

**Mise au point d'une nouvelle méthode
d'échantillonnage des sols dans le réseau d'étude
et de surveillance des écosystèmes forestiers**

Rapport interne n° 479

par

Catherine PÉRIÉ, biol.,
Rock OUMET, ing.f.,
Jacques MARTINEAU, techn.for.
et
Benoit TOUSSAINT, techn.for.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs
Direction de la recherche forestière
2003

Avant-propos

Ce rapport fait suite aux rapports écrits précédemment par GAGNON *et al.* (1994a, 1994b) et SAINT-LAURENT *et al.* (1995). Il ne prétend pas être un rapport exhaustif des méthodes d'échantillonnage, de préparation et d'analyses des sols, mais se veut un outil descriptif du nouveau dispositif expérimental utilisé dans le RESEF depuis le printemps 2002. En fait, seuls le dispositif expérimental et les méthodes d'échantillonnage ont changé par rapport à ce qui se faisait antérieurement dans l'ensemble du réseau.

Ce nouveau dispositif apparaît comme une nécessité compte tenu de la grande variabilité spatiale des caractéristiques des sols et de la relativement faible ampleur des changements induits par des perturbations naturelles.

Table des matières

	page
Avant-propos	iii
Liste des figures	vii
Liste des photos	ix
Introduction.....	1
Chapitre premier - Choix du site	3
Chapitre deux - Dispositif expérimental	5
Chapitre trois - Description générale du site	7
Chapitre quatre - Méthode d'échantillonnage des sols.....	9
4.1 Le dispositif de monitoring des sols.....	9
4.1.1 La couverture morte	9
4.1.2 Le sol minéral	10
4.2 Le pédon	11
4.2.1 Description du profil et échantillonnages.....	11
4.2.2 Détermination de la pierrosité.....	12

	page
4.3 L'échantillonnage volumétrique	14
4.3.1 L'échantillonnage volumétrique pour déterminer la densité apparente de la couverture morte	14
4.3.2 L'échantillonnage volumétrique pour déterminer la densité apparente des sols minéraux	15
Conclusion	17
Références bibliographiques	19

Liste des figures

	page
Figure 1. Le Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers	2
Figure 2. Schéma du dispositif d'échantillonnage des sols dans le RESEF	6
Figure 3. Modèle numérique de terrain. Les classes d'élévation sont en centimètres (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec)	8
Figure 4. Schématisation d'un pédon. L'exemple illustré se ramène à la superposition de deux pyramides tronquées (L = largeur; P = profondeur; H = hauteur; b = base; i = intermédiaire; s = surface).....	13

Liste des photos

	page
Photo 1. Mesure du microrelief à l'aide d'un niveau de géomètre (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec).....	8
Photo 2. Échantillonnage de la couverture morte et de l'horizon supérieur (0-5 cm) du sol minéral.....	10
Photo 3. Les horizons minéraux, à partir de 10 cm de profondeur, sont prélevés à la tarière.....	11
Photo 4. Creusage du pédon à proximité du dispositif de monitoring (station 303 Lac Laflamme, 90 km au nord de Québec).....	12
Photo 5. Profil de sol à la station 204 Lac Tirassee (425 km au nord-ouest de Québec).....	12
Photo 6. Empilement de roches excavées du pédon (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec)	12
Photo 7. La pesée des roches excavées du pédon (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec)	13
Photo 8. Carotte à partir de laquelle seront déterminées les variables qui entrent dans le calcul de la densité apparente de la couverture morte	14
Photo 9. Récolte à la sonde à marteau des échantillons qui serviront à la mesure de la densité apparente des sols.....	15

Introduction

À la fin des années 1980, en raison des préoccupations et des engagements du gouvernement du Québec et de l'industrie forestière relativement aux stress environnementaux et à l'aménagement forestier durable, un réseau a été mis en place pour réaliser le suivi de l'état de santé des écosystèmes forestiers (GAGNON *et al.* 1994a, 1994b). Ce réseau, appelé *Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers* (RESEF), est géré par le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs et a pour principale vocation la cueillette d'informations objectives et à long terme sur le climat, la qualité de l'air et les caractéristiques intrinsèques des peuplements forestiers. Il a comme objectifs de :

- 1) dresser un portrait aussi exhaustif que possible des principaux écosystèmes forestiers québécois et
- 2) connaître l'impact des perturbations environnementales sur la dynamique et l'état de santé de ces écosystèmes.

Ce dernier objectif nécessite un suivi régulier de ces écosystèmes afin d'être capable de détecter, lorsqu'ils existent, les changements à long terme d'un certain nombre de paramètres clés, de déterminer l'amplitude de ces changements, ainsi que les impacts qu'ils pourraient avoir sur l'état de santé des écosystèmes forestiers québécois.

Le RESEF est un réseau de placettes permanentes, d'une durée de vie d'au moins 30 ans. Les premières places d'étude ont été installées en 1986 à la suite de l'observation du dépérissement des érablières dans le sud du Québec. Depuis, de nouvelles places d'étude se sont régulièrement ajoutées au réseau, qui en compte actuellement 31, établies partout à travers le Québec forestier méridional (Figure 1).

Qui dit suivi dans le temps, dit rééchantillonnage régulier des stations expérimentales.

Il existe un problème inhérent au suivi des sols. Si l'on veut connaître la concentration d'un élément donné dans le sol, il faut le prélever afin d'en faire l'analyse au laboratoire. Cet échantillon de sol n'est donc plus disponible pour un remesurage ultérieur. Les années suivantes, il faudra donc effectuer des prélèvements ailleurs dans son environnement immédiat.

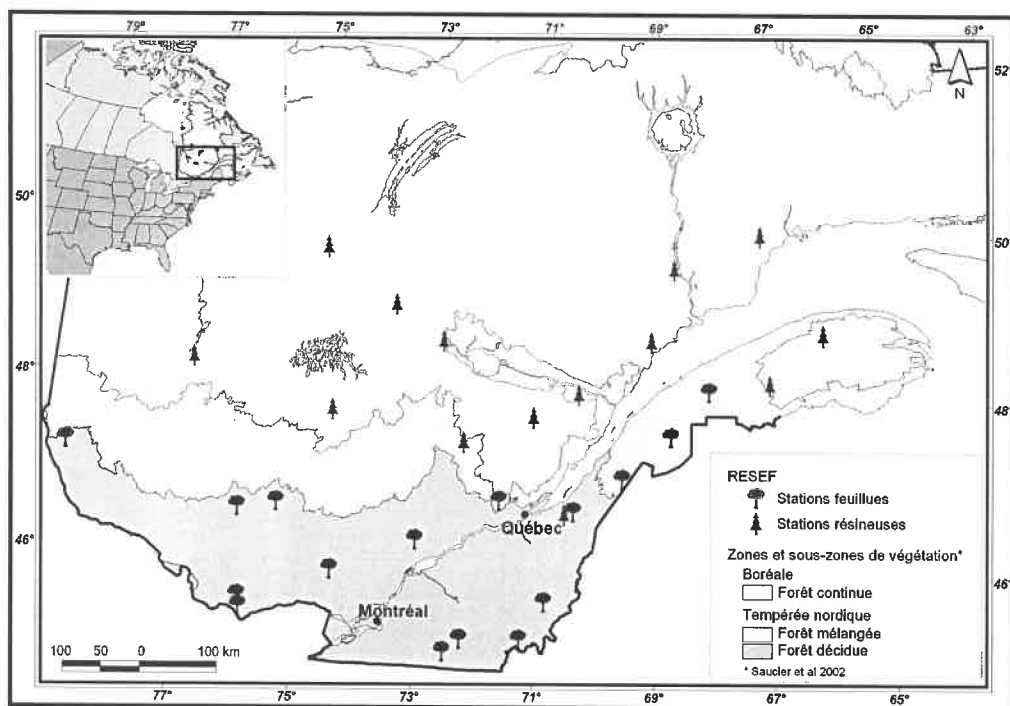


Figure 1. Le Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers.

Or, il est bien connu que les sols forestiers connaissent une variabilité spatiale. Cette variabilité spatiale, qui dans une optique de suivi dans le temps de la qualité des sols est considérée comme « bruit de fond », peut être préjudiciable, car elle peut être plus importante que les changements dans le temps que l'on veut être en mesure de pouvoir détecter.

Les géostatistiques, qui permettent de caractériser la structure spatiale des variables lorsqu'elle existe, semblent être un outil d'aide très intéressant à l'étude du suivi temporel de ces variables. Par le *krigage*, il est possible de prédire en un point, la valeur d'une variable. Cette prédiction est accompagnée d'un écart-type, et il est donc possible de bâtir un intervalle de confiance autour de la valeur prédite. Si, lors d'un rééchantillonnage, la valeur observée est en dehors de l'intervalle de confiance, on pourra attribuer le changement observé à un changement dans le temps et non à un changement dans l'espace.

Ce type d'analyses nécessite un dispositif expérimental approprié. C'est pourquoi, en 2002, nous avons choisi de modifier le dispositif expérimental d'échantillonnage des sols dans l'ensemble du RESEF. Il est important de noter que seuls le dispositif expérimental et la méthode d'échantillonnage des sols ont été modifiés. La préparation des échantillons ainsi que leurs analyses en laboratoire demeurent les mêmes que celles décrites par SAINT-LAURENT *et al.* (1995).

Ce rapport a pour principal objectif de décrire le nouveau dispositif de suivi des sols dans le RESEF.

Chapitre premier

Choix du site

Dans la mesure du possible, les nouveaux dispositifs d'échantillonnage des sols sont établis à proximité de chaque place d'étude du RESEF, dans un peuplement similaire à celui de la place d'étude et dans des sites sans obstacles majeurs apparents (chablis, affleurements rocheux). GAGNON *et al.* (1994b) expliquent comment le choix des places d'étude du RESEF a été et continue à être effectué dans le réseau.

Chapitre deux

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (400 m^2) est de forme carrée. Il est composé de 441 points équidistants de 1 mètre. L'année d'installation du dispositif, un prélèvement régulier est effectué, tous les 4 mètres. Cependant, en deux endroits du dispositif, choisis aléatoirement sur le terrain, un échantillonnage plus serré est réalisé, avec un prélèvement des sols effectué tous les mètres. Il y a donc un grand total de 60 points d'échantillonnage (Figure 2) réalisés l'année d'installation du dispositif. La mise en place de ce dispositif a commencé au cours de l'été 2002. Tous les échantillonnages précédents ont été effectués selon la méthode et le plan d'échantillonnage décrits dans GAGNON *et al.* (1994a).

Un pèdon, excavation d'environ 1 m^3 de sol, est creusé à proximité du dispositif de géostatistique et est géoréférencé (Figure 2).

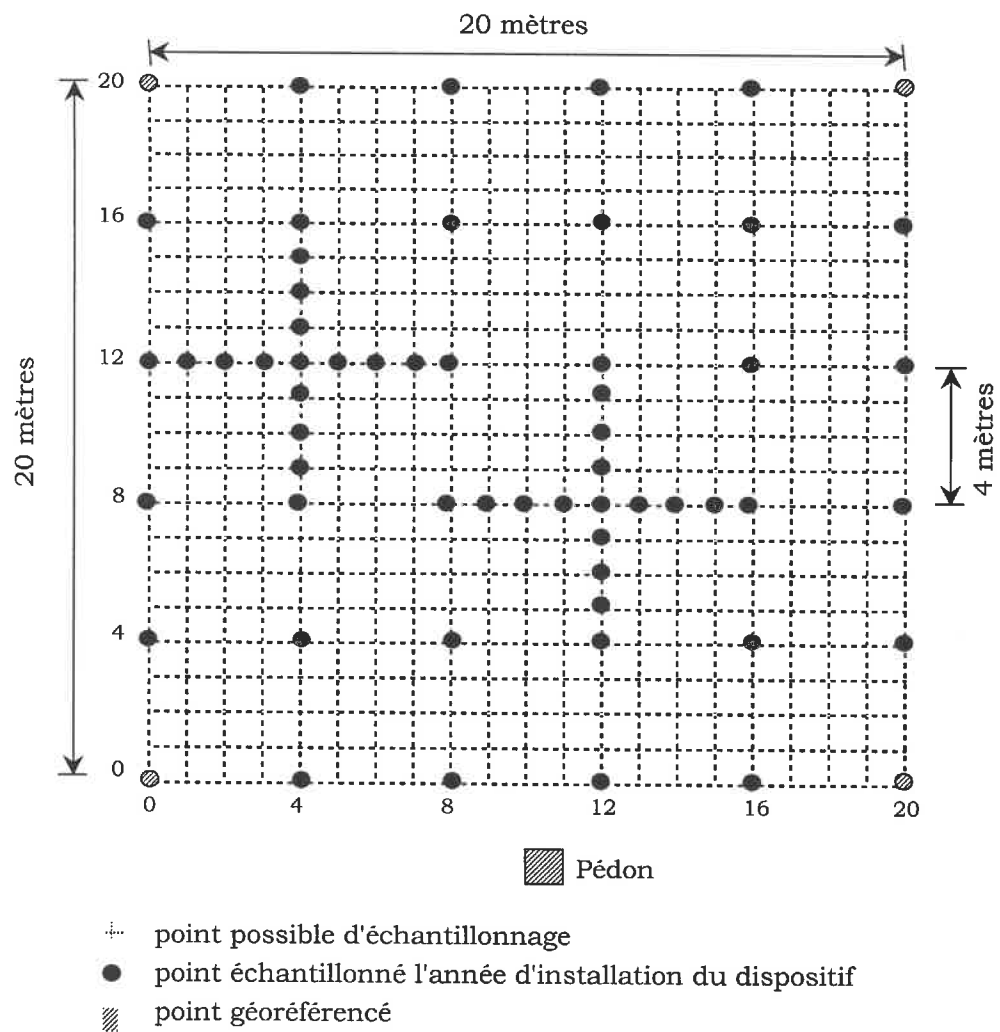


Figure 2. Schéma du dispositif d'échantillonnage des sols dans le RESEF.

Chapitre trois

Description générale du site

Lors de l'installation du dispositif, un ensemble de variables autres que les variables pédologiques sont mesurées afin de caractériser chaque site. Les quatre coins du dispositif sont géoréférencés (précision de la localisation, autour de 5 m). L'azimut des axes x et y du dispositif est relevé à partir du point de coordonnées (0, 0). La pente moyenne du dispositif est également mesurée ainsi que la microtopographie, à l'aide d'un niveau d'arpentage (Photo 1).

Les mesures de niveau sont effectuées tous les deux mètres. Ces données d'élévation sont ensuite traitées afin de produire un modèle numérique de terrain (Figure 3). Le point de coordonnées (0, 0) est pris comme référence, et toutes les élévations sont exprimées par rapport à ce point.

Les caractéristiques de la végétation sont également relevées. Toutes les tiges de plus de 1,1 cm de diamètre sont localisées et identifiées. Leur diamètre à hauteur de poitrine (dhp) ainsi que leur hauteur sont mesurés. Pour les arbres marchands, sont également mesurés la hauteur du fût, les rayons de cime selon les quatre directions, ainsi que la hauteur et les défauts de la tige. La régénération, ayant moins de 1,1 cm au dhp, mais plus de 1,30 m de hauteur, est identifiée et dénombrée. Le pourcentage de recouvrement de chaque espèce est également estimé, par strate de végétation.



Photo 1. Mesure du microrelief à l'aide d'un niveau de géomètre (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec).

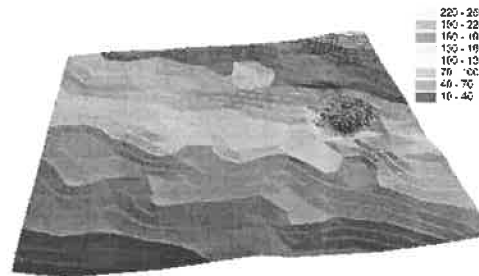


Figure 3. Modèle numérique de terrain. Les classes d'élévation sont en centimètres (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec).

Chapitre quatre

Méthode d'échantillonnage des sols

Deux dispositifs communs doivent être pris en compte :

- celui qui servira au monitoring proprement dit constitué de 441 points équidistants de 1 mètre;
- le pèdon qui permet de caractériser les sols du site d'étude l'année d'installation du dispositif. Ce pèdon sert également à estimer la pierrosité de la place d'étude, variable essentielle au calcul des stocks des éléments chimiques dans le sol, ainsi que la densité apparente des horizons minéraux du sol.

4.1 Le dispositif de monitoring des sols

4.1.1 La couverture morte

Dans un premier temps, à l'aide d'une pelle, la couverture morte et les horizons minéraux superficiels sont excavés du sol (Photo 2). L'épaisseur totale de la couverture morte ainsi que celle de l'horizon organique H, lorsqu'il est identifiable, sont mesurées. L'ensemble de la couverture morte est prélevée pour l'analyse chimique.

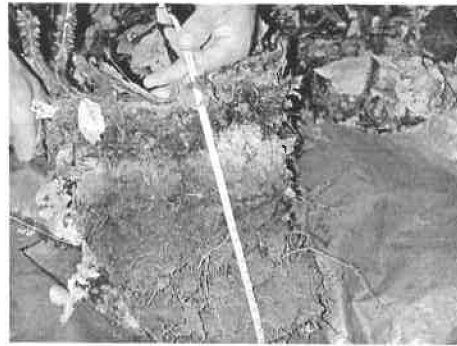


Photo 2. Échantillonnage de la couverture morte et de l'horizon supérieur (0-5 cm) du sol minéral.

4.1.2 Le sol minéral

L'échantillonnage du sol minéral se fait par profondeur et non plus par horizon. Les profondeurs échantillonnées sont :

- 0-5 cm
- 5-10 cm
- 10-20 cm
- 20-40 cm
- 40-60 cm
- 60-80 cm
- 80-100 cm

L'horizon minéral superficiel (0-5 cm) est récolté à la pelle, en même temps que la couverture morte (Photo 2). L'horizon 5-10 cm est récolté dans le trou, à la truelle, tandis que les horizons sous-jacents sont récoltés à la tarière (Photo 3). L'échantillonnage des sols minéraux se fait ainsi, par profondeurs successives, jusqu'à 100 cm lorsque la pierrosité le permet. Dans tous les cas, la profondeur maximale de récolte est notée.



Photo 3. Les horizons minéraux, à partir de 10 cm de profondeur, sont prélevés à la tarière.

4.2 Le pédon

4.2.1 Description du profil et échantillonnages

1. Description

À proximité du dispositif de monitoring, un pédon est creusé (Photo 4). Son emplacement est géoréférencé, et une bâche est installée à proximité pour recevoir la terre excavée, de manière à contaminer le moins possible les environs immédiats du trou.

La classe de drainage, le type de dépôt, l'assise rocheuse et la hauteur de la nappe phréatique sont également relevés.

2. Échantillonnage

Une fois le profil creusé (Photo 5), la face qui devra être échantillonnée, généralement celle perpendiculaire à l'orientation de la pente, est nettoyée. Une description détaillée de chaque horizon est alors entreprise, conformément au Guide écrit par BERNIER et CARRIER (1977). Les roches excavées de plus de 5 cm sont entassées à proximité du trou (Photo 6). Les profondeurs d'enracinement sont également notées, selon trois classes d'abondance des racines :

- racines très abondantes
- racines moyennement abondantes
- racines peu abondantes



Photo 4. Creusage du pédon à proximité du dispositif de monitoring (station 303 Lac Laflamme, 90 km au nord de Québec).



Photo 5. Profil de sol à la station 204 Lac Tirassee (425 km au nord-ouest de Québec).



Photo 6. Empilement de roches excavées du pédon (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec).

Enfin, un échantillonnage de tous les horizons est réalisé, en commençant par l'horizon le plus profond, généralement l'horizon C.

Parallèlement, un échantillonnage systématique est réalisé tous les 5 cm, là aussi en commençant par l'échantillon le plus profond, soit le 95 – 100 cm.

4.2.2 Détermination de la pierrosité

Les roches de plus de 5 cm sont pesées (Photo 7). Lorsqu'elles sont trop lourdes pour être pesées, leur volume est calculé selon leurs mesures relevées sur le terrain.



Photo 7. La pesée des roches excavées du pédon (station 301 Duchesnay, 50 km au nord-ouest de Québec).

Quelques-unes sont apportées au laboratoire afin de déterminer leur masse volumique exacte (ρ_m ; g cm^{-3}). Le volume de terre excavée est calculé (équation 1) à partir des mesures exactes du trou creusé. Le plus fréquemment, le pédon creusé est assimilé à une ou plusieurs pyramides tronquées, avec une aire à la base plus petite que l'aire de surface (Figure 4).

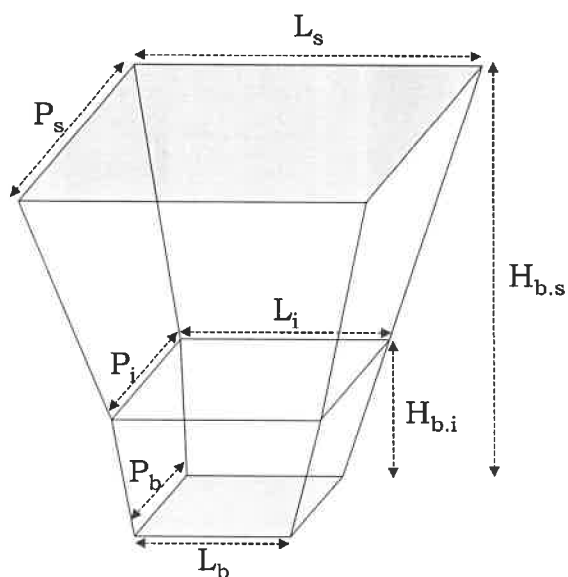


Figure 4. Schématisation d'un pédon. L'exemple illustré se ramène à la superposition de deux pyramides tronquées (L = largeur; P = profondeur; H = hauteur; b = base; i = intermédiaire; s = surface).

$$V_p = \left(\frac{1}{3} H_{bi} \left((L_b * P_b) + (L_i * P_i) + \left(\sqrt{L_b * P_b} * \sqrt{L_i * P_i} \right) \right) \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{3} (H_{bs} - H_{bi}) \left((L_s * P_s) + (L_i * P_i) + \left(\sqrt{L_s * P_s} * \sqrt{L_i * P_i} \right) \right) \right) \right) \quad \text{équation 1}$$

Il est alors possible de calculer la pierrosité exacte du pèdon ().

Connaissant le volume du pèdon (V_p , cm^3), la masse totale des roches excavées (M , g), ainsi que leur masse volumique (ρ_m , g cm^{-3}), il est possible de connaître la pierrosité ($Pier$, %)

$$Pier = \frac{M \times 100}{\rho_m \times V_p} \quad \text{équation 2}$$

4.3 L'échantillonnage volumétrique

Cet échantillonnage permet de déterminer la densité apparente des sols, variable indispensable pour transformer les données de concentrations en éléments (poids poids⁻¹), en stocks d'éléments (poids surface⁻¹).

4.3.1 L'échantillonnage volumétrique pour déterminer la densité apparente de la couverture morte

Cet échantillonnage est réalisé à la sonde à marteau (diamètre du tube = 4,48 cm) pour chaque point échantillonné du dispositif de monitoring. Il se fait verticalement. Le volume de sol recueilli dépend de l'épaisseur de la couverture morte ($\acute{E}p$, cm). La carotte de sol ainsi prélevée est rapportée au laboratoire (Photo 8). L'épaisseur de la couverture morte est notée puis l'on sépare minutieusement, la couverture morte du sol minéral. La couverture morte est séchée puis pesée (M , g).



Photo 8. Carotte à partir de laquelle seront déterminées les variables qui entrent dans le calcul de la densité apparente de la couverture morte.

La densité apparente de la couverture morte est alors déterminée à l'aide de l'équation 3 (g volume^{-1}) ou de l'équation 4 (g surface^{-1}).

$$D_b (\text{g cm}^{-3}) = \frac{M}{\pi * 5.0176 * \acute{E}p} \quad \text{équation 3}$$

$$D_b (\text{g cm}^{-2}) = \frac{M}{\pi * 5.0176} \quad \text{équation 4}$$

4.3.2 L'échantillonnage volumétrique pour déterminer la densité apparente des sols minéraux

Cet échantillonnage est réalisé à l'aide de la sonde à marteau (Photo 9). L'échantillonnage se fait horizontalement dans le pédon. Le volume de sol recueilli est de 130 cm^3 . Le sol recueilli est séché puis pesé (M_{tot} ; g) avant d'être tamisé à 2 mm (M_{fin} ; g). La densité apparente (D_b , g cm^{-3}) des horizons minéraux est calculée selon l'équation 5. Une fraction aliquote du sol tamisé à 2 mm est broyée à 0,5 mm puis est analysée pour connaître sa teneur en carbone organique (méthode Walkey et Black).

$$D_b = \frac{M_{tot} \times 130 \left(1 - \frac{\rho_m}{130}\right)}{(M_{tot} - M_{fin})} \quad \text{équation 5}$$



Photo 9. Récolte à la sonde à marteau des échantillons qui serviront à la mesure de la densité apparente des sols.

Dans le dispositif de monitoring, la densité apparente des horizons minéraux n'est pas mesurée. Elle est prédite selon l'équation proposée par FEDERER *et al.* (1993) laquelle est couramment utilisée en Amérique du Nord. Il est ainsi possible d'estimer la densité apparente d'un horizon (D_b) à partir de sa

teneur en matière organique (F_o), elle même déterminée à partir de la concentration en carbone organique du sol. Cette équation sera utilisée pour calculer la densité apparente des horizons minéraux prélevés dans le dispositif de monitoring.

$$D_b = \frac{D_{bm}D_{bo}}{F_o D_{bm} + (1 - F_o) D_{bo}} \quad \text{équation 6}$$

Dans un premier temps, les coefficients D_{bo} et D_{bm} (respectivement la densité apparente de la matière organique sans matière minérale et celle du sol minéral exempt de matière organique) sont ajustés, par itération, aux données relevées sur le terrain, puisque F_o et D_b sont connus. Une fois ces coefficients ajustés, l'équation 6 est utilisée pour évaluer la densité apparente de tous les horizons minéraux du dispositif de monitoring.

Conclusion

Ce rapport est un guide qui illustre les nouveaux dispositifs de suivi des caractéristiques des sols des stations du RESEF, ainsi que les méthodes d'échantillonnage proprement dites. Ces dispositifs permettront de tenir compte de la variabilité spatiale des caractéristiques des sols afin d'augmenter la puissance des analyses statistiques et ainsi déceler dans le temps d'éventuels changements des caractéristiques des sols.

Références bibliographiques

- BERNIER, B. et L. CARRIER, 1977., 1977. *Guide pour la prise des notes au cours des relevés pédologiques en forêt*. 2^e Édition. Gouvernement du Québec, ministère des Terres et Forêts, Direction générale des forêts, Service de la recherche, 2. 33 p.
- FEDERER, C.A., D.E. TURCOTTE et C.T. SMITH, 1993. *The organic fraction-bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils*. Can. J. For. Res. 23 : 1026-1032.
- GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUIN et G. ROY, 1994a. *Le Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). I - Définitions et méthodes*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n°115. 40 p.
- GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUIN et J. JACQUES, 1994b. *Le Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). II - Description des places d'étude et de données de base*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec. Mémoire de recherche n°116. 188 p.
- SAINT-LAURENT, S., C. CAMIRE et R. OUIMET, 1995. *Méthodologie d'échantillonnage des sols du Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) et préparation des échantillons pour fins d'analyses*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec. Rapport interne n° 398. 27 p.