

Reçu le 15 Janvier 1972

Dosage gazométrique du carbone organique du sol par l'appareil de Ströhlein *

par

L. A. VALENTE ALMEIDA
(Professeur de Chimie Agricole)

et

E. PINTO RICARDO
(Professeur de Pédologie et Conservation du Sol)

1. INTRODUCTION

Comme on le sait, la détermination du carbone organique est le procédé le plus couramment utilisé pour évaluer la teneur du sol en matière organique.

La matière organique est un important constituant du sol et il est indispensable d'en connaître la teneur pour une parfaite caractérisation des sols. C'est une donnée analytique fondamentale dans toute étude pélogologique et, étant donné que sa valeur peut être obtenue à partir de la quantité de carbone organique, celle-ci est une détermination de routine que tous les laboratoires doivent effectuer en nombre élevé.

Les méthodes utilisées habituellement dans la détermination du carbone organique sont la méthode classique de combustion par voie sèche (combustion lente) et les méthodes de combustion par voie

(*) Etude intégrée dans les programmes d'activité du «Centro de Estudos de Pedologia Tropical» et de la «Missão de Pedologia de Angola e Moçambique» («Junta de Investigações do Ultramar»).

humide. Toutes ces méthodes présentent des inconvénients. En effet, la première, que l'on considère en général comme méthode-référence, est très lente et ne peut, par conséquent, être utilisée dans l'analyse de routine; en ce qui concerne les méthodes de combustion par voie humide, dont on connaît d'ailleurs diverses techniques analytiques, elles exigent des procédés opératoires délicats et aussi relativement longs, outre que la plupart semble ne pas conduire à des résultats très acceptables (2).

Pour le dosage du carbone dans l'acier et dans le fer (5), on emploie, depuis longtemps, entre autres, l'appareil de Ströhlein * qui permet des déterminations de carbone extraordinairement rapides et rigoureuses selon une technique assez simple et économique. Dans cet appareil la matière organique du sol est brûlée à une température de 950-1100 °C dans un courant d'oxygène, ce qui origine un mélange gazeux d'anhydride carbonique et d'oxygène. Les gaz de la combustion, dont la volume est premièrement mesuré dans une burette, traversent ensuite deux ampoules d'absorption contenant KOH dans lesquelles l'anhydride carbonique est fixé. Le volume d'oxygène est mesuré et par différence on obtient le volume d'anhydride carbonique provenant de la combustion de la matière organique.

Par ses divers avantages et du à la nécessité d'analyser, en peu de temps, un nombre considérable d'échantillons de terre — problème soulevé pendant la réalisation d'un travail sur les sols d'Angola (1) —, on a essayé, en 1952, par suggestion du premier auteur de la présente étude, l'application du dit appareil aux sols, avec des résultats pratiques satisfaisants, d'où son utilisation depuis lors, dans le travail de routine, dans les laboratoires de Chimie Agricole et de Pédologie de l'Institut Supérieur d'Agronomie.

Dans ce rapport, on présente une étude qui a été effectuée dans le but de montrer l'utilité de l'appareil de Ströhlein dans le dosage du carbone organique du sol, en prenant comme référence les résultats obtenus par la méthode classique de combustion lente par voie sèche.

2. MATERIEL ET METHODES

Le matériel analysé appartient à divers types génétiques de sols tropicaux, caractérisés, même dans chaque type, par des différences

(*) *Ströhlein & Co - D 4 Düsseldorf 1 - République Fédéral de l'Allemagne.*

très accentuées en ce qui concerne la teneur et la décomposition de la matière organique, la teneur en calcaire et la teneur en argile (Tableau 1), caractéristiques qui ont sans doute la plus grande importance dans le dosage du carbone organique du sol.

On a travaillé avec 108 échantillons de terre fine sèche à l'air (fraction < 2 mm).

Dans la détermination du carbone organique du sol par l'appareil de Ströhlein, on a utilisé le dispositif équipé de deux vases d'absorption, fonctionnant automatiquement (Fig. 1). Dans ses lignes géné-

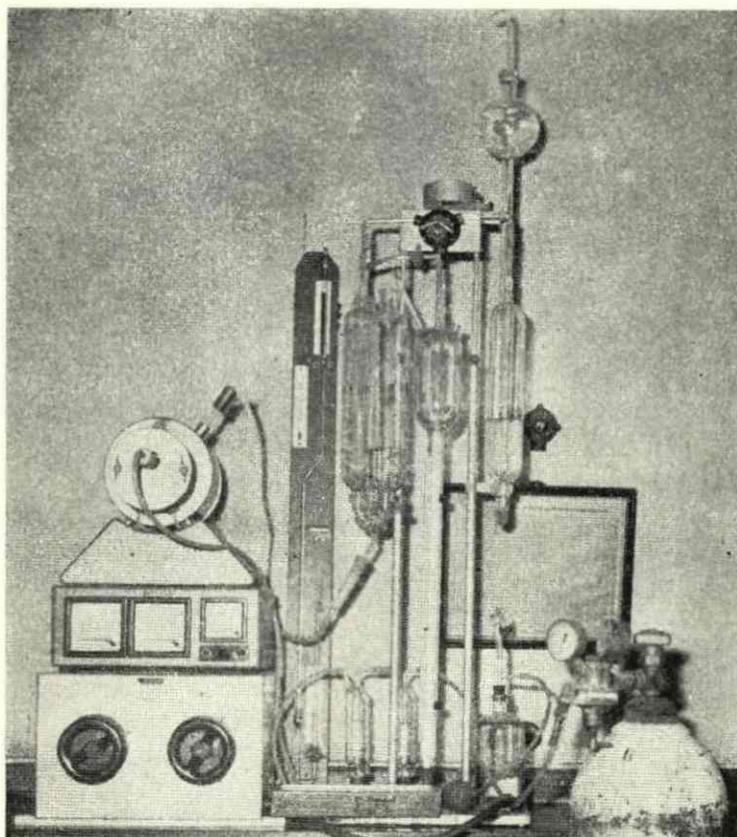


Fig. 1 — L'appareil de Ströhlein

rales, la technique suivie dans cette détermination est la technique originale (5). On emploie 1 g de terre, ou moins encore dans le cas d'échantillons ayant plus de 4 % de carbone. On mélange la terre avec

TABLEAU 1
Caractéristiques des échantillons de sols étudiés

Types de sols (*)	Argile %		Calcaire %		Matière organique %		Rapport C/N	
	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle
Sols calcaires	30,2	23,5-45,6	30,8	14,1-45,2	0,95	0,83-2,14	9,1	5,8-15,1
«Barros» noirs	52,7	28,5-73,1	1,0	0,0-3,4	1,31	0,47-4,52	15,5	11,8-23,1
Sols arides tropicaux	16,1	3,8-40,8	6,9	0,0-24,3	0,28	0,09-0,81	8,7	5,4-14,0
Sols ferrallitiques	33,9	7,3-73,1	0,0	—	3,21	0,41-11,84	16,0	10,3-21,3
Sols humiques à gley et Sols tourbeux	—	—	—	—	19,12	11,07-37,10	—	—

(*) Les désignations des sols sont celles utilisées dans les cartes des sols d'Angola (3).

1 g de peroxyde de plomb dans une petite nacelle en porcelaine et on la place dans le tube de combustion de l'appareil. Le tube est préalablement chauffé à une température d'environ 1200 °C, et l'on considère que la combustion est terminée trois minutes après. On fait alors passer un courant d'oxygène pour entraîner tout le CO₂ vers le dispositif de mesure et on effectue ensuite les lectures respectives.

Dans la méthode de combustion lente par voie sèche, on a utilisé le dispositif et la technique usuels, décrits par divers auteurs (4).

Dans le cas des sols avec du calcaire, il a fallu procéder à sa destruction avant le dosage du carbone organique; pour cela, on a utilisé une solution aqueuse d'acide sulfureux à 6 %.

Le dosage du carbone a été fait, selon les deux techniques, trois fois sur chaque échantillon.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les teneurs en carbone organique obtenues par l'appareil de Ströhlein et par la méthode employée comme référence figurent au Tableau 2. On ne présente pas les résultats individuels en raison du nombre élevé d'échantillons analysés; on n'indique que la valeur moyenne des moyennes des répétitions et l'intervalle de variation de ces moyennes pour chacun des types de sols considérés.

Les valeurs inscrites au Tableau 2 montrent, d'une façon globale, que l'appareil de Ströhlein dose des quantités de carbone organique légèrement inférieures à la méthode de combustion lente. Les moyennes des répétitions qui, comme nous l'avons dit, ne figurent pas dans ce rapport, montrent, néanmoins, que l'appareil de Ströhlein ne donne pas toujours des valeurs plus basses — on a constaté des résultats plus bas en 76 % des cas; dans 10 échantillons (9 % du total) les deux méthodes ont abouti à des résultats pareils et en 16 autres (15 %) l'appareil de Ströhlein a donné des valeurs supérieures à celles de la méthode-référence. Il est intéressant de remarquer que les 24 % des échantillons où l'on a constaté ces derniers résultats ne s'identifient pas, en particulier, à l'un ou l'autre des types de sols étudiés.

Si l'on considère tout l'ensemble des échantillons analysés, on peut dire que les différences, entre les moyennes correspondant aux deux procédés, sont très faibles en valeur absolue et que, par conséquent, le fait de prendre comme teneur en carbone la valeur relative à l'une ou l'autre finit par n'avoir aucune expression pratique. D'ailleurs, pour la plupart des échantillons (85 %), il n'y a même pas de

TABLEAU 2

Pourcentages de carbone organique déterminées à l'appareil de Ströhlein et par la méthode-référence

Types de sols	Nombre d'échantillons analysés	Teneur en carbone (C %)			
		Méthode-référence		Appareil de Ströhlein	
		Valeur moyenne	Intervalle (*)	Valeur moyenne	Intervalle (*)
Sols calcaires	15	0,55	0,19- 1,24	0,51	0,20- 1,10
«Barros» noirs	21	0,76	0,27- 2,62	0,73	0,22- 2,41
Sols arides tropicaux	28	0,16	0,05- 0,47	0,15	0,04- 0,37
Sols ferrallitiques	34	1,86	0,24- 6,87	1,79	0,21- 6,45
Sols humique à gley et sols tourbeux	10	11,09	6,42-21,52	11,03	6,00-20,53

(*) Les valeurs minima et maxima relatives à cette méthode correspondent, respectivement, aux valeurs minima et maxima de l'appareil de Ströhlein.

différence significative entre les moyennes obtenues par les deux techniques (à un niveau de probabilités de 0,05).

Si l'on fait l'examen des résultats au détail des diverses répétitions, on peut encore dire que, pour chacun des échantillons, les répétitions correspondantes à l'une et à l'autre des procédés ne diffèrent pas beaucoup et il arrive même que, très souvent, on constate leur interpénétration.

Etant donné les faits mentionnés, on considère valable de prendre comme mesure de carbone organique dans le sol, pour des travaux de routine, les valeurs obtenues par l'appareil de Ströhlein.

Toutefois, pour disposer d'une mesure plus exacte du carbone, en utilisant l'appareil de Ströhlein, on peut procéder à son évaluation à partir des données analytiques respectives, en ayant recours, pour

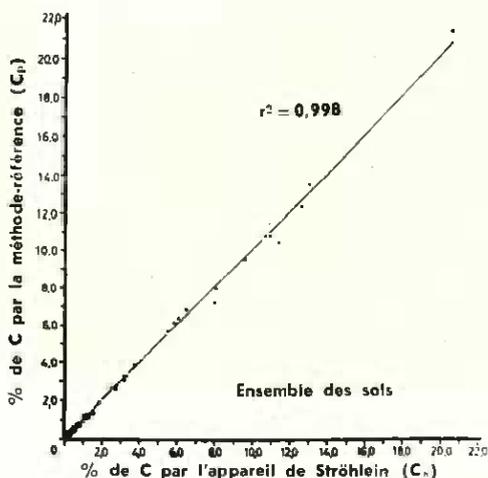
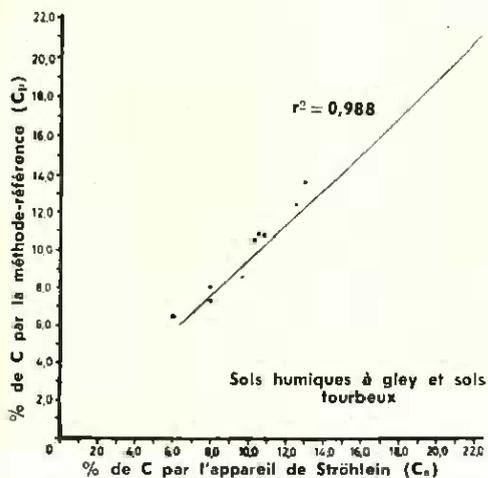
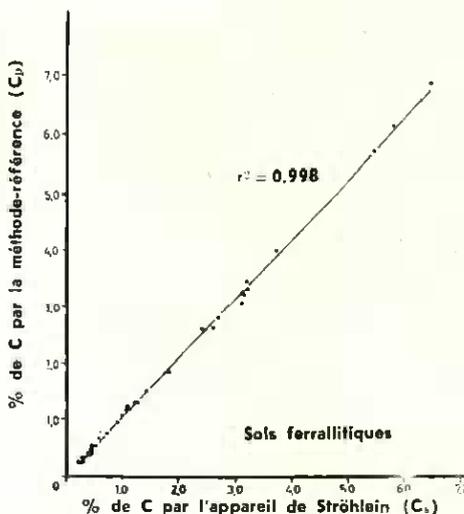
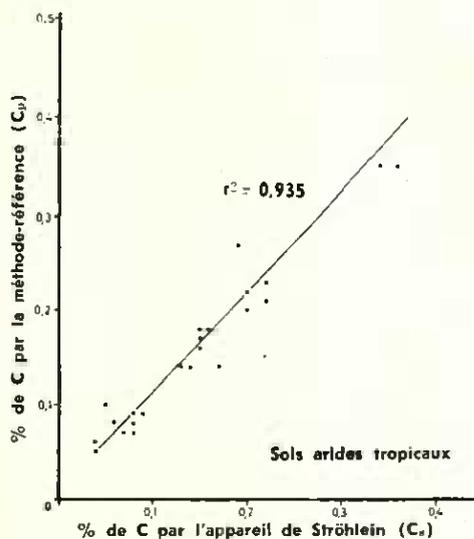
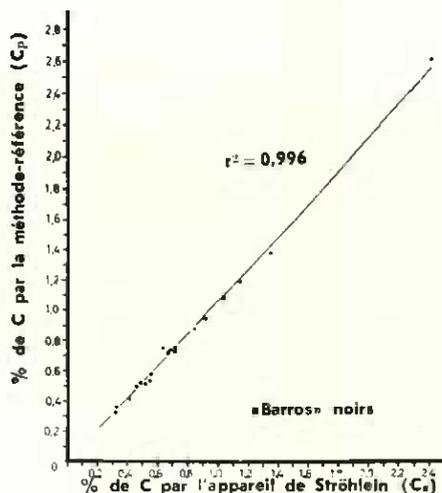
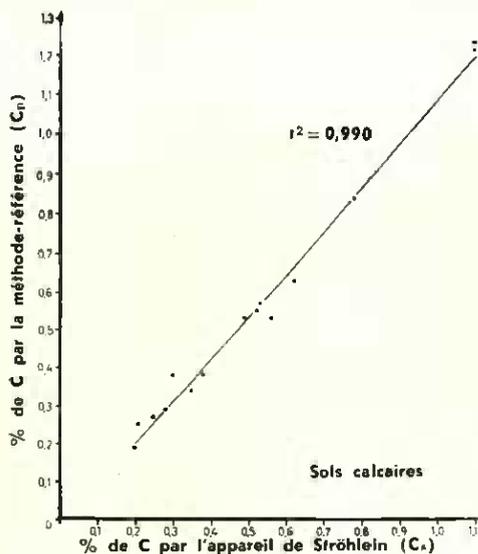


Fig. 2 — Correlation entre les teneurs en carbone organique obtenues par l'appareil de Ströhlein et par la méthode de combustion lente par voie sèche (méthode-référence)

cela, à des équations de régression, comme celles établies pour les sols étudiés, dont la présentation graphique est indiquées à la Fig. 2:

Sols calcaires	$C_p = 1,12 C_s - 0,024$	$(F_{[1:13]} = 1.224) r^2 = 0,990$
	(0,03)	
«Barros» noirs	$C_p = 1,07 C_s - 0,014$	$(F_{[1:19]} = 4.871) r^2 = 0,996$
	(0,01)	
Sols arides tropicaux	$C_p = 1,07 C_s + 0,004$	$(F_{[1:26]} = 378) r^2 = 0,935$
	(0,05)	
Sols ferrallitiques ...	$C_p = 1,05 C_s - 0,016$	$(F_{[1:32]} = 23.796) r^2 = 0,998$
	(0,006)	
Sols humiques à gley et Sols tourbeux ...	$C_p = 1,07 C_s - 0,750$	$(F_{[1:8]} = 697) r^2 = 0,988$
	(0,04)	

où C_p et C_s représentent la teneur en carbone organique obtenu respectivement par la méthode-référence et l'appareil de Ströhlein.

Si l'on considère l'ensemble de tous les sols, on aura une équation de caractère général de la même nature que les précédentes:

$$C_p = 1,02 C_s + 0,017 \quad (F_{[1:106]} = 46.759) r^2 = 0,998 .$$

(0,00002)

On attire l'attention sur le fait que, quelle que soit la ligne de régression ajustée, elles se rapprochent toutes beaucoup de la droite ayant un coefficient angulaire égal à l'unité et dont l'ordonnée d'origine est zéro. Ceci met en relief, d'une autre façon, la valeur indiscutable de l'appareil de Ströhlein dans les déterminations de routine du carbone organique du sol.

La tendance vérifiée, en ce qui concerne l'appareil de Ströhlein, de doser une quantité inférieure de carbone, fait croire à l'existence d'une erreur systématique qui se superpose aux erreurs d'échantillonnage et à d'autres erreurs de nature accidentelle, ces dernières, d'ailleurs, étant communes aux deux procédés. On peut admettre qu'une telle erreur systématique puisse être due principalement à la dissolution de CO_2 dans la solution de NaCl qui remplit la burette du dispositif de mesure, quand on recueille les gaz libérés par la combustion, et/ou à la perte de matière organique sous forme de composés volatiles, étant donné le chauffage très brusque auquel les échantillons sont soumis.

RESUME

On fait la comparaison entre les valeurs obtenues pour la teneur en carbone organique du sol déterminée par l'appareil de Ströhlein (utilisé dans le dosage du carbone dans l'acier et dans le fer) et par la méthode classique de combustion lente par voie sèche, qui a été considérée comme la méthode de référence. On a fait l'analyse de 108 échantillons appartenant à plusieurs types de sols tropicaux, assez différentes quant à la richesse en matière organique et à d'autres caractéristiques.

Les résultats fournis par l'appareil de Ströhlein, en suivant la technique originale, démontrent qu'on peut l'utiliser dans l'analyse des sols, malgré une tendance systématique à doser une quantité de carbone organique plus faible que dans la méthode de référence. Les différences trouvées sont en règle faibles et sans signification statistique ou pragmatique. On peut admettre que l'erreur systématique observée sera une conséquence surtout de la dissolution de CO_2 dans la solution existante dans le dispositif de mesure et aussi de la perte de matière organique sous forme de composés volatiles pendant la période de combustion.

SYNOPSIS

Organic carbon determination in soils by the Ströhlein's apparatus

Data obtained on soil organic carbon with the Ströhlein apparatus (used in determining carbon in steel and iron) are compared with those obtained by the classical method of slow dry combustion process, which was considered as the standard.

108 samples of several groups of tropical soils were analysed differing substantially in organic matter and other characteristics.

The results obtained, exactly following the original technique, show that this apparatus can likewise be used with soils, although it reveals a systematic tendency to determine a smaller quantity of carbon than that obtained by the standard method. The differences, however, are small and, generally, are not statistically significant. It is accepted that the systematic error observed may be mainly due to CO_2 dissolved in the solution filling the measuring instrument and to the loss of organic matter as volatile compounds during the combustion phase.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bestimmung von organischem Kohlenstoff im Boden durch die Ströhlein-Apparatur

Der organische Kohlenstoff wurde bei 108 tropischen Bodenproben von sehr unterschiedlichem Kohlenstoffgehalt und anderen Merkmalen durch die Ströhlein-Apparatur, die in Eisenhüttenlaboratorien bei Stahl und Eisen Anwendung findet und nach der klassischen Methode der langsamen trockenen Verbrennung, bestimmt.

Die Resultate zeigen, dass die Ströhlein-Apparatur auch zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffes im Boden geeignet ist, obwohl diese zu regelmässig etwas niedrigen Werten als bei der klassischen Methode der langsamen trockenen Verbrennung führt. Die Unterschiede sind in der Regel klein und praktisch ohne statistische Bedeutung. Es wird angenommen, dass die mit der Ströhlein-Apparatur systematisch erhaltene niedrige Werte entweder durch Auflösen von CO_2 in der Flüssigkeit des Messgerätes oder durch Verlust organischer Bestandteile in flüchtiger Form während der Verbrennungsphase verursacht werden.

RESUMO

Doseamento gazonétrico do carbono orgânico do solo pelo aparelho de Ströhlein

Neste trabalho compararam-se os resultados obtidos para o carbono orgânico do solo pelo aparelho de Ströhlein (utilizado na determinação do carbono no aço e no ferro) e pelo clássico método de combustão lenta por via seca que se considerou como método padrão. Analisaram-se 108 amostras pertencentes a vários tipos de solos tropicais diferindo bastante quanto a teores em matéria orgânica e a outras características.

Os resultados fornecidos pelo aparelho de Ströhlein, seguindo-se a técnica original, mostram que este também se pode empregar na análise dos solos, muito embora mostre uma tendência sistemática para dosear menor quantidade de carbono orgânico do que o método padrão. As diferenças encontradas são, como regra, pequenas e sem significado estatístico e prático, admitindo-se que o erro sistemático observado possa ser devido, principalmente, à dissolução de CO_2 na solução existente no dispositivo de medida e a perda de matéria orgânica sob a forma de compostos voláteis durante a fase de combustão.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BOTELHO DA COSTA, J. V. *et all.* — *Carta de Solos e Carta de Aptidão para Regadio da «Zona de Capelongo» (Alto Cunene, Angola)*. Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, 1954.
- (2) DE LEENHER, L. & VAN HOVE, J. — Détermination de la teneur en carbone organique des sols. *Pédologie*, VIII, 39-77, 1958.
- (3) MISSÃO DE PEDOLOGIA DE ANGOLA E MOÇAMBIQUE & CENTRO DE ESTUDOS DE PEDOLOGIA TROPICAL — *Carta Generalizada dos Solos de Angola (3.ª Aproximação)*. Memórias. 2.ª série. 56. Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, 1968.
- (4) PIPER, C. S. — *Soil and Plant Analysis*. Interscience Publishers Inc., New York, 1942.
- (5) ——— *Handbuch für Eisenhütten-Laboratorium*. Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf, 1966, pg. 15-17.

