



COLLECTER ANALYSER STOCKER

les données et les
échantillons de sols
forestiers à l'ère du
« big data ».

Guide à l'intention des
chercheurs et praticiens
sur le terrain.



Ce document est le produit d'une réflexion du groupe GOAL (Groupe des laboratoires analytiques /Group of analytical Labs du Service canadien des forêts).

- Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.
- Nous demandons seulement :
 - de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
 - d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
 - d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCAN) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCAN ni avec l'appui de celui-ci.
- La reproduction et la distribution à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de RNCAN.

Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCAN à :
nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca

Des exemplaires supplémentaires sont disponibles à l'adresse suivante :

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts – Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 10380, Succ. Sainte-Foy, Québec (Québec) G1V 4C7

Téléphone : 418-648-5789
Télécopieur : 418-648-2529

Site Web : nrcan.gc.ca/forets

ISBN version (PDF) : Fo4-211/2023F-PDF 978-0-660-47984-2

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de Ressources naturelles,
2023



Un petit guide sur la manière de collecter, d'analyser et de stocker les données et les échantillons de sols forestiers à l'ère du « big data ».

Pourquoi un tel guide ?

De nombreuses personnes collectent et analysent les sols. Malheureusement, une faible quantité de données générées aboutissent dans des bases de données utilisables et accessibles. Cela s'explique notamment par le fait que le sol est un milieu complexe. Il est composé de minéraux, de matières organiques, de gaz, d'eau et d'organismes. Il est souvent difficile de le décrire et de dire exactement où il commence, où il finit, et comment le décomposer en unités plus petites. Pour ces raisons, les sols sont souvent échantillonnés et analysés de différentes manières, ce qui rend difficile la combinaison des résultats d'analyse de différents utilisateurs pour obtenir une compréhension plus large de leurs propriétés. Ce petit guide n'est pas destiné à remplacer les documents existants qui traitent de manière beaucoup plus détaillée des méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols. Il vise à fournir des informations de base et des conseils pour la collecte de données sur les sols qui devraient faciliter une plus grande utilisation de ces informations dans la science et la gestion des écosystèmes forestiers.

Introduction

Les sols génèrent de nombreux services écosystémiques. Plus précisément, ils stockent d'énormes quantités de carbone, ils constituent un habitat pour de nombreux organismes, ils purifient l'eau et en régulent le débit et ils fournissent un support et des nutriments pour la croissance des plantes. Pourtant, à l'exception de quelques inventaires, les données sur les sols restent largement inaccessibles et inutilisables pour informer la gestion et la recherche sur les sols. Les données pédologiques sont souvent dépourvues des informations clés qui les rendraient utiles au-delà du projet immédiat pour lequel elles ont été collectées. Toute la séquence allant de la collecte des données → préparation des échantillons → analyse physique et chimique → à la conservation des données et à l'archivage des échantillons bénéficierait d'une normalisation qui pourrait rendre les données pédologiques accessibles aux chercheurs et aux praticiens pour de nombreuses applications différentes (ex. : cartographie numérique des sols, inventaire des ressources forestières, planification sylvicole, évaluations d'impact, etc.)

De nombreuses personnes ont besoin de collecter des données pédologiques, que ce soit dans le cadre d'un inventaire, d'un projet de recherche ou à des fins diverses concernant la gestion des terres. Nous décrivons ici les éléments clés qui aideraient toute personne à collecter des données sur les sols forestiers de manière standardisée afin de les rendre utilisables pour des besoins scientifiques ou de gestion des écosystèmes.

Ce qu'il faut mesurer et rapporter

Certaines informations collectées sur le terrain sont essentielles pour ce qui va suivre. Elles doivent être correctement enregistrées et structurées de manière à pouvoir être reliées aux données qui seront générées lors de l'analyse en laboratoire. Il est bon de réfléchir à l'avance à ce lien et de s'assurer que les informations recueillies sur le terrain sont accessibles et peuvent facilement être fusionnées avec les données de laboratoire à venir. Le lieu d'échantillonnage est un paramètre crucial à enregistrer et à relier aux échantillons dans toute la chaîne de production des données. De nombreuses données pédologiques sont exclues des grandes bases de données pédologiques parce qu'elles manquent tout simplement d'informations de base sur la localisation (Batjes 2019). Les informations de géolocalisation sur la fosse ou l'échantillon de sol doivent être prises aussi précisément que possibles. Une application pour téléphone intelligent ou un GPS portatif devrait être en mesure de fournir des informations de localisation à 5-10 m près. Si possible, notez comment les informations de localisation ont été enregistrées (marque du GPS) et les informations de précision si elles sont fournies par le GPS. Notez le système de coordonnées. Souvent, le fait de laisser le GPS à l'endroit où l'échantillon a été prélevé pendant une période plus longue augmente la précision des informations de localisation. Des informations supplémentaires sur le site (ex. : la végétation dominante, les signes de perturbation ou d'autres caractéristiques notables comme une forte pente) peuvent également être incluses.

Comment prélever des échantillons?

La meilleure façon de recueillir des échantillons de sol consiste à creuser une petite fosse ou à effectuer un carottage. Les deux approches ont leurs avantages et leurs inconvénients, mais l'objectif final est d'échantillonner le sol sur l'ensemble du profil. Le profil pédologique est la section transversale verticale du sol qui capture les changements du sol depuis l'interface minérale organique supérieure jusqu'au matériau parental plus profond. Habituellement, le sol est divisé en couches ou en horizons. La couche organique, si elle est présente, doit être échantillonnée en premier (voir la méthode ci-dessous) et son épaisseur doit être enregistrée sur le terrain. Elle est considérée comme étant au-dessus du sol, de sorte que l'élévation de référence de 0 cm commence à la couche minérale supérieure.

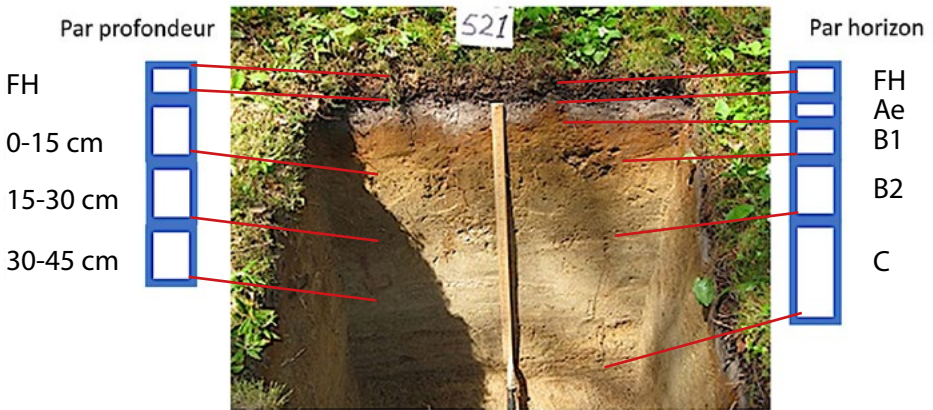


Fig. 1 Échantillonnage par profondeur d'incrément ou par couche de sol. Crédit Image : <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests/sustainable-forest-management/conservation-and-protection-canadas-forests/soil/13205>

La couche organique se termine à l'endroit où la couche plus fibreuse se sépare du sommet de l'horizon minéral A. L'échantillonnage peut être effectué soit par incrément de profondeur, soit par horizon de sol (**Fig. 1**).

Les profondeurs suivantes (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 et 100-200 cm) sont suggérées dans les spécifications du projet GlobalSoilMap.net avec une profondeur maximale de 2m. Cependant, dans la pratique, l'échantillonnage est souvent arrêté à des profondeurs moindres par des rochers, de l'eau ou d'autres obstacles. Dans le cadre de l'inventaire forestier national du Canada (IFN 2008), l'échantillonnage est effectué à 0-15 cm, 15-35 cm, 35-55 cm et 55-75 cm. Si l'échantillonnage est effectué par couche de sol, la profondeur de chaque couche doit être enregistrée dans deux colonnes de la base de données : (profondeur supérieure, profondeur inférieure). Quelle que soit la méthode d'échantillonnage choisie, la densité apparente doit être estimée. La densité apparente (masse séchée au four par unité de volume) est une mesure du sol qui permet de déterminer la proportion de matières solides par rapport aux vides ou aux poches d'air dans un volume de sol donné; elle est nécessaire pour déterminer la teneur en carbone ou en éléments nutritifs du sol. D'autres informations utiles à recueillir sur le terrain sont la profondeur jusqu'au substrat rocheux, la profondeur exploitable par les plantes (profondeur à laquelle les racines pénètrent), la profondeur de développement du profil et les fragments grossiers (estimation visuelle du volume de sol occupé par des roches de plus de 20 mm). Les outils courants d'échantillonnage sont présentés dans la **Fig. 2**.



Figure 2. Outils pour l'échantillonnage du sol par tubes incrémentaux.

N'oubliez pas d'échantillonner la couche organique

Les sols forestiers contiennent souvent une couche organique (L, F, H ou O). Cette couche est souvent négligée dans les grandes études de sol. Lorsqu'elle est présente, la couche organique peut stocker de grandes quantités d'eau, de carbone et de nutriments. C'est également le site d'une activité biologique active, notamment la croissance des racines, l'absorption des nutriments, la fragmentation de la litière par la faune du sol et la décomposition, mais la couche organique est parfois assez mince. Si elle est présente, elle doit être échantillonnée indépendamment du sol minéral, même lors d'un échantillonnage par profondeur. Un gabarit carré de 20 cm par 20 cm est souvent utilisé avec un couteau à pain dentelé pour couper à travers le tapis de matière organique. La profondeur de la couche sur les quatre côtés est enregistrée sur le terrain. Notez que la mesure ultérieure de la profondeur du sol commence sous cette couche organique – au sommet du sol minéral (**Fig. 2 B, C, D, E**). Les échantillons doivent être conservés au frais jusqu'à ce qu'ils soient apportés au laboratoire, en particulier les horizons organiques qui ont tendance à moisir rapidement.

Les détails sur les couches organiques et la façon de les collecter et de les préparer avant les analyses sont souvent négligés dans les manuels de méthodologie des sols. Ce matériau est différent du sol minéral et doit être traité différemment. Il est tamisé avec soin, souvent sur une grille plus grossière que celle du sol minéral (nous recommandons 6 mm); il est conseillé de le tamiser avant le séchage complet pour faciliter la séparation de la terre avec des racines fines, qui pourraient se fissurer et tomber en plus grande quantité dans l'échantillon de sol lorsque celui-ci est complètement sec. De même, une température élevée peut entraîner des pertes de matière organique et de nutriments, tout en augmentant la disponibilité des nutriments. Nous recommandons une température de séchage de 50°C.

Parcelle_ID	Année d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Système de coordonnées/zone	Source	Disponibilité	Ajouter une colonne pour les autres observations écologiques ou de terrain
22YKKR001	2015	6991375068	1406978417	UTM/21	Nom de la personne	Ouvertes	

Tableau 1 a : Exemple d'une feuille de compilation des données simple pour un site.

Parcelle_ID	Année d'échantillonnage	ID de l'échantillon	Numéro	Horizon	Org/Min	Profondeur supérieure	Profondeur inférieure	Épaisseur de l'horizon	Ajouter des colonnes pour chaque variable de terrain ou d'analyse de laboratoire
22YKKR001	2006	2	2	B	Mineral	25	35	10	

Tableau 1 b : Exemple d'une feuille d'entrée de données simple pour l'information sur l'échantillon.

Comment rapporter les données?

Les bases de données sur les sols doivent contenir un ensemble minimal d'informations qui doivent être codées de manière à être lisibles par une machine (c'est-à-dire des fichiers texte, une ligne par échantillon, pas de formatage spécial, de formules ou de macros, un code pour la valeur manquante...). La base de données sur les sols doit suivre les principes FAIR : les données doivent être « trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables » (Wilkinson et al. 2016). Un fichier de métadonnées doit accompagner tous les fichiers de données. Il doit contenir une définition de toutes les variables et un rapport sur les unités utilisées. Il est bon d'ajouter autant d'informations que possible au fichier de métadonnées, notamment les méthodes, les instruments d'analyse et le nom de l'installation où les analyses ont été effectuées.

En plus du fichier de métadonnées, il est utile de créer un fichier contenant des informations sur chacun des sites de la base de données ainsi qu'un autre fichier contenant des informations sur les fosses/carottes de sol et les horizons pour chaque site de la base de données, qui peuvent être recoupées avec un identifiant de parcelle commun. Ceci est particulièrement utile lorsque des échantillons répétés sont prélevés sur un même site. Des exemples de fiches de saisie de données pédologiques sont présentés dans le **tableau 1**; notez qu'il y a qu'un échantillon de sol (horizon ou profondeur) par ligne.

En plus du fichier de métadonnées, il est utile d'avoir une feuille avec des informations sur le site et une autre avec des informations sur le sol, les deux étant liées à un identifiant (ID) de parcelle commun. Des exemples de fiches de saisie de données de site et de sol sont présentés dans le **tableau 1**; noter qu'il y a un échantillon de sol (horizon ou profondeur) par ligne.

Quelles informations sont incluses dans les initiatives internationales sur les sols ?

Outre les informations sur les sites décrites dans le tableau 1, les initiatives internationales soutenues par la FAO (WoSIS, ISRIC) ont produit une description d'un ensemble minimal de données qui contient des informations provenant à la fois du laboratoire et du terrain. GlobalSoilMap (Arrouays et al. 2014) suggère de collecter et d'enregistrer les douze variables suivantes avec les unités suivantes :

- 1) Profondeur du régolithe (cm);
- 2) Profondeur exploitable par les plantes (effective) (profondeur maximale d'enracinement, cm);
- 3) Carbone organique (g kg^{-1});
- 4) pH;
- 5) Argile (g kg^{-1});
- 6) Limon (g kg^{-1});
- 7) Sable (g kg^{-1});
- 8) Fragments grossiers ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);
- 9) Capacité d'échange cationique effective ($\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$);
- 10) Densité apparente (sol entier, Mg m^{-3});
- 11) Densité apparente (terre fine, Mg m^{-3});
- 12) Capacité en eau disponible (cm), cette dernière étant généralement prédite à partir d'autres propriétés ayant des fonctions de pédotransfert.

Pendant, de nombreuses autres propriétés physiques, chimiques ou biologiques peuvent être évaluées. L'utilisation d'un identifiant d'échantillon simple, mais unique est le meilleur moyen de relier les informations provenant du laboratoire et du terrain.

Le codage utile pour un ID d'échantillon pourrait inclure un identifiant de projet, un code de localisation, le numéro de l'échantillon, et, s'il s'agit d'un projet pluriannuel, un identifiant de l'année. Par exemple, 22YKKR001 pourrait être la structure utilisée pour le premier échantillon (001) prélevé au Yukon (YK) au large de la rivière Klondike (KR) en 2022 (22).

Comment stocker les échantillons de sol?

Un échantillon de sol séché stocké dans un récipient en plastique ou en verre clairement étiqueté se conserve pendant des années. Le code-barres ou le système de suivi doit inclure des liens entre l'identifiant de l'échantillon et les métadonnées des informations sur le site/la parcelle et les résultats d'analyse.



Contribuer au Big Data

Des efforts sont en cours pour mieux suivre et archiver les données d'échantillonnage des sols au sein du Service canadien des forêts et permettre leur arrimage avec d'autres initiatives de données sur les sols au niveau national et international. Pour plus d'informations sur la manière d'inclure vos données dans ces initiatives, veuillez contacter :

David Paré (david.pare@nrcan-rncan.gc.ca)

Kara Webster (kara.webster@nrcan-rncan.gc.ca)

Charlotte Norris (charlotte.norris@nrcan-rncan.gc.ca)

Références et lectures additionnelles

Arrouays, D et al., 2014. Chapter three — *GlobalSoilMap: Toward a fine-resolution global grid of soil properties*. *Advances in Agronomy* 125, 93–134.

Batjes, N. H., Ribeiro, E., and van Oostrum, A.: *Standardised soil profile data to support global mapping and modelling* (WoSIS snapshot 2019), *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 299–320, <https://doi.org/10.5194/essd-12-299-2020>, 2020.

Inventaire forestier national du Canada 2008. Lignes directrices pour l'échantillonnage terrain. ISBN 978-1-100-90382-8 ; https://nfi.nfis.org/fr/ground_plot

Todd-Brown, K. E. O., et al. 2022. *Reviews and syntheses: The promise of big diverse soil data, moving current practices towards future potential*, *Biogeosciences*, 19, 3505–3522, <https://doi.org/10.5194/bg-19-3505-2022>.

Wilkinson, M. D et al. 2016: *The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship*, *Scientific Data*, 3, 160018, <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.



Photo : profil de sol.