

en cours 118415

file 00
veup ep 1 ?

La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo

E. KOUAKOUA, G.-H. SALA, B. BARTHÈS, M.-C. LARRE-LARROUY, A. ALBRECHT & C. FELLER
Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Résumé

La stabilité de la structure des horizons de surface et de profondeur de sols ferrallitiques du Congo est étudiée en fonction du mode de gestion des terres et de la teneur en carbone organique total des échantillons. Le rôle du carbone soluble à l'eau chaude dans l'agrégation est apprécié à partir de deux approches expérimentales, impliquant des extractions après chauffage en étuve ou en autoclave. Pour ce faire, des comparaisons sont faites entre les taux des macroagrégats stables ($> 200 \mu\text{m}$) à l'eau froide et à l'eau chaude. Les résultats indiquent que les situations culturales étudiées induisent des variations significatives des teneurs en carbone total. Le taux des macroagrégats stables à l'eau froide est très fortement corrélé aux teneurs en carbone total et en carbone solubilisé à l'eau chaude. Toutefois, les taux des macroagrégats stables obtenus avant et après extraction du carbone à l'eau chaude ne sont pas significativement différents, ce qui peut remettre en question les résultats sur la fonction agrégante des matières organiques solubles, déduits des seules approches statistiques.

Hot-water soluble organic matter and aggregate stability. Methodological aspects and application to ferrallitic soils of the Congo

Summary

The structural stability of surface and deeper horizons of ferrallitic soils of the Congo was studied in relation to the land use and the total organic carbon content of the samples. The role of hot-water soluble carbon in aggregation was assessed with two experimental approaches, one by heating in an oven and the other in an autoclave under pressure. The proportion of aggregates ($> 200 \mu\text{m}$) stable in cold water were compared with that of macroaggregates stable in hot water. Cropping situations under study induced significant variations in total carbon content. Aggregate stability was highly correlated with both soluble and total carbon contents. However, amounts of water-stable aggregates obtained before and after solubilization of organic matter in hot water were not significantly different. This result would in firm the supposed aggregating role of soluble organic matter, inferred from statistical data only.

Introduction

Dans les sols tropicaux, la matière organique joue un rôle essentiel en ce qui concerne la stabilité de l'agrégation, et donc de nombreuses propriétés physiques. C'est ainsi que la dégradation physique des sols, souvent observée après défrichement et mise en culture, est attribuée en grande partie

aux diminutions des teneurs en matière organique des horizons de surface (Feller *et al.*, 1996). Toutefois, la stabilité structurale serait liée de façon plus étroite à certaines formes de carbone, en particulier les polysaccharides. En effet, ceux-ci répondent quantitativement plus rapidement aux changements des pratiques agricoles que le carbone total (Angers & Mehuys, 1989; Haynes & Swift, 1990; Haynes & Francis, 1993; Angers *et al.*, 1993a,b). Les polysaccharides agiraient comme des 'glus' au sein des agrégats de sol (Cheshire, 1979; Tisdall & Oades, 1982), et auraient souvent un caractère transitoire (Monnier, 1965a,b; Tisdall & Oades, 1982).

Correspondence: C. Feller. E-mail: feller@orstom.rio.net
Received 3 April 1996; revised 17 January 1997; accepted for publication 17 January 1997



Des travaux récents insistent sur le rôle spécifique que l'on pourrait attribuer aux carbohydrates solubles à l'eau chaude sur la stabilité de la structure (Haynes & Swift, 1990; Haynes & Francis, 1993; Angers *et al.*, 1993b; Gijsman & Thomas, 1995).

Ainsi, Haynes & Swift (1990), Haynes *et al.* (1991), Haynes & Francis (1993) et Angers *et al.* (1993b) montrent que: (i) la stabilité de l'agrégation est plus fortement corrélée avec la teneur en carbohydrates solubles à l'eau chaude qu'avec celles en carbone organique total (Ct), en carbone acido-hydrolysable (HCl) ou en carbohydrates extractibles par l'acide chlorhydrique ou par la soude; (ii) même lorsque les sols n'induisent pas de variations significatives des teneurs en carbone total, les variations observées pour les carbohydrates solubles pourraient expliquer les variations de stabilité structurale. Ces auteurs concluent que la fraction de carbohydrates extractibles à l'eau chaude pourrait jouer un rôle important dans la formation des agrégats stables.

Selon Haynes & Swift (1990), Haynes *et al.* (1991), Angers *et al.* (1993b); Haynes & Francis (1993) et Gijsman & Thomas (1995) la fraction de carbohydrates solubles à l'eau chaude représenterait une fraction importante (environ 20 à 60%) du carbone soluble à l'eau chaude. Ceci incite donc à étudier plus particulièrement le rôle, peu étudié jusqu'à présent, du carbone soluble à l'eau chaude dans la stabilité structurale.

Cette étude est appliquée à des sols argileux tropicaux, et concerne plus particulièrement des sols ferrallitiques de la Vallée du Niari, au Congo. Diverses recherches ont déjà mis en évidence l'effet de la mise en culture de ces sols et des diminutions des stocks organiques qui en résultent sur la diminution de la stabilité structurale (Martin, 1963) et de la porosité (Mapangui, 1992).

L'objectif de ce travail est donc: (i) d'évaluer l'intérêt de divers modes d'extraction du carbone soluble à l'eau chaude pour l'étude de la stabilité structurale; (ii) de tester le rôle de la matière organique soluble à l'eau chaude comme fraction agrégante.

Matériel et méthodes

Situations étudiées

Les échantillons des sols ferrallitiques argileux (400–700 g kg⁻¹ d'argile dans l'horizon 0–10 cm) fortement désaturés du Congo proviennent de la Vallée du Niari. Pour la comparaison, des échantillons de sols ferrallitiques sableux (< 100 g kg⁻¹ d'argile dans l'horizon 0–10 cm) du Plateau Mbé-Batéké seront également utilisés.

Pour les sols argileux de la Vallée du Niari, six situations ont été sélectionnées sur deux sites:

- à Loudima (L), une savane-jachère de plus de 20 ans sur laquelle quatre prélèvements ont été effectués (LS0: 0–10 cm, LS15: 10–20 cm, LS30: 25–35 cm et LS150: 150–160 cm de profondeur), une jachère naturelle de 4 ans après culture (LJ: 0–10 cm), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC: 0–10 cm), une parcelle sous culture de manioc depuis 20 ans (LM: 0–10 cm);
- à Mantsoumba (M), une savane-jachère de 17 ans (MS: 0–10 cm), et une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM: 0–10 cm).

Pour les sols sableux du plateau de Mbé-Batéké, deux situations ont été sélectionnées: une savane naturelle

Tableau 1 Quelques caractéristiques analytiques des échantillons de sols étudiés

Table 1 Analytical characteristics of the selected soils

Type de sol région	Situation	Symbole	Profondeur /cm	Fe-CBD	F _t	Ct		CEC	BE
				/g kg ⁻¹ sol	/g kg ⁻¹ sol	pH-eau	/cmol (+) kg ⁻¹ sol		
ferrallitique argileux Niari-L	Savane	LS0	0–10	30	782	35.0	5.0	3.6	1.8
		LS15	10–20	ND	831	14.0	4.9	1.8	0.3
		LS30	20–40	31	851	10.5	5.0	1.7	0.3
		LS150	150–160	30	854	5.6	5.3	1.7	0.2
Niari-M	Jachère 4 ans	LJ	0–10	32	743	36.4	5.5	9.3	9.2
	Manioc	LM	0–10	36	743	21.8	6.0	5.3	4.8
	Canne à sucre	LC	0–10	16	785	27.0	4.3	4.6	3.8
	Savane	MS	0–10	34	629	42.5	5.0	7.6	5.1
ferrallitique sableux Mbé-Batéké	Manioc	MM	0–10	12	738	18.0	4.4	4.6	2.9
		BS	0–10	6	ND	16.6	4.9	0.8	0.5
		BM	0–10	6	75	15.0	5.1	0.9	0.6

*ND, non déterminé; Fe-CBD, fer extrait par le réactif citrate-bicarbonate-dithionite de sodium; F_t, argile + limon fin; CEC, capacité d'échange cationique; BE, teneur en base échangeable; Ct, teneur en carbone total.

(BS: 0–10 cm) et une parcelle sous culture intensive de manioc de 1.5 ans (BM: 0–10 cm).

Les caractéristiques générales des échantillons sont résumées dans le Tableau 1.

Les échantillons sous savane sont pauvres en bases échangeables (0.2 à 1.8 cmol (+) kg⁻¹ sol), mais les valeurs sont plus importantes sous culture ou jachère par suite de l'apport d'amendements calciques. Ces sols présentent des pH acides à faiblement acides (4.3 à 6.0). Les teneurs en C organique total varient de 6 à 36 g kg⁻¹ sol, celles en Fe-CBD de 6 à 36 g kg⁻¹ sol. La teneur en argile + limons fin totaux F_t (0–20 µm) varie de 620 à 850 g kg⁻¹ sol pour les échantillons argileux, elle est de 75 g kg⁻¹ sol pour les échantillons sableux.

Stabilité structurale

Deux méthodes ont été mises en oeuvre, l'une par agitation verticale (méthode A) adaptée de la méthode de Kemper & Rosenau, 1986, l'autre (méthode B) basée sur des agitations rotatives selon Albrecht *et al.* (1992).

Méthode A. (a) *Protocole sans extraction à l'eau chaude.* Quatre grammes d'échantillon séché à l'air et tamisé à 2 mm sont directement pesés dans un tamis à maille 200 µm, puis immergés pendant 30 min dans 100 ml d'eau déminéralisée. Le tamis est ensuite agité dans l'eau pendant 6 min au moyen d'un agitateur vertical à mouvement alternatif (1.3 cm d'amplitude verticale, 35 cycles par min), ce qui provoque un tamisage de l'échantillon dans l'eau. La fraction restant sur le tamis (nommée F200) est séchée à l'étuve et pesée: elle représente la fraction 'macroagrégats stables (AS) + sables grossiers (SG)'. Elle est ensuite tamisée à nouveau pendant 30 min dans NaOH (0.05 M), avec forçage manuel. La nouvelle fraction >200 µm obtenue après séchage et pesée constitue la 'fraction sables grossiers' (SG). Le 'taux de macroagrégats stables à l'eau froide' (ASf) est défini par la différence (F200-SG). Sur le matériau passé à travers le tamis de 200 µm lors du premier tamisage dans l'eau, la teneur en 'fraction dispersée' 0–20 µm, F_d, est déterminée par la méthode de la pipette Robinson (Rouiller *et al.*, 1994). La teneur en agrégats de taille 20–200 µm (Ag20) est calculée par la différence Ag20 = 100 – F200 – F_d. Tous les résultats pondéraux sont exprimés en g kg⁻¹ du sol total séché à 105°C.

(b) *Protocole avec extraction à l'eau chaude.* Quatre grammes d'échantillon 0–2 mm sont directement pesés dans le tamis, puis immergés dans un bécher contenant 100 ml d'eau déminéralisée. L'ensemble bécher + eau + tamis est ensuite placé, soit à l'étuve à 90°C (pression atmosphérique), soit à l'autoclave à 120°C sous une pression de 100 kPa pendant un temps variable. Après refroidissement, les macroagrégats stables à l'eau chaude après étuve (AS_e) ou autoclave (AS_a) sont mesurés comme précédemment.

Des résultats préliminaires (non présentés ici) ont montré la nécessité d'éviter, tout au long de l'expérimentation, les

transferts de tamis à bécher ou l'inverse, car, même avec précaution, ces transferts provoquent des diminutions notables des taux des macroagrégats stables.

Méthode B. Cette méthode est adaptée de Albrecht *et al.* (1992). Les échantillons de sol tamisé à 2 mm (35 g pour chaque agitation) sont d'abord immergés pendant 16 heures dans 200 ml d'eau déminéralisée. Ils sont ensuite agités (agitation rotative à 30 tours/minute) pendant des durées croissantes (0.5–1–2–12 et 18 h). Les fractions obtenues sont séchées à 40°C puis pesées.

Analyses physico-chimiques

L'analyse granulométrique est effectuée par la méthode à la pipette de Robinson. Les teneurs totales en carbone (Ct) et azote (Nt) sont mesurées par un auto-analyseur CHN LECO-600. Les sols étant non carbonatés, le carbone total représente le carbone organique. Le carbone solubilisé par l'extraction à l'eau chaude est dosé, après refroidissement, sur le filtrat obtenu après centrifugation à 18 000 g et filtration. Les teneurs en C organique soluble (Cs) des extraits eau chaude sont mesurées par un auto-analyseur Shimadzu TOC 5000.

Le pH-eau est déterminé pour un rapport sol : solution de 1:2.5. La capacité d'échange cationique (CEC) et les teneurs en base échangeables (BE) sont déterminées au pH du sol par la méthode au chlorure de cobaltihexamine (Fallavier *et al.*, 1985). La teneur en oxyde de fer cristallisé est déterminée par extraction au réactif CBD de Mehra-Jackson (citrate-bicarbonate-dithionite de sodium) selon le protocole décrit dans Rouiller *et al.* (1994).

Toutes les mesures font l'objet d'au moins trois répétitions.

Résultats

Résultats méthodologiques

Afin de choisir un protocole général pour la mesure des stabilités structurales et de l'extraction du carbone soluble, quelques recherches méthodologiques ont été effectuées.

Les résultats sont schématisés sur les Fig. 1 et 2a.

Comparaison des méthodes A (agitation 6 min) et B (agitations variables de 0.5 à 18 h) pour la mesure de la stabilité structurale. Pour les trois échantillons LS0, LJ et LM, la Fig. 1 représente les taux des macroagrégats stables à l'eau froide (ASf) en fonction des durées d'agitation. On constate que:

- la méthode B est 'plus destructive' que la méthode A pour des durées d'agitation supérieures à 2 h;
- toutefois, même dans ces conditions plus énergiques (t ≥ 2 h), l'ordre des échantillons, classés selon leurs stabilités structurales, obtenu par la méthode B reste identique à celui obtenu par la méthode A.

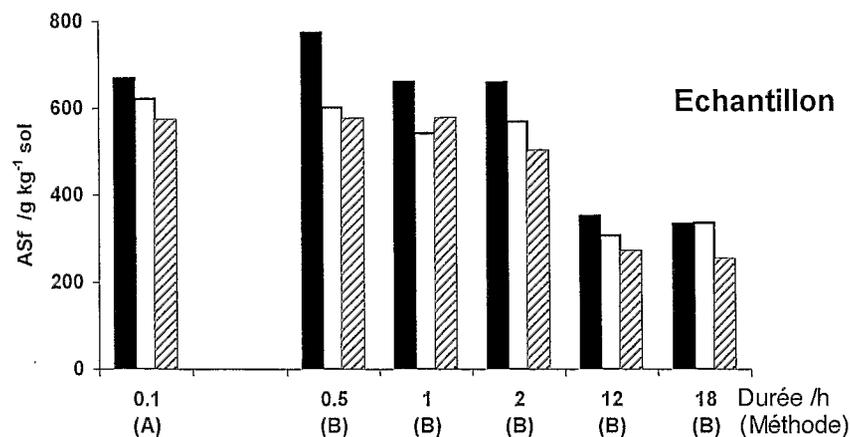


Fig. 1 Effets de la durée et du mode d'agitation sur le taux des macroagrégats stables ASF: comparaison des méthodes A et B. ■, LS0; □, LJ; ▨, LM. [Effect of duration and form of agitation on the content of water-stable macroaggregates ASF: comparison between methods A and B. ■, LS0; □, LJ; ▨, LM.]

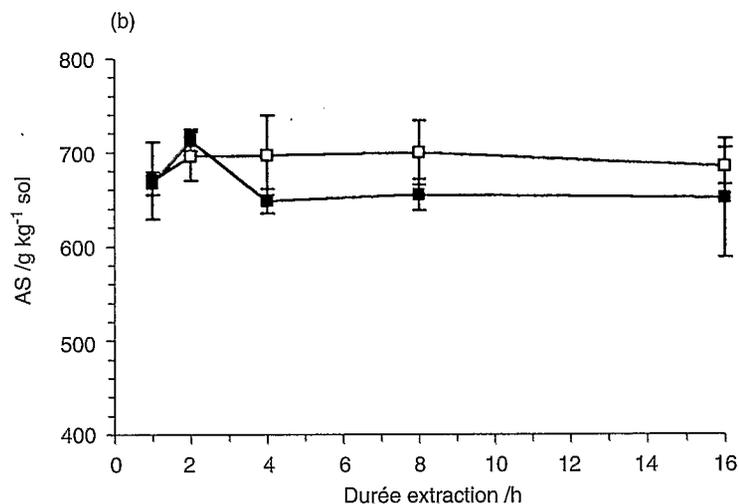
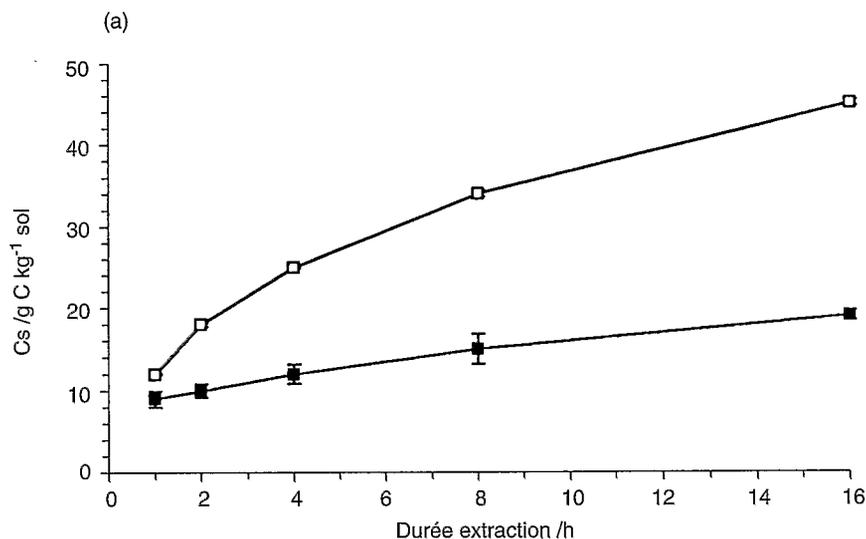


Fig. 2 Effets du mode et de la durée d'extraction à l'eau chaude sur les quantités de carbone solubilisé Cs et les taux des macroagrégats stables AS: (a) Cs obtenus en étuve ou en autoclave (échantillon LS0); (b) AS obtenus après extraction en étuve ou en autoclave (échantillon LS0). □, Autoclave; ■, étuve. [Effect of the duration and form of hot-water extraction on the contents of solubilized carbon Cs and water-stable macroaggregates AS: (a) Cs obtained after extraction in an oven ('étuve') or under pressure ('autoclave') (LS0 sample); (b) AS obtained after extraction in an oven or under pressure (LS0 sample). □, Autoclave; ■, étuve.]

Tableau 2 Durées et températures d'extraction à l'eau chaude citées dans la littérature

Table 2 Durations and temperatures of hot water extraction quoted in literature

Référence	Fraction dosée	Durée d'extraction /h	Température d'extraction /°C
Haynes & Swift (1990)	Carbohydrates solubles	16	80
Angers <i>et al.</i> (1993a)	Carbohydrates solubles	24	85
Haynes & Francis (1993)	Carbohydrates solubles	16	80
Gijsman & Thomas (1995)	Carbohydrates solubles	8	80
Kouakoua <i>et al.</i> (cette étude)	Carbone soluble	1, 2, 4, 8 et 16	90

Ainsi, même pour ces sols à forte stabilité structurale, la méthode A est suffisante pour discriminer l'effet des différents modes de gestion des terres sur la stabilité de la structure. Elle sera donc la seule commentée dans la suite de ce travail.

Effet du mode et de la durée de l'extraction à l'eau chaude sur les quantités de carbone solubilisé et le taux des macroagrégats stables. La Fig. 2a représente les taux de carbone soluble en fonction du temps d'extraction à l'eau chaude, en étuve ou en autoclave, pour l'échantillon LS0. On constate que:

- tant à l'étuve qu'à l'autoclave, les quantités de carbone extrait augmentent avec la durée d'extraction. On notera toutefois qu'à 16 h le C soluble n'a pas encore atteint une valeur maximale. Dans ces conditions, il est difficile de privilégier une durée d'extraction. Les données recueillies dans la littérature (Tableau 2) montrent que les durées et températures d'extraction des matières organiques solubles à l'eau chaude varient selon les auteurs respectivement de 8 à 24 h, et de 80 à 90°C. Aussi avons nous étudié l'évolution du taux des macroagrégats stables à l'eau chaude en étuve (ASe) et en autoclave (ASa) en fonction des mêmes durées d'extraction (Fig. 2b). On constate que:
- les taux des macroagrégats stables à l'eau chaude en autoclave et en étuve ne sont pas significativement différents (au seuil de 5%);
- la durée de l'extraction n'a que peu d'effet sur les taux d'agrégats stables AS, alors que le C soluble en autoclave et étuve (Csa et Cse) augmentent continûment (Fig. 2a).

Les quantités croissantes de C soluble extrait ayant peu d'effet sur les stabilités structurales, l'extraction à l'étuve (température 90°C constante) pendant une heure (non comprise la montée en température de l'étuve, qui dure environ 40 min) a donc été choisie pour la suite de ce travail.

En conclusion de cette approche méthodologique, on a choisi la méthode A (0.1 h) pour l'étude de la stabilité structurale et une extraction de 1 h à l'eau chaude en étuve pour l'étude du carbone solubilisé.

Gestion des terres, matière organique totale et soluble et stabilité de la structure de sols ferrallitiques du Congo

Effet de la profondeur et du mode de gestion sur la stabilité de la structure. Nous avons évalué les effets de la profondeur du sol prélevé, du mode gestion des terres et des teneurs en carbone total et soluble sur les taux des macroagrégats stables mesurés selon le protocole retenu (méthode A). Les résultats sont détaillés dans le Tableau 3.

Pour les échantillons de surface des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari les taux des macroagrégats stables (LS0, MS, LJ, LC, LM, MM) sont importants, compris entre 570 et 750 g kg⁻¹ sol (Fig. 3). Les situations de savane (LS0 et MS) correspondent aux stabilités structurales maximales; elles sont significativement plus grandes ($P < 0.05$) que celles relevées sous cultures de longue durée de manioc (LM et MM), qui présentent les valeurs minimales. Des taux intermédiaires sont relevés pour la jachère de 4 ans (LJ) et la culture de canne à sucre (LC), mais ils ne diffèrent pas

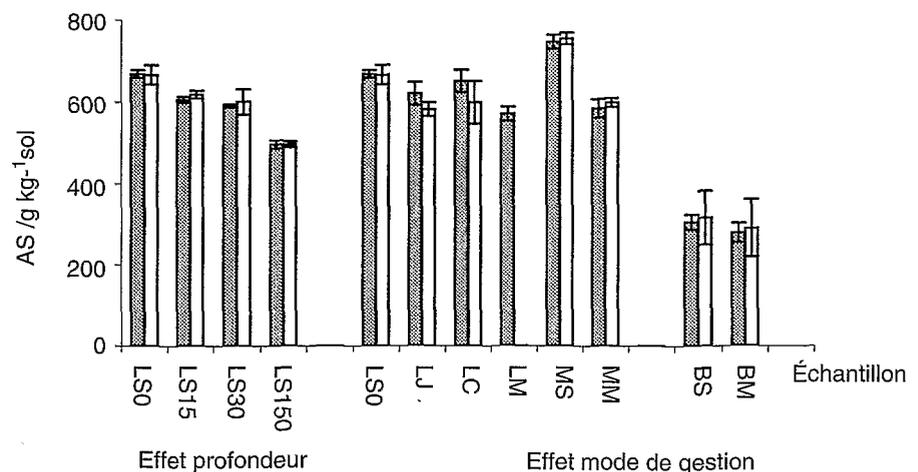


Fig. 3 Variations des taux des macroagrégats stables AS avant (eau froide, ASf) et après (eau chaude, ASe) extraction à l'étuve. [Variations of water-stable macroaggregate contents AS before ('eau froide', ASf) and after ('eau chaude', Ase) extraction in an oven. [ASf, ASf; ASe, ASe.]

Tableau 3 Données concernant la teneur en carbone total (Ct), en carbone solubilisé (Cse) et la stabilité de l'agrégation sans (a) et avec (b) extraction à l'eau chaude (étuve)**Table 3** Data concerning total carbon (Ct) and solubilized carbon (Cse) contents and the stability of aggregation without (a) and with (b) extraction with hot water (oven)

Echantillon	Ct	Cse	Fraction /μm	(a) Sans extraction eau chaude	(b) Avec extraction eau chaude
	/g kg ⁻¹ sol			m ± e.t. /g kg ⁻¹ sol	m ± e.t. /g kg ⁻¹ sol
<i>Sols argileux</i>					
LS0	35.0	0.9	SG (>200)	38 ± 2	37 ± ND
			AS (>200)	669 ± 5	667 ± 12
			20-200	238 ± 4	240 ± 11
			F _d (<20)	55 ± 1	56 ± 3
LS15	14.1	0.4	SG (>200)	20 ± 2	28 ± ND
			AS (>200)	605 ± 4	618 ± 5
			20-200	321 ± 2	312 ± 5
			F _d (<20)	54 ± 1	42 ± 1
LS30	10.5	0.3	SG (>200)	24 ± 1	23 ± ND
			AS (>200)	591 ± 2	601 ± 16
			20-200	365 ± 2	345 ± 16
			F _d (<20)	19 ± 1	32 ± 2
LS150	5.5	0.2	SG (>200)	28 ± 1	23 ± ND
			AS (>200)	496 ± 5	496 ± 4
			20-200	467 ± 6	465 ± 3
			F _d (<20)	9 ± 1	13 ± 1
LJ	36.4	0.4	SG (>200)	29 ± 1	27 ± ND
			AS (>200)	621 ± 14	582 ± 9
			20-200	309 ± 15	310 ± 8
			F _d (<20)	41 ± 1	81 ± 2
LM	21.8	0.5	SG (>200)	27 ± 1	ND
			AS (>200)	571 ± 8	ND
			20-200	353 ± 7	ND
			F _d (<20)	48 ± 3	ND
LC	27.0	0.8	SG (>200)	25 ± 1	3 ± ND
			AS (>200)	651 ± 14	599 ± 26
			20-200	258 ± 12	328 ± 24
			F _d (<20)	66 ± 2	43 ± 5
MS	42.5	0.9	SG (>200)	93 ± ND	70 ± ND
			AS (>200)	746 ± 9	754 ± 7
			20-200	154 ± 11	164 ± 11
			F _d (<20)	7 ± 1	11 ± 1
MM	18.0	0.6	SG (>200)	32 ± ND	35 ± ND
			AS (>200)	585 ± 12	599 ± 6
			20-200	365 ± 11	340 ± 3
			F _d (<20)	17 ± 1	25 ± 3
<i>Sols sableux</i>					
BS	16.6	0.6	SG (>200)	273 ± 3	338 ± ND
			AS (>200)	305 ± 9	316 ± 33
			20-200	416 ± 9	344 ± 49
			F _d (<20)	6 ± 0	2 ± ND
BM	14.9	0.5	SG (>200)	291 ± 2	317 ± ND
			AS (>200)	279 ± 12	290 ± 36
			20-200	425 ± 11	390 ± 40
			F _d (<20)	6 ± 0	3 ± 1

*ND, non déterminé; m ± e.t., moyenne calculée à partir 3 à 4 répétitions par échantillon ± erreur type; SG, sables grossiers; AS, macroagrégats stables.

significativement de celui sous savane (LS0). Par ailleurs, les taux des macroagrégats stables AS diminuent de la surface (LS0) à la profondeur (LS150), en relation avec la diminution des teneurs en C total.

Les taux des macroagrégats stables des échantillons sableux (BS et BM) sont nettement plus faibles que ceux des échantillons argileux, et sont compris entre 280 et 310 g kg⁻¹ sol. Ils sont plus élevés sous savane que sous culture, mais la différence n'est pas significative.

Pour les échantillons argileux, les taux d'argile + limon fin dispersés (<20 µm, F_d) sont très faibles, compris entre 7 et 66 g kg⁻¹ sol (Tableau 3), alors que l'analyse mécanique révèle des teneurs en argile + limon fin totaux (F_t) d'environ 800 g kg⁻¹ sol, soit un indice de dispersion $D = F_d/F_t$ inférieur à 0.084 (échantillon LC). Pour les échantillons sableux, les taux d'éléments fins dispersés sont faibles (6 g kg⁻¹ sol) avec $D = 0.08$. Pour ces sols ferrallitiques à textures contrastées, le processus de désagrégation est donc dominé beaucoup plus par le phénomène d'éclatement que par le phénomène de dispersion.

Relations statistiques entre taux des macroagrégats stables et teneurs en carbone total (Ct) et soluble (Cs). Pour l'ensemble des échantillons argileux (surface et profondeur, n = 9), parmi toutes les variables testées (C, F_t , F_d , BE, CEC), le carbone détermine la variation de la stabilité de l'agrégation dans ces sols. Le taux des macroagrégats stables (ASf) est corrélé positivement aux teneurs en Ct ($r = 0.86$) et Cs ($r = 0.88$). Les équations et les droites de régression linéaires sont rapportées sur la Fig. 4.

Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre le C total (Ct) et le C soluble (Cs) est nettement plus faible ($r = 0.77$) que ceux entre le taux des macroagrégats stables (ASf) et le C total ou le C soluble. Ceci pourrait indiquer que le C soluble intervient sur le taux des macroagrégats stables indépendamment de C total.

Effet de l'extraction à l'eau chaude sur la stabilité de l'agrégation. Afin d'analyser directement le rôle des matières organiques solubles dans la stabilité de l'agrégation, le taux des macroagrégats stables a été mesuré sur l'échantillon

de sol après extraction à l'eau chaude. La Fig. 3 montre que l'extraction à l'eau chaude n'induit aucune variation significative des taux de macroagrégats stables, ceux-ci après extraction à l'eau chaude étant peu différents de ceux obtenus après extraction à l'eau froide seule. Quelques variations significatives apparaissent pour les taux d'argile + limon fin, F_d (Tableau 3), mais toujours faibles en valeur absolue, et sans qu'une différence systématique puisse être décelée.

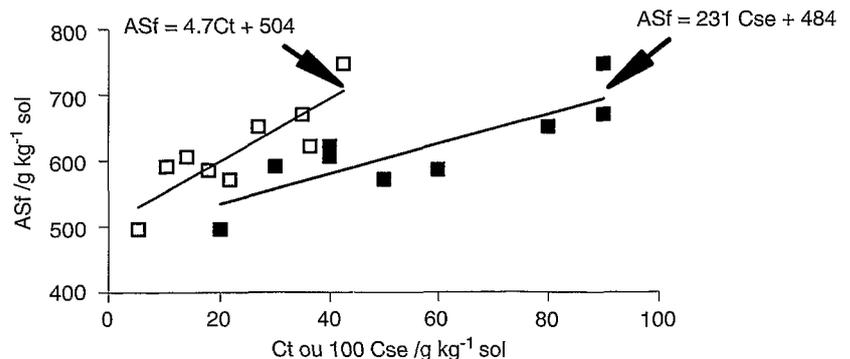
Discussion et conclusions

Les sols ferrallitiques argileux du Congo ont une forte stabilité structurale naturelle due à leur teneur assez importante en oxydes de fer, comme cela a été maintes fois signalé pour d'autres sols ferrallitiques (Oades & Waters, 1991). Néanmoins, le mode de gestion des terres exerce un effet sensible sur le niveau de la stabilité structurale des horizons de surface (Martin, 1963), et la méthode de Kemper & Rosenau, 1986, utilisée ici, relativement douce, semble suffisamment efficace pour le tester. En effet, elle permet de montrer pour les sols étudiés que (i) la variation de la stabilité de la structure est liée à la variation de la teneur en carbone du sol; (ii) le processus de désagrégation est dû pour l'essentiel aux phénomènes d'éclatement et peu aux processus de dispersion. Ces derniers résultats sont en accord avec ceux de Gijssman & Thomas (1995) pour des oxisols sous pâturages en Colombie.

Comme indiqué dans l'introduction, le débat reste ouvert sur les formes de matière organique intervenant dans la stabilisation de l'agrégation. Compte tenu de divers résultats récents de la littérature, on s'est intéressé plus particulièrement à la matière organique soluble à l'eau chaude, et quelques aspects méthodologiques ont été préalablement étudiés.

Les travaux méthodologiques montrent que les quantités de carbone soluble à l'eau chaude (Cs) dépendent du protocole d'extraction. Pour l'échantillon de savane LS0, C soluble augmente avec la durée d'extraction: de 2.6 à 5.4% de C total en étuve, de 3.4 à 12.9% en autoclave. Peu de travaux rapportent des recherches méthodologiques sur les modalités de l'extraction des matières organiques solubles à l'eau chaude, même si cette approche a été utilisée dans des études sur le carbone et l'azote facilement minéralisables (Keeney &

Fig. 4 Relations entre taux des macroagrégats stables à l'eau froide (ASf) et teneurs en carbone total (Ct) ou soluble à l'étuve (Cse) (sols argileux uniquement). □, Ct; ■, 100 Cse. [Relationships between cold water-stable macroaggregates contents (ASf) and total carbon content (Ct) or hot-water soluble carbon content (Cse) (for clayey soils only). □, Ct; ■, 100 Cse.]



Bremner, 1966; Jenkinson, 1968; Körschens *et al.*, 1984), sur la disponibilité de nutriments minéraux (Füleky & Czinkota, 1993), sur la caractérisation des polysaccharides (Cheshire, 1979) ou sur la recherche de compartiments organiques agrégeants (Haynes & Swift, 1990; Haynes *et al.*, 1991; Angers *et al.*, 1993b; Degens *et al.*, 1994). Stephan (1984) et Stephan & Jocteur-Monrozier (1984) ont aussi montré que l'extraction en autoclave sous pression conduit à une solubilisation plus importante du C que celle menée sous pression atmosphérique, et que le taux d'extraction augmente avec la durée de l'extraction. L'extraction sous pression atmosphérique est généralement privilégiée pour les extractions du carbone ou des carbohydrates solubles à l'eau chaude. Pour les sols agricoles, les travaux antérieurs rapportent des teneurs relatives en C soluble de 1 à 5% du carbone total (Feller, 1995; Leinweber *et al.*, 1995), de même ordre de grandeur que les valeurs déterminées ici pour des sols tropicaux.

L'étude statistique entre C soluble et macroagrégats stables (ASf) met en évidence une relation hautement significative entre ces deux variables, avec un coefficient de corrélation légèrement supérieur à celui obtenu avec le C total. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Haynes & Swift (1990); Haynes *et al.* (1991) qui, en déterminant les teneurs en carbohydrates solubles à l'eau chaude, trouvent pour des sols de la Nouvelle-Zélande, des corrélations significatives entre la stabilité de l'agrégation et les teneurs en carbone total d'une part, la stabilité de l'agrégation et les carbohydrates solubles d'autre part. Dans d'autres cas, même lorsque des corrélations significatives entre la stabilité de l'agrégation et le carbone total ne sont pas observées, certains auteurs ont pu mettre en évidence des corrélations significatives entre la stabilité de l'agrégation et les carbohydrates solubles à l'eau chaude (Angers *et al.*, 1993b; Haynes & Francis, 1993). Les extraits à l'eau chaude étant généralement fortement enrichis en carbohydrates par rapport à la matière organique totale du sol (environ 20 à 60%), on peut espérer que le carbone total solubilisé permette de refléter les mêmes effets que ceux déterminées par la mesure des seules carbohydrates solubles. Par contre, il est difficile de tester l'effet direct de la fraction carbohydrate soluble sur la stabilité de l'agrégation, alors qu'il est possible de le faire en considérant la totalité du C soluble à l'eau chaude. C'est ce que nous avons fait en comparant la stabilité de l'agrégation des échantillons avant et après extraction à l'eau chaude.

Nos résultats indiquent que, pour tous les échantillons étudiés, les taux des macroagrégats stables obtenus après extraction à l'eau chaude (ASe) ne diffèrent pas significativement de ceux des échantillons avant extraction (ASf). Ce résultat est renforcé par le fait que, pour un échantillon donné, le taux des macroagrégats stables obtenu après extraction à l'eau chaude ne varie pas significativement avec la durée de l'extraction, donc avec des quantités croissantes de carbone soluble extrait.

Pour ces sols ferrallitiques du Congo, le carbone soluble à l'eau chaude ne constituerait donc pas une fraction agrégeante. Ceci met en évidence la nécessité de ne pas attribuer, à partir des seuls résultats statistiques, des relations causales entre une fraction organique donnée et la stabilité de la structure. La mesure de l'effet 'direct' de la fraction organique testée est indispensable. Ces recherches doivent maintenant être poursuivies pour d'autres types de sols tropicaux, afin de confirmer ou infirmer ces premiers résultats.

Remerciements

Nous remercions les lecteurs de cette revue pour leurs critiques et conseils.

Références

- Albrecht, A., Rangon, L. & Barret, P. 1992. Effet de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, **27**, 121–133.
- Angers, D.A. & Mehuys, G.R. 1989. Effects of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. *Canadian Journal of Soil Science*, **69**, 373–380.
- Angers, D.A., Bissonnette, N., Légère, A. & Samson, N. 1993a. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**, 39–50.
- Angers, D.A., Samson, N. & Légère, A. 1993b. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**, 51–59.
- Cheshire, M.V. 1979. *Nature and origin of carbohydrates in soils*. Academic Press, London.
- Degens, B.P., Sparling, G.P. & Abbott, L.K. 1994. The contribution from hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures. *European Journal of Soil Science*, **45**, 459–468.
- Fallavier, P., Babre, D. & Breysse, M. 1985. Détermination de la capacité d'échange cationique des sols tropicaux acides. *L'Agro-nomie Tropicale*, **40**, 298–308.
- Feller, C. 1995. *La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique*. Editions ORSTOM, Collection TDM no 144, Bondy, France.
- Feller, C., Albrecht, A. & Tessier, D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils* (eds M.R. Carter & B.A. Stewart), pp. 309–359. *Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Füleky, G. & Czinkota, I. 1993. Hot water percolation (HWP). A new rapid soil extraction method. *Plant and Soil*, **157**, 131–135.
- Gijsman, A.J. & Thomas, R.J. 1995. Aggregate size distribution and stability of an Oxisol under legume-based and pure grass pastures in the eastern Columbian savannas. *Australian Journal of Soil Research*, **33**, 153–165.
- Haynes, R.J. & Francis, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*, **44**, 665–675.

- Haynes, R.J. & Swift, R.S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science*, **41**, 73–83.
- Haynes, R.J., Swift, R.S. & Stephen, R.C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture–arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research*, **19**, 77–87.
- Jenkinson, D.S. 1968. Chemical tests for potentially available nitrogen in soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **19**, 160–168.
- Keeney, D.R. & Bremner, J.M. 1966. A chemical index of soil nitrogen availability. *Nature. London*, **211**, 892–893.
- Kemper, W.D. & Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd edn (ed. A. Klute), pp. 425–442. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Körschens, M., Schulz, E. & Behm, R. 1984. Heisswasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. *Zentralblatt für Mikrobiologie*, **145**, 305–311.
- Leinweber, P., Schulten, H.-R. & Körschens, M. 1995. Hot water extracted organic matter: chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, **20**, 17–23.
- Mapangui, A. 1992. *Etude de l'organisation et du comportement des sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari (Congo). Conséquence sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans*. Thèse de Doctorat, Université P. et M. Curie, Paris.
- Martin, G. 1963. Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, **2**, 8–14.
- Monnier, G. 1965a. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Première partie. *Annales Agronomiques*, **16**, 327–400.
- Monnier, G. 1965b. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Deuxième partie. *Annales Agronomiques*, **16**, 471–534.
- Oades, J.M. & Waters, A.G. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, **29**, 815–828.
- Rouiller, J., Souchier, B., Bruckert, S., Feller, C., Toutain, F. & Vedy, J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. In: *Pédologie Tomé 2. Constituants et propriétés du Sol*, 2nd edn (eds M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623–631. Masson, Paris.
- Stephan, C. 1984. *Matières organiques de quatre sédiments marins récents, caractérisation et essai d'interprétation en fonction de l'environnement sédimentaire*. Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, Université de Nancy-1.
- Stephan, C. & Jocteur Monrozier, L. 1984. Etude de l'humine de sédiments marins récents, solubilisation de la matière organique par l'eau sous pression (autoclavage). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Paris*, **299**(8), 475–480.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, **33**, 141–163.

