

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

1 INTRODUCTION

La caractérisation de sites pollués nécessite souvent l'échantillonnage et l'analyse des sols et des eaux permettant d'identifier les polluants présents, d'apprécier la répartition spatiale de la contamination et les niveaux de concentration, et de déterminer les potentialités de migration et les voies d'exposition pour le milieu naturel et les êtres vivants. Les décisions prises à l'issue d'un tel échantillonnage peuvent être lourdes de conséquences sur la santé des personnes (évaluation de "risques") et au niveau économique (mesures de protection, dimensionnement du procédé de décontamination, redevances, etc.). Cependant, un grand nombre de paramètres interfèrent à la représentativité de l'échantillonnage, et le volume d'investigations réalisables (nombre de points d'échantillonnage, nombre d'échantillons et d'analyses) est limité par des contraintes matérielles, notamment économiques. En outre, l'échantillonnage des sols, globalement moins développé que celui des eaux, est une science relativement nouvelle, davantage formalisée aux USA qu'en Europe, où des travaux de normalisation sont cependant en cours.

Seule la partie "sol" est ici prise en compte

La définition d'un plan d'échantillonnage découle d'une bonne définition des objectifs de l'étude. L'adéquation des moyens mis en œuvre pour la résolution des problèmes posés, la réussite de sa réalisation nécessite un certain nombre de précautions et de contrôles attestant de la qualité des données. L'objet de cette étude, fondée sur une recherche bibliographique et constituant une revue de l'état de l'art, principalement américain et européen, est l'établissement d'un guide pratique d'échantillonnage des sols dans un but de caractérisation de la pollution d'un site. Bien que, dans chaque pays, les approches soient légèrement différentes, et qu'aucune règle très stricte ne puisse être énoncée, compte tenu de la spécificité de chaque site et des polluants associés, des grandes lignes directrices dans la conception et la réalisation d'un échantillonnage de sol à des fins de diagnostic de pollution se distinguent et se recoupent entre elles. Le rapport a donc été construit autour de ces grandes lignes, en reprenant à la fois, et de la manière la plus synthétique possible, les éléments américains et européens.

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

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

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.

2.1.1 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

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

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.

3 OBJECTIFS ET APPROCHES GLOBALES

3.1 OBJECTIF D'ECHANTILLONNAGE

L'objectif d'un échantillonnage est d'être le plus représentatif du milieu qu'il est sensé représenter. La qualité de cette phase est capitale car elle conditionne un grand nombre de décisions, et peut constituer la base d'actions importantes et coûteuses.

Un échantillonnage de sol représentatif se doit de garantir que l'analyse de l'échantillon, ou du groupe d'échantillons, reflète le niveau de concentration du contaminant concerné à un moment et à un lieu donné. Les résultats analytiques issus d'échantillon représentatif reflètent la variation présence et de concentration du polluant sur le site.

Le problème de la représentativité s'exprime à deux niveaux :

- Représentativité de la prise par rapport au volume et à la géométrie de l'entité qu'elle représente, le prélèvement de la totalité du sol à caractériser n'étant pas possible (même problème à l'analyse où la prise est relativement réduite).

- Représentativité de l'échantillon analysé par rapport à l'échantillon prélevé qui a pu subir des interférences liées aux différentes manipulations intermédiaires (contamination, dégradation).

Les variables qui affectent la représentativité des échantillons et des traitements qui en découlent, sont de quatre ordres :

- ✓ Variabilité liée au milieu :

- géologie locale et régionale
- capacité de rétention du sol
- perméabilité
- capacité de sorption de la zone non saturée.

- ✓ Variabilité liée au contaminant :

- site mono- ou pluri-produits polluants
- variations de la concentration en chaque contaminant
- inhibition ou synergie de comportement en fonction du milieu et des produits.

- ✓ variabilité liée à l'échantillonnage

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

- hétérogénéité très importante du sol (matériau, granulométrie, concentration en matière organique, oxydes métalliques)
 - biais d'échantillonnage au cours des collectes, préparation et transport.
- ✓ variabilité analytique
- déviations
 - analytiques dues à la manière dont les échantillons sont stockés et préparés
 - analytiques (homogénéisation, tamisage mise en solution, méthodes analytiques elles-mêmes).

3.2. APPROCHE GLOBALE ET NOTION DE PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

L'étape la plus importante réside dans la définition du plan d'échantillonnage et du programme d'analyse, en accord avec l'objectif global de l'étude et garantissant l'existence des données. Initialement, les objectifs de l'échantillonnage doivent être clairement définis, ainsi que le degré de précision requis. L'ensemble des intervenants (échantillonneurs, analystes et utilisateurs des données) doit être dès lors sensibilisé à ces objectifs et impliqué dans la conception du plan d'échantillonnage, afin de prendre en compte les critères qualitatifs et quantitatifs de chacun.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

3.3. OBJECTIFS DE DIAGNOSTIC DE POLLUTION

L'objectif global d'un diagnostic de pollution intègre un grand nombre de paramètres, et est particulier à chaque cas. Il peut se situer à différents niveaux, et en combiner plusieurs, selon qu'il s'agit de déterminer :

- les types de polluants et leur concentration,
- la localisation et l'identification des sources potentielles de contamination,
- l'extension de la contamination,
- les voies de migration de la contamination,
- les voies d'exposition pour les êtres vivants et le milieu naturel, ainsi que les risques encourus,
- la réponse à une question précise,
- les options de traitement,
- les objectifs de décontamination,
- les risques d'intervention.

Une définition précise de l'objectif de l'étude et du degré de précision souhaité est capitale, car elle conditionne l'ensemble des options d'échantillonnage.

3.4. INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES

Si les connaissances acquises à travers les étapes précédentes sont insuffisantes pour déterminer le plan d'échantillonnage, certaines investigations de terrain sont possibles afin de mieux cibler le type de contaminant présent et le type de distribution de la contamination.

3.4.1. Echantillonnage préliminaire

Un nombre réduit d'ouvrages (reconnaissance visuelle), éventuellement complété par quelques prélèvements-clés analysés en laboratoire, permettent de mieux cibler la campagne d'échantillonnage. La réalisation d'une ou deux analyses globales (de type ICP pour les métaux, ou chromatographie totale pour les composés organiques), permet notamment d'identifier l'ensemble des composés présents.

3.4.2. Techniques de criblage de site ou reconnaissance in situ

Outre l'obtention de données analytiques par des laboratoires, des techniques de criblage analytique de terrain se développent, qui fournissent des données en temps réel, pouvant permettre de cibler les familles de composés chimiques à prendre en compte et de rassembler, en principe, de façon efficace et à des coûts économiques, un grand nombre de données concernant le site. Les zones identifiées à l'issue de ces techniques de criblage peuvent alors faire l'objet d'analyse en laboratoire sur un nombre réduit d'échantillons choisis. Ces techniques ont l'avantage d'apporter, dans des délais très courts, une information assez riche du site et pour un budget relativement réduit.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

On citera notamment l'utilisation de détecteurs à photo-ionisation, d'unités portables à fluorescence x, et différents kits d'analyse in situ. Les techniques géophysiques sont également utiles pour détecter toute anomalie souterraine du type structure, réservoir, déchets.

Afin d'éviter au maximum le risque de réponses négatives fausses, la technique choisie doit garantir une limite de détection inférieure aux niveaux à mesurer sur le site, ou être limitée aux zones très contaminées le cas échéant.

4. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

4.1. STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE

La stratégie d'échantillonnage définit le plan d'implantation des points d'observation sur la zone étudiée.

On recense plusieurs stratégies d'échantillonnage certaines résultent d'une approche statistique (échantillonnage aléatoire, aléatoire stratifié, systématique, systématique aléatoire), hypothétique (échantillonnage de jugement), ou dans un but de recherche spécifique, fonction de la source ou du modèle de migration (échantillonnage de recherche de "hot-spots", recherche par profil, grille circulaire) ou, enfin, par une combinaison de ces différentes approches.

4.1.1. Approches statistiques

a. Echantillonnage aléatoire

La localisation des points d'échantillonnage est déterminée, sur l'ensemble de la zone étudiée, de façon arbitraire, basée par exemple sur utilisation d'une table de nombres randomisés. (figure1).

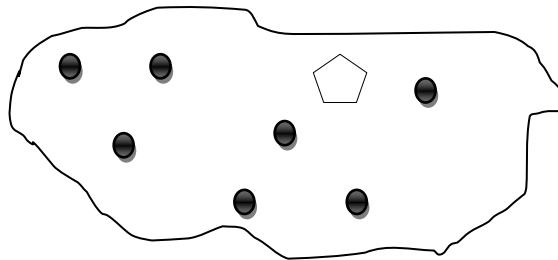


Figure 1 Echantillonnage aléatoire (EPA, 1991 Hazardous Waste, 1992 ISO, 1993)

Cette démarche est indispensable pour associer des probabilités et des niveaux de confiance aux résultats d'échantillonnage ; cependant, ces traitements sont faussés si le site n'est pas homogène et les résultats issus d'une telle approche ne caractérisent alors pas les réelles conditions du site. Les déchets rencontrés sur les sites industriels étant rarement homogènes, d'autres approches seront préférables, permet notamment de subdiviser le site en parcelles plus homogènes (problèmes d'interpolation).

b. Echantillonnage aléatoire stratifié

L'échantillonnage aléatoire stratifié est une variante de l'échantillonnage aléatoire, où la zone étudiée est subdivisée en zones ou entités plus homogènes, permettant ainsi de se prémunir d'une source d'hétérogénéité (profondeur d'échantillonnage, type de polluant, type de milieu, niveau de concentration...). Ces différentes zones ou entités, appelées "strates", sont définies à

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

l'issue de l'étude historique ou des résultats analytiques de criblage et sont alors échantillonnées selon un mode aléatoire (figure 2).

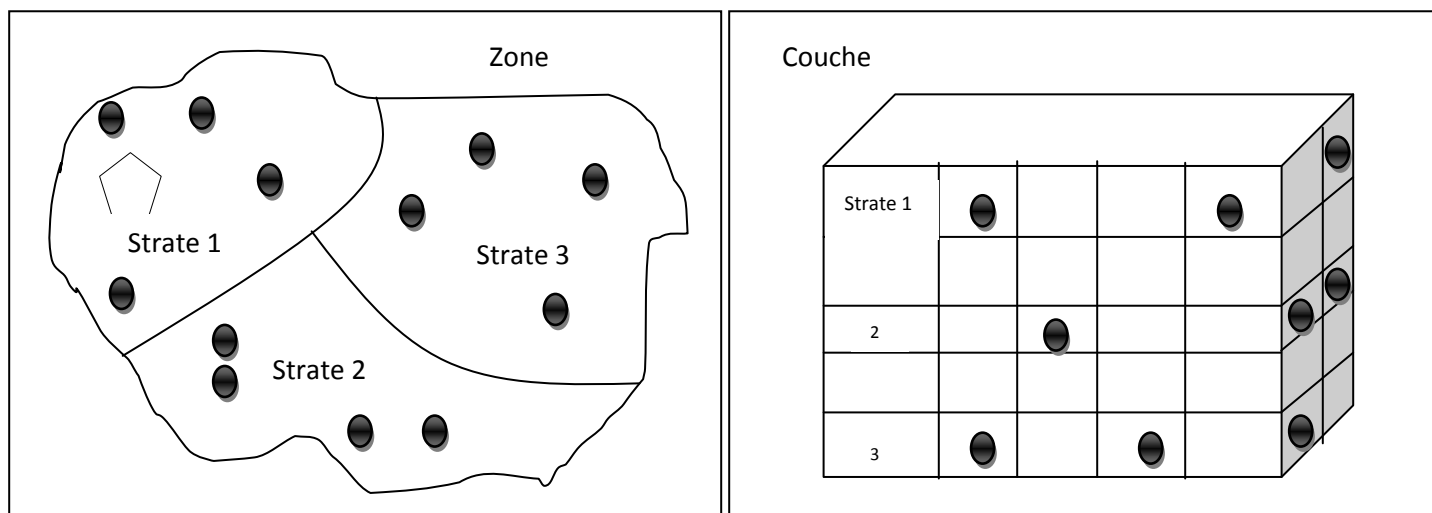


Figure 2 Echantillonnage aléatoire stratifié (EPA, 1991 Hazardous waste, 1992 ISO, 1993)

c. Echantillonnage systématique

L'aire d'étude est subdivisée grâce à un maillage régulier, carré, losangique ou triangulaire, au sein duquel les points d'échantillonnage sont déterminés par les nœuds du maillage ou localisés au centre de formes géométriques. L'origine grille est placée soit de façon de la aléatoire, soit de manière à optimiser la couverture de la zone (figure 3).

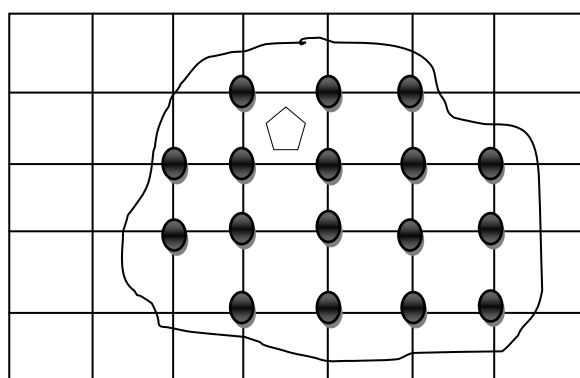


Figure 3 Echantillonnage systématique (EPA, 1991 Hazardous waste, 1992 ISO, 1993)

La maille de la grille est déterminée en fonction de la surface à étudier et du nombre d'échantillons réalisables (EPA, 1991). Par ailleurs, elle peut également être ajustée en fonction de la taille minimale des auréoles de contamination à détecter et du niveau de détail souhaité, selon qu'il s'agit de déterminer le degré moyen de contamination de la zone, la localisation de sources localisées, ou l'extension de la contamination (SO, Part 1, 1993).

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

Les grilles systématiques ont l'avantage de faciliter la localisation des points et permettent facilement de ré-échantillonner une zone si les premiers résultats le nécessitent. Cette approche est souvent utilisée pour délimiter l'extension d'une contamination et pour définir les gradients de concentration des contaminants.

d. Echantillonnage systématique aléatoire

Comme pour l'échantillonnage systématique, l'aire étudiée est subdivisée selon un maillage régulier, mais les points d'échantillonnage sont déterminés de façon aléatoire, à l'intérieur de chaque maille (figure 4).

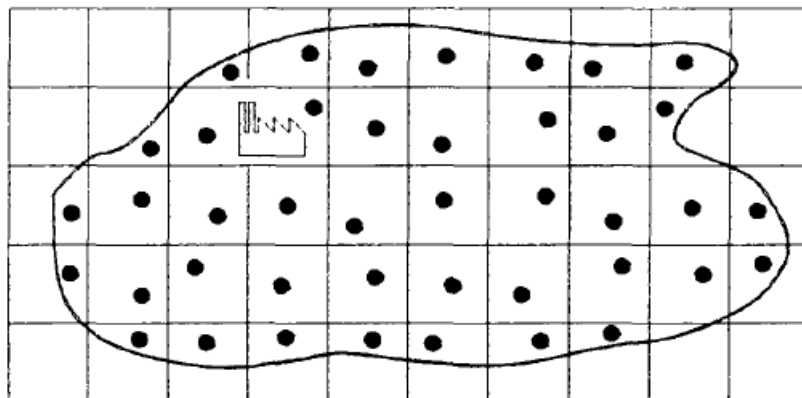


Figure 4 Echantillonnage systématique aléatoire (EPA, 1991, ISO, 1993)

Cette approche est utile pour évaluer la concentration moyenne en polluant à l'intérieur de chaque maille et déterminer celles qui nécessitent un complément d'investigation.

4.1.2. Approches de recherche spécifiques

a. Echantillonnage par profils

Les points d'échantillonnage sont répartis régulièrement sur un ou plusieurs axes traversant l'aire étudiée, et se croisant entre eux (Figure 6)

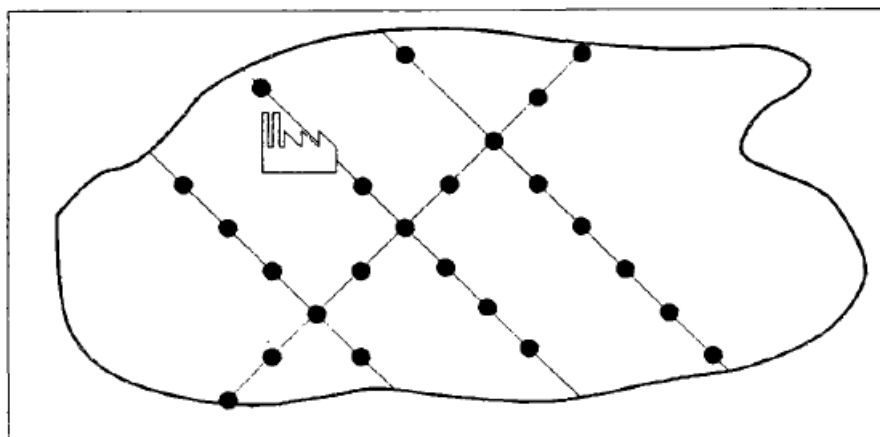


Figure 6 Echantillonnage par profils (EPA, 1991 ISO, 1993)

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

Cette approche, qui présente l'avantage de limiter le nombre d'échantillons, est couramment utilisée pour déterminer l'extension d'une contamination et définir les gradients de concentration suivant les profils définis. Par ailleurs, elle peut également être étendue à la constitution d'échantillons composites.

b. Echantillonnage de recherche spécifique

C'est une approche qui intègre un maillage systématique ou systématique aléatoire, dans un but de détection de zones "anormales" (par rapport à des standards de décontamination par exemple).

La grille, carrée ou triangulaire, est calculée de manière à couvrir l'ensemble de la zone et en fonction du degré d'erreur admis (c'est-à-dire de la probabilité d'omettre un « hot-spot » compte tenu de la taille des spots à détecter) (Figure 7).

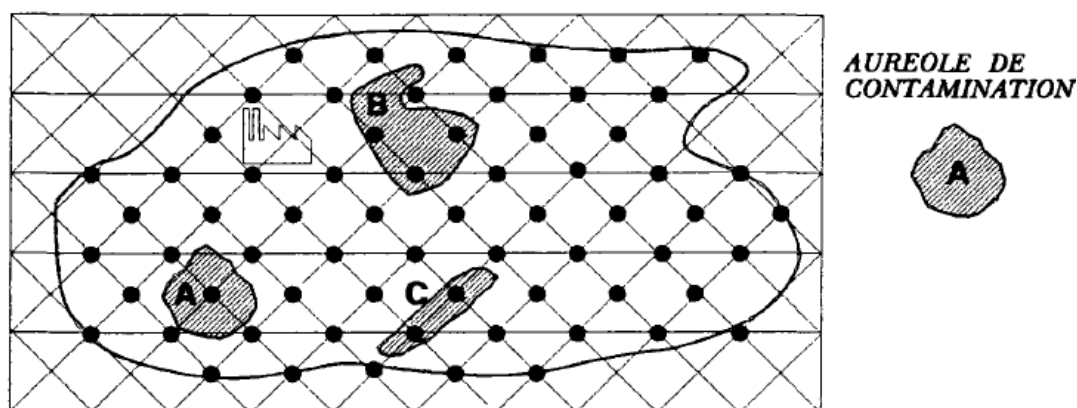


Figure 7 Echantillonnage de recherche spécifique selon une grille triangulaire (EPA, 1991 ISO, 1993)

4.1.3. Approche hypothétique

a. Echantillonnage de jugement

Il correspond à une sélection subjective des points d'échantillonnage basé sur l'étude historique réalisée et l'inspection visuelle du site (figure 8)

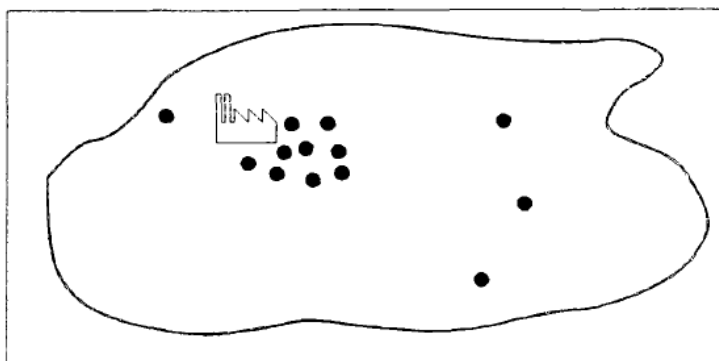


Figure 8 Echantillonnage de jugement (EPA, 1991 ISO, 1993)

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

Cette démarche est essentiellement choisie pour définir les contaminants présents, et leur concentration sur les zones les plus suspectes, mais elle ne peut pas faire l'objet d'une interprétation statistique globale.

b. Grille circulaire

Les échantillons sont prélevés sur des cercles de rayon croissant, au niveau des 8 points principaux du compas (Figure 9).

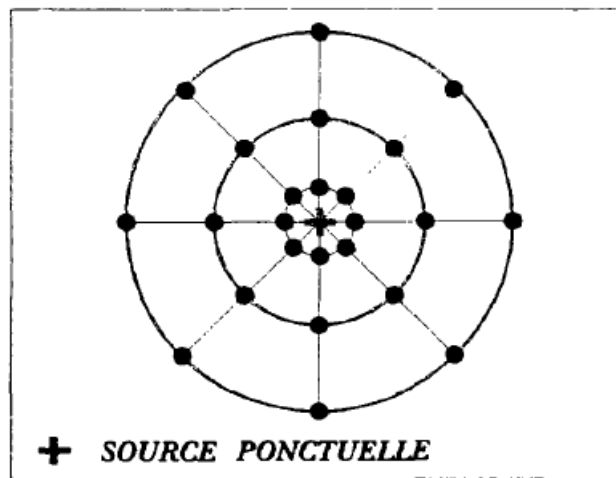


Figure 9 Echantillonnage selon une grille circulaire (SO, 1993)

Cette méthode est tout particulièrement adaptée pour les contaminations localisées à source ponctuelle (ex retombée de cheminée, réservoir, Elle fournit la concentration en substance au centre de la grille (valeurs maximales) et la distribution spatiale des concentrations autour de la source (extension, gradient)

Selon les cas, la densité de points d'échantillonnage peut être modulée, entre le centre de grille et l'extérieur (contamination plus étendue, gradient faible), ou sur une direction particulière, si l'extension est supposée non-uniforme (direction du vent, écoulement de la nappe, La répartition des points peut également être optimisée par rotation de l'étoile centrale (pas de 22,5° renouvelable 3 fois par exemple)

c. Grille linéaire

Les échantillons sont régulièrement répartis le long d'une ou plusieurs lignes parallèles, et distantes entre elles du pas d'échantillonnage, avec une fréquence d'échantillonnage décroissante au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source. Ce type de distribution est adapté pour les sources de contamination linéaire, de type pipeline (Figure 10).

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

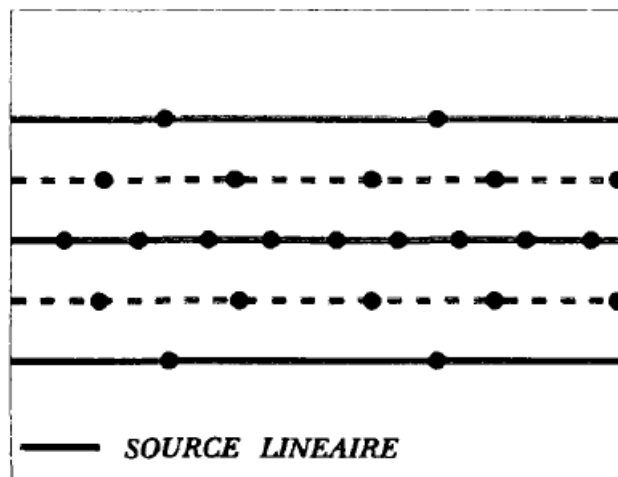


Figure 10 Echantillonnage selon une grille linéaire (iso. 1993)

d. Echantillonnage non-systématique

Les échantillons sont régulièrement répartis sur des modèles prédéfinis comportant au moins deux diagonales (du type N, s, w,x, zig-zag). Ce type d'échantillonnage est utilisé pour la caractérisation de zone de forme et de composition supposées homogènes (terrain agricole, sols de surface localisés, terrils, (Figure 11).

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

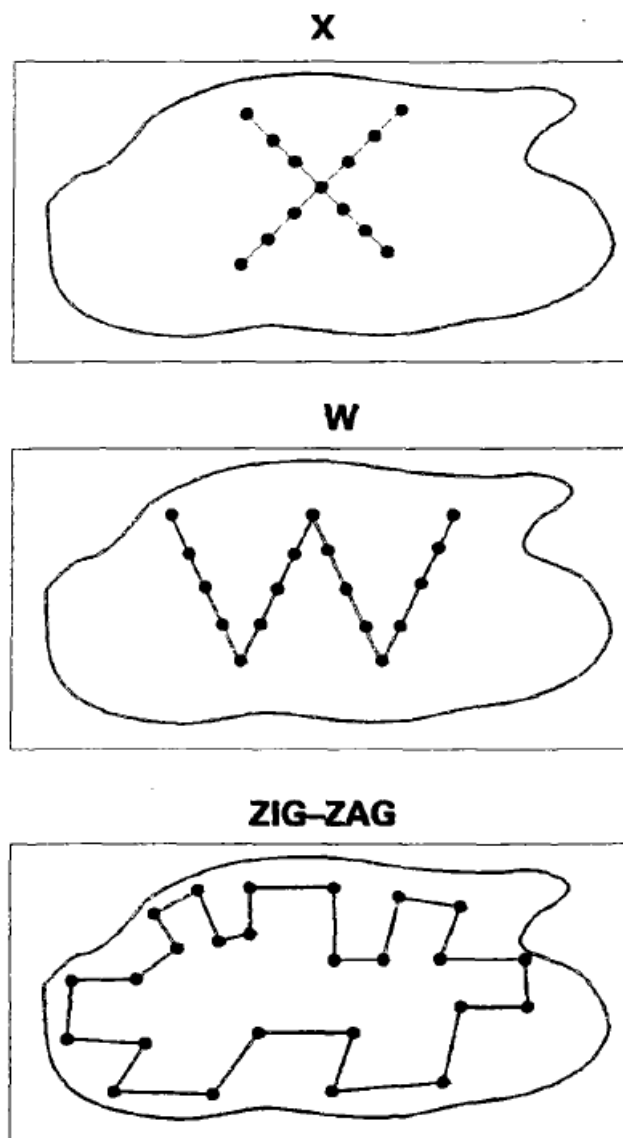


Figure 11 Echantillonnage non systématique (iso. 1993)

4.2. CHOIX DE LA STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

La stratégie d'échantillonnage est choisie en fonction de l'objectif d'échantillonnage, et est dimensionnée en fonction des objectifs de qualité des données, des moyens disponibles et des contraintes imposées par le site. Aucune « recette de cuisine » n'est proposée pour sélectionner la stratégie d'échantillonnage, le choix de l'approche la plus appropriée est réalisé au cas par cas, et peut en combiner plusieurs.

Outre la description de chaque stratégie présentée ci-dessus (et comprenant leurs types d'application), plusieurs documents peuvent guider dans le choix de la stratégie la plus appropriée, le tableau suivant donne une première grille d'évaluation des différents types d'approches en fonction des objectifs de l'échantillonnage.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

<i>Stratégie</i> <i>Objectif</i>	<i>Aléatoire</i>	<i>Systématique</i>	<i>Systématique aléatoire</i>	<i>Recherche</i>	<i>Aléatoire stratifié</i>	<i>Profil</i>	<i>Jugement</i>
<i>Evaluation du risque</i>	4	2 ^a	3	3	3	2	1
<i>Identification des sources</i>	4	2 ^a	3	2	2	3	1
<i>Délimitation de l'extension</i>	3	1 ^b	1	1	3	1	4
<i>Perspectives de décontamination</i>	3	2	2	4	1	2	3
<i>Contrôle de la décontamination</i>	1 ^c	1 ^b	1	1	3	1 ^d	4
Stratégie : 1 : la plus adaptée 2 : possible 3 : peu adaptée 4 : la moins adaptée		Commentaires : a : à appliquer avec une technique de criblage analytique de terrain b : adaptée seulement si des tendances sont connues c : validation statistique si l'ensemble du site est couvert d : possible si le site est supposé propre (plusieurs techniques)					

Tableau 3 Evaluation des stratégies d'échantillonnage en fonction de l'objectif (EPA, 1991)

4.3. EN RESUME

D'une manière générale, les modèles de type aléatoire offrent le plus de garanties dans l'obtention d'un échantillonnage objectif, et sont considérés comme l'approche la plus intéressante, notamment par les standards britanniques (BSI, 1988) le milieu, comme la contamination, sont alors assimilés à des variables aléatoires et étudiés comme tels, ce qui permet ensuite de traiter les données acquises de manière statistique.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

5. ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE DE SOL

Introduction

Les analyses de sol jouent un rôle important en production végétale ainsi que dans la gestion des éléments nutritifs. Elles constituent en fait le meilleur moyen de bien planifier les applications d'engrais pour les exploitations agricoles qui utilisent des engrais commerciaux comme source principale d'éléments nutritifs. Il est particulièrement important, dans le cas des fermes d'élevage, de connaître la teneur initiale du sol en éléments nutritifs. C'est à partir de cette dernière qu'on peut alors dresser le plan de gestion des éléments nutritifs qui permettra de gérer adéquatement à la fois les éléments nutritifs que la ferme produit et ceux qu'elle reçoit sous forme de bio-solides et d'engrais commerciaux.

L'analyse de sol se fait en trois étapes : d'abord le prélèvement d'un échantillon représentatif dans chaque champ ou parcelle, puis l'analyse de l'échantillon afin de connaître les quantités d'éléments nutritifs disponibles, et enfin, l'utilisation des résultats pour établir les doses optimales d'engrais. La tenue de registres fait partie intégrante du processus d'analyse de sol. Les registres permettent de vérifier si la teneur du sol en certains éléments augmente, diminue ou demeure stable.

5.1 Échantillonnage du sol

L'échantillon de sol envoyé au laboratoire doit habituellement peser autour de 400 grammes. Il doit cependant être représentatif de 20 000 tonnes de sol, soit la quantité contenue dans 10 ha (25 acres). On comprend donc que l'échantillonnage doit se faire rigoureusement.

5.2 Le protocole d'échantillonnage

Il n'existe pas de mode opératoire valable en toute circonstance, toutefois les étapes fondamentales de tout protocole sont les suivantes :

- enregistrement des données susceptibles d'influencer le prélèvement (Conditions climatiques, température, localisation, description du site ...)
- collecte de l'échantillon dans un récipient de collecte en adéquation avec les analyses prévues et description de l'échantillon,
- conservation idoine de l'échantillon,
- stockage et transport,
- décontamination du matériel,
- préparation de l'échantillon pour le laboratoire (tamisage, homogénéisation, division de l'échantillon, séchage).

5.3 Zone d'échantillonnage

Le choix de la zone d'échantillonnage peut influencer grandement sur l'exactitude de l'analyse de sol. Il est relativement simple de prélever un échantillon dans chacun des champs lorsque ceux-ci occupent une faible superficie. Par contre, les champs très étendus doivent être divisés en zones d'échantillonnage de plus petite dimension. Il est important, dans la mesure du possible, de s'assurer que chaque secteur d'échantillonnage est uniforme et distinct de ceux qui sont de toute évidence différents.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

La fertilité du sol peut varier selon la composition de la roche-mère, la texture du sol, la quantité d'éléments nutritifs prélevés par la culture ou la topographie. La plupart des différences de fertilité sont toutefois attribuables aux applications antérieures d'éléments nutritifs, sous forme d'engrais ou de fumier. Si la variabilité est faible, on peut regrouper plusieurs carottes de terre dans un seul échantillon. Par contre, en présence de fortes variations, il est recommandé de prélever des échantillons distincts. Si les limites précédentes des champs sont connues, on peut s'en servir pour diviser les plus grands champs en plus petites parcelles. Lorsqu'on ne connaît pas ces limites, on peut alors subdiviser ou diviser les champs en fonction du type de sol ou de la topographie. Aucun échantillon global ne devrait représenter plus de 10 hectares (25 acres).

Il n'existe pas de superficie minimale pouvant être représentée par un échantillon; il est donc permis, mais non obligatoire aux fins de la gestion des éléments nutritifs, d'avoir recours à l'échantillonnage de précision, à l'échantillonnage adapté à chaque site ou à l'échantillonnage en grille.

Les échantillons provenant de parcelles dont la composition diffère de toute évidence du reste du champ ne doivent pas être regroupés dans l'échantillon composite du champ. On doit donc éviter de les prélever dans les dérayures, les zones érodées, les allées ou à l'emplacement d'anciens tas de fumier ou de chaux. Si ces zones sont suffisamment étendues, il est recommandé d'y prélever des échantillons et de les faire analyser, de façon distincte.

5.4 Profondeur d'échantillonnage

Dans le cas des analyses visant la gestion des éléments nutritifs, on prélève normalement les échantillons à une profondeur d'environ 15 cm, étant donné que la majorité des racines se développent jusqu'à cette profondeur et que le travail du sol assure le mélange des éléments nutritifs jusqu'à environ 15 cm. Comme les couches inférieures du sol contiennent habituellement beaucoup moins d'éléments nutritifs, un échantillonnage plus profond risquerait de ne pas être représentatif du champ.

Lorsqu'on souhaite connaître la quantité de nitrates disponibles pour la culture, toutefois, il est plus précis de prélever un échantillon à une profondeur de 30 cm, puisque les nitrates se déplacent plus facilement dans l'eau du sol que les autres éléments nutritifs.

La profondeur du prélèvement demeure la même dans le cas des systèmes de semis direct, bien que les éléments nutritifs ne soient plus incorporés mécaniquement au sol. La profondeur peut cependant varier dans le cas des mesures de pH. Il peut en effet être plus approprié de prélever un échantillon près de la surface (5 cm), en vue d'évaluer l'acidification de la couche superficielle du sol lorsque de l'azote est appliqué en surface. Ne pas utiliser ces échantillons par contre pour les analyses d'éléments nutritifs, sous peine de surestimer la disponibilité des éléments nutritifs du sol.

5.5 Prélèvement des échantillons

Suivant la nature de l'échantillon que l'on souhaite collecter (remanie ou non-remanie), le volume et la profondeur du prélèvement, il existe des dispositifs plus ou moins sophistiqués de prélèvement.

Par ordre de complexité de mise en œuvre on peut citer :

- les prélèvements manuels (pelle, tarière, sonde) :
 - coût faible,
 - profondeur très réduite,
 - rapide.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

- les prélèvements du type excavation (pelle mécanique):
 - coût moyen,
 - profondeur moyenne, le creusement de tranchées permet une visualisation des terrains,
 - rapide.
- les prélèvements par forage en destructif:
 - coût moyen à plus élevé suivant la profondeur atteinte,
 - profondeur importante mais peu précis,
 - lent.
- les prélèvements par carottage :
 - coût très élevé,
 - profondeur importante et précise,
 - obtention de carottes non remaniées,
 - très lent.

Pour qu'un échantillon de sol soit représentatif, il doit contenir suffisamment de carottes de terre prélevées au hasard un peu partout dans toute la zone échantillonnée. Un nombre insuffisant de carottes augmente le risque qu'un sous-échantillon non représentatif fausse l'ensemble des résultats pour tout le champ. Un échantillonnage non aléatoire augmente les risques que les résultats soient biaisés. Le meilleur moyen de prélever un échantillon aléatoire (au hasard) est de parcourir le champ en zigzag. Prélever au moins 20 carottes pour obtenir un échantillon composite et une carotte additionnelle à l'acre pour les champs d'une superficie supérieure à 20 acres.

On néglige trop souvent, dans le cadre de l'échantillonnage, de mélanger complètement la terre avant d'en retirer les sous-échantillons. Les carottes de sol échantillonnées doivent être mélangées dans un seau jusqu'à ce qu'on ne puisse plus distinguer les carottes. Les carottes d'argile lourde doivent parfois être asséchées avant de pouvoir être mélangées correctement pour donner un sous-échantillon acceptable. Ce dernier ne doit pas peser plus de 400 g, soit l'équivalent d'environ une tasse.

Garder les échantillons à température ambiante, à l'exception de ceux qui sont analysés pour leur teneur en nitrates, qui doivent être conservés au frais (température inférieure à 4 °C) et livrés au laboratoire en moins d'une journée pour analyse immédiate. Congeler le plus rapidement possible les échantillons qui ne seront pas analysés tout de suite.

5.6 Matériel d'échantillonnage

On peut prélever les échantillons du sol à l'aide d'une pelle ou d'une bêche, mais il est beaucoup plus efficace d'utiliser une sonde d'échantillonnage ou une tarière. Ces outils doivent être en acier inoxydable, surtout si les échantillons sont analysés pour leur teneur en oligoéléments. Bon nombre de fournisseurs de matériel agricole prêteront des sondes d'échantillonnage.

Mettre les carottes du sol dans un seau de plastique propre. Les seaux de métal galvanisé vont contaminer les échantillons avec le zinc qu'ils contiennent, ce qui rend inutilisables les résultats d'analyse des oligoéléments. Éviter d'utiliser des seaux qui contenaient des nettoyants ou des détergents, puisque les phosphates de ces derniers peuvent se retrouver dans les échantillons.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

Une truelle solide en acier inoxydable ou en aluminium permet de bien mélanger les carottes avant de prélever le sous-échantillon. Un tournevis est utile pour déloger les mottes de terre qui pourraient rester coincées dans la sonde d'échantillonnage.

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.

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.

5.7 Fréquence de l'échantillonnage

La fréquence d'échantillonnage doit être suffisante pour permettre de déceler les changements dans la composition du sol d'un champ avant que les rendements ou l'efficacité du programme de fertilisation ne soient gravement compromis. Dans la plupart des cas, des analyses tous les trois ans suffisent, ce qui correspond souvent à la période où la culture revient dans la rotation.

❖ Que dit le Règlement au sujet de la fréquence d'échantillonnage?

Selon le Règlement de l'Ontario 267/03, un échantillon de sol doit être prélevé et analysé pour chaque champ avant l'élaboration du plan de gestion des éléments nutritifs correspondant, et les résultats d'analyse obtenus doivent être utilisés pour la préparation du plan. Normalement, cela signifie que l'intervalle maximal d'échantillonnage serait de 5 ans, à moins que des changements sur l'exploitation justifient l'établissement d'un autre plan de gestion. Une exception s'applique cependant dans le cas du plan d'une nouvelle exploitation, lequel peut reposer sur des valeurs par défaut suffisamment élevées pour limiter au maximum l'application d'éléments nutritifs.

Des changements rapides dans la composition du sol peuvent se produire lorsque ce dernier présente une faible capacité de rétention des éléments nutritifs ou lorsqu'on sème des cultures qui prélèvent de grandes quantités d'un élément en particulier. Il peut être nécessaire d'échantillonner le sol plus souvent dans le cas des sols à texture grossière ou lorsque les cultures prélèvent d'importantes quantités de potassium, comme la luzerne, le maïs d'ensilage ou les tomates de transformation.

5.8 Période d'échantillonnage

Le pH et la composition du sol varient au cours d'une année, en raison surtout de l'humidité du sol; ces différences, toutefois, ne sont pas suffisamment importantes ni assez constantes pour avoir un effet sur le plan de gestion des éléments nutritifs. Mais le fait de prélever les échantillons de sol à la même période de l'année élimine les variations saisonnières dans les comparaisons des résultats d'analyse d'une fois à l'autre. Par ailleurs, ce qui est encore plus important, c'est que si les échantillons sont prélevés immédiatement après la récolte, on obtiendra les résultats suffisamment à l'avance pour planifier le programme de fertilisation de la prochaine culture.

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

5.9 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.

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.

5.10 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.

5.11 Analyse des échantillons

L'analyse des échantillons utilisés pour dresser un plan de gestion des éléments nutritifs doit être confiée à un laboratoire accrédité par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales et doit se faire à l'aide de méthodes reconnues par le MAAAR. Le processus d'accréditation garantit la qualité des analyses grâce à l'utilisation de méthodes reconnues par la commune.

Le dosage des éléments nutritifs dans le sol se fait par extraction des éléments nutritifs, puis analyse des extraits. Les valeurs ainsi obtenues ne représentent pas exactement les quantités qui sont physiquement assimilables par la culture. Les mécanismes chimiques du sol et des prélèvements par les plantes sont trop complexes pour permettre d'obtenir une telle mesure. Les valeurs obtenues reflètent plutôt les quantités d'éléments nutritifs que les systèmes racinaires des végétaux peuvent extraire du sol. Ces mesures peuvent varier beaucoup selon le type d'analyse effectuée. À la fin les analyses reconnues ont été choisies parce qu'elles fournissent des résultats fiables pour la gamme de conditions de sol qu'on trouve dans la province.

Les recommandations de fertilisation du MAAAR visent un rendement optimal des cultures. Elles tiennent compte de la fraction des éléments nutritifs présente dans le sol que les végétaux sont à même de prélever.

L'analyse reconnue par le MAAAR pour le dosage du phosphore utilise une solution d'extraction au bicarbonate de soude. La méthode, communément appelée méthode Olsen, est considérée comme fiable pour la gamme de pH du sol qu'on trouve. D'autres méthodes, comme la méthode Bray donnent des résultats variables en sols alcalins.

Le potassium assimilable est mesuré par extraction à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium. L'ammonium éloigne les cations, comme le potassium, des particules à charge négative du sol, ce qui permet d'en effectuer le dosage dans une solution. Le même extrait peut être utilisé pour doser le magnésium, le calcium et le sodium bio-disponibles.

Le pH est un autre paramètre important mesuré par les analyses de sol. Le pH, un indicateur de l'acidité ou de l'alcalinité du sol, influe sur la biodisponibilité d'un grand nombre d'éléments nutritifs, la croissance des plantes et l'efficacité de nombreux herbicides. Le pH devrait être mesuré dans un mélange pâteux de sol et

ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

d'eau qui contient juste assez d'eau pour saturer les pores du sol. Des suspensions plus diluées donneront des mesures de pH supérieures à la réalité surtout dans les sols à texture grossière. Une analyse du pH est exigée pour l'épandage de bio-solides.

Il existe également des analyses pour le dosage du zinc et du magnésium dans le sol. Ces analyses ne sont pas requises dans le cadre du plan de gestion des éléments nutritifs, mais elles sont utiles pour comparer une section fertile d'un champ à une autre pour laquelle on soupçonne une carence, ainsi que pour planifier les éventuels apports d'éléments nutritifs.

S'il doit y avoir épandage de bio-solides, le plan de gestion des éléments nutritifs doit préciser les teneurs du sol en certains métaux réglementés. Ces dosages sont réalisés par un processus de digestion acide, où tous les minéraux du sol et les composés organiques de l'échantillon sont dissous. Les laboratoires qui effectuent de telles analyses doivent être accrédités en vertu d'un programme d'accréditation distinct qui répond aux normes ISO/IEC 17025.

❖ Que dit le Règlement au sujet des analyses requises?

Les analyses d'échantillons de sol prélevés dans le cadre d'un plan de gestion des éléments nutritifs qui prévoit des épandages de fumier doivent être confiées à un laboratoire accrédité par le MAAAR, pour ce qui est du dosage de leur teneur en phosphore et en potassium assimilables. Les plans qui prévoient des épandages de bio-solides doivent s'assortir d'analyses pour les mêmes paramètres, d'une analyse du pH et du dosage des métaux réglementés (Règlement de l'Ontario 267/03).

5.12 Utilisation des résultats

La fertilité du sol ne se limite pas à un rapport d'analyse de sol, lequel ne fournit en fait qu'un portrait ponctuel de la situation. La santé du sol, qui dépend aussi de son degré d'ameublissement, de sa structure et des rotations des cultures, influence aussi le cycle des éléments nutritifs dans le sol. Les résultats des analyses de sol pour un champ donné servent à élaborer le plan de gestion des éléments nutritifs pour ce champ. Ils permettent de comparer les résultats aux recommandations de fertilisation afin d'établir les doses d'engrais à appliquer. Ils peuvent aussi être entrés dans un programme informatisé de gestion des éléments nutritifs ou dans le Cahier de gestion des éléments nutritifs, afin que les taux d'application soient calculés en tenant compte de toutes les sources d'éléments nutritifs.

Il est également utile de garder les résultats d'analyse de sol dans un registre, afin de les comparer aux résultats des années antérieures. Il est plus facile d'évaluer l'efficacité de l'ensemble du programme de fertilisation ou du plan de gestion des éléments nutritifs si l'on peut suivre l'évolution des niveaux de fertilité du sol.

L'utilisation des résultats devient plus complexe lorsque plusieurs échantillons ont été prélevés dans un champ ou dans une parcelle distincte. Les résultats provenant d'échantillons multiples peuvent provenir de champs qui ont fait l'objet d'un échantillonnage en quadrillage. Si le champ est plus grand que 10 ha (25 acres), il peut être souhaitable de le fertiliser au complet, en bloc.