

**Guide d'échantillonnage
à des fins d'analyses
environnementales**

CAHIER 5

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

ÉDITION : Août 2008

Note au lecteur : Les renseignements relatifs aux marques déposées ou aux produits commerciaux ne sont donnés qu'à titre indicatif; des produits équivalents peuvent leur être substitués.

Pour information complémentaire sur les activités du
Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
ou pour vous procurer nos documents, veuillez consulter notre site Internet
à l'adresse suivante : www.ceaeq.gouv.qc.ca

ou communiquer avec nous :

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
2700, rue Einstein, bureau E.2.220
Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-1301
Télécopieur : 418 528-1091
Courriel : ceaeq@mddep.gouv.qc.ca

Référence bibliographique :

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC,
août 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols*,
Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 59 p., 3 annexes,
http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/guides_ech.htm

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2009

ISBN 978-2-550-55291-8 Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale
ISBN 978-2-550-55292-5 Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale (version anglaise)

ISBN 978-2-550-55493-6 (PDF) (Édition : Août 2008)
ISBN 978-2-550-55309-0 (PDF) (publié précédemment par Les éditions le Griffon d'argile, ISBN 2-89443-143-0, 2^e édition, 2001)

© Gouvernement du Québec, 2008

AVANT-PROPOS

Le *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* regroupe une série de cahiers traitant spécifiquement de l'échantillonnage de divers milieux. Il décrit un ensemble de bonnes pratiques qui régissent la planification et la réalisation des travaux d'échantillonnage et vise ainsi à assurer la qualité des prélèvements d'échantillons ainsi que la validité des données scientifiques qui en découlent.

L'ouvrage, dans son ensemble, a été mis en œuvre par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, plus particulièrement par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, après que l'on eut constaté que les préleveurs n'avaient pas à leur disposition les instruments nécessaires pour acquérir rapidement une connaissance générale des pratiques d'échantillonnage au Québec.

Ce document s'adresse aux préleveurs qui participent à une campagne d'échantillonnage et a pour objectif de fournir des lignes directrices en vue de la planification et la réalisation de travaux d'échantillonnage. Bien que le guide soit d'une grande portée, il peut exister des situations où son application ne garantit pas le succès escompté. Dans ces cas, on devra recourir à l'expertise de spécialistes.

Depuis la première édition de ce cahier, différentes problématiques ont été soulevées par les utilisateurs; nous en avons tenu compte pour améliorer le contenu du document et nous adapter aux innovations récentes dans le secteur de l'échantillonnage des sols. Le contenu de ce cahier présente le cheminement à suivre pour réaliser une campagne d'échantillonnage des sols à des fins d'analyses environnementales de même que les bonnes pratiques qui y sont associées.

L'utilisateur de ce cinquième cahier doit tenir compte des données inscrites dans le Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾. Rappelons que ce premier cahier traite du cadre général de la planification d'une campagne d'échantillonnage et des procédures techniques aux plans de la qualité, de la santé et de la sécurité ainsi que de l'intégrité de l'échantillon.

Cette deuxième édition a été réalisée en consultation avec un comité de révision composé de membres intéressés aux questions relatives à l'échantillonnage des sols. Nous tenons à les remercier très sincèrement pour leur contribution. Nous remercions également les auteurs de la première édition ainsi que toutes les personnes qui ont collaboré de près ou de loin à la préparation de ce document.

Août 2008

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	3
LISTE DES TABLEAUX.....	7
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES ANNEXES.....	9
1. INTRODUCTION.....	11
2. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE.....	11
2.1. Revue des données existantes.....	12
2.1.1. Historique	12
2.1.2. Caractéristiques du terrain.....	12
2.2. Méthodes d’investigation indirecte	14
3. CAMPAGNE D’ÉCHANTILLONNAGE.....	14
3.1. Objectifs.....	14
3.2. Patron d’échantillonnage	15
3.2.1. Localisation des échantillons en plan	15
3.2.2. Localisation en coupe.....	17
3.2.3. Types d’échantillons	18
3.3. Paramètres d’analyse.....	20
4. MÉTHODES D’ÉCHANTILLONNAGE.....	21
4.1. Échantillonnage de faible profondeur.....	23
4.2. Échantillonnage dans un puits d’exploration ou dans une tranchée	26
4.3. Échantillonnage à partir d’un forage	27
4.3.1. Équipement de forage	27
4.3.2. Types d’échantillonneurs	30
5. PRÉLÈVEMENT DE L’ÉCHANTILLON.....	36
5.1. Matériel utilisé	36
5.2. Lavage du matériel utilisé	37
5.2.1. Lavage des outils d’échantillonnage.....	38
5.2.2. Lavage des contenants.....	39

5.3.	Préparation de l'échantillon sur le terrain.....	40
5.3.1.	Échantillon composé	40
5.3.2.	Échantillon en duplicata	40
5.3.3.	Échantillon pour composés volatils	41
5.3.4.	Échantillon de sols grossiers	42
5.4.	Description des échantillons.....	43
5.5.	Identification des échantillons	43
5.6.	Conservation des échantillons	44
5.7.	Échantillon à caractère juridique	44
6.	CONTRÔLE DE QUALITÉ DES ÉCHANTILLONS DE SOLS	44
6.1.	Sur le terrain.....	45
6.2.	En laboratoire.....	46
7.	SANTÉ ET SÉCURITÉ.....	46
8.	COMPTE RENDU D'ÉCHANTILLONNAGE	46
8.1.	Cahier de terrain.....	46
8.2.	Carte de localisation.....	47
8.3.	Fiche de sondage.....	47
8.4.	Document photographique	47
9.	PARTICULARITÉS.....	47
9.1.	Échantillonnage de sols en piles.....	48
9.1.1.	Nombre de sous-échantillons à mélanger	49
9.1.2.	Méthode d'échantillonnage : hétérogénéité verticale.....	49
9.2.	Échantillonnage d'une contamination de surface par voie aéroportée	49
9.3.	Échantillonnage d'un remblai.....	50
9.4.	Échantillonnage de sols mélangés avec des matières résiduelles	50
9.5.	Échantillonnage de sol sur des terrains en restauration.....	50
9.5.1.	Lors de travaux d'excavation de sols contaminés	50
9.5.2.	Lors du traitement de sols contaminés.....	51
	RÉFÉRENCES	53
	BIBLIOGRAPHIE	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principaux types d'échantillonneurs de sols	22
Tableau 2 : Classification des sols granulaires	42
Tableau 3 : Nombre d'échantillons requis par volume de sol	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tarière manuelle.....	24
Figure 2 : Tubes d'échantillonnage de sol	25
Figure 3 : Schéma d'un échantillonneur de type carottier fendu.....	32
Figure 4 : Systèmes de rétention d'échantillons	32
Figure 5 : Schéma d'un tube à paroi mince (Shelby)	33
Figure 6 : Carottier utilisé avec une foreuse à tarières creuses	34

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 - Liste du matériel utilitaire à apporter sur le terrain lors d'une campagne d'échantillonnage de sols

Annexe 2 - Fiche de sondage ou de tranchée d'exploration

Annexe 3 - Fiche de forage et notes explicatives sur les rapports de forage

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, on remarque une prise de conscience de plus en plus répandue par rapport aux problèmes liés à l'environnement. Les sols contaminés, quant à eux, sont l'objet d'efforts collectifs menés afin de tâcher d'enrayer les problèmes qu'ils peuvent causer. La *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* ⁽¹⁾ sert d'outil de gestion pour effectuer des études de caractérisation sur différents terrains susceptibles d'être contaminés dans le but de les réhabiliter au besoin. L'échantillonnage des sols constitue une partie importante d'une étude de caractérisation d'un terrain et fait aussi partie intégrante des travaux de restauration.

L'échantillonnage du sol doit tenir compte des différentes particularités qui lui sont associées. En effet, le sol se distingue des autres milieux (eau, air) par son degré d'hétérogénéité de constitution et de distribution et par ses caractéristiques qui permettent parfois la migration de contaminants. Étant donné les différents modes de déposition géologique, la nature et la composition du sol peuvent varier rapidement sur de courtes distances, aussi bien dans le plan horizontal que vertical. Également, les sols de surface sont souvent remaniés par l'action de l'homme. Par ailleurs, le type de contaminant de même que le degré et l'étendue de la contamination dans les sols peuvent montrer une grande variabilité selon les activités qui y ont été réalisées. Les sols peuvent être contaminés par des matières dangereuses, par des résidus enfouis, par des fuites provenant d'un réservoir souterrain ou par toute activité contaminant la surface.

Ce cahier fournit à l'utilisateur les lignes directrices de base pour réaliser une campagne d'échantillonnage des sols pour analyses environnementales de même que les bonnes pratiques qui y sont associées. Toutefois, il ne constitue pas une revue exhaustive de toutes les techniques et méthodes existantes dans le domaine de l'échantillonnage des sols et ne garantit pas le succès dans toutes les situations. La planification et l'échantillonnage doivent être effectués par des spécialistes dans le domaine, qui sont en mesure de fournir une évaluation professionnelle pour chaque cas particulier. Le *Guide de caractérisation des terrains*(2), quant à lui, présente de façon détaillée les principaux éléments pour la planification d'une étude de caractérisation.

2. ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

Avant d'entreprendre une campagne d'échantillonnage, il est important de faire une revue des données existantes, incluant l'historique du terrain, afin de mieux définir les objectifs de l'étude. Des méthodes d'investigation indirecte, décrites plus loin, peuvent être utilisées comme complément d'information.

2.1. Revue des données existantes

Les objectifs de cette étape sont de se familiariser avec le terrain à l'étude, d'évaluer s'il y a eu des activités actuelles ou antérieures susceptibles de contaminer les sols et d'identifier la problématique du lieu. La collecte des données existantes s'effectue généralement par une revue de la documentation, notamment par la détermination de l'historique du terrain et par une visite de reconnaissance.

2.1.1. Historique

Les données sur l'historique du terrain peuvent fournir des renseignements pertinents sur le type de contaminant potentiellement présent de même que sur les endroits susceptibles d'être contaminés. Ces données comprennent des renseignements sur les activités ou infrastructures présentes et passées, notamment sur les procédés industriels utilisés, sur les matières premières employées, sur les produits et les résidus générés de même que sur les pratiques de disposition et de gestion (enfouissement et entreposage) de ces résidus. De plus, des renseignements sur les déversements accidentels, sur les zones remblayées et sur la provenance des remblais peuvent être disponibles.

Le propriétaire (ou l'utilisateur) du terrain est souvent la principale source d'information. Lorsqu'il s'agit d'une entreprise, elle possède généralement des cartes, des plans, des diagrammes de procédés, des rapports d'échantillonnage déjà effectués, etc. D'autres renseignements peuvent provenir de dossiers municipaux et gouvernementaux (provincial et fédéral), comprenant notamment des rapports d'inspection, des bilans annuels, des permis et des certificats d'autorisation. Des renseignements pertinents peuvent également être tirés d'anciennes photos aériennes, de discussions avec les employés (ou avec d'anciens employés) de même qu'avec des résidents avoisinants. De plus, une consultation des actes notariés au bureau de publicité des droits peut s'avérer très utile pour établir la chaîne de propriété des terrains.

2.1.2. Caractéristiques du terrain

Il est important de connaître le plus précisément possible les caractéristiques physiques et chimiques du terrain à l'étude lors d'une campagne d'échantillonnage ainsi que celles des contaminants présents ou soupçonnés. Les renseignements obtenus sur le terrain, autant en surface qu'en profondeur, permettent de mieux comprendre les phénomènes de migration des contaminants présents et de mieux localiser les points d'échantillonnage.

Les principaux éléments à connaître et à identifier sur le terrain sont les caractéristiques de surface, la présence de structures enfouies, le contexte géologique et hydrogéologique et les caractéristiques de la contamination (ex. : la solubilité, la miscibilité, etc.).

- **Caractéristiques de surface**

Les éléments à identifier à la surface du terrain sont constitués de tous les indicateurs de contamination (présence de résidus, de contenants entreposés sur le sol, état de la végétation, indices visuels et olfactifs).

De plus, tous les renseignements concernant la topographie du terrain, le réseau de drainage et le réseau hydrographique avoisinant doivent être connus. Certains de ces renseignements peuvent être obtenus à partir de cartes topographiques ou de photos aériennes. Toutefois, une inspection du terrain est nécessaire pour compléter ces cartes. Également, la direction des vents dominants est une composante à considérer lors de l'évaluation préliminaire. En effet, dans certains cas, des particules contaminées ou des poussières peuvent se déplacer en suspension dans l'air, se déposer et causer une contamination des sols en surface.

- **Infrastructures enfouies**

Tout renseignement concernant la présence d'infrastructures enfouies, de réservoirs, de réseaux de drainage souterrain, de services souterrains d'utilité publique, de dalles de béton ou d'autres éléments quelconques doit être recueilli. Toutes ces infrastructures dans le sol peuvent modifier considérablement les caractéristiques du sous-sol et affecter la migration des contaminants. Étant donné que les matériaux de remblai autour de ces infrastructures sont généralement plus perméables que les sols environnants, ils peuvent accumuler des contaminants ou devenir des chemins favorisant leur migration.

- **Contexte géologique et hydrogéologique**

Le contexte géologique et hydrogéologique du terrain est défini en recueillant des données sur la stratigraphie et, s'il y a lieu, sur la nappe phréatique, sur son utilisation actuelle ou potentielle, etc. Des outils tels des cartes géologiques ou géomorphologiques ou des rapports de forage fournissent de précieux renseignements. L'inspection de coupes géologiques sur le lieu ou à proximité (ex. : observation d'une paroi dans une gravière ou d'un affleurement rocheux), lorsque cela est possible, fournit des renseignements additionnels. Ces renseignements, couplés avec la connaissance des mécanismes de migration des contaminants dans le sol, permettent d'identifier approximativement les zones les plus susceptibles d'être contaminées et ainsi d'orienter la campagne d'échantillonnage.

- **Caractéristiques des contaminants**

Les caractéristiques physiques et chimiques des contaminants ont une influence déterminante sur leur capacité de migration selon les propriétés du terrain étudié. Le devenir d'une substance chimique dans les sols est déterminé par ses différentes propriétés physico-chimiques tels la solubilité, la miscibilité, le coefficient d'absorption et de partition, etc. ainsi que par les caractéristiques du sol. De plus, la toxicité des contaminants a une incidence importante sur les organismes vivants et requiert parfois des études écotoxicologiques.

2.2. Méthodes d'investigation indirecte

Des méthodes indirectes d'investigation du sol peuvent être utilisées afin de mieux localiser les zones cibles à échantillonner. Ces méthodes ne remplacent pas les méthodes d'échantillonnage mais sont utilisées conjointement avec celles-ci. Elles ont l'avantage de ne pas être intrusives et les résultats obtenus sont généralement qualitatifs. Une revue des principales méthodes utilisées pour l'investigation indirecte des terrains est présentée dans le *Guide de caractérisation des terrains* ⁽²⁾. Il s'agit de la télédétection, de la photo-interprétation (photographies aériennes) et des méthodes géophysiques de prospection telles que l'induction électromagnétique, le géoradar, la résistivité électrique et la réfraction sismique. On trouve aussi la méthode radioactive de levé au radon, les méthodes de détection des gaz interstitiels du sol, les méthodes de détection instantanée de canalisations ou structures souterraines, etc.

3. CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE

3.1. Objectifs

Avant d'entreprendre une campagne d'échantillonnage, le chargé de projet doit tout d'abord définir ses objectifs. Les principaux objectifs poursuivis consistent à démontrer la présence de contamination dans les sols, à définir le degré de contamination et à évaluer la distribution spatiale des contaminants de même qu'à préciser le profil stratigraphique et les propriétés des sols. Dans le cas où il est nécessaire d'atteindre plusieurs objectifs, il est recommandé de planifier une campagne d'échantillonnage en plusieurs étapes. Par exemple, une étude de caractérisation préliminaire du terrain peut d'abord être effectuée afin de confirmer la présence de contamination et de définir le type de contaminant présent, le profil stratigraphique et les propriétés des sols. Par la suite, une étude de caractérisation exhaustive est entreprise afin de préciser le degré de contamination, de déterminer la distribution spatiale des contaminants, d'évaluer les effets de ces contaminants sur l'environnement et d'estimer les volumes de sol et matériaux contaminés. Cette étude complémentaire peut également permettre d'évaluer le degré d'hétérogénéité des propriétés des sols. Une telle évaluation permet de planifier des mesures de restauration du terrain, le cas échéant. Le *Guide de caractérisation des terrains* ⁽²⁾ décrit plus en détail les différentes étapes d'une telle étude.

3.2. Patron d'échantillonnage

L'élaboration du patron d'échantillonnage consiste à localiser en plan ou en coupe les différents prélèvements de même qu'à définir le type d'échantillons à prélever.

3.2.1. Localisation des échantillons en plan

La localisation des stations d'échantillonnage en plan est généralement faite à partir de cartes. Les emplacements sont ensuite localisés sur le terrain et le patron d'échantillonnage élaboré doit être suffisamment flexible pour permettre des ajustements sur le terrain.

Les différentes approches de prélèvement d'échantillons sont décrites dans le Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾. Les approches les plus utilisées lors de campagnes d'échantillonnage de sols sont l'échantillonnage ciblé, l'échantillonnage aléatoire systématique et l'échantillonnage aléatoire simple⁽⁴⁾. Ces approches peuvent également être combinées pour améliorer la qualité de l'information recueillie lors de l'échantillonnage.

L'échantillonnage ciblé consiste à prélever des échantillons de sols à un endroit précis où les renseignements obtenus nous font soupçonner une contamination. Par exemple, la revue des données existantes et la visite de reconnaissance peuvent fournir des indices apparents (ou cachés) de pollution qui nécessitent une investigation, comme une tache d'huile sur le sol, un réservoir enfoui ou une ancienne aire d'entreposage. On peut aussi caractériser un sol par échantillonnage ciblé afin d'en connaître la teneur de fond. Cette approche fait appel au jugement et nécessite le choix d'un site déterminé.

Cette approche d'échantillonnage a toutefois comme caractéristique de faire ressortir les plus forts niveaux de contamination sur un terrain donné et non pas la contamination moyenne du terrain. Il est impossible d'effectuer des traitements statistiques à partir de ces données.

L'échantillonnage ciblé requiert des données préliminaires suffisantes. Lorsque les données sont insuffisantes, il est préférable de localiser les échantillons selon une approche différente.

L'échantillonnage aléatoire systématique consiste à prélever des échantillons selon une structure régulière. Il existe différentes configurations de maillage mais celle faite à partir d'un maillage carré est la plus courante. Dans cet exemple, les échantillons sont prélevés à chacune des intersections du maillage, au centre de celui-ci ou au hasard à l'intérieur de chacune des mailles. Le point de départ et l'orientation du maillage peuvent être choisis au hasard ou en tenant compte des renseignements disponibles (obstacles, sens de migration soupçonnée, etc.). Cette méthode permet une couverture uniforme du terrain à l'étude et elle est simple à réaliser.

De plus, elle facilite la cartographie des données et l'interprétation des résultats d'analyses en permettant, par exemple, de tracer des profils longitudinaux et transversaux de la contamination. L'échantillonnage aléatoire systématique à partir d'un maillage carré a de plus l'avantage de faciliter l'estimation de la surface et du volume de sols contaminés.

La détermination de la dimension des mailles est un élément de décision important dans l'élaboration d'un plan d'échantillonnage systématique. Cette dimension est souvent établie à partir de l'expérience et du jugement du spécialiste responsable de la caractérisation selon la précision désirée. Par exemple, lors d'une campagne de caractérisation préliminaire, le maillage est généralement plus lâche que lors d'une caractérisation exhaustive, où une plus grande précision dans la localisation des contaminants est requise.

Dans certains cas, un outil comme la géostatistique peut permettre le calcul de la dimension optimale des mailles⁽⁵⁾. La géostatistique est définie comme étant une méthode statistique pour l'analyse de données linéaires, corrélées dans l'espace. Pour permettre de calculer la dimension des mailles, cette méthode exige qu'elle soit incorporée au début d'un projet de caractérisation et qu'un nombre important d'analyses préliminaires soient effectuées pour vérifier la variabilité des échantillons. Elle est donc peu applicable lors de caractérisation de cas mineurs ayant un nombre restreint d'échantillons.

L'échantillonnage aléatoire simple consiste à prélever des échantillons à des endroits choisis au hasard sur le terrain. Cette approche (non combinée à une autre méthode) n'est pas recommandée pour localiser des stations d'échantillonnage. D'un point de vue statistique, elle peut permettre d'évaluer la contamination moyenne d'un milieu. Cependant, en raison de la variabilité intrinsèque des sols, elle ne peut donner une précision élevée que si le sol est contaminé de façon homogène. De plus, la mise en plan et l'interprétation des résultats d'analyse provenant d'échantillons prélevés de façon aléatoire simple peuvent s'avérer laborieuses.

Les approches d'échantillonnage ciblé ou aléatoire systématique sont donc favorisées au détriment de l'échantillonnage aléatoire simple.

L'échantillonnage combiné peut s'avérer nécessaire afin de séparer le terrain en zones distinctes. Ces zones peuvent se différencier par le type de contaminants susceptibles d'être décelés, par le degré de contamination soupçonné et par le mode de dispersion des contaminants.

Les zones ainsi formées peuvent alors être échantillonnées avec une approche différente. Dans certaines zones, il peut s'avérer plus pertinent d'utiliser une approche ciblée, alors que d'autres peuvent demander une approche aléatoire systématique.

De même, certaines zones pourront demander l'utilisation d'un maillage plus serré selon la variabilité des contaminants ou, dans certains cas, selon le niveau d'impact potentiel sur le milieu environnant.

Dans certaines situations, il peut être intéressant de combiner deux approches d'échantillonnage pour caractériser de façon optimale une même zone, par exemple en associant l'échantillonnage ciblé, en tenant compte des indices de contamination visuels et olfactifs, à l'approche aléatoire systématique, qui couvre adéquatement tout le site à l'étude.

3.2.2. Localisation en coupe

La profondeur d'échantillonnage doit être déterminée pour chaque cas particulier. Dans le cas où les contaminants ont été dispersés par le vent, les retombées atmosphériques correspondantes se trouvent généralement au niveau de la couche superficielle du sol. Dans d'autres cas, par exemple à la suite de déversements de liquide ou d'enfouissement de matériaux, les contaminants peuvent se trouver à des profondeurs de plusieurs mètres.

La localisation des points d'échantillonnage à prélever en profondeur nécessite une bonne connaissance de la stratigraphie des sols en place. Les données existantes sont souvent des indices suffisants pour planifier l'échantillonnage en profondeur; cependant, une vérification préliminaire par sondage ou forage peut s'avérer nécessaire.

Les différentes unités stratigraphiques et les divers horizons de contamination constatés lors de l'échantillonnage en profondeur sont considérés comme des populations distinctes (voir le Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾). Les unités stratigraphiques ont leurs caractéristiques géologiques propres qui occasionnent une migration différente des contaminants; il est donc important de ne pas les mélanger. Par exemple, les sols argileux, qui ont une bonne capacité d'adsorption, auront tendance à retenir davantage les contaminants que les sols sableux. Aussi, la profondeur de la nappe phréatique doit être considérée lors de la localisation des points d'échantillonnage en coupe puisque les mécanismes de transport des contaminants en zone saturée sont différents.

Dans le cas d'une contamination superficielle, la présence de matière organique peut également influencer la migration des contaminants vers des couches plus profondes. La matière organique a généralement un grand pouvoir d'adsorption et sa présence devra être considérée lors de l'échantillonnage des sols de même que dans l'interprétation des résultats.

En considérant tous ces aspects et afin d'obtenir des échantillons représentant le mieux possible les conditions du milieu, certaines règles de base sont recommandées pour l'échantillonnage des sols :

- **Lorsque le profil stratigraphique est facilement observé (ex. : dans une tranchée d'exploration ou une excavation) :**
 - prélever au moins un échantillon dans chaque unité stratigraphique trouvée;
 - prélever au moins un échantillon pour chaque horizon dont la contamination est perceptible.
- **Lorsque le profil stratigraphique n'est pas facilement observé au préalable (ex. : lors d'un forage) ou lorsqu'une seule unité stratigraphique est trouvée et que des variations dans le degré de contamination ne sont pas perceptibles :**
 - prélever au moins un échantillon par mètre de profondeur; toutefois, cet intervalle peut varier en fonction des objectifs de la caractérisation.
- **Lorsqu'il s'agit d'une contamination de surface uniquement (occasionnée, par exemple, par des retombées atmosphériques) :**
 - prélever un premier échantillon à la surface du sol (0-5 cm) et, dans certains cas, en fonction du contexte, dans le premier centimètre (0-1 cm). Par la suite, les intervalles d'échantillonnage doivent être suffisamment rapprochés, par exemple 5-10 cm ou 20-30 cm, pour permettre une bonne ségrégation en fonction de la profondeur.

Note : En raison de la complexité d'effectuer un échantillonnage en profondeur, il est fortement recommandé de prélever des échantillons supplémentaires, qui devront être conservés adéquatement et seront ainsi disponibles pour analyse s'il est nécessaire de vérifier les résultats obtenus ou de les compléter. Par exemple, lors d'un échantillonnage en profondeur, il est d'usage de prélever des échantillons supplémentaires sous le niveau le plus bas de contamination observée et d'en faire l'analyse si la limite de la contamination n'a pas été atteinte.

3.2.3. Types d'échantillons

Deux types d'échantillons peuvent être prélevés lors de la caractérisation des sols : les échantillons ponctuels et les échantillons composés.

L'échantillon **ponctuel** est prélevé à un emplacement précis sur le terrain. Il permet d'avoir une idée précise de la contamination à différents endroits sur le terrain et de définir la variabilité de la contamination dans l'espace.

En raison du niveau d'hétérogénéité souvent élevé des sols, il est important que les échantillons ponctuels soient prélevés sur des petites surfaces, de l'ordre de quelques dizaines de centimètres de côté (ex. : 10 cm × 10 cm ou 20 cm × 20 cm). Par contre, il arrive que les techniques de prélèvement (forage et tranchée) ne permettent pas de prélever des échantillons sur une petite surface. L'échantillon ponctuel doit alors être prélevé sur une surface inférieure à 0,5 m × 0,5 m et, dans le cas d'un forage, il peut être fait sur une épaisseur maximale de 0,5 m, tel qu'il est mentionné dans le *Guide de caractérisation des terrains* ⁽²⁾. Il est utile de tenir compte du diamètre de forage afin de permettre de recueillir un volume adéquat de sol pour analyse.

L'échantillon **composé** est, pour sa part, constitué d'un ensemble de sous-échantillons individuels, combinés en proportions égales ou de façon proportionnelle au poids ou au volume du secteur ou du lot que chaque sous-échantillon représente ⁽⁶⁾. Contrairement à l'échantillon ponctuel, ce type d'échantillon ne fournit qu'une valeur moyenne de la contamination pour un volume donné de sol.

La décision de procéder à un échantillonnage ponctuel ou composé dépend de plusieurs facteurs comme le degré d'homogénéité des sols, le type d'échantillonneurs, le degré de volatilité du contaminant, l'objectif poursuivi par la campagne d'échantillonnage et ainsi de suite.

À l'intérieur d'une étude de caractérisation exhaustive de terrain, il est généralement recommandé de prélever des échantillons de sols ponctuels. En raison du degré d'hétérogénéité des sols et des contaminants, les échantillons ponctuels permettent de mieux définir, dans les différents secteurs du terrain, la présence de contaminants, le degré de contamination et la distribution spatiale des contaminants.

Cependant, si le matériel démontre une certaine homogénéité et si la variabilité de la contamination est jugée faible, la connaissance de la concentration moyenne de la contamination peut être suffisante. Dans ce cas, le prélèvement d'échantillons composés peut être envisagée dans les situations suivantes :

- lorsque les sols sont empilés;
- lorsque les sols de surface sont contaminés par voie aéroportée;
- dans des remblais homogènes; toutefois, lorsque les remblais sont constitués de populations différentes, le prélèvement d'échantillons ponctuels est recommandé;
- lors de travaux sur des terrains en restauration (en fond d'excavation ⁽⁷⁾) ou lors de la vérification de l'efficacité d'une méthode de traitement.

MISE EN GARDE : L'interprétation des résultats des échantillons composés est un des éléments clés à considérer en regard des situations expliquées en détail à la section 9. C'est pourquoi la comparaison directe des résultats d'échantillons composés avec les normes ou critères en vigueur ne peut être utilisée qu'à titre indicatif, toute extrapolation abusive, injustifiée ou erronée est donc à éviter.

3.3. Paramètres d'analyse

L'identification des paramètres à analyser est un élément essentiel de la planification d'une campagne d'échantillonnage. La revue des données existantes, notamment les sources potentielles de contamination actuelle ou antérieure, permet d'orienter le choix des paramètres à analyser.

Cependant, ces données ne sont pas toujours suffisantes et demandent à être complétées. Des renseignements pertinents peuvent être obtenus du personnel œuvrant dans les laboratoires pour contribuer au choix des paramètres analytiques les plus judicieux. Les utilisateurs des données, ceux qui effectuent les échantillonnages et le personnel chargé des analyses en laboratoire devraient collaborer dès le départ pour définir les exigences à respecter en matière de quantité et de qualité des données. Il peut être utile que le personnel chargé des analyses en laboratoire comprenne les objectifs de l'étude en cours ⁽⁸⁾.

Dans le cas de déversements récents, une analyse du produit déversé peut s'avérer nécessaire si la nature des contaminants qu'il contient est inconnue. Dans les cas complexes de contamination ou en l'absence de renseignements sur la nature des produits, il est généralement nécessaire, dans une phase de caractérisation préliminaire, d'effectuer l'analyse d'un plus grand éventail de paramètres analytiques sur quelques échantillons. Ces résultats analytiques permettront d'identifier les paramètres pertinents à analyser sur l'ensemble des échantillons de sols lors d'une caractérisation ultérieure.

Le *Fascicule des modes de conservation pour l'échantillonnage des sols* ⁽⁹⁾, disponible dans le site Internet du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec à l'adresse www.ceaeq.gouv.qc.ca décrit les principaux paramètres d'analyse généralement utilisés pour la caractérisation des sols et incluent les paramètres analytiques de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* ⁽¹⁾.

Pour certains paramètres, il peut exister plus d'une méthode d'analyse recommandée. Il est important de sélectionner la méthode d'analyse appropriée en vérifiant avec le laboratoire les limites de quantification de chacune des méthodes en fonction des critères génériques pour les sols et les eaux souterraines fournies dans la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* ⁽¹⁾. La méthode d'analyse choisie doit permettre la comparaison des résultats avec les normes ou les critères à respecter.

4. MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

Une méthode d'échantillonnage de sol pour analyse environnementale doit permettre de prélever un échantillon représentatif qui n'a subi qu'un minimum d'altérations découlant de son prélèvement. L'échantillon doit être représentatif d'un emplacement précis et avoir un volume suffisant pour les besoins d'analyse. On recommande que la taille de l'équipement de prélèvement tienne également compte du diamètre des plus grosses particules à prélever.

Les méthodes d'échantillonnage peuvent également être divisées en trois catégories :

- l'échantillonnage de faible profondeur;
- l'échantillonnage dans un puits d'exploration ou une tranchée;
- l'échantillonnage à partir d'un forage.

On utilise différents types d'échantillonneurs en fonction de la méthode d'échantillonnage et de la granulométrie des sols échantillonnés. Le Tableau 1 : Principaux types d'échantillonneurs de sols présente un résumé des principaux échantillonneurs de sols.

Tableau 1 : Principaux types d'échantillonneurs de sols

Matériel (référence aux pages de la section)	APPLICATION GÉNÉRALE	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS
Pelle et truelle	Sol de faible profondeur (0-1 m) ou dans une tranchée	Facile à utiliser, très facilement disponible, prélèvement d'un échantillon remanié.
Tarière manuelle	Sol de faible profondeur (0-1 m)	Facile à utiliser, prélèvement d'échantillons remaniés, peu utilisable dans les sols compacts ou rocailloux.
Tube d'échantillonnage	Sol de faible profondeur (0-0,5 m) ou dans une tranchée	Facile à utiliser, peu coûteux, faible remaniement du sol (souhaitable pour des composés volatils), volume restreint de sol, difficile à utiliser dans les sols compacts ou rocailloux.
Carottier fendu	Généralement utilisé avec un équipement de forage (0 m – roc)	Peu de remaniement de l'échantillon, permet l'utilisation de manchons pour aider à maintenir l'intégrité de l'échantillon, durable, peut être utilisé dans des sols compacts, permet l'échantillonnage en continu.
Tube à paroi mince (Shelby)	Généralement utilisé avec un équipement de forage Sols argileux et silteux (0 m – roc)	Prélèvement d'échantillons non remaniés, peut être utilisé directement pour le transport au laboratoire, permet l'échantillonnage en continu, pas utilisable dans les sols rocailloux.
Tube carottier de tarières creuses	Utilisé avec une foreuse à tarières creuses Sols argileux et silteux (0 m – roc)	Prélèvement d'échantillons non remaniés, facilite l'échantillonnage en continu des sols silteux et argileux, pas utilisable dans les sols rocailloux.
Tube carottier pour foreuses rotatives	Sol et roc Utilisé avec une foreuse rotative uniquement	Permet l'échantillonnage de formations de sols contenant des blocs, facilite l'échantillonnage en continu, les fluides de forage peuvent altérer l'échantillon, carottiers à triple parois peuvent minimiser ce problème.

Ce tableau ne constitue pas un relevé exhaustif des types d'échantillonneurs de sols.

4.1. Échantillonnage de faible profondeur

L'échantillonnage de faible profondeur s'effectue à moins de 1 mètre de profondeur. Il nécessite l'utilisation de techniques simples et d'un équipement facilement disponible et transportable. Les échantillons peuvent être prélevés rapidement.

Ce qui suit ne constitue pas un relevé exhaustif de toutes les méthodes d'échantillonnage de sols de faible profondeur. Il s'agit plutôt d'une description des trois méthodes les plus couramment utilisées. Pour obtenir plus de renseignements sur les méthodes existantes, il faut consulter les fournisseurs d'équipement d'échantillonnage de sols.

- **Pelle et truelle**

Lorsque l'échantillon à prélever se situe très près de la surface, une pelle ou une truelle est utilisée. La méthode d'échantillonnage consiste essentiellement à creuser un trou à l'aide de la pelle ou de la truelle et à prélever le volume désiré de sol. Le trou doit avoir une bonne surface avec des parois stables afin d'éviter que les sols de surface ne retombent dans le fond et qu'ils soient prélevés. L'échantillon doit alors être prélevé de préférence sur les parois, à une profondeur bien définie. Le préleveur doit procéder de la façon la plus systématique possible afin de pouvoir reproduire les mêmes conditions d'échantillonnage d'un emplacement à l'autre.

Cette méthode a comme principal inconvénient de remanier considérablement le sol lors de l'échantillonnage et ainsi de favoriser l'évaporation des composés volatils, le cas échéant.

- **Tarière manuelle**

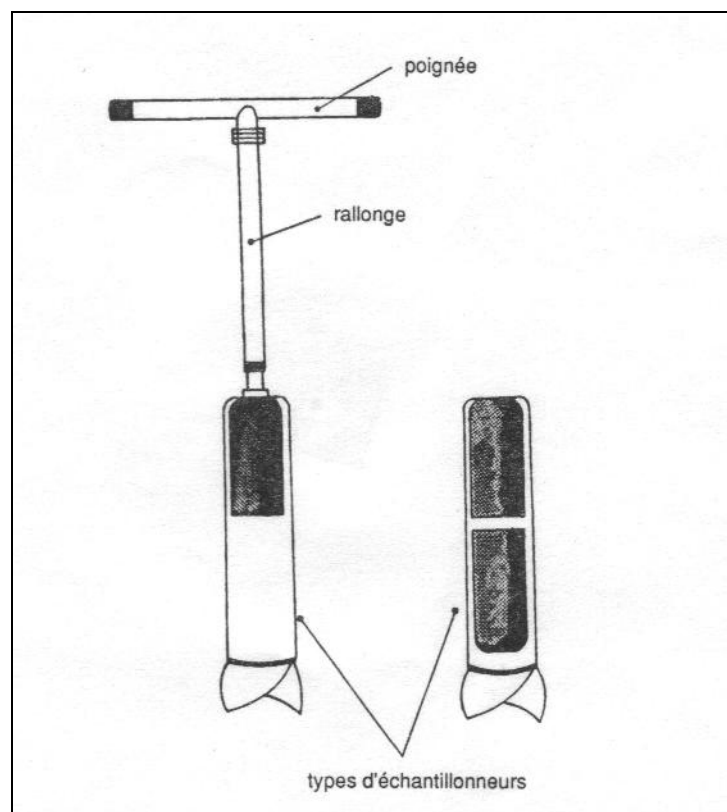
Ce système d'échantillonnage comprend une tarière, une rallonge et une poignée en T, reliées ensemble au moyen de raccords permettant de les démonter facilement (**Figure 1 : Tarière manuelle**). Des modèles de tarières sont conçus pour prélever des échantillons dans différents types de sols, allant de sableux à argileux. Leur utilisation est cependant plus difficile dans les sols compacts ou rocaillieux.

Le prélèvement d'un échantillon de sol à l'aide d'une tarière se fait en enfonçant manuellement la tarière dans le sol par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Généralement, deux ou trois révolutions permettent d'enfoncer la tarière d'environ 10 cm. Une fois la tarière enfoncée sur toute sa longueur, elle est retirée du sol et l'échantillon est recueilli en renversant la tarière. L'échantillon ainsi prélevé est remanié.

Bien que la tarière manuelle soit le plus souvent utilisée pour l'échantillonnage de la couche de surface, l'ajout de rallonges supplémentaires peut permettre, à certaines conditions, d'échantillonner plus en profondeur. Toutefois, le risque que l'échantillon se contamine par des particules de sols provenant des unités stratigraphiques supérieures lors de la remontée de l'échantillon augmente avec la profondeur.

Les tarières dont le diamètre est égal ou supérieur à 5 cm sont recommandées par rapport aux tarières de plus petit diamètre, puisqu'elles permettent de récupérer un volume supérieur de sols.

Figure 1 : Tarière manuelle

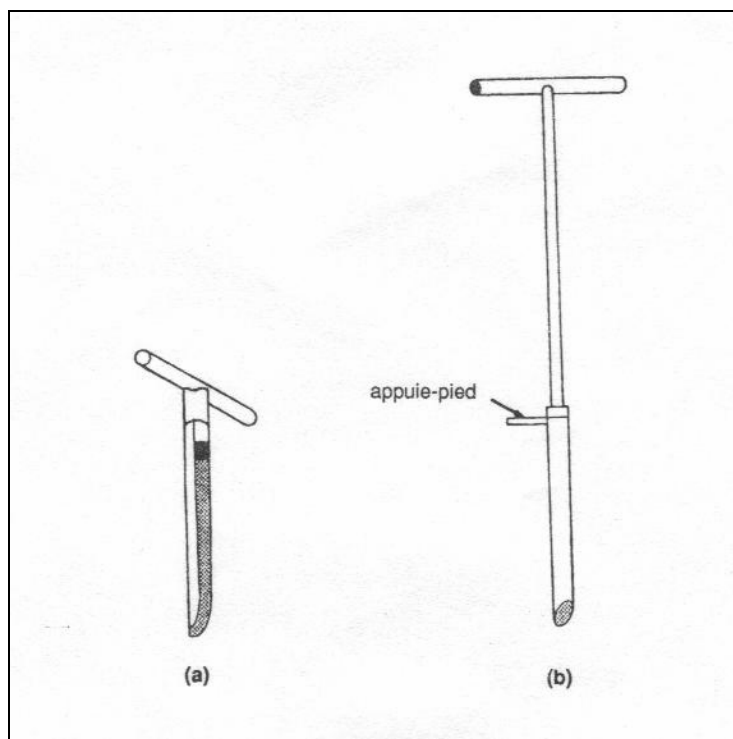


- **Tube d'échantillonnage**

Cette méthode consiste à prélever un échantillon en enfonçant un tube dans le sol en partant de la surface. Une fois enfoncé au maximum, le tube est ressorti et l'échantillon de sol est récupéré.

Il existe différents modèles de tubes d'échantillonnage sur le marché, selon les types de sols. La longueur du tube proprement dit varie de 20 à 52 cm, selon le modèle. La figure 2 présente deux exemples de tubes d'échantillonnage. Le modèle (a) est ouvert sur sa longueur, ce qui permet une observation des couches de sols directement sur le terrain. Le modèle (b) est conçu de façon à pouvoir exercer une pression avec le pied, permettant ainsi un échantillonnage dans des sols plus compacts. Ce modèle permet l'utilisation de manchons (membranes intérieures en forme de tube), fabriqués généralement de plastique résistant, qui peuvent être retirés du tube d'échantillonnage, bouchés et acheminés directement au laboratoire. Le matériau utilisé dans la fabrication du manchon doit toutefois être en mesure de résister aux propriétés du contaminant.

Figure 2 : Tubes d'échantillonnage de sol



L'utilisation de tubes d'échantillonnage permet de prélever des échantillons peu remaniés, ce qui facilite l'identification des couches de sols obtenus. En outre, cette particularité est intéressante lorsque les sols sont prélevés pour l'analyse de composés volatils, puisque les risques d'évaporation lors du prélèvement sont minimisés.

Les tubes d'échantillonnage de 2 à 3 cm de diamètre ont cependant l'inconvénient de prélever un volume restreint de sols à un même emplacement, ce qui nécessite souvent plus d'un prélèvement pour obtenir un volume suffisant d'échantillons.

Bien que le tube d'échantillonnage soit généralement utilisé pour l'échantillonnage de surface, l'ajout de rallonges supplémentaires peut permettre de puiser à une plus grande profondeur. Certains fabricants ont mis au point des systèmes de levier permettant d'échantillonner les sols plus profondément, sans trop d'efforts.

4.2. Échantillonnage dans un puits d'exploration ou dans une tranchée

Un puits d'exploration ou une tranchée est une excavation qui permet d'échantillonner à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 7 m. Cette méthode d'échantillonnage requiert l'utilisation d'une excavatrice (pépine) ou d'une pelle hydraulique, selon la profondeur désirée.

À l'intérieur d'une tranchée, le sol peut être échantillonné directement sur la paroi lorsque la profondeur et les pentes d'excavation permettent au préleveur d'y descendre sans danger (voir le Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾). Dans ce cas, il est recommandé de faire une excavation excédant de 30 cm la profondeur à échantillonner et de prélever l'échantillon de sol sur une seule des parois de la tranchée d'exploration. Avant d'échantillonner, le préleveur doit enlever la couche de sol (environ 2 cm) qui a été en contact avec l'équipement d'excavation. Il doit également éviter que la zone qui a été dégagée ne soit recouverte de nouveau par les sols environnants.

En plus de permettre l'échantillonnage de sol, cette méthode offre l'avantage de pouvoir examiner en détail la stratigraphie des sols en place et de faire des observations sur la présence de résidus ou d'autres contaminants. Pour ces raisons, cette méthode est fréquemment utilisée lors de campagnes d'échantillonnage.

Lorsqu'il n'est pas possible de descendre dans la tranchée, l'échantillon peut être prélevé à l'aide d'une truelle dans le godet de l'excavatrice en prenant soin toutefois d'enlever la couche de sol qui a été en contact avec le godet. Dans ce cas, l'échantillonneur et le manipulateur de l'équipement d'excavation doivent tenter d'échantillonner les sols provenant d'une profondeur bien précise. Puisque dans la pratique il est difficile de déterminer précisément la profondeur d'un échantillon prélevé de cette façon, une note à l'effet que l'échantillon a été prélevé dans le godet doit être ajoutée au rapport d'échantillonnage.

4.3. Échantillonnage à partir d'un forage

L'échantillonnage de sols à partir d'un forage requiert l'utilisation d'équipement de forage et d'échantillonneurs adaptés. L'utilisation d'une foreuse permet d'échantillonner les sols à des profondeurs supérieures à celles atteintes lorsqu'on a recours aux méthodes décrites précédemment. Cette méthode a aussi l'avantage de moins perturber les lieux que l'échantillonnage en tranchées.

4.3.1. Équipement de forage

Lors d'une campagne d'échantillonnage de sols, l'équipement de forage choisi doit permettre de prélever des échantillons de bonne qualité, non mélangés avec d'autres produits et représentatifs d'une profondeur précise.

La sélection d'un équipement de forage doit tenir compte de l'utilisation des types d'échantillonneurs décrits à la section 4.3.2. **Les types d'équipement qui ne permettent l'échantillonnage qu'à partir des sols remontés à la surface le long des parois du forage ne conviennent pas.**

Le recours à des types d'équipement qui n'utilisent pas de fluides de forage doit toujours être privilégié. Cependant, certains autres facteurs doivent également être considérés :

- La disponibilité des équipements.
- L'accès au terrain.
- Le type de matériaux géologiques présents sur le terrain.

La méthode de forage ainsi que l'échantillonneur utilisés doivent être adaptés aux types de sols. Dans certains cas, le forage dans le sol est combiné au forage dans le roc sous-jacent. Il peut alors être important de choisir une méthode qui puisse combiner les deux.

- La profondeur de forage et de la nappe d'eau souterraine.

Certains types d'équipement permettent de forer et d'échantillonner des sols à des profondeurs plus importantes. La capacité d'un équipement peut être limitée dans une zone saturée d'eau (ex. : foreuse à tarière creuse).

- L'installation d'un puits d'observation pour l'eau souterraine.

Il arrive très fréquemment qu'un forage soit effectué avec les objectifs combinés d'échantillonner les sols pour fins d'analyses environnementales et d'installer un puits d'observation pour échantillonner l'eau souterraine.

Dans ce cas, l'équipement de forage doit être choisi dans le but de répondre à ces deux besoins. La sélection d'un équipement pour l'installation d'un puits d'observation est traitée dans le Cahier 3 - Échantillonnage des eaux souterraines du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* ⁽¹⁰⁾.

- La stabilité du terrain (par rapport au poids de l'équipement).

Les méthodes de forage utilisées pour l'échantillonnage des sols peuvent être divisées en trois grandes catégories : le forage à tarières, le forage rotatif et le forage à câble. Les équipements servant à ces méthodes de forage sont décrits séparément, bien que certains types d'équipement puissent servir à deux méthodes de forage, ce qui les rend ainsi plus polyvalents.

La section qui suit présente les principaux types d'équipement de forage pour l'échantillonnage de sols. Pour obtenir une description complète des divers types d'équipement de forage, le lecteur peut se référer à *Aller et al.* (1989) ⁽¹¹⁾, *Davis et al.* ⁽¹²⁾ (1991) et *Poulin et Liard* (1989) ⁽¹³⁾.

- **Foreuse à tarières**

Il existe un seul type de foreuse à tarières recommandé pour l'échantillonnage des sols à des fins d'analyses environnementales, soit la foreuse à tarières creuses. Une tarière creuse consiste en une tige d'acier au centre creux, généralement de 1,5 mètre de longueur, autour de laquelle a été soudé un ruban d'acier en spirale. Le forage s'effectue par rotation des tarières dans le sol, raccordées entre elles au fur et à mesure de leur pénétration.

Cette méthode est la plus fréquemment employée pour obtenir des échantillons de sols. Elle permet l'utilisation de différents types d'échantillonneurs, tels que le carottier fendu et le tube à paroi mince, en les introduisant au centre de la tarière. Elle permet aussi de réaliser des échantillonnages en continu avec des tubes carottiers de tarières. Le diamètre extérieur maximal de l'échantillonneur est limité par le diamètre intérieur de la tarière creuse.

Cette méthode est la plus souvent recommandée pour le prélèvement d'échantillons de sol pour analyses environnementales puisqu'elle n'utilise pas de fluides de forage pouvant altérer l'échantillon.

L'utilisation de la foreuse à tarières creuses de type conventionnel est indiquée uniquement pour des forages dans les dépôts meubles, à des profondeurs inférieures à 45 m ⁽¹¹⁾. La profondeur de pénétration est plus limitée dans les formations saturées, en raison du problème de remontée des sols dans les tarières. La présence de blocs rocheux dans la formation peut cependant limiter l'utilisation de ce type d'équipement.

- **Foreuse rotative**

Les différents types de foreuses rotatives permettent d'effectuer un forage par rotation d'un foret placé à l'extrémité d'un tubage. Un fluide est injecté à l'intérieur du tubage et du foret, permettant ainsi de refroidir le foret et de ramener les résidus de forage à la surface. Le fluide de forage peut être de la boue, de l'eau ou de l'air, selon le type d'équipement utilisé.

Cet équipement permet le prélèvement des échantillons de sols à l'aide d'un carottier fendu ou d'un tube à paroi mince.

Dans certains cas, l'échantillon est prélevé en utilisant un foret avec une ouverture suffisante pour y introduire l'échantillonneur⁽¹¹⁾. Dans ces cas, la circulation du fluide est arrêtée, l'échantillonneur est introduit dans le tubage et passé au travers du foret pour collecter l'échantillon.

Par ailleurs, l'échantillon peut être prélevé à la suite de la stabilisation des parois du trou avec la boue de forage ou un tubage extérieur. L'échantillon est alors prélevé au fond du trou après avoir remonté le train de tige et le foret.

Finalement, certaines méthodes rotatives permettent le carottage du sol simultanément au forage du trou. Le carottage est défini comme étant le découpage et la récupération d'un échantillon cylindrique. Dans ce cas, des tubes carottiers sont utilisés pour l'échantillonnage.

Cependant, toutes ces méthodes demandent l'utilisation d'un fluide de forage. Étant donné que le fluide peut venir en contact avec l'échantillon, il est possible d'altérer physiquement ou chimiquement les caractéristiques du sol. **Pour cette raison, l'utilisation de ces méthodes n'est recommandée que dans les cas où une foreuse à tarières creuses ne peut être utilisée.**

- **Foreuse à câble**

La **foreuse à câble** est une des plus anciennes méthodes de forage. Elle consiste à enfoncer un tubage par battage sous le poids d'un marteau suspendu à un câble d'acier. Le matériel foré est alors retiré de la formation à l'aide d'un tube à clapet qu'on introduit dans le tubage. L'utilisation de ce tube à clapet exige qu'il y ait suffisamment d'eau dans le trou de forage. Dans une zone non saturée, on doit ajouter de l'eau dans le trou lors des activités de forage.

Des échantillons de sols peuvent être prélevés avec un carottier fendu ou un tube à paroi mince en introduisant l'échantillonneur dans le tubage après qu'il ait été vidé de son contenu.

Lorsque le forage s'effectue dans une formation à granulométrie grossière comme des sables et graviers, l'utilisation d'échantillonneurs conventionnels ne permet généralement pas une bonne récupération. Dans ce cas, la meilleure technique d'échantillonnage⁽¹¹⁾ est souvent le prélèvement d'échantillons représentatifs de la formation directement dans le tube à clapet servant à vider le forage. La technique consiste à enfoncer le tubage sur une profondeur de 60 cm à 1,5 m et à retirer l'échantillon remanié avec le tube à clapet. Des tubages de large diamètre peuvent être foncés et de larges tubes à clapet peuvent être utilisés.

La foreuse à câble peut fonctionner dans tous les types de matériaux géologiques, autant dans les dépôts meubles que dans le roc. Elle est toutefois peu utilisée puisqu'il faut beaucoup de temps pour effectuer un forage et que les coûts sont, par conséquent, relativement élevés. De plus, ce type d'équipement est peu recommandé pour l'échantillonnage de sols pour analyses environnementales puisqu'il nécessite l'ajout d'eau lors du forage. Enfin, comme la vidange des matériaux forés avec le tube à clapet n'est pas toujours complète, il est difficile de s'assurer que l'échantillon prélevé avec un carottier fendu ou un tube à paroi mince est représentatif du sol à la profondeur désirée.

Outre la foreuse à câble conventionnelle, il existe **des types d'équipement de sondage légers** permettant d'enfoncer, par battage, un tubage dans lequel est introduite une pointe sèche. Lorsque le tubage et la pointe sèche ont atteint le niveau à échantillonner, la pointe sèche est retirée du tubage afin de permettre l'échantillonnage à partir de ce point avec un carottier fendu ou un tube à paroi mince. Ces types d'équipement permettent généralement d'échantillonner des sols peu compacts et libres de graviers jusqu'à une profondeur de 15 mètres. Ils ont comme principal avantage de ne pas utiliser d'eau.

4.3.2. Types d'échantillonneurs

Différents types d'échantillonneurs ont été mis au point pour le prélèvement des échantillons de sols à partir des divers types d'équipement de forage. Le carottier fendu et le tube à paroi mince sont les deux types d'échantillonneurs les plus utilisés dans les dépôts meubles. Les tubes carottiers ou d'autres échantillonneurs plus spécialisés peuvent aussi être utilisés dans certains cas particuliers.

- **Carottier fendu**

L'échantillonneur de type « carottier fendu », illustré à la Figure 3 : Schéma d'un échantillonneur de type carottier fendu, consiste en un cylindre solide, de 45 ou 60 cm de longueur, fileté aux deux extrémités, qui peut être séparé en deux parties égales sur le sens de la longueur.

Lorsqu'elles sont assemblées, les deux parties sont maintenues ensemble par un sabot de battage effilé, permettant une bonne pénétration dans le sol, et un joint de tête, permettant le raccord aux tiges de forage. Ces deux joints sont vissés aux deux extrémités du carottier fendu sur les parties filetées.

Cet échantillonneur est fait en acier (et quelquefois en acier inoxydable) et possède un diamètre extérieur généralement de 51 mm ou 63 mm. Il peut être utilisé seul ou avec des manchons d'échantillonnage (membranes intérieures) lorsqu'il ne doit y avoir aucun contact entre le sol et l'échantillonneur. Des paniers de rétention, tels qu'illustrés à la Figure 4 : Systèmes de rétention d'échantillons, peuvent être installés à l'extrémité inférieure de l'échantillonneur afin de retenir les sols lors de sa remontée. Ces paniers sont particulièrement utiles pour l'échantillonnage dans des matériaux moins compacts, tels les sables et les graviers. Par contre, l'utilisation de panier complique les étapes de lavage.

Pour prélever un échantillon de sol, le carottier fendu est attaché au bout du train de tige de la foreuse et est descendu au fond du trou de forage, jusqu'au contact avec la formation à échantillonner. Le prélèvement est alors obtenu en enfonçant par battage le carottier fendu, ce qui force ainsi le sol à pénétrer à l'intérieur du cylindre. Le nombre de coups requis pour enfoncer le carottier fendu sur une épaisseur prédéterminée fournit une indication qui permet de déterminer l'état de compacité. L'échantillonneur est ensuite retiré du trou de forage, les joints aux deux extrémités sont dévissés, le cylindre est ouvert en deux et le sol peut alors être récupéré pour les analyses. La méthode normalisée d'échantillonnage de sols avec un carottier fendu pour des travaux en géotechnique est décrite dans la norme ASTM D1586⁽¹⁴⁾.

L'échantillonnage avec un carottier fendu permet de récupérer des échantillons à une profondeur précise. Ce type d'échantillonneur peut être utilisé dans tous les types de sols mais il est particulièrement utile dans les sols compacts (silt sableux, sable, till, etc.). On doit prendre certaines précautions contre le rejet des extrémités ou la séparation de l'échantillon lorsqu'il recoupe plusieurs unités stratigraphiques. Il est possible d'échantillonner les sols en continu avec un carottier fendu (méthode communément appelée « échantillonnage en continu ») en suivant les étapes suivantes :

- 1) prélever un échantillon;
- 2) retirer l'échantillonneur du trou de forage;
- 3) forer le trou jusqu'au bout de l'intervalle préalablement échantillonné;
- 4) réinsérer l'échantillonneur;
- 5) répéter l'étape.

Bien que cette procédure soit particulièrement lente, l'échantillonnage en continu est la meilleure façon de définir la stratigraphie en profondeur.

Figure 3 : Schéma d'un échantillonneur de type carottier fendu

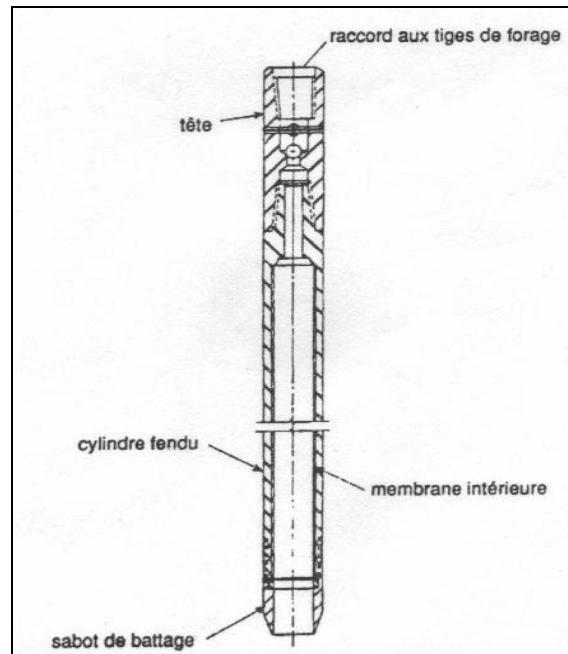
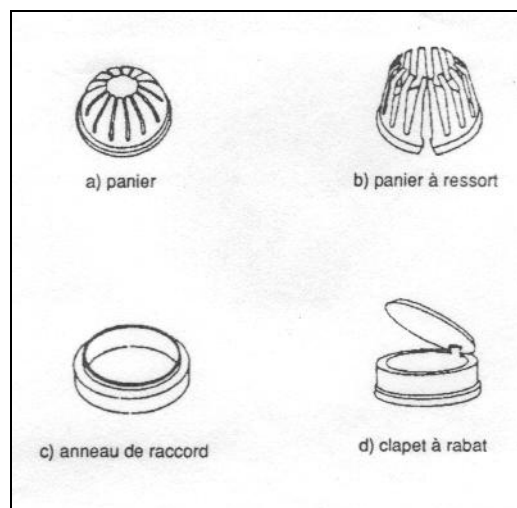


Figure 4 : Systèmes de rétention d'échantillons

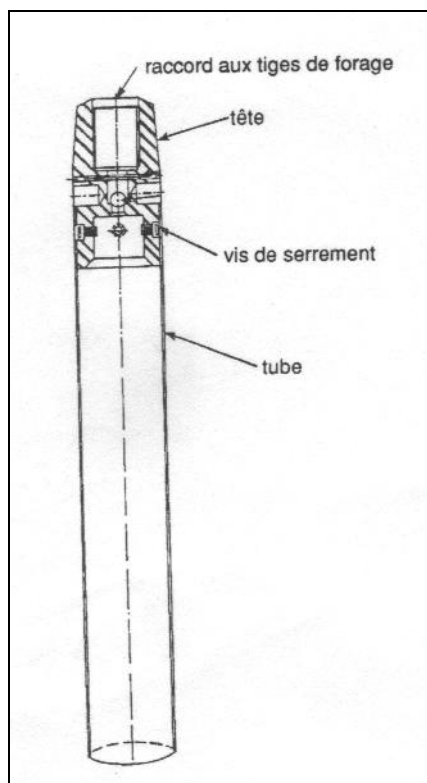


- **Tube à paroi mince (Shelby)**

L'appellation tube à « paroi mince », également communément appelé tube « *Shelby* », se réfère à un tube d'échantillonnage dont le rapport entre l'épaisseur de la paroi et la surface totale du diamètre extérieur de l'échantillonneur est inférieur à 10 %⁽¹¹⁾. Ce type d'échantillonneur est conçu pour prélever des échantillons non remaniés (ou intacts) dans des formations de sols cohérents (argile, silt). Il n'est toutefois pas recommandé dans des sols rocailleux, où il peut être endommagé.

Le tube à paroi mince, tel qu'illustré à la figure 5, comprend deux parties distinctes : le tube lui-même contenant l'échantillon et la tête permettant le raccord aux tiges de forage. Le tube à paroi mince est disponible en longueurs de 76 ou 91 cm, de diamètre de 5 cm ou de 6,7 cm, et est fabriqué de différents matériaux, dont l'acier inoxydable. En raison de ses dimensions, il existe certaines difficultés liées au transport et à la conservation de ces tubes.

Figure 5 : Schéma d'un tube à paroi mince (Shelby)



Pour prélever un échantillon, le tube à paroi mince est relié au train de tiges de la foreuse. Il est ensuite descendu dans le trou de forage, à l'intérieur du tubage, jusqu'au contact de la formation à échantillonner. Plutôt que d'être enfoncé par battage, comme le carottier fendu, le tube à paroi mince est foncé dans le sol par pression exercée par l'équipement de forage.

L'échantillonneur est ensuite retiré du sol et la tête est dévissée. Le tube peut alors être scellé et utilisé comme contenant pour le transport de l'échantillon au laboratoire. L'échantillon peut également être retiré du tube directement sur le terrain à l'aide d'un fonceur dont le diamètre correspond au diamètre intérieur du tube à paroi mince. Le sol peut alors être récupéré pour les analyses. La méthode standard d'échantillonnage avec un tube à paroi mince pour des travaux de géotechnique est décrite en détail dans la norme ASTM D1587 ⁽¹⁵⁾.

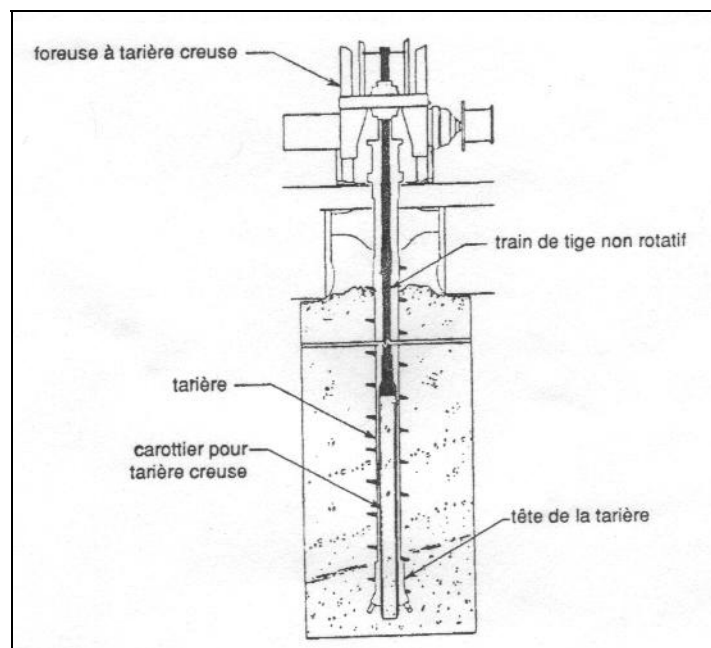
L'échantillonnage en continu avec un tube à paroi mince peut être effectué de la même façon que pour le carottier fendu.

- **Tubes carottiers**

Les tubes carottiers, tels qu'ils sont définis ici, sont des tubes échantillonneurs qui pénètrent et découpent un cylindre de sol (carotte) simultanément à l'avancement du forage. Il existe deux types de tubes carottiers : ceux utilisés avec une foreuse à tarières creuses et ceux utilisés avec une foreuse rotative.

Les tubes carottiers à « tarières creuses » consistent en un tube à paroi mince de 1,5 m de longueur. Tel qu'il est illustré à la figure 6, le tube est attaché au train de tiges de la foreuse, est introduit dans la tarière et est foncé dans le sol pendant la rotation des tarières. Lorsque le trou est foré sur une distance égale à la longueur de l'échantillonneur, la tarière est arrêtée et le tube plein est remonté à la surface. L'échantillon de sol en est extrait et un tube vide est réintroduit.

Figure 6 : Carottier utilisé avec une foreuse à tarières creuses



L'utilisation de ces carottiers à tarières creuses permet l'échantillonnage en continu du sol, principalement dans les sols argileux et silteux. Cette méthode est rapide et permet de bien définir la stratigraphie du lieu.

Les **tubes carottiers pour foreuses rotatives** ont d'abord été mis au point pour le carottage du roc. Ce type d'échantillonneur peut être utile dans les dépôts meubles lorsque la formation de sols à échantillonner contient des blocs de dimension importante, ce qui empêche la récupération d'échantillons à partir d'échantillonneurs standard, comme dans les formations de till.

La méthode d'échantillonnage consiste à attacher un foret à l'extrémité inférieure du tube carottier. Ce dernier est ensuite relié au train de tige de la foreuse et descendu au fond du trou de forage. Le carottier est alors descendu dans la formation de sols à échantillonner par rotation. Il est ensuite remonté à la surface pour la récupération de l'échantillon et l'étape est répétée. La méthode permet ainsi un échantillonnage continu.

Les tubes carottiers de rocher peuvent posséder une, deux ou trois parois. Lors de l'utilisation d'un tube à simple paroi, le fluide de forage circule directement le long de l'échantillon. L'utilisation de carottiers doubles ou triples permet au fluide de forage de circuler entre les tubes et non pas le long de l'échantillon, ce qui, par conséquent, permet d'éviter l'altération des échantillons de sols.

L'utilisation d'un tube carottier avec une foreuse rotative utilisant des fluides de forage doit, malgré tout, être limitée et un échantillon d'eau utilisée pour le forage doit être prélevé pour fins d'analyse.

- **Échantillonneurs spécialisés**

Des échantillonneurs spécialisés ont été mis au point afin de répondre à des besoins particuliers que les échantillonneurs conventionnels ne peuvent satisfaire. Ces équipements spécialisés peuvent avoir des tubes à paroi mince dont la structure a été renforcée ou posséder de larges diamètres, des échantillonneurs à piston, etc.

Pour obtenir plus de renseignements sur les échantillonneurs spécialisés, il faut consulter les fournisseurs d'équipement de forage.

5. PRÉLÈVEMENT DE L'ÉCHANTILLON

Les échantillons pour analyses environnementales doivent être prélevés de façon à limiter les possibilités de contamination lors de leur prélèvement. D'une part, l'échantillonnage doit s'effectuer autant que possible à partir de l'endroit le moins contaminé jusqu'à l'endroit le plus contaminé. Ceci a pour effet de minimiser les risques de contamination liés à l'équipement d'échantillonnage. D'autre part, lors du prélèvement des échantillons, il est nécessaire d'utiliser du matériel approprié, nettoyé de façon adéquate, et selon un protocole bien établi. Le respect de ces précautions particulières permet d'éliminer en grande partie les possibilités de contamination entre les prélèvements.

De plus, les échantillons doivent être décrits et identifiés correctement surtout pour éviter les ambiguïtés lors de l'analyse au laboratoire ou lors de l'interprétation des résultats. La localisation de la station d'échantillonnage (point) est également nécessaire pour pouvoir associer le résultat analytique à un emplacement précis sur le site dans le but ultime de gérer adéquatement les sols. Finalement, les échantillons doivent être conservés et manipulés de façon adéquate.

La section qui suit décrit en détail les différents aspects relatifs au prélèvement des échantillons de sols.

5.1. Matériel utilisé

Le prélèvement d'échantillons de sol requiert l'utilisation de différents outils, contenants et produits de lavage qu'il est nécessaire d'apporter sur le terrain en quantité suffisante lors d'une campagne d'échantillonnage. L'Annexe 1 - Liste du matériel utilitaire à apporter sur le terrain lors d'une campagne d'échantillonnage de sols fournit une liste du matériel utilitaire à apporter sur le terrain.

Plusieurs types d'outils peuvent être utilisés pour échantillonner les sols, selon qu'il s'agit d'un prélèvement de faible profondeur, dans un puits d'exploration, dans une tranchée ou à partir d'un forage. Les différents types d'échantillonneurs ont été décrits à la section 4. D'autres outils, telles une cuillère ou une spatule, peuvent aussi être utilisés comme matériel complémentaire.

Un récipient ou une plaque peuvent également être utilisés pour préparer l'échantillon lorsqu'il est nécessaire de l'homogénéiser ou de le fractionner, ou encore de préparer un échantillon composé.

Tous les outils de prélèvement et de préparation doivent être propres, c'est-à-dire, exempts de contamination et compatibles aux analyses envisagées (ex. : matière inerte telle que l'acier inoxydable) de même que exempts de corrosion, de peinture ou de vernis.

Une fois prélevé, l'échantillon de sol est transféré dans un contenant approprié pour être conservé et transporté au laboratoire dans les meilleurs délais.

Selon les paramètres à analyser, le contenant peut être un sac de plastique ou un contenant de verre ou de plastique rigide. De façon générale, les contenants de plastique ne sont acceptables que lorsque les sols sont analysés pour des contaminants inorganiques, alors que l'utilisation de contenants de verre est prescrite pour l'analyse de contaminants organiques. Le contenant doit être muni d'un dispositif ou d'un bouchon permettant de le fermer hermétiquement. Toutes les spécifications concernant le type de contenant requis et le mode de conservation sont fournies pour chaque paramètre à analyser dans le *Fascicule des modes de conservation pour l'échantillonnage des sols*⁽⁹⁾.

Le contenant doit être suffisamment grand pour contenir la quantité minimale pour fins d'analyse de tous les paramètres d'analyse désirés. Il est toujours préférable de prélever une quantité de sol plus importante que celle requise afin de permettre une reprise des analyses, si nécessaire. De façon générale, pour effectuer l'analyse d'une gamme de produits organiques et inorganiques, une quantité d'un litre de sol est suffisante.

Selon le mode de fonctionnement du laboratoire qui effectue les analyses, il peut être préférable d'utiliser deux contenants différents lorsqu'une analyse des paramètres organiques et inorganiques est requise. Un contenant individuel est recommandé pour l'analyse des composés volatils dans les sols afin de minimiser les risques de perte lors de la manipulation de l'échantillon au laboratoire. Il est important de s'informer auprès du laboratoire pour connaître les spécifications à ce sujet.

5.2. Lavage du matériel utilisé

Le préleveur doit apporter avec lui sur le terrain tous les produits nécessaires pour effectuer un lavage adéquat des outils d'échantillonnage.

L'eau purifiée et les solvants doivent être conservés dans des contenants appropriés. La qualité requise pour ces produits est décrite au Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾.

Le préleveur doit également avoir en sa possession des contenants permettant de récupérer tous les résidus de nettoyage. L'utilisation d'entonnoirs peut, dans ce cas, s'avérer fort utile. Ces résidus de lavage doivent par la suite être entreposés, transportés et éliminés selon les lois et règlements en vigueur.

Avant de procéder à l'échantillonnage des sols, tout le matériel utilisé doit être lavé de façon adéquate. Le lecteur doit se référer au Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾ afin de se familiariser avec les procédures techniques générales de lavage du matériel d'échantillonnage. Le lavage du matériel pour l'échantillonnage des sols contient toutefois certaines caractéristiques qui lui sont propres. Il doit être réalisé selon le protocole décrit aux sections suivantes.

5.2.1. Lavage des outils d'échantillonnage

Les outils servant au prélèvement et à la préparation des échantillons de sol doivent généralement être nettoyés avant le prélèvement de chaque échantillon ponctuel ou composé.

La **première étape** du nettoyage doit suivre la séquence suivante :

- rincer l'outil d'échantillonnage à l'eau de qualité compatible aux analyses envisagées pour enlever les résidus majeurs;
- nettoyer les surfaces avec une brosse, de l'eau et un détergent ne laissant pas de résidus (ex. : Alconox);
- rincer à l'eau pour enlever le détergent; si le matériel comporte encore des traces de souillure, reprendre le lavage;
- rincer à l'eau purifiée et égoutter le surplus.

Un rinçage adéquat consiste à mettre en contact le liquide avec toutes les surfaces de l'équipement d'échantillonnage. La quantité de liquide utilisé varie selon la surface du matériel à rincer et le type d'équipement de lavage employé. L'utilisation d'eau ou de solvants pressurisés s'avère un bon moyen pour faciliter le nettoyage et en améliorer l'efficacité.

Dans le cas où les échantillons de sol sont soumis uniquement aux analyses de chimie inorganique, la première étape de nettoyage est généralement suffisante.

Dans le cas où les échantillons de sols sont soumis aux analyses de chimie organique, une **deuxième étape** de nettoyage doit être effectuée. Cette étape consiste à :

- rincer à l'acétone;
- rincer à l'hexane;
- rincer de nouveau à l'acétone et laisser égoutter.

Dans le cas où l'acétone ou l'hexane est un contaminant recherché, ou pourrait créer une interférence analytique (ex. : composés organiques volatils), il est nécessaire de le remplacer par un produit équivalent (ex. : méthanol).

Lorsque l'échantillonneur est très souillé par des résidus huileux, il peut être nécessaire de le nettoyer à l'aide d'un chiffon imbibé de solvant avant d'entreprendre les étapes de rinçage.

Le préleveur doit porter des lunettes protectrices et des gants résistant aux solvants utilisés lors du nettoyage et plus particulièrement lors de la deuxième étape. De plus, puisque la manipulation d'acétone et d'hexane peut être inconfortable, le port d'un masque à cartouches peut s'avérer nécessaire dans certains lieux mal ventilés.

L'outil nettoyé peut être enveloppé dans un papier d'aluminium neuf afin de le protéger des risques de contamination entre le moment du nettoyage et du prélèvement de l'échantillon.

5.2.2. Lavage des contenants

Le préleveur utilise généralement les contenants d'échantillon fournis par le laboratoire, qui a la responsabilité de fournir des contenants lavés de façon adéquate. Le préleveur n'a donc pas à les rincer ou les laver. Cependant, ce dernier doit prendre le soin de bien préciser ses besoins au laboratoire car, pour certains paramètres d'analyse, les contenants peuvent nécessiter un nettoyage plus exhaustif (ex. : dioxines et furanes).

Le préleveur peut également utiliser un contenant neuf, après s'être assuré auprès du laboratoire que cette procédure est acceptable pour les analyses de sol requises. Dans ce cas, le nettoyage ou le rinçage du contenant n'est pas obligatoire.

5.3. Préparation de l'échantillon sur le terrain

La préparation de l'échantillon de sol sur le terrain doit généralement comporter le minimum de manipulations afin de conserver l'intégrité de l'échantillon en limitant les risques d'altération liée aux conditions environnantes. Dans le cas d'un échantillonnage de faible profondeur, le prélèvement s'effectue en enlevant la partie visible de la végétation (ex. : pelouse, graminées) mais en prenant soin de conserver la partie organique sous la végétation. La préparation d'un échantillon composé, d'un échantillon en duplicata, d'un échantillon pour l'analyse de composés volatils et d'un échantillon de matériaux grossiers comporte toutefois certaines particularités.

5.3.1. Échantillon composé

Un échantillon composé est constitué d'un ensemble d'échantillons ponctuels, combinés en proportions égales ou de façon proportionnelle au poids ou au volume du secteur ou du lot que chaque échantillon représente.

Un échantillon composé peut être préparé sur le terrain ou au laboratoire, en utilisant un récipient en matière inerte, propre et suffisamment grand. Il s'agit d'abord de prélever chacun des sous-échantillons selon la même méthode d'échantillonnage, de bien mélanger les sous-échantillons dans le récipient pour n'en former qu'un seul et de transférer ensuite l'échantillon composé dans un contenant approprié pour conservation et transport au laboratoire. Dans le cas où les conditions de terrain (climatiques ou autres) ne permettent pas l'homogénéisation sur le terrain, il faut indiquer une note spéciale au laboratoire, lui demandant spécifiquement une homogénéisation avant l'analyse.

Cette technique d'homogénéisation simple ne répond pas toujours à l'objectif de réduction de la variation des résultats, problématique inhérente à l'hétérogénéité des sols. Cette problématique est bien exposée dans le document de Morissette ⁽¹⁶⁾.

5.3.2. Échantillon en duplicata

Un duplicata est un échantillon prélevé en double sur le terrain dans un but de contrôle et d'assurance de la qualité. Il permet d'établir la répliquabilité (si analysé dans le même laboratoire) ou la reproductibilité (si analysé dans deux laboratoires différents) des travaux d'échantillonnage. Le duplicata doit donc être le plus représentatif possible de l'échantillon original et les échantillons dupliqués doivent être expédiés au laboratoire sous deux identifications différentes.

Toutefois, la contamination étant rarement répartie de façon homogène, le prélèvement en double sur le terrain peut conduire à l'obtention de résultats très différents et à des conclusions peu fiables quant à la réplicabilité des travaux d'échantillonnage. Dans ce cas, il est préférable de définir un duplicata de terrain comme étant deux sous-échantillons provenant d'un seul échantillon homogénéisé, qu'il soit ponctuel ou composé.

Ainsi, une façon d'obtenir des échantillons en duplicata consiste à effectuer le quartage de l'échantillon mélangé. Un quart complet sera alors utilisé pour l'échantillon et le quart opposé pourra servir à réaliser un duplicata.

Lorsque le sol provient d'un échantillonneur cylindrique, il faut couper l'échantillon en deux dans le sens de la longueur et transférer chaque segment dans un contenant distinct.

Ces techniques sont toutes indiquées pour le prélèvement d'échantillons de sols pour l'analyse de paramètres inorganiques et organiques. Toutefois, dans le cas où les contaminants présents dans le sol sont des **composés organiques volatils**, les éléments de la section suivante s'appliquent.

5.3.3. Échantillon pour composés volatils

Une attention spéciale doit être accordée aux échantillons prélevés pour l'analyse des composés volatils. Le prélèvement sur le terrain doit être fait de façon à minimiser le contact de l'échantillon avec l'atmosphère. Ainsi, on doit accorder la priorité aux méthodes d'échantillonnage qui nécessitent le moins de remaniement des sols.

Puisque le mélange d'un échantillon permet la libération de composés volatils, **aucun échantillon composé ne doit être effectué.**

Pour une meilleure conservation des composés volatils dans l'échantillon de sol, le contenant doit être rempli à sa pleine capacité, de façon à limiter les espaces d'air au-dessus de l'échantillon, puis fermé hermétiquement. Lorsque le sol est soumis à plusieurs types d'analyse, l'utilisation d'un contenant individuel pour effectuer l'analyse des composés volatils est recommandée afin de minimiser les risques de perte de produits volatils lors de la manipulation de l'échantillon au laboratoire.

L'utilisation d'un échantillonneur de type seringue permettant le prélèvement et la conservation simultanée des composés volatils est également indiquée pour l'échantillonnage des composés volatils dans les sols⁽¹⁷⁾.

5.3.4. Échantillon de sols grossiers

Les sols sont constitués de particules minérales de grosseurs différentes dans des proportions qui varient selon l'histoire géologique du dépôt. Chacune des grosseurs de particules peut être associée à une classe particulière⁽¹⁸⁾. Par exemple, le tableau 2 présente la classification qui découle de la norme ASTM D2487⁽¹⁹⁾ pour les sols granulaires, dont les valeurs en pouces ont été converties en millimètres, puis arrondies.

Tableau 2 : Classification des sols granulaires

Dimensions en millimètres	
Blocs	>300
Cailloux	80 à 300
Gravier grossier	20 à 80
Gravier fin	5 à 20
Sable grossier	2 à 5
Sable moyen	0,4 à 2
Sable fin	0,08 à 0,4

La problématique reliée à l'échantillonnage des sols grossiers est en partie associée au fait que, dans le domaine de l'environnement, on ne considère généralement que la fraction fine des échantillons, c'est-à-dire celles correspondant aux particules dont le diamètre est inférieur à 2 mm⁽²⁰⁾. Cette situation permet d'identifier la concentration mesurée dans la fraction fine car c'est à cette fraction que sont surtout exposés des récepteurs humains ou écologiques.

Cependant, dans un contexte de gestion environnementale, cette façon de faire peut causer un problème de représentativité, surtout dans le cas où une partie du sol à caractériser est constituée d'une fraction importante de sol grossier (> 5 mm). Cette situation peut être d'origine naturelle (ex. : dépôt fluvio-glaciaire, dépôt de rivière) ou d'origine anthropique (ex. : concassés provenant d'une carrière, matériaux importés d'une gravière). Dans le cas où la proportion des sols grossiers supérieure à 5 mm constitue plus de 80 % (p/p) du sol à caractériser selon un essai granulométrique ou une appréciation visuelle, il est recommandé d'analyser l'échantillon complet (c.-à-d. la fraction fine et grossière combinées).

Pour analyser la fraction fine et grossière combinées, les protocoles d'extraction doivent généralement être modifiés afin de tenir compte du nombre et de la dimension des particules soumises à l'analyse. Ainsi, le poids de l'échantillon à extraire et le volume de solvant doivent être augmentés et, dans certains cas, le choix du type d'extracteur doit également être révisé par le laboratoire. Il est essentiel de discuter et de s'entendre avec le laboratoire sur les protocoles de préparation et d'analyse des échantillons renfermant du sol grossier. Une demande claire à cet effet doit accompagner les échantillons au laboratoire.

Dans les autres cas, l'analyse de la fraction fine (< 2 mm) doit être effectuée. Le tamisage et l'homogénéisation de l'échantillon permettent généralement de réduire la variation ou l'écart type des résultats d'analyse⁽¹⁶⁾.

Cependant, il est toujours possible de ségréguer à grande échelle les sols sur le terrain afin d'analyser et de gérer séparément la partie fine et la partie grossière.

5.4. Description des échantillons

Chaque échantillon doit être décrit sur le terrain au moment du prélèvement, en notant la composition granulométrique du sol selon la dimension des particules estimée visuellement. Le préleveur doit aussi fournir tous les détails pertinents à une bonne description de l'échantillon tels que la couleur du sol, la présence d'indices visuels de contamination, la présence de toute matière autre que du sol ou tout autre élément jugé approprié (voir à cette fin les notes explicatives de l'Annexe 3 - Fiche de forage et notes explicatives sur les rapports de forage).

La description de l'environnement dans lequel l'échantillon a été prélevé doit également être notée et le préleveur doit fournir tous les détails pertinents. Pour chaque échantillon prélevé, le responsable doit remplir une fiche descriptive. Des exemples de fiches de sondage ou de tranchée d'exploration et de forage sont fournis à l'Annexe 2 - Fiche de sondage ou de tranchée d'exploration et à l'Annexe 3 - Fiche de forage et notes explicatives sur les rapports de forage.

5.5. Identification des échantillons

Chaque contenant doit être clairement identifié et l'identification choisie doit correspondre à un emplacement précis sur le terrain, autant en plan qu'en profondeur. De plus, un formulaire de demande d'analyse doit être rempli.

Les détails concernant l'identification des échantillons de sols sont semblables à ceux des autres secteurs d'activité; le lecteur doit se référer au Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾. Cependant, dans le cas précis d'échantillons de sols, les données concernant la profondeur de prélèvement doivent être ajoutées.

5.6. Conservation des échantillons

Une fois prélevés, les échantillons de sols doivent être conservés au frais à environ 4 °C (utiliser des agents réfrigérants) dans des contenants conformes et hermétiques de façon à assurer l'intégrité de l'échantillon et, dans la mesure du possible, à l'abri de la lumière. Ils doivent être emballés adéquatement puis transportés au laboratoire dans les plus brefs délais. Aucun agent de conservation n'est requis pour la conservation des échantillons de sols.

La durée maximale de conservation des échantillons de sols au laboratoire avant l'analyse est fournie dans le *Fascicule des modes de conservation pour l'échantillonnage des sols*⁽⁹⁾ pour chaque paramètre d'analyse.

5.7. Échantillon à caractère juridique

Des outils complémentaires, tels que l'application de scellés et la chaîne de possession, sont utilisés notamment dans le cas d'une caractérisation où il y a des enjeux juridiques rattachés aux résultats. Lors de l'acheminement des échantillons vers les laboratoires, un formulaire de chaîne de possession doit être rempli afin d'assurer le suivi de l'échantillon. Le cheminement est détaillé dans le Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾.

6. CONTRÔLE DE QUALITÉ DES ÉCHANTILLONS DE SOLS

Un programme d'assurance et de contrôle de la qualité est un ensemble d'étapes qui permettent de s'assurer que les résultats fournis ont une qualité satisfaisante pour répondre aux objectifs visés. Les procédures de prélèvement, de préservation et d'identification employées sur le terrain de même que celles utilisées en laboratoire pour la conservation, l'analyse et l'enregistrement des données sont tout aussi importantes pour arriver à des résultats de qualité. Un programme d'assurance et de contrôle de la qualité doit donc s'appliquer autant sur le terrain qu'en laboratoire.

Une des étapes d'un programme d'assurance et de contrôle de la qualité consiste à préparer et à analyser des échantillons de contrôle qui permettront de mieux vérifier la qualité des résultats d'analyse.

6.1. Sur le terrain

La section « Contrôle de la qualité de l'échantillonnage » du Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾ décrit les types d'échantillons de contrôle couramment effectués sur le terrain lors de l'échantillonnage des différents milieux tels que les blancs (de transport, de terrain et de lavage) et les duplicata de terrain.

Lors d'une campagne d'échantillonnage de sols, le prélèvement d'échantillons en duplicata constitue un mode de contrôle nécessaire dans tous les cas et une attention particulière doit être apportée afin de s'assurer de l'homogénéité des échantillons. Un minimum de 10 % des échantillons doit généralement être prélevé en duplicata afin de vérifier la répliquabilité ou la reproductibilité des travaux d'échantillonnage selon qu'ils sont acheminés dans un seul laboratoire ou dans deux laboratoires différents. Dans ce dernier cas, il est important de s'assurer que le second laboratoire utilise des méthodes de préparation et d'analyse de performance équivalentes et de connaître la reproductibilité de la méthode d'analyse afin d'être en mesure de comparer les résultats d'analyse.

Par ailleurs, lorsque des échantillons de sol sont prélevés pour l'analyse de composés organiques volatils, des blancs de transport et des blancs de terrain sont généralement requis et doivent être interprétés adéquatement.

Selon les besoins de la campagne d'échantillonnage, des éléments de contrôle additionnels visant des objectifs spécifiques peuvent compléter l'interprétation des résultats tels que :

- **l'échantillon de bruit de fond** : blanc de terrain prélevé sur un site voisin non influencé par la source de contamination soupçonnée qui permet ainsi d'établir une valeur de référence ou une base de comparaison.
- **l'échantillon répété** : échantillon fractionné en plusieurs sous-échantillons représentatifs qui sont insérés à tour de rôle dans la chaîne d'activités selon une fréquence habituellement préétablie et qui permettent de juger de la répétabilité des résultats obtenus au cours d'une longue campagne d'échantillonnage.

Les données liées au contrôle de qualité des prélèvements doivent toujours être présentées afin de permettre une meilleure appréciation des résultats des travaux d'échantillonnage.

6.2. En laboratoire

Le programme d'assurance et de contrôle de la qualité en laboratoire requiert également l'utilisation et l'analyse d'échantillons de contrôle. Ces contrôles peuvent être, sans s'y restreindre, des contrôles intégrés, des échantillons témoins, des échantillons de référence, des blancs de procédure et des échantillons en duplicata faits en laboratoire.

Il ne revient pas au responsable de l'échantillonnage de préparer ces contrôles. Cependant, lors de la planification de la campagne d'échantillonnage et du choix du laboratoire, il est important de s'assurer que le laboratoire applique en routine un programme d'assurance et de contrôle de la qualité adéquat répondant aux exigences du *Programme d'accréditation des laboratoires d'analyse environnementale*⁽²¹⁾. Les données liées au contrôle de la qualité doivent toujours être disponibles à la demande avec les résultats d'analyse. Ces données devraient être interprétées par le laboratoire d'analyse et inclure une appréciation globale de celles-ci.

7. SANTÉ ET SÉCURITÉ

Le prélèvement d'échantillons de sols comporte des risques d'origine chimique ou biologique associés aux contaminants pouvant être présents dans le sol. Il comporte aussi des risques physiques associés aux procédures d'échantillonnage elles-mêmes⁽²²⁾. Toutefois, cette exigence n'est pas du ressort du présent guide. Afin d'identifier les différents dangers et d'élaborer un protocole de sécurité, le lecteur doit se référer au Cahier 1 – Généralités du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales*⁽³⁾.

8. COMPTE RENDU D'ÉCHANTILLONNAGE

Toutes les données relatives à l'échantillonnage des sols sont généralement notées de façon complète sur le terrain. Ces renseignements doivent être conservés soigneusement afin de pouvoir y référer facilement.

Les renseignements relatifs à l'échantillonnage des sols peuvent être compilés à partir des éléments décrits ci-après.

8.1. Cahier de terrain

Le responsable de l'échantillonnage doit tenir un cahier de terrain compilant toutes les investigations effectuées au cours de la campagne d'échantillonnage. Les données de température et de conditions météorologiques, les observations des conditions de terrain, les équipements utilisés, les procédures suivies et les coordonnées des membres de l'équipe doivent être fournis pour chaque journée d'échantillonnage.

8.2. Carte de localisation

De façon générale, la localisation de toutes les stations d'échantillonnage a été planifiée avant d'effectuer le prélèvement des sols sur le terrain. Chaque station est alors inscrite sur une carte de localisation et correspond à un numéro déterminé. C'est à partir de cette carte que le préleveur positionne toutes les stations d'échantillonnage sur le terrain.

Toute modification de l'emplacement prévu d'une station d'échantillonnage doit être notée sur la carte de localisation. Si nécessaire, le préleveur doit faire un croquis du nouvel emplacement, en indiquant les distances mesurées à partir de points fixes.

Le préleveur doit également reporter sur la carte de localisation les numéros de tous les échantillons qui ont été prélevés à chaque station d'échantillonnage.

8.3. Fiche de sondage

Une fiche de sondage ou de tranchée, comme l'exemple fourni à l'Annexe 2 - Fiche de sondage ou de tranchée d'exploration, doit être remplie pour tous les points d'échantillonnage de surface et en tranchée. Cette fiche est un outil essentiel qui permet de compiler rapidement tous les renseignements nécessaires pour une bonne description de l'échantillon et des unités stratigraphiques rencontrées. Elle permet également de bien localiser la profondeur de prélèvement des échantillons.

8.4. Document photographique

La prise de photographies est généralement recommandée lors d'une campagne d'échantillonnage. Elles peuvent permettre de bien visualiser les conditions de terrain, la stratigraphie du sol à l'intérieur d'une tranchée ou la composition de l'échantillon lui-même. Les photographies fournissent des renseignements complémentaires mais ne peuvent toutefois pas remplacer la description textuelle requise.

9. PARTICULARITÉS

Cette section présente certaines particularités associées à l'échantillonnage des sols. D'abord, une procédure d'échantillonnage des sols en piles est décrite afin de répondre à un besoin particulier. Par la suite, l'échantillonnage d'une contamination de surface par voie aéroportée est discuté de même que celui dévolu aux remblais, aux sols mélangés avec des matières résiduelles et celui requis lors de travaux sur des terrains en restauration.

9.1. Échantillonnage de sols en piles

Il est recommandé d'effectuer la caractérisation d'un terrain sur des sols en place (non excavés). Les techniques et les méthodes d'échantillonnage décrites dans les sections précédentes de ce cahier sont alors applicables. Toutefois, il peut arriver des cas où des travaux, tels l'excavation et le démantèlement de structures enfouies, aient entraîné l'excavation et la mise en piles d'un certain volume de sols potentiellement contaminés. La personne responsable de la caractérisation doit donc vérifier la qualité de ces sols, de façon à pouvoir en assurer une gestion adéquate.

Pour l'échantillonnage de sols excavés et en piles, il est recommandé de prélever des échantillons composés. Le nombre minimal d'échantillons requis par volume de sols excavés est défini au tableau 3.

Tableau 3 : Nombre d'échantillons requis par volume de sol

Volume de sols excavés (m³)	Nombre de sections dans les piles
Moins de 30	1
30 – 60	2
60 – 100	3
100 – 200	4
200 – 1 000	4 + 1/100 m ³ au-delà de 200
1 000 – 2 000	12 + 1/250 m ³ au-delà de 1 000
Plus de 2 000	16 + 1/500 m ³ au-delà de 2 000

Cette densité d'échantillonnage indique que la pile doit être considérée par section de 30 m³ (ou plus) en fonction du tableau ci-dessus. Les mesures des volumes de sols peuvent nécessiter l'utilisation d'outils plus élaborés tels les équipements d'arpentage. Chaque section doit être échantillonnée à l'aide d'un composé de cinq sous-échantillons (le nombre de sous-échantillons requis est justifié à la section suivante). Toutefois, si une section de la pile présente des indices d'hétérogénéité de contamination ou de composition (ce qui correspond à des populations différentes d'un point de vue statistique), un échantillon composé doit être prélevé pour chacune de ces populations. La présence de différentes populations au sein d'une même section a pour conséquence d'augmenter le nombre d'échantillons à prélever.

Dans le cas où il est impossible de respecter cette densité d'échantillonnage, ou lorsque les concentrations de contaminants sont présumées aux environs des critères de décision et qu'alors une plus grande certitude est requise, il revient au responsable d'échantillonnage de faire la preuve, par exemple par l'entremise de méthodes statistiques, que la densité d'échantillonnage qu'il propose est acceptable.

9.1.1. Nombre de sous-échantillons à mélanger

Le nombre de cinq sous-échantillons est proposé en supposant que le coefficient de variation initial de la contamination dans les sols est de l'ordre de 200 %. Lorsque mélangés ou homogénéisés, les cinq sous-échantillons conduiront à un coefficient de l'ordre de 90 % (coefficient de variation = $100 (S/x)$, où S est l'écart type qui serait obtenu avec les résultats des cinq sous-échantillons sans mélange et x la moyenne des résultats). Ce résultat est considéré comme acceptable pour un ensemble de cas. Cependant, les coefficients de variation initiaux typiques des résultats de caractérisation d'un sol se situent généralement entre 100 et 400 %. Aussi, cette proposition pourrait ne pas s'appliquer si le coefficient de variation du sol analysé diffère de la valeur de 200 %. Dans ce contexte, il revient au responsable de proposer un nombre de sous-échantillons ou des techniques d'échantillonnage appropriées à partir du coefficient de variation jugé pertinent pour ces sols.

9.1.2. Méthode d'échantillonnage : hétérogénéité verticale

S'il est possible de séparer verticalement les sols dont la contamination est différente (donc si on peut identifier plus d'une population), il est nécessaire d'échantillonner chaque population individuellement à l'aide d'un composé.

En contrepartie, s'il n'est pas possible de séparer les sols dont la contamination est différente, il faut mélanger les sous échantillons selon l'axe vertical. Dans ce contexte, il est préférable d'utiliser un échantillonneur qui permet de prélever un échantillon vertical afin de couvrir toute la hauteur de la section. La représentativité de l'échantillon est alors maximisée. Cette représentativité est plus facile à obtenir lorsque la pile est carrée ou rectangulaire que si elle est conique. Il est donc préférable de ne pas constituer de piles coniques.

9.2. Échantillonnage d'une contamination de surface par voie aéroportée

La présence d'une contamination aéroportée indique habituellement une accumulation de contaminants sur les premiers centimètres de la surface du terrain. De façon à évaluer précisément la profondeur de la contamination associée à de telles retombées atmosphériques, des couches minces doivent être échantillonnées. Le *Guide de caractérisations des terrains*⁽²⁾ en définit les modalités et est repris partiellement à la section 3.2.2 de ce cahier.

9.3. Échantillonnage d'un remblai

La composition des remblais est très variable. Ils peuvent être composés de sols non contaminés, de sols contaminés ou de matières résiduelles (scorie, cendre, etc.), ce qui rend leur caractérisation difficile. La procédure proposée pour leur caractérisation consiste à effectuer une description de leur stratigraphie afin de connaître si le remblai est homogène ou hétérogène. Le *Guide de caractérisation des terrains* ⁽²⁾ décrit plus en détail les particularités de cette procédure.

9.4. Échantillonnage de sols mélangés avec des matières résiduelles

Selon la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* ⁽¹⁾ dans un contexte de gestion de matériaux excavés, les sols mélangés à des matières résiduelles doivent faire l'objet d'une ségrégation. Une fois cette étape réalisée, les matières résiduelles sont caractérisées et gérées séparément des sols. Cependant, lorsque les sols excavés mélangés à des matières résiduelles ne peuvent être ségrégés, ils sont considérés comme des sols s'ils contiennent plus de 50 % de sol. Dans le cas contraire, ils doivent être considérés et gérés comme des matières résiduelles et le lecteur doit se référer au Cahier 8 - Échantillonnage des matières dangereuses du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* ⁽²³⁾

9.5. Échantillonnage de sol sur des terrains en restauration

Les travaux de restauration effectués sur des terrains contaminés requièrent également l'échantillonnage de sol. Les objectifs de l'échantillonnage sont toutefois différents de ceux d'une étude de caractérisation. En effet, l'échantillonnage consiste alors à effectuer une surveillance de la restauration et à vérifier que les objectifs de décontamination des sols sont atteints.

L'échantillonnage des sols sur des terrains en restauration s'effectue dans deux situations différentes, soit lors de travaux d'excavation de sols contaminés ou lors du traitement de sols.

9.5.1. Lors de travaux d'excavation de sols contaminés

Les travaux de restauration d'un lieu contenant des sols contaminés comportent dans la majorité des cas une phase d'excavation dont l'étendue, en superficie et en profondeur, est déterminée au préalable par l'interprétation des résultats d'une étude de caractérisation.

Lorsque les travaux d'excavation ont été déterminés, il importe de vérifier l'exactitude de cette interprétation afin de s'assurer que tous les matériaux contaminés ont été enlevés et que les objectifs de décontamination sont atteints.

L'échantillonnage de sols lors des travaux d'excavation consiste donc à prélever des échantillons composés au fond et sur les parois de l'excavation. La stratégie d'échantillonnage est décrite en détail dans le *Guide technique des mesures de contrôle à effectuer lors de travaux d'excavation de sols contaminés* ⁽⁷⁾.

9.5.2. Lors du traitement de sols contaminés

L'échantillonnage des sols lors du traitement de sols contaminés a pour but de vérifier l'efficacité du traitement dans le temps et de proposer des ajustements si nécessaire. De plus, cet échantillonnage doit permettre de confirmer que les objectifs de traitement sont atteints.

Le traitement de sols contaminés peut se faire *in situ*, lorsqu'il s'effectue sur les sols en place sans être excavés, ou hors terre, dans le cas de traitement de sols excavés. Dans les deux cas, l'échantillonnage des sols, lors du processus de traitement, comporte une composante temporelle qui était absente lors de l'étude de caractérisation du terrain.

Un programme d'échantillonnage des sols doit faire partie intégrante d'un projet de traitement de sols contaminés. Un programme de ce genre doit être élaboré pour chaque type de matrice et de traitement de même que pour chaque cas de contamination. Il doit répondre à tous les points discutés dans les sections précédentes de ce cahier, soit la localisation, le nombre et le type d'échantillons, les paramètres à analyser, les méthodes d'échantillonnage et de prélèvement des échantillons de même que le contrôle de la qualité. La fréquence d'échantillonnage doit également être déterminée pour chaque type de traitement et tenir compte de tout changement dans les conditions de traitement.

RÉFÉRENCES

1. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC, 1998, *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés – Nouvelle politique*, Les Publications du Québec, 124 p.
2. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1999, *Guide de caractérisation des terrains – Nouvelle édition*, Les Publications du Québec, 92 p.
3. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1 – Généralités*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
4. KEITH, Lawrence H., 1992, *Environmental Sampling and Analysis: A practical guide*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
5. CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE, 1993, *Soil sampling and methods of analysis*, Éditeur : Martin R. Carter.
6. BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, 1993, *Sols – Prélèvement d'un échantillon dans une excavation pour la détermination de son degré de contamination*, NQ-2501-375, Québec.
7. MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1988, *Guide technique des mesures de contrôle à effectuer lors des travaux d'excavation de sols contaminés*, Québec.
8. ENVIRONNEMENT CANADA, 1995, *Manuel d'échantillonnage sur le terrain à l'usage des inspecteurs*, 1^{re} édition, 246 p.
9. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Document DR-09-02, *Fascicule des modes de conservation pour l'échantillonnage des sols*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
10. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 3 – Échantillonnage de l'eau souterraine*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
11. ALLER, Linda *et al.*, 1989, *Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-water Monitoring Wells*, National Water Well Association, Dublin, Ohio, EPA 600/4-89/034.

12. DAVIS, H.E., J. JEHN and S. SMITH, 1991, *Monitoring Well Drilling, Soil Sampling, Rock Curing, and Borehole Logging*, in *Practical Handbook of Groundwater Monitoring*, Lewis Publishers, pp. 195-239.
13. POULIN, M. et A. LIARD, 1989, *Aperçu des techniques de forage disponibles pour la construction de puits d'observation et l'échantillonnage des terrains*, Forotek inc., Dorval, Québec, 25 p.
14. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1999, *Standard Method for Penetration Test and Split-barrel Sampling of Soils*, Designation: D 1586-99, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Pa.
15. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1994, *Standard Practice for Thin-walled Tube Geotechnical Sampling of Soils*, Designation : D 1587-94, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Pa.
16. MORISSETTE, S., 1997, *Modèles de décision pour l'échantillonnage des sols*. Université Laval, Mémoire de maîtrise.
17. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997, *Test Method for Evaluating Solid Waste*, volume 3.
18. HYDRO-QUÉBEC, 1990, *Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique, Description des sols et des roches*, Fascicule n° 1.
19. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1998, *Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, Designation: D 2487-98, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Pa.
20. ONTARIO MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY, 1996, *Guidance on Sampling and Analytical Methods for Use at Contaminated Sites in Ontario*.
21. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, *Programme d'accréditation des laboratoires d'analyse environnementale - Normes et exigences*, édition courante.
22. ENVIRONNEMENT Canada, 1995, *Guide de sécurité pour les inspecteurs*, 1^{re} édition, 226 p.

23. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 8 – Échantillonnage des matières dangereuses*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.

BIBLIOGRAPHIE

- AITCIN, JOLICOEUR et MERCIER, 1992, *Technologie des granulats*, 2^e édition, Les éditions le Griffon d'argile, 386 p.
- ALLER, Linda *et al.*, 1989, *Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-water Monitoring Wells*, National Water Well Association, Dublin, Ohio, EPA 600/4-89/034.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Pa.
- BOULDING, J.R., 1994, *Description and Sampling of Contaminated Soils.- A field Guide*. CRC Press, Florida.
- BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, 1993, *Sols - Prélèvement d'un échantillon dans une excavation pour la détermination de son degré de contamination*, NQ-2501-375, Québec.
- BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, 1988, *Sols - Détermination de la perméabilité - Type Lefranc*, NQ-2501-135, Québec.
- BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, 1988, *Sols - Détermination de la perméabilité au bout d'un tubage*, NQ-2501-130, Québec.
- BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, 1982, *Sols - Échantillonnage*, NQ-2560-010, Québec.
- CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE, 1993, *Soil sampling and methods of analysis*, Éditeur : Martin R. Carter.
- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, *Programme d'accréditation des laboratoires d'analyse environnementale - Normes et exigences*, édition courante.
- CENTRE DES SCIENCES ENVIRONNEMENTALES DU PACIFIQUE, ENVIRONNEMENT CANADA, 1999, *Échantillonnage à des fins judiciaires*. CD-ROM.

- DAVIS, H.E., J. JEHN and S. SMITH, 1991, *Monitoring Well Drilling, Soil Sampling, Rock Curing, and Borehole Logging*, in *Practical Handbook of Groundwater Monitoring*, Lewis Publishers, pp. 195-239.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 1995, *Manuel d'échantillonnage sur le terrain à l'usage des inspecteurs*, 1^{re} édition, 246 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA, 1995, *Guide de sécurité pour les inspecteurs*, 1^{re} édition, 226p.
- HYDRO-QUÉBEC, 1990, *Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique, Description des sols et des roches*, Fascicule n° 1.
- KEITH, Lawrence H., 1992, *Environmental Sampling and Analysis: A practical guide*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- MASON, Benjamin J., 1983, *Preparation of Soil Sampling Protocol: Techniques and Strategies*, Environmental Monitoring Systems Laboratory, U.S. Government Printing Office, EPA 600/54-83/020.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1 – Généralités*, 2^e édition, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 58 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 89 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC, 2008, *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 8 – Échantillonnage des matières dangereuses*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, édition courante.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1999, *Guide de caractérisation des terrains – Nouvelle édition*, Les Publications du Québec, 92 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, *Programme d'accréditation d'échantillonnage environnemental*, édition courante.

- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC, 1998, *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés – Nouvelle politique*, Les Publications du Québec, 124 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1994, *Lignes directrices d'intervention lors de l'enlèvement de réservoirs souterrains ayant contenu des produits pétroliers*, Québec.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1988, *Guide technique des mesures de contrôle à effectuer lors des travaux d'excavation de sols contaminés*, Québec.
- MORISSETTE, S., 1997, *Modèles de décision pour l'échantillonnage des sols*, Université Laval, Mémoire de maîtrise, 220 p.
- NEW JERSEY DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AND ENERGY, 1992, *Field Sampling Procedures Manual*.
- ONTARIO MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY, 1996, *Guidance on Sampling and Analytical Methods for Use at Contaminated Sites in Ontario*.
- POULIN, M. et A. LIARD, 1989, *Aperçu des techniques de forage disponibles pour la construction de puits d'observation et l'échantillonnage des terrains*, Forotek inc., Dorval, Québec, 25 p.
- U.S. EPA, 1997, *Test Method for Evaluating Solid Waste*, volume 3.
- U.S. EPA, 1990, *Field Measurements, Dependable Data When You Need It*, Office of underground storage tanks, Washington, D.C., EPA 530/UST-90/003.
- U.S. EPA ENVIRONMENTAL RESPONSE TEAM, 1988, *Soil Sampling*, Response engineering and analytical contract, Standard operating procedures.
- VERLY, G., M. DAVID, A.G. JOURNAL and A. MARECHAL, *Geostatistics for Natural Resources Characterization part. 182 Compagny*, Dordrecht, The Netherlands, 1 092 pages, D. Reidel Publishing.

Annexe 1 - Liste du matériel utilitaire à apporter sur le terrain lors d'une campagne d'échantillonnage de sols

Outils de prélèvement ou de préparation de l'échantillon

- échantillonneurs (selon la méthode d'échantillonnage utilisée)
- cuillère, spatule, truelle (jetable ou en acier inoxydable)
- récipient en acier inoxydable (échantillon composé)
- tamis

Matériel de conservation et d'identification des échantillons

- contenants appropriés fournis par le laboratoire ou contenants neufs, selon le cas (apporter 20 % de plus que nécessaire)
- étiquettes autocollantes et crayons à encre indélébile
- formulaires (échantillonnage, demande d'analyse, etc.)
- glacières et contenants réfrigérants ou glace en quantité suffisante

Instruments et produits nécessaires au lavage des instruments

- eau de qualité compatible aux analyses envisagées
- tuyau et pistolet d'arrosage
- eau purifiée
- détergent sans phosphate
- solvants organiques : acétone et hexane
- chiffons de coton
- essuie-tout
- brosse
- seau ou tout contenant permettant le nettoyage à l'intérieur
- contenant permettant de récupérer les résidus de lavage
- entonnoir à large bord
- gants compatibles avec les solvants
- masque à cartouches
- papier d'aluminium

Autres

- habit de protection
- cahier de notes, cartable, crayons
- carte de localisation, photos aériennes
- ruban à mesurer
- caméra et film
- sac à déchets
- chasse-moustiques, écran solaire
- coffre à outils
- trousse de premiers soins
- manuels de référence et Guide d'échantillonnage
- etc.

[illegible]

Annexe 3 - Fiche de forage et notes explicatives sur les rapports de forage

[illegible]

Pour plus amples informations, voir les notes explicatives en annexe.

NOTES EXPLICATIVES SUR LES RAPPORTS DE FORAGE

PROFONDEUR

Les distances sont mesurées en mètres à partir de la surface du terrain.

GÉOLOGIE

Description du milieu souterrain.

LITHOLOGIE

Les principaux types de sol et de roc sont désignés par les symboles suivants :

	: terre végétale;		: till;
	: remblais		: roche ignée;
	: cailloux et/ou blocs;		: schiste argileux;
	: gravier;		: grès;
	: sable;		: conglomérat;
	: silt;		: calcaire;
	: argile;		: roche métamorphique.

PIÉZOMÉTRIE

- Faire un schéma de la conception du puits d'observation (ou piézomètre) s'il y a lieu. Inclure notamment les informations concernant la localisation de la crépine, du sable filtrant, du scellant, du bouchon de surface et d'autres matériaux de conception le cas échéant;
- inscrire la profondeur du niveau d'eau.

DESCRIPTION

Chaque formation est identifiée et décrite après l'examen des échantillons.

DÉPÔT MEUBLES

les dépôts meubles sont classifiés suivant le diamètre équivalent des particules et la charte de plasticité. La proportion des divers éléments est donnée d'après la terminologie d'usage.

DIMENSION DES PARTICULES SELON LA CLASSIFICATION UNIFIÉE (ASTM D 2487) :

Blocs		> 300 mm
Cailloux	80 mm	à 300 mm
Gravier	5 mm	à 80 mm
Sable	0,08 mm	à 5 mm
Silt	0,005 mm	à 0,08 mm
Argile		< 0,005 mm

TERMINOLOGIE

Traces	
Un peu	
Adjectif (e. g. : sableux, silteux)	
Nom (e. g. : sable, gravier)	

PROPORTION

< 10 %
10 % à 20 %
20 % à 35 %
> 35 %

ESSAIS

N : indice de pénétration standard dans le sol(coups / 300mm)

<u>SOLS COHÉRENTS</u>		<u>SOLS PULVÉRULENTS</u>	
Consistance	Indice " N "	Compacité	Indice " N "
Très molle	< 2	Très lâche	< 4
Molle	2 à 4	Lâche	4 à 10
Moyenne à ferme	4 à 8	Moyenne ou compacte	10 à 30
Raide	8 à 15	Dense	30 à 50
Très raide	15 à 30	Très dense	> 50
Dure	> 30		

RQD. : indice de qualité du roc.

RQD (%) : $\frac{100 \times \text{longueur des sections de roc supérieures à } 100\text{mm}}{\text{longueur du forage}}$

	R.Q.D.
Très fracturé	0% à 25%
fracturé	25% à 50%
Moyennement fracturé	50% à 75%
Bon ou solide	75% à 90%
Excellent ou très solide	90% à 100%

CONTAMINATION

La contamination des échantillons doit être décrite selon des observations visuelles et olfactives.

VISUELLE : T : trace;
M : moyennement contaminé;
I : imbibé;

ODEUR : L : légère;
M : moyenne;
P : persistante.

REMARQUES

Noter toutes les observations pertinentes faites durant le forage.

DESCRIPTION

ROC :

les roches sont classifiées en trois groupes principaux, selon leur origine géologique respective. Par la suite, on décrit chaque spécimen selon ses caractéristiques et propriétés particulières.

CLASSIFICATION :

Ignée (granite, diorite);

Sédimentaire :

- terrigène (mudstone, grès, conglomérat);
- chimique (calcaire, dolomie);

Métamorphique (gneiss, schiste).

TERMINOLOGIE : la terminologie du roc est souvent associée à un indice de qualité RQD (voir page précédente).

Très fracturé

Fracturé

Moyennement fracturé

Bon ou solide

Excellent ou très solide

ÉCHANTILLON

ÉTAT : utiliser les symboles suivants :



: remanié;



: intact;



: perdu;



: carotte de roc.

RÉCUPÉRATION

La récupération des échantillons de sol et de roc est donnée en pourcentage d'échantillon dans l'échantillonneur, et ce pour chaque échantillon.

ANALYSES CHIMIQUES

TYPE : Li.: lixiviat;
 To.: total.

PARAMÈTRE : Inscrire tous les paramètres à analyser, si connu.

*Ministère du
Développement durable,
de l'Environnement
et des Parcs*

Québec 