



Mesure au laboratoire de la teneur en matières organiques des sols



François SERVAIN



Carbone organique par spectrométrie proche infra-rouge

Norme : NF EN ISO 17184

Principe :

Cette méthode repose sur le mesurage des spectres de réflectance des échantillons dans le domaine spectral du proche infrarouge. Elle permet d'approcher la teneur en carbone organique des échantillons de terre grâce à leurs propriétés d'absorption de la lumière.

Les spectres de réflectance sont évalués, après d'éventuels traitements mathématiques, par un modèle d'étalonnage approprié calculé à partir des résultats obtenus avec des méthodes de référence.

Carbone organique par spectrométrie proche infra-rouge

Limites de la méthode :

Cette technique n'est pas très bien adaptée à des mesures de teneurs faibles.

C'est une mesure indirecte nécessitant un étalonnage préalable à la prédiction des propriétés étudiées. Il est établi sur la base de **très nombreuses données** obtenues au moyen d'une technique de référence.

La complexité de la matrice sol rend l'étape de calibration difficile.

Des travaux ont néanmoins montré la pertinence de cette méthode à une échelle locale intégrant une variabilité relativement réduite de la matrice.

Parfois utilisée dans le cadre de projets de recherche, cette technique est encore peu utilisée en routine.

Matière organique par calcination

Norme : NF EN 15935

Principe :

La perte au feu (ou calcination) permet d'estimer directement la teneur en matière organique d'un sol.

Les échantillons de terre séchés à 105°C sont chauffés dans un four à une température comprise entre 370°C et 500°C.

La différence de masse avant et après le processus de calcination est déterminée par pesée.

Elle est utilisée pour calculer la perte au feu.



Matière organique par calcination

Limites de la méthode :

Dans le cas des sols, la perte au feu ne peut être assimilée stricto sensu à la perte de matière organique.

En réalité, elle représente :

- La perte de matière organique
- La perte de l'humidité résiduelle éventuelle, en particulier si l'échantillon n'est pas séché à 105°C
- La perte d'une part importante et variable de l'eau de constitution des minéraux argileux

Il existe donc un biais lié à une perte de l'eau de l'échantillon.



Matière organique par calcination

Limites de la méthode :

La perte d'eau de constitution des minéraux est dépendante de la température de calcination. Les pertes d'eau sont moins importantes pour des températures plus basses.

De la même façon, le rendement de l'oxydation des composés carbonés est dépendant de la température. L'oxydation est quantitative pour des températures plus élevées.

La précision des résultats repose donc sur le choix d'une température de compromis qui limite les biais mais ne les élimine pas.

En France cette méthode est très peu utilisée.



Carbone selon la méthode Walkley Black

Norme : non normalisée

Principe :

Oxydation à froid des composés réducteurs du sol dans un milieu sulfochromique (acide sulfurique + bichromate de potassium en excès).

La concentration en ions chrome (Cr^{3+}) formée par la réaction d'oxydo-réduction est liée à la teneur en carbone organique dans le sol.

Les ions Cr^{3+} en solution présentent une coloration verte caractéristique. La mesure de la teneur en carbone organique est réalisée par dosage en spectrométrie (colorimétrie) de ces ions.



Carbone selon la méthode Walkley Black

Limites de la méthode :

Cette méthode n'est pas spécifique du carbone. Elle n'est pas applicable aux sols contenant des quantités significatives de composés minéraux réducteurs (Cl^- ou Fe^{2+}). Mais dans la très grande majorité des situations agricoles, la présence de composés réducteurs non organiques est très limitée.

La manipulation de bichromates polluants et très allergisants pose des problèmes d'hygiène et de sécurité.

Enfin, l'oxydation des composés organiques est incomplète et varie selon la littérature entre 60 % et 86 %. Il faut donc utiliser un facteur de correction moyen (le plus souvent égale à 1.32) pour calculer la teneur en carbone organique.



Carbone selon la méthode Anne

Norme : NF ISO 14235

Principe :

Oxydation à 135°C des composés réducteurs du sol dans un milieu sulfochromique (acide sulfurique + bichromate de potassium en excès).

La concentration en ions chrome (Cr^{3+}) formée par la réaction d'oxydo-réduction est proportionnelle à la teneur en carbone organique dans le sol.

Les ions Cr^{3+} en solution présentent une coloration verte caractéristique. La mesure de la teneur en carbone organique est réalisée par dosage en spectrométrie (colorimétrie) de ces ions.

Carbone selon la méthode Anne

Limites de la méthode :

Cette méthode n'est pas spécifique du carbone. Elle n'est pas applicable aux sols contenant des quantités significatives de composés minéraux réducteurs (Cl^- ou Fe^{2+}). Mais dans la très grande majorité des situations agricoles, les résultats obtenus sont satisfaisants.

La manipulation de bichromates polluants et très allergisants pose des problèmes d'hygiène et de sécurité.



Carbone organique par combustion sèche

Norme : NF ISO 10694

Principe :

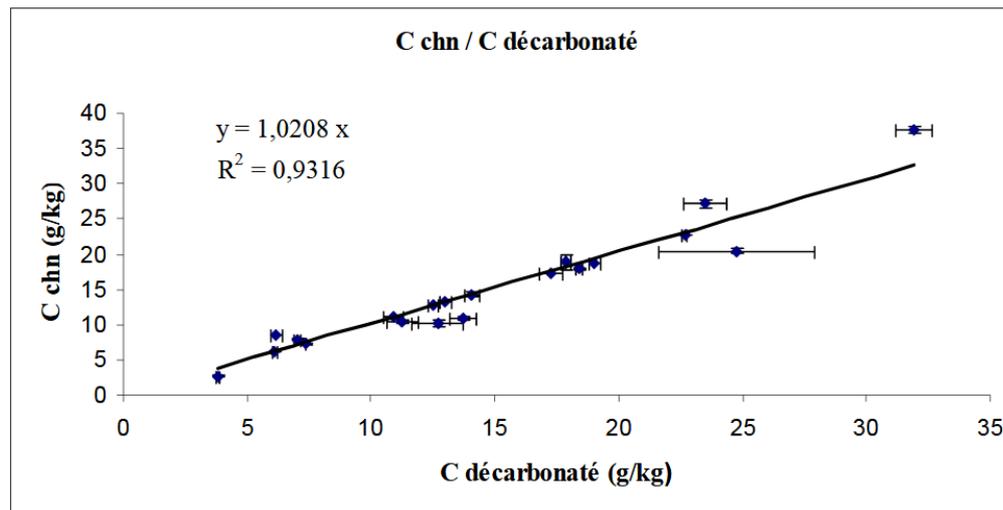
L'intégralité de l'échantillon est brûlé sous flux d'oxygène. Les gaz de combustion sont purifiés et un système propre à chaque type d'appareil permet de détecter et de quantifier le dioxyde de carbone.

Cette technique de mesure conduit à la teneur en carbone total.

Pour les sols carbonatés, la teneur en carbone organique peut être :

- Calculée à partir de la teneur en carbone total et de la teneur en carbonates (NF ISO 10693).
- Mesurée directement après élimination préalable des carbonates par attaque acide.

Carbone organique par combustion sèche



Dosage du carbone organique par combustion sèche après décarbonatation automatisée des sols
CARIA Giovanni, PROIX Nicolas, CIESIELSKI Henri
Institut National de la Recherche Agronomique – Laboratoire d’analyses des sols Arras
8èmes rencontres de la fertilisation raisonnée – 20/11/2007



Carbone organique par combustion sèche

Limites de la méthode :

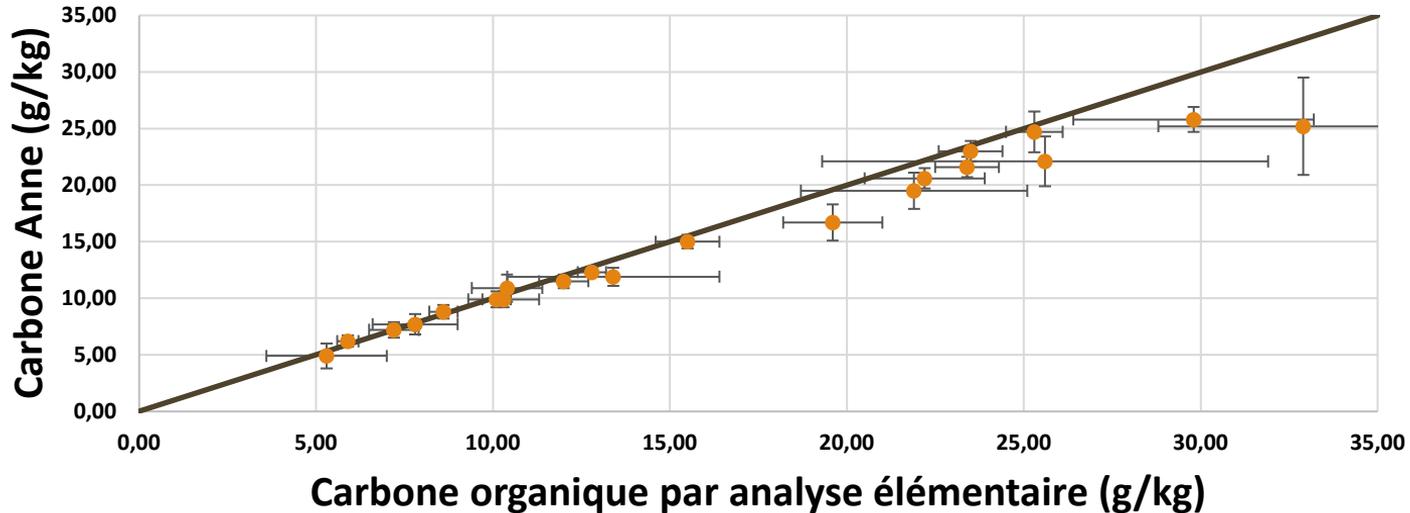
Cette technique est spécifique du carbone, mais elle n'est pas spécifique du carbone organique.

Pour des sols présentant de fortes teneurs en carbonates, la précision des mesures, la fidélité en particulier, peut être un peu dégradée.



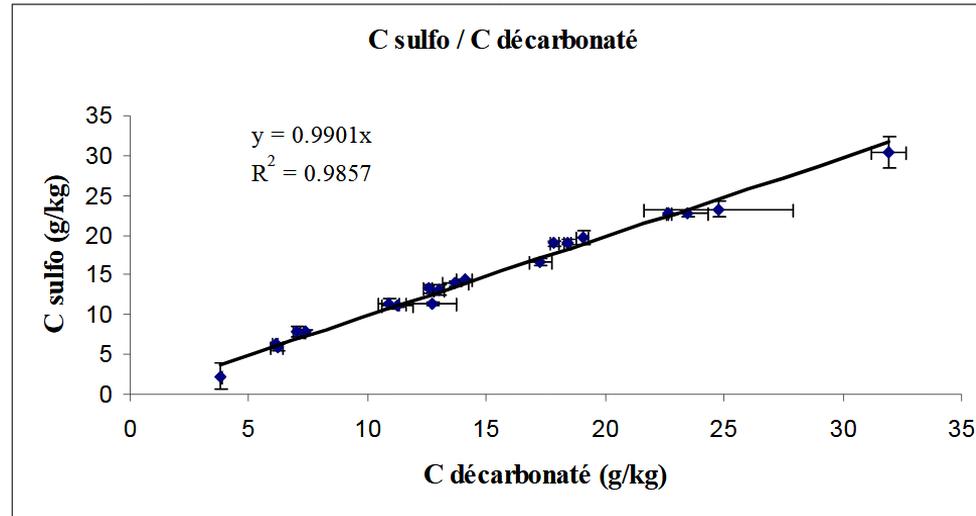
Comparaison Carbone Anne / Carbone élémentaire

Inter-comparaison BIPEA De janvier 2018 à février 2020





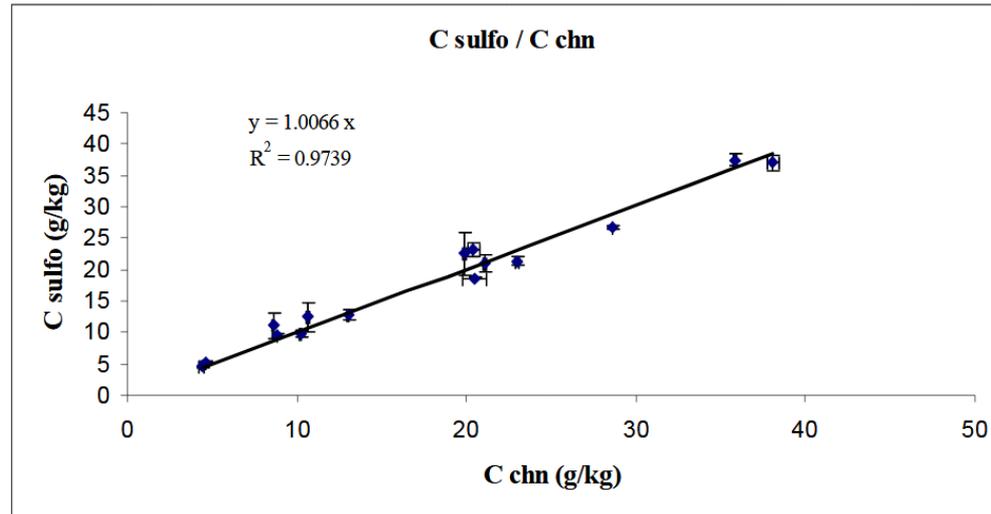
Comparaison Carbone Anne / Carbone élémentaire



Dosage du carbone organique par combustion sèche après décarbonatation automatisée des sols
CARIA Giovanni, PROIX Nicolas, CIESIELSKI Henri
Institut National de la Recherche Agronomique – Laboratoire d’analyses des sols Arras
8èmes rencontres de la fertilisation raisonnée – 20/11/2007



Comparaison Carbone Anne / Carbone élémentaire



Dosage du carbone organique par combustion sèche après décarbonatation automatisée des sols
CARIA Giovanni, PROIX Nicolas, CIESIELSKI Henri
Institut National de la Recherche Agronomique – Laboratoire d’analyses des sols Arras
8èmes rencontres de la fertilisation raisonnée – 20/11/2007



En résumé :

	Normalisation	Essais interlabo et agrément du M.A.A.	Précision des résultats	Commentaire
Carbone organique par spectrométrie proche infra-rouge	NF EN ISO 17184		- +	Nécessité de disposer de nombreuses mesures de référence pour établir une calibration. Prise en compte partielle des effets "matrice". Peu adaptée aux mesures de faibles teneurs.
Matière organique par calcination	NF EN 15935		-	Biais lié à la perte d'eau de constitution des minéraux argileux
Carbone selon la méthode Walkley Black			- +	Rendement faible et inconstant
Carbone selon la méthode Anne	NF ISO 14235	X	+ +	Rendement peut-être plus faible pour les fortes teneurs
Carbone organique par combustion sèche	NF ISO 14235	X	+ +	Incertitudes plus importantes pour les sols carbonatés

Calcul de la teneur en matières organiques

Pour calculer une teneur en matière organique à partir d'une teneur en carbone organique :

Les normes prévoient des facteurs de conversion :

- NF ISO 10694 : de 1.7 à 2
- NF ISO 14235 : de 1.7 à 2.5

Dans la pratique, les facteurs retenus sont :

- Le plus souvent compris entre 1.7 et 1.75
- Parfois égaux à 2

Calcul de la teneur en matières organiques

Pour calculer une teneur en matière organique à partir d'une teneur en carbone organique un facteur de 1.72 ou 1.724 est communément admis.

L'origine de ce coefficient est peu documentée. Il peut être attribué à van Bemmelen (1890), à Emil von Wolff (1864), voire à Carl Sprengel (1826).

En 1930, Waksman & Stevens affirment que « La quantité de carbone organique trouvée dans une quantité définie de sol est ensuite multipliée par le facteur 1,724 pour fournir la quantité totale de matières organiques du sol. Ce facteur a été obtenu par Van Bemmelen, Wollny et autres chimistes du sol, sur la supposition que la teneur en carbone organique de la matière organique du sol est 58 % . »

En 1932, Lyle et Byers écrivent « Detmer, en 1871, trouva que l'humus du sol avait une teneur en carbone de 59,79 % . »

Son usage s'est généralisé malgré de nombreuses études montrant qu'il serait trop bas pour la plupart des sols et que des valeurs de 1,9 ou 2,0 seraient plus exactes.

Pour Pribyl (2010) qui lui a consacré un gros article, « commodité, autorité et tradition sont, pour une large part, la raison de la très large acceptation de ce facteur de conversion conventionnel, beaucoup plus que la force de la démonstration »

(Denis Baize, Du taux de carbone à celui de matières organiques dans les sols, https://motsagronomie.inra.fr/index.php/Du_taux_de_carbone_%C3%A0_celui_de_mati%C3%A8res_organiques_dans_les_sols)

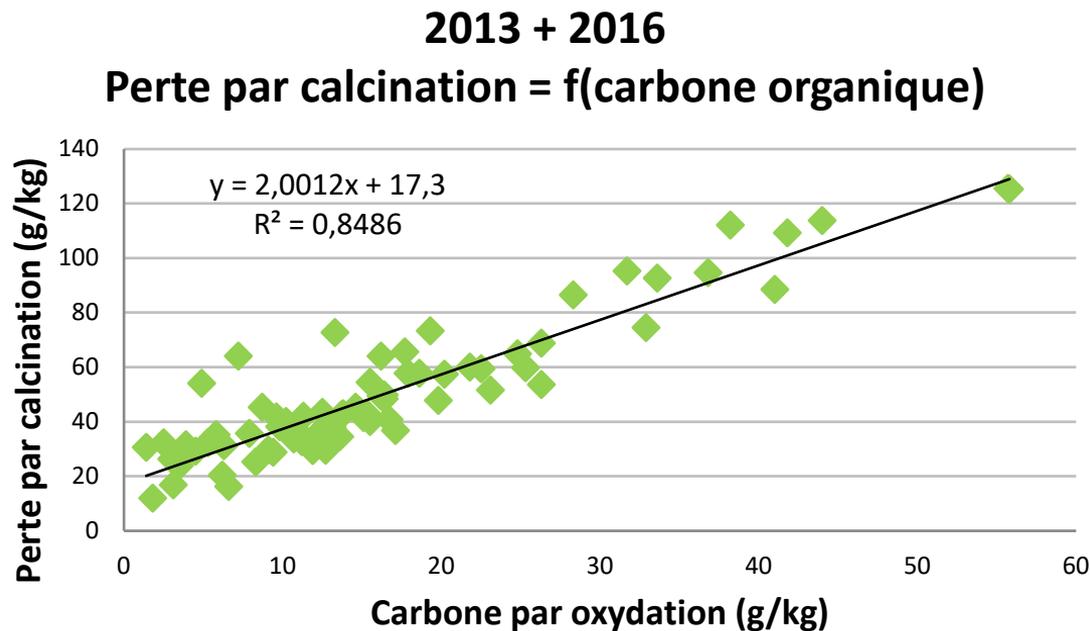


Calcul de la teneur en matières organiques

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

Source : Baize, https://mots-agronomie.inra.fr/index.php/Du_taux_de_carbone_%C3%A0_celui_de_mati%C3%A8res_organiques_dans_les_sols

Calcul de la teneur en matières organiques



Données LDAR

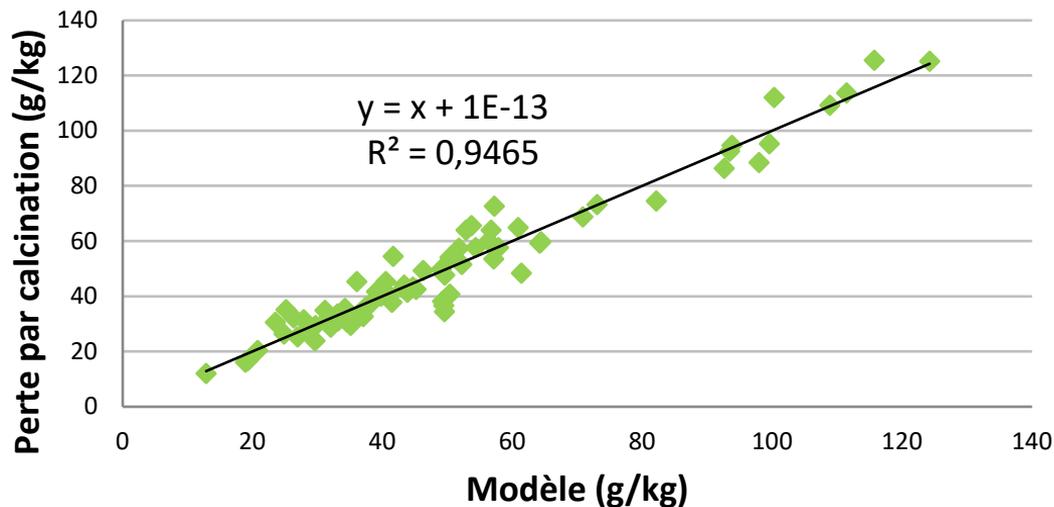
Calcul de la teneur en matières organiques



$$P.\text{Calcination} = 1.92 * \text{Corg} + 0.07 * \text{Arg} + 3.17$$

2013 + 2016

Perte par calcination = f(Modèle Corg, Arg)



Données LDAR

Calcul de la teneur en matières organiques

**Le plus pertinent reste, bien sûr,
de faire référence
aux teneurs en carbone organique**



Interprétation des teneurs en carbone

Option « idéale » :

Sur la base des effets supposés de la matière organique on déclare comme favorables les situations qui permettent d'atteindre un niveau satisfaisant des propriétés et comportements (principalement physiques) du sol

Ce niveau satisfaisant est défini en fonction de nombreuses variables :
texture, pratiques culturales, climat,...

La nature des propriétés qu'il faut privilégier varie en fonction de la texture :
Textures sableuses : CEC, rétention d'eau, ...
Textures limoneuses : stabilité structurale, ...
Textures argileuses : cohésion, adhésivité, ...

Interprétation des teneurs en carbone

Faute d'atteindre l'idéal, on se contente souvent d'une option réaliste :

- Dans un contexte régional donné, pour un système de production, il est possible d'établir des critères de diagnostic statistique qui correspondent au champs des possibles pour la situation étudiée.

Mais ce diagnostic ne conduit pas nécessairement à un conseil qui prendrait en compte un objectif optimal ou au moins suffisant.

- Sur la base du modèle AMG (Andriulo, Mary, Guerif), il est possible pour une même parcelle, de modéliser des pratiques culturales variées et de prédire leurs conséquences quant au stock de carbone et aux teneurs qui en découlent.

Nota : une modélisation efficiente repose sur la mesure d'un stock et non sur la simple analyse du carbone organique sur l'horizon travaillé.

Des pistes d'amélioration

Le recours à d'autres indicateurs qui permettraient :

- d'approcher avec plus de précision et de pertinence la dynamique du carbone dans le sol
- et à minima de qualifier (voire de quantifier) une part des phénomènes biologiques qui y contribuent.

Merci de votre attention