

Annexe IX : Recommandations pour la détermination de la teneur en matière organique du sol et pour la réalisation d'analyse granulométrique du sol

Dans le cadre de la réalisation d'études de sol, la détermination des propriétés du sol comme la texture (à partir d'une analyse granulométrique) et la teneur en matière organique est cruciale, notamment, lors de l'interprétation des résultats en lien avec l'analyse des risques.

Le GREO précise que :

« Ces paramètres – propriétés physico-chimiques des sols – sont mesurés pour les couches de sol jugées représentatives des couches de sols polluées ou présentant potentiellement le plus de risques d'être polluées. Ces analyses doivent être effectuées sur des échantillons qui ne sont pas suspectés d'être pollués par des huiles minérales ou par d'autres polluants organiques ».

Il convient toutefois de baliser le nombre d'analyses et les prescriptions en la matière.

La présente fiche détaille la méthodologie retenue (hypothèse de travail, identification de la localisation du prélèvement, nombre et type d'échantillons, nombre d'analyses, choix de la valeur représentative...) afin de déterminer une teneur pertinente en matière organique (en en y associant le nombre recommandé d'analyses granulométriques) permettant de prendre en considération la spécificité d'un sol dans le cadre de l'interprétation de résultats analytiques.

1 DÉFINITIONS

La **matière organique** est essentiellement (95% ou plus) constituée de substances végétales retombant sur le sol à partir de plantes (ou apportées par l'homme) et accessoirement d'excréments et de cadavres d'animaux mais aussi de sécrétions microbiennes. Dans les sols, cette matière est progressivement transformée en humus sous l'action de différents agents d'humification (champignons, bactéries, protozoaires, vers...) (Delecour, Initiation à la Pédologie, 1981). Les différents horizons du sol se caractérisent, entre autres, par la présence de matière organique sous forme organisée ou non. C'est ainsi que cette matière peut figurer dans les horizons purement organiques (tourbeux ou non) mais aussi dans les horizons minéraux sous forme dispersée. Elle peut se présenter sous forme de débris (organes végétaux identifiables, non fragmentés), de résidus végétaux (organes végétaux identifiables, plus ou moins fragmentés et portant des traces diverses de décomposition), d'humus (substances humifiées avec peu ou pas de fragments végétaux identifiables) ou de mélanges de ces diverses formes (Delecour & Kindermans, 1977).

La matière organique du sol (MOS) est composée chimiquement de molécules organiques solubles, de macromolécules du vivant (cellulose, protéines, acides nucléiques, lignine, mélanine, subérine, chitine...) et d'éléments minéraux.

Le **carbone organique total** (COT) est la quantité de carbone présente dans les composés organiques. Dans un échantillon donné, il désigne le total du carbone contenu ayant une origine organique et est défini comme la somme des

fractions labiles et stables du carbone organique. Sa détermination permet d'évaluer la quantité de matière organique présente dans des échantillons de sols.

A titre d'information, le Tableau 1 issu du Rapport sur l'état de l'environnement wallon de 2017 indique les pourcentages de COT de différents sols sous culture en Wallonie. Les valeurs se situent entre 1,14 et 3,20%.

Tableau 1: Teneurs en carbone organique des sols sous culture en Wallonie (Source : SPW).

Tab. SOLS 2-1 Teneurs en carbone organique des sols (COS) sous cultures* en Wallonie

RÉGIONS AGRICOLES	n**	TENEURS EN COS (%)			ÉVOLUTION ENTRE LES PÉRIODES 1949-1972 ET 2004-2014
		MOYENNE	P 25	P 75	
Sablo-limoneuse	8 714	1,14	1,00	1,20	-12%
Limoneuse	19 694	1,22	1,02	1,30	-13%
Campine hennuyère	2	1,20	1,10	1,30	non significatif
Condroz	7 399	1,42	1,20	1,60	-5%
Famenne	1 011	1,75	1,30	2,05	-6%
Fagne	78	1,73	1,28	2,20	non significatif
Herbagère	639	2,21	1,60	2,70	non significatif
Haute Ardenne	62	3,15	2,90	3,38	-20%
Ardenne	524	3,20	2,70	3,60	-11%
Jurassique	213	1,78	1,30	2,09	-11%
Toutes	38 336	1,30	1,04	1,40	-20%

* Teneurs observées dans les horizons de surface de 38 336 sols sous cultures (données REQUASUD collectées entre 2004 et 2014) (Chartin et al., 2015, 2017)
 ** Nombre d'échantillons analysés

REEW 2017 – Sources: UCL - ELI - TECLIM; REQUASUD (licence A09/2016)

La **granulométrie** est un ensemble de méthodes permettant de déterminer la distribution de la taille des particules des roches minérales, des sols et des matériaux artificiels. La distribution granulométrique est la teneur relative en particules de différentes tailles dans le matériau. C'est un indicateur physique important de la qualité du minerai car il détermine les propriétés de la roche telles que la porosité, la perméabilité, la surface spécifique et les propriétés capillaires (Rumiantceva & Filchenkov, 2022).

2 MÉTHODE D'ANALYSE

Le CWEA propose deux méthodes d'analyses pour déterminer la teneur en carbone organique d'un échantillon de sol : (1) la combustion sèche ou (2) l'oxydation sulfochromique.

La détermination de la teneur en matière organique à partir de la mesure de la teneur en carbone organique se fait au moyen d'un facteur de conversion. Ce dernier dépend du type de matière organique et peut varier d'un échantillon à l'autre. Pour les sols agricoles, sa valeur est comprise entre 1,7 et 2,0 (Tableau 2). Cependant, ce paramètre est la plupart du temps fixé à 1,72 (notamment dans les simulations réalisées à l'aide de S-Risk).

Tableau 2: Valeurs des coefficients de conversion MO/C pour différents types de sols (Source : INRA).

Auteurs et date	Éléments caractéristiques de l'étude		MO / C
Lunt (1931)	Humus forestier	Feuilles fraîchement tombées	1,89
		Feuilles partiellement décomposées	1,85
		Feuilles très décomposées	1,80
Broadbent (1953)	Synthèse de travaux américains	Horizons de surface	1,9
		Horizons profonds	2,5
De Leenheer, Van Hove & Van Ruymbeke (1957)	Sols belges ayant < 1% de MO		2
Howard (1965)	Sols de Grande-Bretagne	Horizons de mull	1,97 à 2,07
		Horizons de mor	1,77 à 1,95
Ponomareva & Plotnikova (1967)	Ratios d'acide humiques et fulviques extraits		2
Loftus (1966)	Sols de Pennsylvanie	"Sols organiques"	1,8
		Horizons de surface de "sols minéraux"	
INRA de Nancy (1986)	Horizons O holorganiques d'alocrisols sous épicéas vieux de 80 ans		1,94 à 1,99
Norme NF ISO 10694 (juin 1995)	Sols agricoles		1,7 à 2,0

Pour l'analyse texturale d'un sol (selon le triangle des textures repris dans le GRER), le CWEA (P7) présente une méthodologie d'analyse macroscopique sur terrain en ajoutant qu'il s'agit d'une première évaluation et que ces analyses peuvent être précisées en laboratoire.

Les fractions granulométriques à considérer dans ce cadre sont les suivantes :

sable : 50 µm – 2 mm ;

limon : 2 µm – 50 µm ;

argile : 0 – 2 µm.

Il n'y a pas à l'heure actuelle d'autres recommandations dans le CWEA et il est renvoyé aux laboratoires agréés pour les méthodes d'analyses des différentes fractions granulométriques de sol. L'intégration de protocole « analyse granulométrique » dans le CWEA, à établir notamment sur base de la norme ISO 11277:2020, est à l'étude.

3 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE RECOMMANDÉE

Il est proposé de former un échantillon composite constitué d'un nombre d'échantillons élémentaires égal au nombre de forages prévu par la stratégie B du GREO (investigation des zones suspectes homogènes). Cette stratégie ne tient compte que de la superficie de la parcelle à investiguer. Elle est facile à mettre en œuvre et n'entraîne ni forage ni analyse supplémentaire pour les

experts qui appliquent déjà le principe « une analyse par horizon ». Par ailleurs, elle ne nécessite aucun traitement statistique puisque c'est le résultat du laboratoire qui devra être considéré pour la modélisation des risques. Les nombres de sondages et d'échantillons sont spécifiés dans le Tableau 3.

Tableau 3: Nombre de forages et d'échantillons nécessaires en fonction de la superficie de la zone homogène.

Superficie de la zone homogène (ha)	Nombre de sondages	Nombre d'échantillons élémentaires par horizon	Nombre d'échantillons composites par horizon
≤0,05	3	3	1
>0,05-0,2	4	4	
>0,2-0,5	6	6	
>0,5-1	8	8	
>1-2	10	10	
>2-3	12	12	
>3-4	14	14	
>4-5	16	16	
>5-6	18	18	

Pour chaque forage, un échantillon est prélevé par horizon et les échantillons d'un même horizon sont ensuite mélangés afin de constituer l'échantillon composite. Pour rappel, la constitution d'un échantillon composite doit se faire à partir d'échantillons élémentaires de volume équivalent. Il est ensuite possible de caractériser la teneur en matière organique de ces échantillons composites à partir de la mesure en laboratoire de la teneur en carbone (en utilisant le facteur de conversion usuel 1,72) et ainsi déterminer une valeur représentative de la matière organique pour chaque horizon du sol. Ces échantillonnages peuvent être réalisés au stade de l'étude d'orientation et éventuellement complétés lors de l'étude de caractérisation.

L'expert doit toutefois tenir compte des éventuelles variabilités lithologiques latérales sur le terrain. A cette fin, il devra identifier les zones de même lithologie et en fonction de leur superficie effectuer le nombre de forages adéquats. Néanmoins, l'expert ne devrait pas être contraint de faire des forages supplémentaires par rapport à ceux prévus pour la superficie totale du terrain selon la stratégie B. Pour pallier un éventuel manque d'échantillon élémentaire, l'expert peut choisir par exemple :

- de prélever plusieurs échantillons élémentaires à différentes profondeurs dans un même forage et un même horizon au stade de l'EO, en particulier si aucun signe de pollution n'est observé et que l'expert peut présumer que le site n'est pas pollué par des composés organiques ;

- de compléter le nombre d'analyses requis lors de la phase de caractérisation (les échantillons prélevés lors de la phase d'orientation devront être conservés en respectant les méthodes décrites dans les protocoles du CWEA).

La stratégie proposée peut s'appliquer à tout type de sol, aussi bien naturel qu'anthropique, pauvre ou particulièrement riche en matière organique, homogène ou hétérogène (alluvions).

A noter que la détermination de la teneur en matière organique du sol est nécessaire pour les horizons où la pollution est observée mais aussi pour les autres horizons non pollués pris en compte par l'expert dans l'étude de risque (notamment dans S-Risk).

La présence de polluants organiques est susceptible de fausser la mesure de la teneur en matière organique. Les prélèvements doivent donc être réalisés en dehors de la zone d'influence de la pollution mais dans des sols de caractéristiques semblables aux sols touchés par la pollution.

Pour l'analyse granulométrique réalisée selon cette approche composite, il est recommandé de la réaliser pour chaque échantillon composite analysé.

4 STRATÉGIE DÉROGATOIRE

Il est possible de déroger à la stratégie composite et de réaliser une stratégie à partir d'échantillon élémentaire pour autant que la démarche soit clairement précisée et justifiée dans le rapportage.

Afin de rester cohérent avec les stratégies de caractérisation et de permettre des investigations proportionnées avec les situations étudiées, il est recommandé d'appliquer la stratégie élémentaire suivante basée sur une relation reliant le nombre nécessaire d'analyses d'échantillons élémentaires au volume de l'horizon de sol à qualifier.

Cette relation est basée sur le protocole de caractérisation R1 (racine cubique du volume) en appliquant une division par 6 (plutôt que par 2) :

$$E = (\sqrt[3]{V})/6$$

Où E = nombre d'échantillons élémentaires analysés en MO, E étant arrondi à l'unité supérieure si nécessaire ;

V = volume de l'horizon de sol impacté à qualifier en m³.

La volumétrie de l'horizon à qualifier est limitée horizontalement et verticalement à l'emprise de l'impact caractérisé (avec un minimum de 3 échantillons élémentaires par horizon et un maximum de 10 échantillons).

La valeur de MO à considérer pour la couche de sol ciblée dans le cadre d'application de cette relation est la valeur moyenne des résultats obtenus.

Le nombre d'analyses granulométriques requises pour cette stratégie élémentaire est à quantifier sur la même base volumétrique (avec minimum 2 échantillons analysés par horizon et un maximum de 6 échantillons) mais en appliquant une division par 9 :

$$E = (\sqrt[3]{V})/9$$

Où E = nombre d'échantillons élémentaires analysés en granulométrie, E étant arrondi à l'unité supérieure si nécessaire.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Delecour, F. 1981.** Initiation à la Pédologie. Laboratoire de Géopédologie Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- Delecour, F., & Kindermans, M. 1977.** Manuel de Description des Sols. Laboratoire de Géopédologie Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- INRA. (s.d.).** Du taux de carbone à celui de matières organiques dans les sols. Consulté le 06 07, 2019, sur Les mots de l'agronomie. Histoire et critique: https://loexplor.istex.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Du_taux_de_carbone_%C3%A0_celui_de_mati%C3%A8res_organiques_dans_les_sols
- Protect'eau. 2018.** Analyses de sol et reliquats azotés. Consulté le 06 07, 2019, sur [https://protecteau.be/resources/shared/publications/fiches-techniques/juillet%202018/PE_8.2_AnalysesSol%20et%20reliquats\(1804\).pdf](https://protecteau.be/resources/shared/publications/fiches-techniques/juillet%202018/PE_8.2_AnalysesSol%20et%20reliquats(1804).pdf)
- Rumiantceva, M., & Fichenkov, A. 2022.** Deep Learning and Pseudo-Labeling for Ore Granulometry. *Procedia Computer Science* 212 (2022) 387-396.
- Saenger, A. 2013.** Caractérisation et stabilité de la matière organique du sol en contexte montagnard calcaire: proposition d'indicateurs pour le suivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage. Grenoble, France.
- Service public de Wallonie. 2017.** Rapport sur l'état de l'environnement wallon. SPW éditions.
- Vandenberghe C., & Colinet G. 2015.** La gestion de la matière organique du sol, un enjeu important pour limiter la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines Dossier GREneRA 15-09.14p. Dans C. Vandenberghe, M. De Toffoli, F. Bachelart, O. Imbrecht, M. Deneufbourg, R. Lambert, et al., *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2015 des membres scientifiques de Nitrawal* (p. 24). Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech et Université catholique de Louvain.
- Walter, C., Bouedo, T., & Arousseau, P. 1995.** Cartographie communale des teneurs en matière organique des sols bretons et analyse de leur évolution temporelle de 1980 à 1995. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.