneur en carbone organique (% de C_{org}) pour déterminer la masse volumique du carbone organique dans le sol ($\text{g } C_{\text{org}}/\text{cm}^3$).

7. Pour calculer la quantité de carbone dans une couche de sol, multipliez chaque valeur de masse volumique de carbone du sol obtenue dans l'équation 1 par l'épaisseur de l'intervalle de profondeur (en cm) des couches de sol :

○ **Équation 2 : Stock de carbone moyen dans une couche de sol (g/cm^2) = masse volumique du carbone du sol (g/cm^3) * intervalle de profondeur (cm)**

8. Pour obtenir stock de carbone moyen (g/cm^2) du profil de sol, additionnez la valeur de chaque couche de sol calculée ci-dessus :

○ **Équation 3 : Stock de carbone moyen d'un profil de sol (g/cm^2) = somme du stock de carbone moyen des couches de sol**

○ **Note :** La profondeur des couches de sol doit totaliser 100 % de la profondeur de sol pour obtenir la moyenne des stocks de carbone.

9. Convertissez le stock de carbone moyen du profil de sol (g/cm^2) de l'équation 3 en unités de kg/m^2 en multipliant par 10, ou plus formellement :

○ **Équation 4 : Stock de carbone moyen d'un profil de sol (kg/m^2) = stock de carbone moyen du profil de sol (g/cm^2) * (1 $\text{kg}/1000 \text{ g}$) * (10000 cm^2/m^2)**

MISE À L'ÉCHELLE DU SITE ET DE LA ZONE À L'ÉTUDE

Le stock de carbone dans la zone à l'étude peut être déterminé de la façon suivante :

10. Pour obtenir le stock de carbone moyen de chaque site à l'étude (kg/m^2), additionnez les valeurs de moyenne de carbone de l'équation 4 (kg/m^2) pour chaque carotte extraite et divisez la somme par le nombre de carottes extraites à chaque site.

○ **Équation 5 : Stock de carbone moyen d'un site (kg/m^2) = somme du stock de carbone moyen des carottes (g/cm^2) / nombre de carottes**

11. Multipliez le stock de carbone moyen du site par la taille du site (en mètres carrés) pour obtenir le stock total de carbone de chaque site (kg C).

○ **Équation 6 : Stock de carbone total du site à l'étude (kg C) = stock de carbone moyen du site à l'étude ($\text{kg C}/\text{m}^2$) * taille du site à l'étude (m^2)**

12. Additionnez les stocks totaux de carbone pour les sites et divisez par la somme de la taille des sites. Cela donnera le stock moyen de carbone pour la zone à l'étude ($\text{kg C}/\text{m}^2$).

○ **Équation 7 : Stock de carbone moyen du site à l'étude ($\text{kg C}/\text{m}^2$) = somme des stocks totaux de carbone des sites (kg C) / somme de la taille des sites (m^2)**

13. Finalement, pour calculer le stock total de carbone de la zone à l'étude (kg C), multipliez le stock de carbone moyen de la zone à l'étude par la taille de la zone à l'étude (en mètres carrés).

○ **Équation 8 : Stock de carbone total de la zone à l'étude (kg C) = stock de carbone moyen de la zone à l'étude ($\text{kg C}/\text{m}^2$) * taille de la zone à l'étude (m^2)**

* Les valeurs de carbone calculées ici sont en unités de « C ». Pour obtenir des « équivalents CO_2 », multipliez par 3,67.

ANNEXE

Les quatre principaux groupes d'horizons du Système canadien de classification des sols (SCIS) :

- O – « Couche organique », une couche de litière de plantes relativement non décomposée et contenant plus de 17 % de carbone organique.
- A – Sol de surface ou « couverture biologique »; une couche de sol minéral (soit moins de 17 % de carbone organique) avec le plus de matière organique en comparaison avec les autres couches minérales. Cet horizon minéral est formé, à la surface ou tout près, dans la zone de lessivage de matériaux.
- B – Sous-sol; couche caractérisée par un enrichissement d'autres matériaux pédologiques. Contient habituellement moins de matière organique que l'horizon A. Dans le sol, où les substances descendent depuis la couche supérieure, c'est la couche où elles s'accumulent.
- C – Substratum; couche non habituellement formée par des procédés pédologiques et qui correspond à la couche de fondation sur laquelle les autres couches s'accumulent. Elle est constituée de sédiments non consolidés.
- W – Nappe phréatique; il est normal de trouver des couches d'eau souterraine dans certains écosystèmes.
- R – Roc; cette couche de roche mère est trop dure pour être brisée à la main ou à la pelle.

Schéma des principaux groupes d'horizons :



RÉFÉRENCES

- Bansal, S., Creed, I.F., Tangen, B.A., Bridgman, S.D., Desai, A.R., Krauss, K.W., Neubauer, S.C. ... Zhu, X. (2023). Practical Guide to Measuring Wetland Carbon Pools and Fluxes. *Wetlands*, 43(8), 105. <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01722-2>
- Billings, S. A., Lajtha, K., Malhotra, A., Berhe, A. A., de Graaff, M.-A., Earl, S., Fraterrigo, J. ...Wieder, W. (2021). Soil organic carbon is not just for soil scientists: Measurement recommendations for diverse practitioners. *Ecological Applications*, 31(3), e02290. <https://doi.org/10.1002/eap.2290>
- CSSC (2013). Agriculture and Agri-food Canada. “*Canadian System of Soil Classification, 3rd edition, Chapter 2: Soil, Pedon, Control Section, and Soil Horizons (continued)*.” Accessed Jan 2024: https://sis.agr.gc.ca/cansis/taxa/cssc3/chpt02_a.html#tests
- Jandl, R., Rodeghiero, M., Martinez, C., Cotrufo, M F., Bampa, F., van Wesemael, B., Harrison, R.B. ...Miglietta, F. (2014). Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. *Science of The Total Environment*, 468–469, 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.026>
- Kurz, W. A., Shaw, C. H., Boisvenue, C., Stinson, G., Metsaranta, J., Leckie, D., Dyk, A., Smyth, C. & Neilson, E.T. (2013). Carbon in Canada’s boreal forest—A synthesis. *Environmental Reviews*, 21(4), 260–292. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0041>
- Murray, L.S., Milligan, B., Ashford, O.S., Bonotto, E., Cifuentes-Jara, M., Glass, L., Howard, J. ...von Unger M. (2023). The *blue carbon handbook: Blue carbon as a nature-based solution for climate action and sustainable development*. London: High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy.
- Petrokofsky, G., Kanamaru, H., Achard, F., Goetz, S. J., Joosten, H., Holmgren, P., Lehtonen, A. ...Wattenbach, M. (2012). Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-6>

GLOSSAIRE

Accumulation de sédiments : accumulation verticale de particules de sédiments.

Analyseur CHN : dispositif utilisé pour la quantification rapide du carbone, de l’hydrogène, de l’azote et du soufre dans les échantillons organiques. Par un processus de combustion, ces éléments sont convertis en CO₂, en H₂O, en N₂ et en SO₂ et envoyés au détecteur à conductivité thermique pour enregistrer le signal électrique proportionnel à la quantité de chaque gaz. Ce signal électrique donne, par exemple, le pourcentage de composition élémentaire en proportion des zones de courbe obtenues dans le spectre.

Biodiversité : la variabilité entre les organismes vivants de toutes origines, y compris les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

Biogéochimie : discipline scientifique qui étudie les processus et les réactions physiques, chimiques, biologiques et géologiques qui façonnent la composition et les changements de l’environnement naturel.

Bio-indicateurs : indicateurs biologiques trouvés dans le sol qui sont sensibles aux perturbations paléoclimatiques.

Carbone organique : quantité de carbone présente dans la biomasse d’un organisme (vivant ou mort).

Carbone organique du sol : carbone qui reste dans le sol après la décomposition partielle de toute matière produite par des organismes vivants.

Carotte de sol : longueur continue du sol.

Climat : moyenne et variabilité des variables météorologiques (c.-à-d. les conditions météorologiques) sur une période allant d’un mois à des millions d’années.

Compaction : le résultat d’une carotte ayant un volume plus petit que le volume qu’elle occupait dans le sol, à cause de la pression exercée sur le carottier lors du prélèvement de la carotte.

Creuset : récipient en céramique ou en métal dans lequel des métaux ou d’autres substances peuvent être fondus ou soumis à des températures très élevées.

Datation au carbone 14 : méthode d'estimation de l'âge des matières à base de carbone provenant d'organismes vivants par l'analyse du rapport entre le carbone 13 et le carbone 14 dans un échantillon.

Datation au plomb 210 : méthode permettant de déterminer le taux d'accumulation des sédiments sur une période de 100 à 200 ans à partir de l'activité de désintégration du plomb 210.

Dérèglements climatiques : changements observés sur de longues périodes selon des variables météorologiques, comme les températures et les systèmes météorologiques.

Masse volumique humide : poids d'un échantillon de sol avant le séchage ou la perte d'eau.

Masse volumique sèche : poids des matières solides du sol (c.-à-d. sans eau).

Four à moufle : instrument de laboratoire servant à chauffer des matériaux à des températures extrêmement élevées tout en les isolant du combustible et des sous-produits de la combustion provenant de la source de chaleur.

Fragment grossier : particule de sol ou objet sur le sol d'une longueur supérieure à 2 mm.

Horizon minéral : horizon du sol contenant moins de 17 % de carbone organique.

Horizon organique : horizon du sol contenant 17 % ou plus de carbone organique.

Horizon pédologique : couche parallèle à la surface du sol dont les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques diffèrent de celles des couches supérieures et inférieures, définies dans de nombreux cas par des caractéristiques physiques évidentes, comme la couleur et la texture.

Isotope : se dit d'atomes ayant le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons; peut servir à déduire la date d'un objet grâce à la demi-vie distincte de l'isotope (c.-à-d. le taux de désintégration).

Marais : milieu humide dont le couvert arboré est d'au moins 25 %; les profondeurs de l'horizon organique du sol peuvent varier entre des dépôts de tourbe peu profonds et très profonds.

Masse volumique apparente : poids d'une unité de volume de poudre, généralement exprimé en g/cm³ ou en kg/m³.

Masse volumique apparente sèche : masse sèche d'un échantillon divisé par son volume, généralement exprimé en g/cm³ (grammes par centimètre cube) ou en kg/m³ (kilogrammes par mètre cube).

Matière organique du sol : fraction du sol qui se compose de tissus végétaux ou animaux à divers stades de décomposition.

Milieu humide : zones où l'eau recouvre le sol, ou est présente à la surface ou près de la surface du sol durant toute l'année ou pendant des périodes variables de l'année, y compris pendant la saison de croissance, avec la présence d'espèces adaptées aux milieux aquatiques.

Parcelle : zone désignée pour la collecte de données et d'échantillons.

Perte au feu : méthode scientifique permettant de déterminer la portion de matière organique dans un échantillon de sol en brûlant l'échantillon à une chaleur de 450 à 950 °C.

Point de cheminement : position géographique exprimée par des coordonnées de latitude et de longitude.

Réservoir de carbone : système qui a la capacité de stocker ou de libérer du carbone.

Sédiment : particule de sol créée par les processus d'érosion.

Site : emplacement précis où les données et les échantillons sont prélevés.

Sol non tourbeux : tout sol qui n'est pas principalement composé de tourbe.

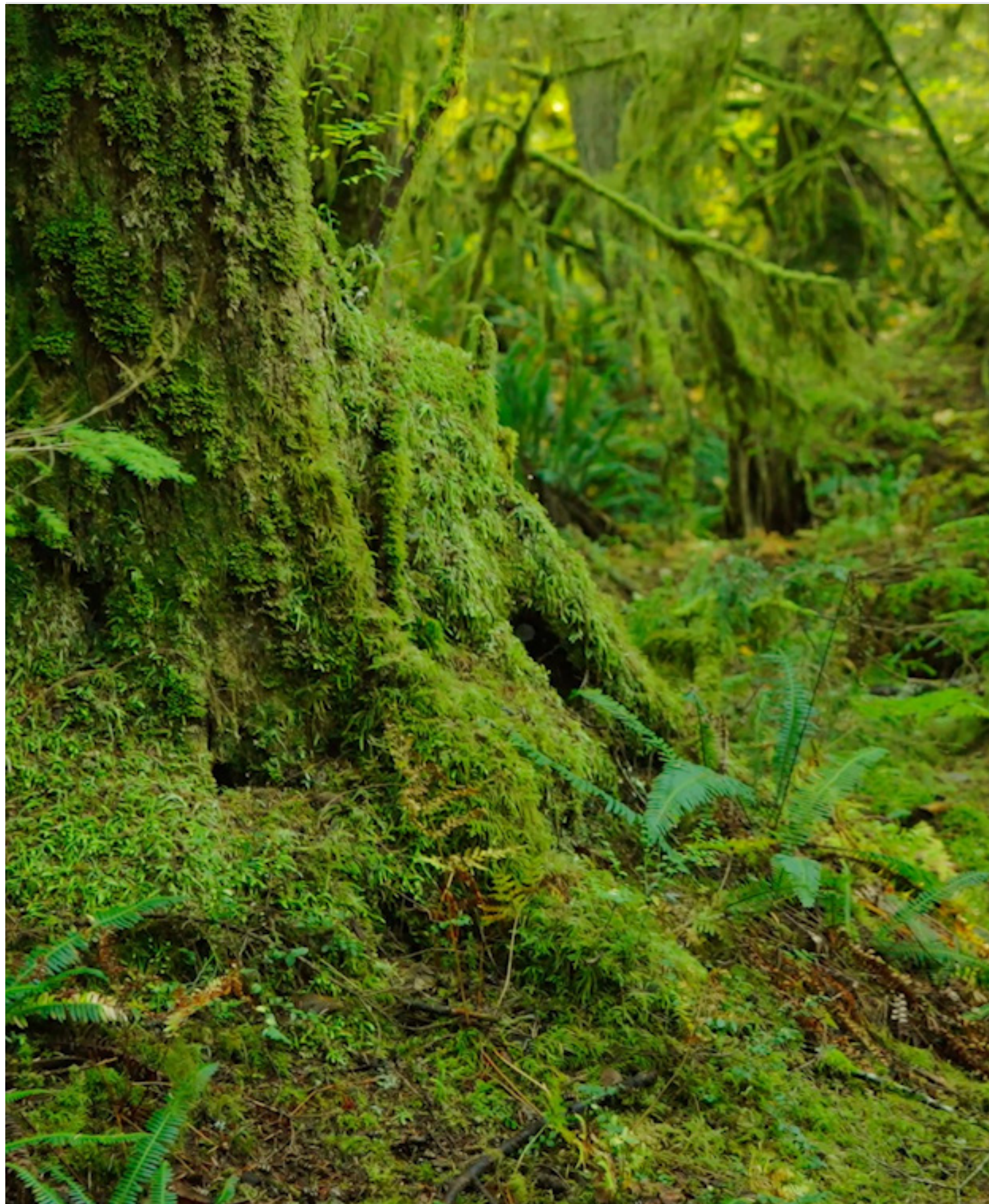
Stock de carbone : mesure de la quantité de carbone dans un réservoir de carbone, habituellement exprimée en kilogrammes ou en tonnes.

Stock de carbone moyen : mesure de la masse volumique du carbone dans un réservoir de carbone, exprimée en carbone par unité de superficie, généralement en kg/m² (kilogrammes par mètre carré) ou en t/ha (tonnes par hectare).

Taux d'accumulation du carbone : mesure de la séquestration du carbone calculée en divisant le stock de carbone par l'âge de l'intervalle d'échantillonnage, habituellement exprimé en kilogrammes de carbone par mètre carré par année (kg de C/m²/an).

Teneur en carbone : proportion de carbone dans un échantillon, généralement exprimée en pourcentage ou en décimales.

Texture du sol : désigne la proportion de particules de sable, de limon et d'argile qui composent la fraction minérale du sol.



**Pour que la nature,
les espèces et les humains
cohabitent en harmonie.**

wwf.ca/fr

WWF-Canada. Guide complémentaire : mesurer le carbone dans les sols non-tourbeux.
WWF-Canada. Toronto, Canada.

Le WWF-Canada est une œuvre de bienfaisance enregistrée auprès du gouvernement fédéral (no 11930 4954 RR0001) et une organisation nationale officielle du World Wildlife Fund for Nature, dont le siège social est à Gland, en Suisse. Le WWF est connu sous le nom de World Wildlife Fund au Canada et aux États-Unis.

Publié (2024) par le WWF-Canada, Toronto, Ontario, Canada. © (2024) WWF-Canada. Aucune photographie de cette production ne peut être reproduite. wwf.ca WWF® et ©1986 Symbole du Panda sont des marques déposées du WWF. Tous droits réservés.