

Evaluation de la teneur et de la qualité de l'humus de différents types de sols en zones agricole et forestière au Bénin

D. Azocli⁶, G. D. Dagbenonbakin⁷ et N. I. Lactionov⁸

Résumé

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact de l'activité agricole sur la teneur et la qualité de l'humus dans les vertisols de la région de Sèhouè, les sols faiblement ferrallitiques de Pobè et les sols ferrugineux tropicaux d'Ina. A cet effet, des prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués à différentes profondeurs de chaque type de sols et expédiés aux Laboratoires pour la détermination des divers paramètres. Les résultats ont montré que les sols sous culture agricole ont eu des teneurs plus faibles et comprises entre 0,46 et 1,28% que celles comprises entre 0,64 et 2,63% des sols sous forêt. Ces teneurs en humus ont varié avec la profondeur. Les sols faiblement ferrallitiques et les ferrugineux tropicaux étaient plus pauvres en humus. La grande quantité de détritus se trouvait dans l'horizon supérieur (0-5 cm) des vertisols sous forêt et la plus petite était obtenue dans les mêmes horizons. La teneur de l'humus actif dans les vertisols était plus élevée, mais sa qualité n'était meilleure que dans les sols sous forêt. Le rapport Ha/Hp était plus élevé dans les 10 cm pour les sols ferrugineux tropical dans la variante sous forêt, par comparaison avec l'horizon supérieur 0-5 cm dans les vertisols et les sols faiblement ferrallitiques. Ainsi, la qualité de l'humus dans les sols ferrugineux tropical sous forêt est meilleure, bien que ces sols soient plus pauvres en humus comparativement aux autres types de sols étudiés. Une attention particulière doit être accordée à la composition du sol, dans le choix des zones de production agricole, afin d'améliorer substantiellement les rendements de production.

Mots clés : vertisol, sol ferrallitique, sol ferrugineux tropical, humus, qualité, Bénin.

Evaluation of the content and quality of humus from different types of lands in agricultural and forest areas in Benin

Abstract

The study aimed to assess the impact of agricultural activity on the content and quality of humus in the Sèhouè vertisol region, low lateritic soils of Pobè and tropical ferruginous soils of Ina. Soil samples of each type of soil have been taken into different depths and sent to laboratories for the determination of parameters. The results showed that for all studied soils, the humus content ranged from 0.46 and 1.28% for soil under agricultural cultivation were lower than those under forest with total humus content comprised between 0.64 to 2.63% in the vertisol region of Sèhouè. These levels of humus also varied according to the depth. Low ferrallitic and tropical ferruginous soils were poor in humus. The large amount of detritus was in the upper horizon (0-5 cm) of vertisol under forest, and the smallest amount of detritus was obtained in the lower horizon of ferruginous tropical soil. The determination of the content of the active humus (Ha) and liabilities humus (Hp) in the studied soils indicated that the content of the active humus in the vertisol was higher, but its quality was better than in the variant under forest. The Ha/Hp ratio was higher in the horizon of 0-10 cm at ferruginous tropical under forest areas compared with the upper horizon (0-5 cm) at the vertisol and low ferrallitic soils. Thus, the quality of humus in the soil under ferruginous tropical forest was better, although the soil is poorer in humus compared to other types of studied soils. A special attention must be paid to the composition of the soil, in the choice of agricultural production areas, in order to substantially improve production yields.

Key words: vertisol, ferrallitic soil, ferruginous tropical soil, humus, quality, Benin.

INTRODUCTION

Les principaux produits organiques utilisés en agriculture sont classés en produits organiques évolués et en produits organiques non transformés. Les premiers comprennent les produits fermentescibles provenant de l'exploitation elle-même (fumiers) ou de l'extérieur (déchets urbains, sous-produits de

⁶ Dr Ir. David AZOCLI, Département de Génie de l'Environnement, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, BP 2612 Abomey-Calavi, E-mail : davidazocli@gmail.com, Tél. : (+229) 97 93 73 99, République du Bénin

⁷ Dr Ir. Gustave Dieudonné DAGBENONBAKIN, Direction Scientifique, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 884 Recette Principale, E-mail : daoust63@yahoo.fr, Tél. : (+229) 95 56 18 60/97 79 31 59, République du Bénin

⁸ Prof. Dr N. I. LACTIONOV, Université d'Etat Agraire V. V. Dokoutchaev Kharkov, Ukraine

l'industrie agro-alimentaire) et renferment une proportion élevée de composés carbonés stables. Les seconds sont constitués de résidus de culture (pailles, chaumes, feuilles, racines) et des engrais verts, qui renferment moins de constituants carbonés stables. Ces différents produits présentent, après décomposition, un rendement en humus variable que l'on évalue à travers le coefficient isohumique (Chenu et Bruand, 1998).

La décomposition de ces apports organiques est le résultat d'une série de réactions chimiques qui aboutit à la transformation des composés organiques complexes en composés minéraux simples (Flores-Vélez, 1996). La majeure partie de cette décomposition est réalisée par des microorganismes hétérotrophes (Feller, 1993) avec production de substances humiques. Largement étudiées par la communauté scientifique, les substances humiques (SH) constituent la fraction organique majeure dans les sols. Les premiers essais d'extraction des substances humiques ont été effectués par Achard en 1786 (Schnitzer, 1991) qui a appliqué une solution alcaline à de la tourbe et a obtenu une solution noire qui précipita après acidification. Ces premières extractions faites par Achard en 1786 ouvrirent un grand nombre de travaux sur les substances humiques, qui continuent encore aujourd'hui. L'humus a une influence sur les propriétés hydrique, thermique, absorbante et biologiques du sol. Il renferme pratiquement tout l'azote du sol, une partie du phosphore, du soufre, du fer et du cuivre. Comme un corps avec une manifestation extraordinaire des propriétés colloïdales, il constitue un facteur important de tout le processus de dispersion (absorption, catalyse). Comme colloïde protecteur, il possède une grande capacité de rétention d'eau. Malgré que de nombreux sols soient caractérisés par une faible teneur en humus, l'influence des matières humiques sur la fertilité du sol est exclusivement grande (Chaussoud et Houot, 1993). Cependant, les caractéristiques du sol telles que la texture, la structure, la nature de la végétation et le fond géochimique modifient les conditions de décomposition (Aiken *et al.*, 1985). De nombreux modèles existent et permettent de prédire la décomposition, souvent en terme de Carbone et d'Azote minéralisés (Andriulo *et al.*, 1999). Toutefois, les microorganismes responsables de la décomposition sont difficiles à étudier d'un point de vue quantitatif, car leur variation est très rapide et les fonctions qui leur sont associées sont très larges (Lundquist *et al.*, 1999). Ainsi, la détermination du coefficient de minéralisation de la matière organique en modèle prédictif est relativement difficile, car elle est fonction des caractéristiques du sol, des conditions climatiques et de la communauté microbienne (Moller *et al.*, 1999). A ces paramètres s'ajoutent aussi les types d'activité agricole présente sur le sol. En effet, le défrichage des sols vierges et leur utilisation dans l'agriculture, modifiant certaines caractéristiques intrinsèque et extrinsèque du sol, pourrait avoir d'impact sur le processus d'humification. Ainsi la présente étude vise à évaluer la teneur et la qualité de l'humus de différents types de sols en zones agricole et forestière au Bénin.

MATERIELS ET METHODES

L'étude a été réalisée dans les trois régions suivantes : Sèhouè au sud-ouest, Pobè au sud-est et d'Ina au nord-est en République du Bénin. Ces régions sont caractérisées par une diversité pédologique à savoir ; les vertisols; les sols faiblement ferrallitiques ; les sols ferrugineux. Des prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués dans chaque zone, à des profondeurs variables de 0–5cm, 5–40 cm et 40–80cm pour les vertisols ; 0-15 cm, 15-35 cm et 35-50 cm pour les sols faiblement ferrallitiques et 0-10 cm, 10-25 cm et 25-50 cm pour les sols ferrugineux tropicaux. Ces prélèvements, effectués en quatre répétitions dans deux types de parcelles, les unes sous culture agricole et les autres sous forêt ont été regroupés par coupes de sols. Ces échantillons ont été expédiés au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnements (LSSEE) au Bénin pour la détermination du carbone selon la méthode Walkley et Black (1934). La teneur et la qualité de l'humus ont été déterminées à partir du carbone organique obtenu par oxydation par voie sèche, selon la méthode de Russel *et al.* (2001). Le fractionnement de la matière organique a été réalisé selon la méthode décrite par Duprarque et Rigalle (2011) au Laboratoire de l'Université d'Etat Agraire V. V. Dokoutchaev Kharkov en Ukraine.

Les données collectées ont été analysés par une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel STATISTICA (Stat., Soft, Inc, 1995). La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de la plus petite différence significative (ppds) à un seuil de 5%.

RESULTATS

Evaluation de la qualité de l'humus total dans les vertisols, les sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux tropicaux

Les sols sous forêt ont présenté des taux d'humus plus élevés que ceux sous culture agricole quel que soit le type de sol. Les vertisols ont présenté les teneurs en humus les plus élevées ensuite venaient les

sols ferrallitiques. Les plus faibles teneurs ont été observées dans les sols ferrugineux. Dans les vertisols de la région de Sèhouè, la teneur en humus total a diminué avec la profondeur selon que les échantillons de sol soient prélevés sous forêt ou sous culture agricole (Tableau 1). Dans les 5 cm de profondeur, les teneurs moyennes pondérées en humus total ont été de 2,63 et 1,34% respectivement sous forêt et sous culture agricole. (Tableau 1). Une différence significative ($p < 0,05$) a existé entre les taux d'humus suivant les différentes profondeurs. Ceci a traduit une variabilité entre les taux d'humus suivant les profondeurs de prélèvement et les activités menées sur les sols. Des constats similaires ont été aussi observés dans le cas des sols faiblement ferrallitiques (Tableau 2) et des sols ferrugineux tropicaux (Tableau 3). Les teneurs moyennes pondérées en humus étaient de 1,46 et 1,10% sous forêt et de 1,28 et 0,79% sous culture agricole dans les sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux.

Tableau 1. Teneur en humus total dans le vertisol de la région de Sèhouè au sud-ouest du Bénin

Type de sol	Profondeur (cm)	Teneur en % en	
		Carbone total	Humus total
Sous-forêt	0 - 5	2,53a	4,62a
	5 - 40	2,11b	3,84b
	40 - 80	0,73c	1,32c
Utilisation sous-culture (sol cultivé)	0 - 5	1,74d	3,14d
	5 - 40	0,89e	1,60e
	40 - 80	0,47f	0,82f
Plus petite différence significative (ppds)	-	0,04	0,02

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Tableau 2. Teneur en humus total dans les sols faiblement ferrallitiques de la région de Pobè au sud-est du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Teneur en % en	
		Carbone total	Humus total
Sous-forêt	0 - 15	1,62a	2,80a
	15 - 35	0,60b	1,04b
	35 - 50	0,39c	0,67c
Sous culture	0 - 15	1,57d	2,72d
	15 - 35	0,43e	0,74e
	35 - 50	0,37f	0,6f
Plus petite différence significative (ppds)	-	0,02	0,04

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Tableau 3. Teneur en humus total dans les sols ferrugineux tropicaux de la région d'Ina dans le nord-est du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Teneur en % en	
		Carbone total	Humus total
Sous-forêt	0 - 10	1,48a	2,55a
	10 - 25	0,66b	1,13b
	25 - 50	0,29c	0,50c
Sous culture	0 - 10	0,83d	1,43d
	10 - 25	0,48e	0,83e
	25 - 50	0,29f	0,50f
Plus petite différence significative (ppds)	-	0,02	0,04

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Evaluation de la matière propre de l'humus et de détrite dans les vertisols, les sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux tropicaux

La matière propre de l'humus par rapport au sol et l'humus total était plus élevée dans les sols sous-forêt que sous culture agricole quel que soit le type de sol. Ainsi, les moyennes pondérées étaient élevées de 1,58 et 47,83% de matière propre de l'humus par rapport au sol et à l'humus total, de 1,84 et 52,17% de détrite par rapport au sol et à l'humus total d'une part dans les sols sous forêt, de 0,84% et 52,70% de matière propre de l'humus par rapport au sol et à l'humus total; 0,76% et 47,30 de détrite par rapport au sol et l'humus total dans les sols sous culture agricole d'autre part dans les vertisols.

Dans les sols faiblement ferrallitiques, l'évaluation a permis d'obtenir des valeurs relativement plus élevées de 0,77 et 55,75% de matière propre de l'humus par rapport au sol et à l'humus total, de 0,69 et 44,25% de détrite par rapport au sol et à l'humus total dans les sols sous forêt contre 0,55 et 41,85% de matière propre de l'humus par rapport au sol et à l'humus total, de 0,75 et 58,50% de détrite par rapport au sol et l'humus total obtenues dans les sols sous culture agricole. Par contre, les sols ferrugineux ont présenté des moyennes pondérées les plus faibles. Ce qui veut dire que les activités agricoles ont affecté la qualité de l'humus su sol. Ainsi, dans les sols sous cultures agricoles, la teneur en matières propres de l'humus et du détrite est faible, comparativement à celles des sols sous forêt.

Tableau 4. Teneurs en matières propres de l'humus et en détrite Dans les vertisols dans la région de Sèhouè au sud-ouest du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Matière propre de l'humus (%) par rapport		Détrite (%) par rapport	
		au sol	à l'humus total	au sol	à l'humus total
Sous-forêt	0 - 5	2,12a	45,88a	2,57a	54,11a
	5 - 40	1,74b	45,32b	2,10b	54,68b
	40 - 50	0,76c	57,57c	0,56c	42,43c
Sous culture	0 - 5	1,85d	58,92d	1,29d	41,08d
	5 - 40	0,78e	48,75e	0,82e	51,25e
	40 - 50	0,52f	63,42f	0,30f	36,58f
ppds	-		0,02		

ppds : Plus petite différence significative

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Tableau 5. Teneurs en matières propres de l'Humus et en détrite dans les sols faiblement ferrallitiques de la région de Pobè au sud-est du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Matière propre de l'humus (%) par rapport		Détrite (%) par rapport	
		au sol	à l'humus total	au sol	à l'humus total
Sous-forêt	0-15	1,30 a	46,43 a	1,50 a	53,57 a
	15-35	0,68 b	65,38 b	0,36 b	34,62 b
	35-50	0,35 c	52,24 c	0,32 c	47,76 c
Sous culture	0-15	1,17 d	43,02 d	1,55 d	56,98 d
	15-35	0,31 e	41,90 e	0,43 e	58,98 e
	35-50	0,26 f	40,62 f	0,38 f	59,38 f
ppds			0,04		

ppds : Plus petite différence significative

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Tableau 6. Teneur en matières propres de l'Humus et du détrite dans le sol ferrugineux tropical de la région d'Ina au nord-est du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Matière propre de l'humus (%) par rapport		Détrite (%) par rapport	
		au sol	à l'humus total	au sol	à l'humus total
Sous-forêt	0 - 10	1,30a	50,98a	1,25a	49,02a
	10 - 25	0,52b	46,02b	0,61b	53,98b
	25 - 50	0,26c	52,00c	0,24c	48,00c
Sous culture	0 - 10	0,39d	27,07d	1,04d	72,73d
	10 - 25	0,25e	30,12e	0,58e	69,88e
	25 - 50	0,22f	44,00f	0,28f	56,00f
ppds		0,02			

ppds : Plus petite différence significative

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Evaluation de la forme colloïdale de l'humus dans les vertisols, les sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux tropicaux

L'évaluation de la qualité de l'humus dépendait du rapport entre la teneur de l'humus actif (peptide) et l'humus passif (non peptide) dans le sol. Ainsi, plus le rapport entre ces formes colloïdales de l'humus était élevé, meilleure était la qualité de l'humus dans ces sols. La teneur de l'humus actif dans les vertisols était plus élevée mais sa qualité n'était meilleure que sous forêt (Tableaux 7, 8 et 9).

Tableau 7. Teneur de la forme colloïdale de l'humus dans le vertisol de Sèhouè au sud-ouest du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Humus actif (HA) en %	Humus passif (HP) en %	HA/HP
Sous-forêt	0 - 5	1,40a	3,22a	0,43a
	5 - 40	1,19b	2,65b	0,45b
	40 - 80	0,22c	1,10c	0,20c
Sous culture	0 - 5	1,52d	1,62d	0,94d
	5 - 40	0,60e	1,00e	0,60e
	40 - 80	0,19f	0,63f	0,30f
ppds		0,04		

ppds : Plus petite différence significative

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Tableau 8. Teneur de la forme colloïdale de l'humus dans le sol faiblement ferrallitique de la région de Pobè au sud-est du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Humus actif (HA) en %	Humus passif (HP) en %	HA/HP
Sous-forêt	0 - 15	0,52a	2,28a	0,23a
	15 - 35	0,21b	0,83b	0,25b
	35 - 50	0,16c	0,51c	0,31c
Sous culture	0 - 15	1,12d	1,62d	0,70d
	15 - 35	0,26e	0,48e	0,54e
	35 - 50	0,21f	0,43f	0,50f
ppds		0,04		

ppds : Plus petite différence significative

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

Tableau 9. Teneur de la forme colloïdale de l'Humus dans le sol ferrugineux tropical de la région d'Ina au nord-est du Bénin

Occupation du sol	Profondeur (cm)	Humus actif (HA) en %	Humus passif (HP) en %	HA/HP
Sous forêt	0-10	0,85 a	1,70 a	0,50 a
	10-25	0,17 b	0,96 b	0,17 b
	25-50	0,06 c	0,44 c	0,11 c
Sous culture	0-10	0,51 d	0,92 d	0,55 d
	10-25	0,35 e	0,48 e	0,73 e
	25-50	0,10 f	0,40 f	0,25 f
ppds		0,04		

ppds : Plus petite différence significative

Les valeurs portant la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

De même, le rapport Ha/HP était plus élevé dans les 10 premiers cm de profondeur dans les sols ferrugineux tropical et sous forêt, en comparaison avec l'horizon de surface 0-5 cm dans les vertisols, et les sols faiblement ferrallitiques (Tableaux 7, 8 et 9). Ainsi, la qualité de l'humus dans le sol ferrugineux tropical sous forêt était meilleure, bien que ce sol ait été plus pauvre en humus comparativement aux autres types de sols étudiés.

DISCUSSION

La diminution en profondeur de la teneur en humus des sols est liée son processus de formation de dans le sol. En effet selon Schnitzer (1991), l'humus provient de la dégradation des matières organiques fraîches (débris végétaux, cadavres d'animaux, déjections, exsudats racinaires) sous l'action des micro-organismes (bactéries), des champignons et de la microfaune du sol (vers de terre, insectes, petits arthropodes, nématodes). De plus, les vertisols sont des sols de couleur noire qui renferment des teneurs moyennes en matière organique et en humus (Dagbenonbakin *et al.*, 2003). Les argiles minéralogiques constitutives sont à dominance montmorillonite. Le pouvoir gonflant de ces dernières réduit fortement la circulation de l'eau et de l'air en saison humide et rend le milieu quelque peu réducteur et asphyxiant. Selon ces mêmes auteurs, les sols faiblement ferrallitiques sont des sols médiocrement pourvus en matière organique. Les sols ferrugineux sont à complexe absorbant minéral réduit, ayant une fertilité qui est fonction de la teneur en matière organique. Celle-ci, étant en quantité variable est toujours bien évoluée. Ces caractéristiques des sols expliquent les fortes teneurs en humus observées dans les vertisols et celles relativement faibles constatées dans les sols faiblement ferrallitiques et ferrugineux.

Par ailleurs, le détrite est composé de déchets organiques semi décomposés. Pour que l'humification se produise correctement, certaines conditions doivent être réunies : température et humidité suffisantes, pH proche de la neutralité, aération suffisante (Christensen, 2001). En milieu biologique favorable, les enzymes microbiennes sont capables de rompre des liaisons peptidiques pour libérer des polypeptides qui sont à leur tour très lentement dégradées (Lundquist *et al.*, 1999). La microflore de cette protéolyse est très variée et peu spécifique. La nitrification est opérée par les bactéries *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* et *Nitrosospira*, et la nitrification par les bactéries *Nitrobacter*. Ces bactéries nitrifiantes et nitriques sont aérobies et mésophiles. Elles sont autotrophes et utilisent comme source de carbone le CO₂ ou les carbonates (Lundquist *et al.*, 1999). Au fur et à mesure qu'on évolue en profondeur du sol, les paramètres tels que la température et la disponibilité en oxygène varient et limitent de ce fait le processus d'humification. C'est ce processus qui explique les faibles teneurs en détrite observées en profondeur. Aussi, l'humus permet de nourrir les plantes en leur apportant les nutriments dont elles ont besoin, au moment où elles en ont besoin (Sebastia, 2007). Pourtant, les mauvaises pratiques culturales inadaptées épuisent la teneur des sols en humus. De plus, les conditions sont réunies pour une décomposition rapide de cet humus. Sebastia (2007) affirme que cette diminution du taux d'humus peut se justifier par l'intensité des activités agricoles qui représente l'un des facteurs de sa diminution.

Dans les sols faiblement ferrallitiques, la teneur en matières propres de l'humus dans le profil est faible. Par contre, la teneur en détrite est plus élevée dans les sols sous forêt. Ces résultats peuvent s'expliquer par les différents degrés de minéralisation des matières organiques se trouvant dans les sols étudiés. La qualité de l'humus joue aussi un rôle important dans la vie du sol (Sebastia, 2007). En

effet, la base des propriétés agronomiques des sols est déterminée par leur teneur en particules fines limoneuses. Ces fractions des sols caractérisent surtout leur qualité grâce à la présence et la composition des colloïdes.

CONCLUSION

La qualité agronomique des sols est étroitement liée à leur teneur en humus. Cependant, les résultats de l'étude, sur la qualité de l'humus dans différents types de sols, indiquent que, dans le vertisol se trouvant sous l'utilisation agricole, la qualité de l'humus est supérieure à celle du sol ferrugineux tropical et celle du sol faiblement ferrallitique dans des variantes analogues. De même, la qualité de l'humus dans le sol faiblement ferrallitique est meilleure que celle du sol ferrugineux tropical. Ces résultats montrent alors qu'une attention particulière doit être accordée à la composition du sol, dans le choix des zones de production agricole, afin d'améliorer les rendements de production.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aiken, G. R., D. M. McKnight, R. L. Wershaw, P. MacCarthy, 1985: An introduction to humic substances in Soil, Sediment, and Water. In: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., MacCarthy, P. (edit): Humic substances in soil sediment, and water : geochemistry, isolation and characterization. *John Wiley and Sons*. 9 p.
- Andriulo, A., B. Mary, J. Guerif, 1999: Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*. 19 (5): 365-377.
- Chaussod, R., Houot, S., 1993 : La biomasse Microbienne des sols : perspectives d'utilisation de cette mesure pour l'estimation de la fourniture d'azote par les sols. In : *Matières organiques et agriculture*. Decroux J. et Ignazi J.C. (eds). 26 p.
- Chenu, C., Bruand, A., 1998 : Constituants et organisation du sol. In : *Sol interface fragile*. Stengel, P. et Gelin, S. (Edit.) : *INRA Editions*, 98 p.
- Christensen, B. T., 2001: Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 52, 345-353.
- Dagbenonbakin, G., N. Sokpon, M. Igue, C. Ouinsavi, 2003 : Aptitude des sols et leur répartition au Bénin : état des lieux et perspectives d'aménagement l'horizon 2025, Etude n°12, Rapport final MEHU, 62p.
- Duprarque, A., Rigalle, P., 2011 : Composition des Matière organiques et turn over; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert, 23 p.
- Feller, C., 1993: Organic inputs. Soil organic matter and functional. Soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. In: *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. K. Mulongoy et R. Merckx (ed). J. Wiley-Sayce. 392p.
- Flores-Vélez, L. M., J. Ducaroir, A. M. Jaunet, M. Robert, 1996: Study of the distribution of copper in an acid sandy vineyard soil by three different methods. *European Journal of Soil Science*, 47: 523-532.
- Lundquist, E. J., L. E. Jackson, K. M. Scow, C. Hsu, 1999: Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 221-236.
- Moller, J., M. Miller, A. Kjoller, 1999: Fungal-bacterial interaction on beech leaves: influence on decomposition and dissolved organic carbon quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 367-374.
- Roussel, O., E. Bourmeau, C. Walter, 2001 : Évaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques. *Étude et Gestion des Sols*. 8(1) : 65 à 81.
- Schnitzer, M., 1991: Soil organic matter-The next 75 years. *Soil Science*, 151, 41-58.
- Sebastia, J., 2007 : Prise en compte de la réactivité de différentes fractions des matières organiques du sol dans la prévision de la spéciation des métaux : cas du cuivre. Thèse de Doctorat, Institut National d'Agronomie Paris-Grignon/France. 237 p.
- Walkley A., Black C. A., 1934: An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37: 29-38.