

Impacts de la gestion du sol sur la biomasse microbienne et le statut organique du sol de la zone ouest du Cameroun

FOTIO D.^{1*}, SIMON S.², NJOMGANG R.¹, NGUEFACK J.³, NGUÉGUIM M.¹, MANIEPI N. J. S.³, FEUJIO TÉGUEFOUET P.¹, MFOPOU MEWOOU Y. C.¹

¹Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Cameroun,

²Centre International pour la Recherche et le Développement (CIRAD), France,

³Département de Biochimie, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun,

* Adresse pour correspondance: B.P. : 8367 Yaoundé, Cameroun ; danfotio@yahoo.co.uk

Résumé

Le gouvernement du Cameroun compte doubler les productions agricoles et le volume des exportations d'ici 2015. La plupart des transformations d'intérêt agronomique dans le sol sont d'origine biochimique et se déroulent essentiellement en la présence d'êtres vivants et leurs enzymes. L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets de l'utilisation du sol (système de culture et pratiques culturales) sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols des agriculteurs. La méthodologie a consisté à observer les pratiques paysannes dans trois localités (NJOGNOM, KOUPARA et BAÏGOM) du bassin de FOUMBOT (ouest du Cameroun) où les pratiques culturales ont peu varié depuis trois ans puis d'y prélever des échantillons de sol sur l'horizon 0-20 cm afin d'en évaluer la biomasse microbienne et les activités des enzymes du sol. Comparés au sol de végétation de type savane arbustive du même bassin, sol n'ayant encore subi d'action anthropique, les sols mis en culture ont présenté des valeurs significativement élevées de carbone organique total (C_{org}), phosphore soluble (P), pH, conductivité électrique (CE) et des activités de la β -glucosidase, des déshydrogénases et de la phosphatase acide. Les sols étudiés ont certes présenté une similitude texturale (classe texturale de type argileux) mais ils étaient différents les uns des autres par leurs propriétés microbiologiques, conséquentes de leur mode de gestion. Ainsi, les valeurs de la biomasse microbienne C (C_{mic} : 312,0 - 544,5 mg Kg⁻¹sol sec), la biomasse microbienne N (N_{mic} : 5,4 - 25,31 mg Kg⁻¹sol sec) ont diversement varié selon le système de culture. Le rendement microbien (C_{mic}/C_{org}) du sol portant la Morelle africaine (*Solanum africanum*) et la tomate (*Lycopersicon esculentum*) (site de KOUPARA) et celui portant le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), la Morelle africaine et la tomate (site de BAÏGOM), respectivement de 0,80 % et 1,35 % étaient faibles comparés à celui du sol témoin (1,60 %) et à celui du sol portant le basilic (*Ocimum basilicum* L.) et Morelle africaine (1,65 %) (site de NJOGNOM) indiquant une diminution de la concentration des microorganismes du sol selon la pratique culturale. L'analyse des relations entre les différents paramètres a révélé d'une part, une corrélation significative et négative ($r = - 0,806$; $P = 0,01$) entre le pourcentage d'argile et la biomasse microbienne C, d'autre part un rapport C_{org}/N très élevé dans le site de KOUPARA (C_{org}/N : 206 > 100 - 500), suggérant respectivement une répartition hétérogène de la population des microorganismes et une immobilisation du P. La détermination des paramètres physiques, chimiques, enzymatiques et microbiologiques sélectionnés a donc permis de rapprocher la dynamique d'évolution des sols étudiés.

Mots clés: Pratiques culturales, système de culture, biomasse microbienne, phosphatase acide, phosphatase alcaline, β -glucosidase, déshydrogénases.

Le sol est le facteur de production le plus important pour les cultures et constitue en même temps le facteur le plus influencé par l'agriculteur. Pour un type de sol donné, des valeurs élevées de biomasse microbienne signifient que la fertilité biologique du sol est élevée et donc que les propriétés agronomiques du sol auront les meilleures chances d'être assurées.

Au Cameroun, l'agriculture urbaine et périurbaine a pris de l'ampleur au cours de ces dernières décennies du fait de la proximité des centres de commercialisation des produits qui en sont issus et de la disponibilité de la main d'œuvre corollaire de l'urbanisation galopante. De l'agriculture d'autoconsommation qu'elle était à l'origine, elle s'est transformée en agriculture de rente et de devises. Elle est pratiquée par plus de 70 % de la population active et a contribué pour plus de 41 % du Produit Intérieur Brut (PIB) en 2008.

Cependant, cette agriculture est confrontée à un certain nombre de difficultés au rang desquelles la mauvaise connaissance des bonnes pratiques culturales par les agriculteurs et la non maîtrise de l'information technique, l'utilisation non contrôlée et inappropriée des produits agrochimiques (insecticides, fongicides, herbicides et engrais) (**Fotio et Monkiedje, 2005 ; Mathews, 2003**), l'acidité aluminique et manganique des sols du Cameroun (75 % des sols) (**Yemefack et al. 2004 ; Moukam et Ngakanou, 1997**), favorables à la persistance des pesticides des produits agrochimiques dans l'environnement.

En dépit de ces contraintes, la nouvelle politique de développement des productions végétales et animales du gouvernement Camerounais ambitionne le développement d'une agriculture durable, le doublement des productions et du volume des exportations, et l'accroissement des revenus des producteurs d'environ 4,5% par an en vue de réduire de moitié la pauvreté en milieu rural à l'horizon 2015. Pour y parvenir, des mesures incitatives telles que l'augmentation des produits agrochimiques et plus spécifiquement l'augmentation du niveau de fertilisation actuel de 8 kg/ha à 50 kg/ha. Certes des fiches techniques respectueuses de l'environnement et d'accompagnement de cette politique existent, mais elles restent très peu diffusées auprès des producteurs agricoles.

Les produits agrochimiques sont toxiques pour les phytopathogènes et les ravageurs (auxiliaires et nuisibles) autant que pour l'homme, les animaux et les microorganismes responsables de la fertilité du sol (**Fotio et al., 2006**). Les engrais chimiques en particulier sont quelquefois responsables d'une acidification des sols (**Barak et al., 1998**) et d'une baisse des activités microbiologiques des sols fertilisés comparés à ceux non fertilisés (**Monkiedje et al., 2006**). Les activités des enzymes sont aussi souvent utilisées pour déterminer les effets des polluants sur le statut microbiologique d'un sol (**Ascoli et al., 2006**). Les interactions entre les polluants et les microorganismes du sol peuvent conduire à une inhibition des activités enzymatiques ou à leur stimulation dépendant à la fois de la nature du polluant, de la concentration du polluant, et du type d'enzyme (**Dick and Tabatabai, 1983**).

Le sol équilibré apparaît donc comme un facteur important de la production agricole à protéger. D'autres conséquences des activités humaines mal maîtrisées déjà constatées dans quelques bassins de production au Cameroun concernent la contamination des récoltes agricoles par les résidus de pesticides (**Fotio et Monkiedje, 2005**) et la pollution de la nappe phréatique (**Tabue et al., 2007 ; Tita et al., 2007**). L'évaluation des sols contribue au renforcement de l'approche intégrée et permet d'anticiper les interactions entre une intervention (politique, programme, projet) et lesdits sols, en vue de prévoir et d'évaluer les éventuels impacts conséquents sur l'environnement. Cette évaluation consiste en la détermination des indicateurs de la santé du sol parmi lesquels, la biomasse microbienne (**Carter et al., 1999**), l'azote disponible et les activités des enzymes du sol (**Casida, 1977**), les substances nutritives des plantes (**O'Neil et al., 1977**).

Le bassin de FOUMBOT à l'ouest du Cameroun est caractérisé par une importante utilisation de produits agrochimiques et par une importante production de cultures

maraichères alimentant à la fois les grandes villes du Cameroun (Bafoussam, Douala et Yaoundé) et les pays voisins (Gabon, Guinée Équatoriale et Congo Brazzaville). Cependant, les connaissances sur les pratiques culturales, le niveau d'exposition des sols de cette région aux produits agrochimiques sont rares.

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact des différentes pratiques culturales des producteurs du bassin de FOUMBOT sur les indicateurs physiques et biologiques de leurs sols pour mieux connaître et gérer ces sols dans une perspective agronomique.

Matériel et méthodes

Le principe de cette étude reposait sur l'observation des pratiques agricoles paysannes puis à l'évaluation de leurs impacts sur les indicateurs de la santé des sols (propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols).

Présentation des sites d'étude

Le bassin de FOUMBOT est situé à environ 7 Km de la ville de BAFOUSSAM, à l'ouest du Cameroun. Il est caractérisé par un climat de type équatorial et une végétation du type savane arbustive. La température moyenne se situe autour de 23 °C pendant que le volume annuel de pluies est d'environ 1900 mm (mars à novembre). Trois sites du bassin, NJOGNOM, KOUPARA et BAÏGOM (**figure 1**), ont été choisis sur la base de l'intense activité maraîchère qui s'y déroule et de leur statut d'exploitation familiale agricole. Ce bassin est drainé par de petits ruisseaux qui se déversent tous dans la rivière NKOUP. L'eau potable provient essentiellement de quatre sources et des puits, et du réseau de la société de la Camerounaise des Eaux (CAMWATER) distribué en une vingtaine de robinets privés. Les eaux du bassin n'étant pas drainées, les parcelles s'y trouvant sont laissées en jachère forcée d'environ six mois pendant la période des crues. Les sols échantillonnés étaient tous occupés à la campagne précédente comme au moment de l'échantillonnage par les mêmes cultures, en association (**tableau 1**) : haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), Morelle africaine (*Solanum africanum*) et tomate (*Lycopersicon esculentum*) dans le site de BAÏGOM (sol 4), basilic

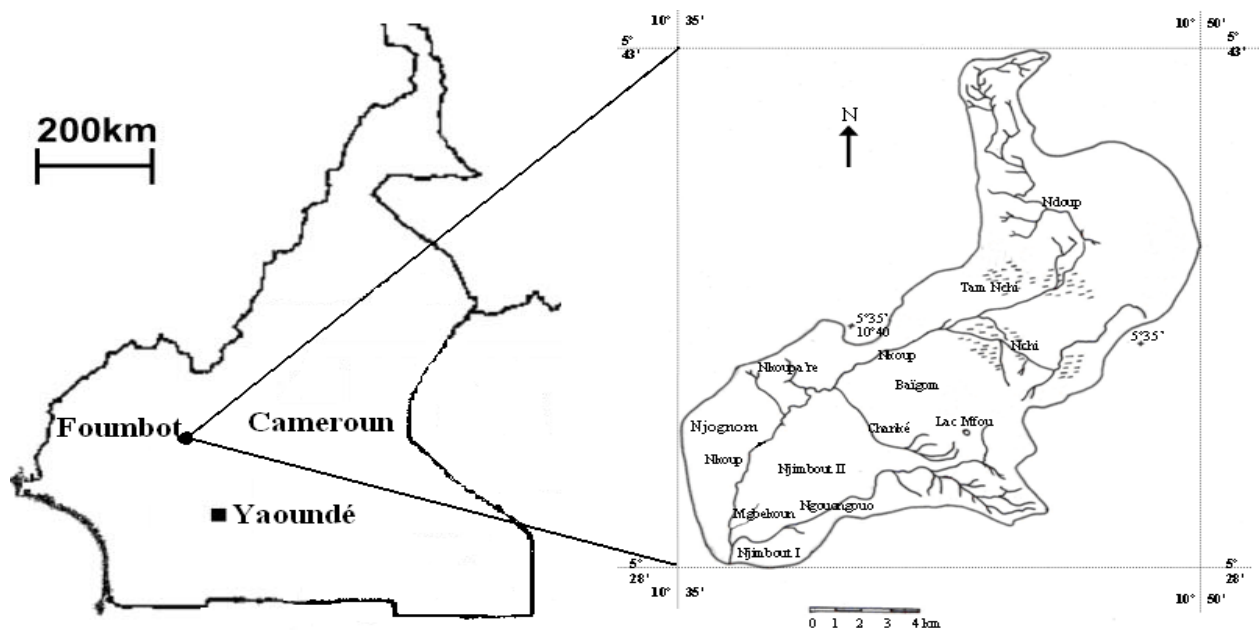


Figure 1 : Carte présentant les sites de l'étude

Figure 1: Bassin de FOUMBOT
Source: Carte de BAFOUSSAM 4a à 1/50 000

Tableau 1 : Liste des produits agrochimiques et des dosages spécifiques utilisés dans les sites de l'étude

Site	Système de culture	Nom commercial	Matière active	Famille	Dosage
NJOGNOM	Basilic + M. africaine	Sulfate d'ammonium	Ion sulfate (SO_4^{2-}) et ion ammonium (NH_4^+)	E	2 x 150 Kg ha ⁻¹
		Urée	Urée [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]	E	150 Kg ha ⁻¹
		Penncozeb 75 DG + Callidim 200 EC	Mancozèbe + Diméthoate	F et I resp.	3 x (5 g + 2 ml /15 l H ₂ O/7j/200 m ²)
KOUPARA	Tomate + M. africaine	Roundup	Glyphosate	H	300 ml/ 15 l H ₂ O/ 500 m ²
		N-P-K (20-10-10)	NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+	E	2 x 250 Kg/ ha ⁻¹
		Trimangol 80 WP	Manèbe	F	40 g/15 l H ₂ O/ 100 m ²
BAÏGOM	Tomate + M. africaine + Haricot vert	N-P-K (20-10-10)	NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+	E	2 x 250 Kg/ ha ⁻¹
		Trimaneb®	Manèbe	F	60 g/15 l H ₂ O/ 200 m ²

M.: Morelle ; E : engrais ; F : Fongicide ; I : Insecticide ; resp. : respectivement

(*Ocimum basilicum* L.) et Morelle africaine à NJOGNOM (sol 2), Morelle africaine et tomate à KOUPARA (sol 3). La rotation des cultures se produit à intervalle de trois à quatre ans en moyenne et consiste en une permutation des cultures, la tomate et la morelle africaine cultivées en pure ou en association constituant le premier choix. Les pratiques phytosanitaires sont conservées d'un cycle de culture à un autre mais peuvent changer selon la disponibilité des intrants et le pouvoir d'achat. Dans le cas présent, les pratiques culturales sont restées les mêmes depuis trois ans, l'année de la présente étude précédant le prochain cycle de rotation des cultures. Les parcelles échantillonnées avaient une superficie de 100 x 100 m² et étaient distantes des parcelles voisines de 1 m. Ces parcelles ont d'abord été désherbées puis labourées en profondeur (25 - 30 cm) pour disposer de sol nécessaire à enfouir les mauvaises herbes sur les billons de 10 m x 1,5 m et pour frayer de chemin aux éventuelles eaux de ruissellement. Par contre, un sol n'ayant pas encore subi d'activités anthropiques, portant des mauvaises herbes de près de 2 m de hauteur et des arbustes a été identifié à KOUPARA (sol 1) puis a été prélevé pour servir de témoin auquel les paramètres des sols à évaluer ont été comparés.

Les valeurs des différents paramètres des sols échantillonnés indiquaient une prédominance de l'argile dans les sols donnant lieu à trois classes texturales (argile, limon-argileux et argile limoneuse), une variation du pH (5,0 - 5,5) et du carbone organique (21,7 - 39 g Kg⁻¹ sol sec) (**tableau 2**).

Tableau 2 : Principales caractéristiques des sols échantillonnés

Paramètre		Herbes et arbustes (Sol témoin)	Basilic + M. africaine	Tomate + M. africaine	Tomate + M. africaine + Haricot vert
Classe texturale		Argile	Limon-argileux	Argile	Argile limoneuse
Texture (%)	Argiles	47,6	40,0	51,5	48,4
	Sables	36,0	44,0	30,9	33,7
	Limons	16,4	16,0	17,6	17,9
pH(H ₂ O)		5,0	5,2	5,5	5,4
Conductivité électrique (dS m ⁻¹)		0,07	0,07	0,18	0,12
Carbone organique total (g Kg ⁻¹)		21,7	33,0	39,0	36,0
Origine du sol		KOUPARA, CAMEROUN	NJOGNOM, CAMEROUN	KOUPARA, CAMEROUN	BAÏGOM, CAMEROUN

M.: Morelle

Échantillonnage et conditionnement des échantillons

Une série de prélèvements ponctuels de sols a été effectuée 7 jours après l'application de produits agrochimiques. Dans chaque site, dix échantillons individuels ont été prélevés dans l'horizon 0-20 cm suivant un schéma en W, sur une surface de 100 x 100 m², à l'aide d'une tarière. Après homogénéisation du mélange obtenu, un échantillon composite de 0,5 Kg en a été prélevé, tamisé (< 0,25 mm) puis séché à l'air libre et sous l'ombre pour servir de substrat à la détermination de la texture et du carbone organique du sol. Un second échantillon composite de 0,5 kg a également été tamisé (< 0,5 mm) puis conservé entre 3 et 4 °C pour servir de substrat à l'évaluation de l'azote disponible (NH₄⁺-N et NO₃⁻-N), du phosphore assimilable (P), du pH, de la conductivité électrique (CE) et des activités enzymatiques. Enfin, un troisième échantillon composite a été tamisé plus finement (< 2 mm) et sa capacité en eau ajustée à 60 % avant sa conservation entre 3 et 4 °C pour servir de substrat à la détermination de la biomasse microbienne.

Évaluation des paramètres physiques et chimiques des échantillons de sols

La taille des particules et le pH des sols ont été déterminés respectivement à l'aide d'un hydromètre et par lecture directe au pH-mètre selon un rapport sol/eau distillée de 1 : 2,5. Par contre, l'azote disponible (N) a été extrait à l'aide d'une solution de KCl 2M puis ont été dosés par colorimétrie selon la méthode de **Tan (1996)** tandis que le P disponible a été extrait à l'aide du NaHCO₃ à pH8,5 avant d'être dosé par colorimétrie à 880 nm (**Olsen et Sommers, 1982**). Le carbone organique (C_{org}) a été déterminé selon la méthode de **Heanes (1984)**.

Mesure de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne (C_{mic} et N_{mic}) et le P des corps microbiens (P_{mic}) ont été déterminés selon les méthodes proposées respectivement par **Voroney et al. (1993)** et **Brookes et al. (1982, 1985)**. Le C organique soluble du sol, contenu dans les surnageants, a été dosé par spectrophotométrie infrarouge après combustion à 850 °C. L'azote disponible a été quantifié par colorimétrie comme ci-dessus indiqué. Les valeurs de la biomasse microbienne obtenues ont été obtenues des équations suivantes :

$$C_{mic} \text{ (mg C/kg sol)} = tC_{org} / K_{EC};$$

$$N_{mic} \text{ (mg N/kg sol)} = E_N / K_{EN};$$

$$P_{mic} \text{ (mg N/kg sol)} = E_P / K_{EP} \text{ avec:}$$

$$tC_{org} = C \text{ extrait fumigé} - C \text{ extrait non fumigé};$$

$$E_N = (\text{NH}_4^+\text{-N et NO}_3^-\text{-N}) \text{ extrait fumigé} - (\text{NH}_4^+\text{-N et NO}_3^-\text{-N}) \text{ extrait non fumigé};$$

$$E_P = P \text{ extrait fumigé} - P \text{ extrait non fumigé};$$

$$K_{EC} = 0,45 \text{ (Martens, 1995)};$$

$$K_{EN} = 0,54 \text{ (Brookes et al., 1985)};$$

$$K_{EP} = 0,40 \text{ (Brookes et al., 1982)}.$$

Détermination des activités des enzymes des sols

L'activité des déshydrogénases a été déterminée selon la méthode de **Casida et al. (1964)**. Cette méthode est basée sur l'estimation de la concentration de 2, 3, 5-triphenyl formazan (TPF) libéré par les déshydrogénases lorsque le sol est incubé avec une solution tampon de chlorure de 2, 3, 5-tryphenyl tétrazolium (TTC). La densité optique du TPF a ensuite été déterminée par colorimétrie à 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Par ailleurs, les activités de la β -glucosidase, des phosphatases acide et alcaline, ont été évaluées respectivement selon les méthodes de **Eivazi and Tabatabai (1988)**, **Tabatabai and Bremmer (1969)** et **Eivazi and Tabatabai (1977)**. Leurs activités enzymatiques ont été déterminées par quantification spectrophotométrie du para-nitrophenol (PNP) à 410 nm.

Toutes les activités enzymatiques ont été déterminées par rapport au poids sec des sols (sol séché à 105 °C / 24 h).

Les données obtenues ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS 13.0 (Statistical Package Social Science).

Résultats et discussion

Toutes les déterminations ci-dessous sont la moyenne de trois analyses.

Impacts du mode de gestion des sols sur leurs propriétés physicochimiques

Le carbone, l'azote et le phosphore sont les constituants fondamentaux de la matière organique. Apprécier la disponibilité au champ de ces composés en relation avec la texture du sol est une connaissance fondamentale dans la gestion des sols et des cultures. Dans le cas de cette étude, les résultats obtenus indiquaient que les propriétés physiques et chimiques des sols cultivés diffèrent de ceux du sol non mis en culture (**tableau 2**). La mise en culture des sols a entraîné une substantielle augmentation du pH et du P en comparaison au sol non cultivé, et a significativement stimulé la CE et le C_{org} (**figures 2 ; tableau 2**). Le pH et la CE étaient plus élevés dans le sol où étaient cultivées la tomate et la Morelle africaine (sol 3). Ceci serait dû à un continuel enfouissement de quantités importantes de mauvaises herbes dont le désherbage consistait d'abord en un désherbage chimique puis mécanique ou à une adsorption des enzymes de la décomposition sur l'argile (**Scott, 1962**). La matière organique aurait agi comme un échangeur ou un agent absorbant pour les substances nutritives apportées au sol et aurait contribué à l'augmentation du pH (**Pieri, 1989**). En revanche, N du sol portant le basilic et la Morelle africaine (sol 2) et celui portant la tomate et Morelle africaine (sol 3) ou la tomate, la Morelle africaine et le haricot vert (sol 4) ont respectivement été positivement et négativement stimulés (**figure 3**). L'augmentation de la CE serait due à une utilisation régulière des engrais chimiques tandis que celle du C_{org} serait due à l'enfouissement des mauvaises herbes. Par ailleurs, il est apparu que l'augmentation du C_{org} était plus forte dans le sol 3 et le sol 4 qui ont respectivement reçu des doses élevées d'herbicide et de fongicide, et de fongicide. L'augmentation du C_{org} pourrait donc être aussi la conséquence d'une perturbation du processus de décomposition de la matière organique. Cette perturbation du turn-over des microorganismes du sol aurait été plus sévère pour les bactéries intervenant dans le processus de minéralisation de l'azote (**figure 3**). C'est par minéralisation que la matière organique du sol libère l'azote utilisable ($NO_3^- - N + NH_4^+ - N$) par les plantes. En outre, la substantielle augmentation du taux de P assimilable dans les sols cultivés serait due à leur mode de gestion et à la formation des complexes avec l'argile ou avec les éléments tels que l'aluminium et le fer. Le rapport C_{org}/N du sol 3 (206) était très élevé ($C_{org}/N > 100-500$), ce qui indiquerait une immobilisation du P (**Upadhyay et Singh 1989 ; Janssen et al. 1990**). Des corrélations fortes et significatives entre le pH et le C_{org} ($r = 0,961 ; P = 0,05$), l'argile et N soluble ($r = - 0,971 ; P = 0,05$) et enfin entre le sable et N disponible ($r = 0,985 ; P = 0,05$) ont été observées. La texture du sol jouerait un rôle important dans la disponibilité des substances nutritives des plantes et dans l'hétérogénéité des sols cultivés.

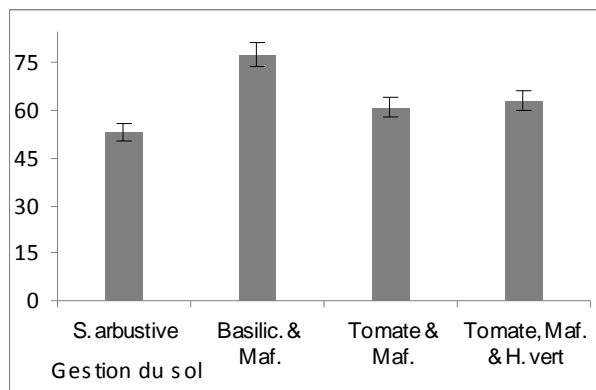


Figure 2: Effets de la gestion du sol sur la concentration du phosphore assimilable (mg / Kg de sol sec)
S. : Savane ; Maf. : Morelle africaine ; H. : Haricot

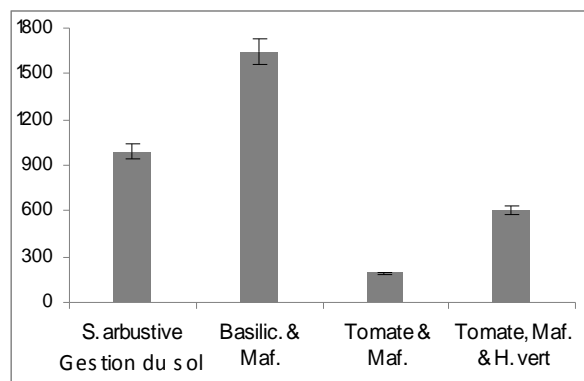


Figure 3: Effets de la gestion du sol sur la concentration de l'azote disponible (mg / Kg de sol sec)
S. : Savane ; Maf. : Morelle africaine ; H. : Haricot

Impacts des pratiques culturales sur la biomasse microbienne du sol

Le statut microbiologique d'un sol, paramètre essentiel à sa fertilité, est apprécié le plus souvent de manière globale par les biomasses microbiennes C, N et P, complétées par le rendement microbien et l'évaluation des activités des enzymes du sol. Cette biomasse microbienne est une mesure globale représentant une quantité de carbone vivant dans le sol. Dans le cas de cette étude, les valeurs de la biomasse microbienne des sols cultivés ont été significativement élevées par comparaison à celles du sol non cultivé, exceptées la biomasse C et la biomasse N du sol 3 (**tableau 3, figures 4 et 5**). Les pratiques culturales ont stimulé la multiplication des microorganismes dans les sols 2 et 4 tandis qu'elles ont stimulé et inhibé simultanément ce phénomène dans le sol 3, où la charge en pesticides et leurs dosages ont été plus élevés. Par ailleurs, la variation de la valeur de la biomasse microbienne C (312,0 - 544,5 mg / Kg sol) dans le bassin de FOUMBOT est apparue faible comparée à 458,0 – 739,0 mg / Kg sol, celle identifiée en zone de savane (**Some et al., 2007**).

Tableau 3 : Valeurs de la biomasse microbienne des sols et de leurs rendements

Paramètres	C_{mic} (mg / Kg)	C_{mic} / C_{org} (%)	N_{mic} (mg / Kg)	N_{mic} / N (%)	C_{mic} / N_{mic}	P_{mic} (mg / Kg)	P_{mic} / P (%)	C_{mic} / P_{mic}
Sol témoin	347,2	1,60	16,30	1,64	21,30	1,22	2,30	284,59
Basilic + M. africaine	544,5	1,65	22,69	1,37	23,99	2,64	3,40	206,25
Tomate + M. africaine	312,0	0,80	5,40	2,84	57,77	1,71	2,81	181,60
Tomate + M. africaine + Haricot vert	486,0	1,35	25,31	4,21	19,20	1,20	1,90	405,00

C_{org} : carbone organique total ; N : azote disponible ; P : phosphore assimilable ; C_{mic} : biomasse microbienne C ; N_{mic} : biomasse microbienne N.

La fraction vivante microscopique d'un sol a un taux de renouvellement important. Cependant le rendement microbien (C_{mic}/C_{org}) ne représente qu'un faible pourcentage (1 à 3 %) de la matière organique totale (**Feller, 1993**). Les valeurs du rendement microbien obtenues dans cette étude ont varié diversement selon les pratiques culturales. Seul le sol 2 a eu un rendement microbien (1,65 %) supérieur à celui du sol témoin (1,60 %). Le sol 4 et le sol 3 ont respectivement fourni des rendements faibles (1,35 %) et plus faibles (0,80 %). Ces faibles rendements signaleraient pour ces sols un environnement physique défavorable à la vie microbienne (drainage insuffisant, tassement, labour excessif et en profondeur) ou un

environnement chimique défavorable à la vie microbienne (pH acide, toxicité des produits agrochimiques et en particulier des herbicides).

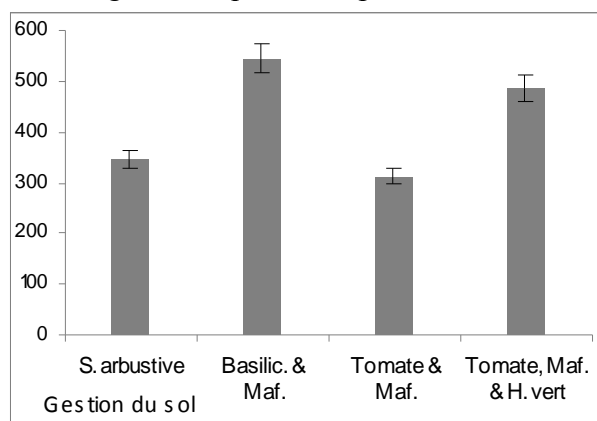


Figure 4: Effets de la gestion du sol sur la biomasse microbienne C (mg / Kg de sol sec)
S. : Savane ; Maf. : Morelle africaine ; H. : Haricot

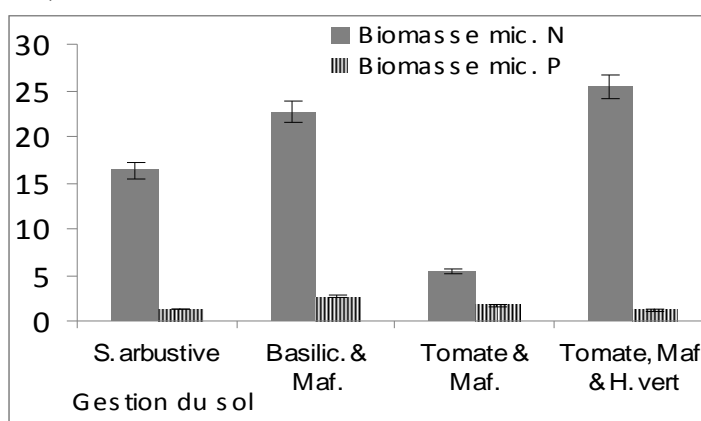


Figure 5: Effets de la gestion du sol sur la biomasse microbienne N et sur la biomasse microbienne P (mg / Kg de sol sec)
S. : Savane ; Maf. : Morelle africaine ; H. : Haricot ; mic.: microbienne

L'analyse des relations entre les propriétés physicochimiques et de la biomasse microbienne des sols a permis d'établir des corrélations qui sont mentionnées dans le **tableau 4**. Il ressort de ce tableau que la corrélation entre l'argile et la C_{mic} était très significative et négative ($r = -0,806$; $P = 0,01$). Les pratiques culturales auraient donc été plus néfastes sur la biomasse bactérienne que fongique. En effet, il existe une corrélation négative entre la teneur en argile et la biomasse fongique, alors que cette corrélation est positive avec la biomasse bactérienne (**Kaczmarek et Pedziwilk, 1988**). De plus, les champignons prédominent dans la décomposition des matériaux de basse qualité (**Swift et al., 1981**).

Tableau 4 : Coefficients de corrélations et seuils de signification entre la biomasse microbienne et les activités des enzymes, et les propriétés physicochimiques des sols

Paramètre	C_{mic}	C_{mic}/C_{org}	N_{mic}	N_{mic}/N	C_{mic}/N_{mic}	P_{mic}	P_{mic}/P	C_{mic}/P_{mic}	β -Glu	P_{acide}	P_{alca}	DHase
C_{org}	0,151	-0,694	-0,178	0,573	0,565	0,264	0,180	-0,128	0,917	0,751	0,436	0,185
N	0,698	0,879	0,607	-0,691	-0,637	0,634	0,522	-0,130	-0,736	-0,833	-0,115	0,673
C_{org}/N	-0,621	-0,991**	-0,822	0,366	0,953*	-0,090	0,061	-0,410	0,903	0,992**	-0,168	-0,595
P	0,809	0,247	0,411	-0,213	-0,102	0,891	0,717	-0,290	0,085	-0,149	0,230	0,814
C_{org}/P	-0,351	-0,928	-0,470	0,755	0,702	-0,260	-0,238	0,023	0,962*	0,930	0,320	-0,316
CE	-0,516	-0,990**	-0,668	0,589	0,847	-0,208	-0,117	-0,182	0,956*	0,989*	0,081	-0,485
pH	-0,073	-0,830	-0,306	0,706	0,638	0,008	-0,035	-0,034	0,976*	0,862	0,424	-0,036
% Argile	-0,806	-0,776	-0,621	0,594	0,550	-0,757	-0,611	0,167	0,559	0,710	0,000	-0,788
% Sable	0,745	0,791	0,569	-0,669	-0,536	0,752	0,631	-0,217	-0,608	-0,730	-0,093	0,723
% Limon	-0,282	-0,727	-0,193	0,947	0,363	-0,587	-0,624	0,446	0,756	0,702	0,570	-0,250

* $P \leq 0,05$; ** $P < 0,01$.

C_{org} : carbone organique total ; N : azote disponible ; P : phosphore assimilable ; CE : conductivité électrique ; C_{mic} : biomasse microbienne C ; N_{mic} : biomasse microbienne N ; β -Glu : β -Glucosidase ; P_{acide} : phosphatase acide ; P_{alca} : phosphatase alcaline ; DHase : déshydrogénases.

Les résultats de la biomasse microbienne du sol indiquent donc que le bassin de FOUMBOT s'apparente à une mosaïque de sites hétérogènes abritant des populations différentes de micro-organismes et dont le métabolisme reflète les conditions physicochimiques qui règnent au sein de leur habitat respectif.

Impacts des pratiques culturales sur les activités des enzymes du sol

L'activité des enzymes du sol est cruciale pour la disponibilité des nutriments, la décomposition de la matière organique et la santé du sol (Johansson *et al.*, 2000). Il en existe une multitude dans le sol mais seuls quelques uns sont sensibles aux pratiques culturales et peuvent par conséquent servir d'indicateurs biologiques au stress induit par les dites pratiques (Margesin *et al.*, 2000). La plupart des substrats organiques présents dans le sol sont sous forme macromoléculaire, particulaire ou peu soluble. Seuls les enzymes produits par les micro-organismes dans le milieu extracellulaire et plus particulièrement les déshydrogénases (DHases) sont capables d'initier leur dégradation (Ross, 1971). Cependant, les enzymes sont soumis aux phénomènes d'adsorption, d'immobilisation, de piégeage, d'inactivation et de dégradation dans ce même milieu extracellulaire. Les activités mesurées dans le cadre de cette étude correspondent à la fois à celles des enzymes extracellulaires (enzymes des solutions du sol, adsorbés à l'argile ou aux substances humiques) et des enzymes intracellulaires (enzymes des compartiments subcellulaires des microorganismes).

Les résultats obtenus montrent que les activités des déshydrogénases ont peu variées (58 - 75 mg TPF / Kg sol sec / 24 h) et que la valeur la plus élevée et la plus faible correspondaient respectivement au sol 2 et au sol 3 (figure 6). Seules les activités des déshydrogénases du sol portant la tomate et la Morelle africaine, et ayant reçu les produits agrochimiques parmi lesquels le Roundup (herbicide) étaient relativement faibles (58 mg TPF / Kg sol sec / 24 h) comparées à celles du sol non encore mis en culture (60 mg TPF / Kg sol sec / 24 h). Une corrélation positive et significative entre les activités des DHases et la C_{mic} ont été identifiées ($r = 0,999$; $P = 0,01$). Cependant, aucune corrélation significative entre les activités des DHases et les paramètres physicochimiques n'a été observée (tableau 4) malgré l'utilisation des engrais verts, particulièrement importante dans le site où ces activités sont les plus faibles (sol 3). Ces résultats indiqueraient l'inhibition des activités des DHases (cas du sol 3) en conséquence aux pratiques culturales utilisées (Engelen *et al.*, 1998 ; Eivazi *et Bayan*, 1996) ou par la prédominance des microorganismes dont les substrats sont des métabolites intermédiaires (cas des sols 2 et 3).

Les activités des phosphatases du sol constituent un facteur limitant dans le cycle du P. Les phosphatases catalysent l'hydrolyse des esters et des anhydrides phosphoriques de la matière organique (Schmidt *et Lawoski*, 1961) et donc la libération des nutriments inorganiques en occurrence P, permettant ainsi une évaluation de la minéralisation du phosphore et des corrélations entre lesdites enzymes, la déficience en P et la fertilité du sol. Les résultats obtenus ont montré que les activités de la phosphatase acide (P_{acide} : 530 - 923 mg PNP / Kg sol sec/h) et de la phosphatase alcaline (P_{alca} : 488 - 555 mg PNP / Kg sol sec/h) ont été relativement supérieures à celles du sol témoin (508 et 480 mg PNP / Kg sol sec/h respectivement) et ont relativement varié d'un système cultural à l'autre et avec la classe de l'enzyme, les valeurs de la P_{acide} étant relativement élevées excepté les résultats obtenus dans le site où étaient cultivées la tomate et la Morelle africaine (sol 3) (figure 7). Dans ce cas, l'activité de la P_{acide} (923 mg PNP /Kg sol sec/h) a été plus très élevée comparée à celle du sol témoin et de celle de la P_{alca} du même sol (488 mg PNP /Kg sol sec/h). En outre, des corrélations significatives positive ($r = 0,992$; $P = 0,05$) et négative ($r = -0,995$; $P = 0,01$) ont été observées respectivement entre la P_{acide} et C_{org}/N , et entre P_{acide} et C_{mic}/C_{org} (tableau 4). Les activités des phosphatases ont donc augmenté dans les sols cultivés et avec l'augmentation de la C_{org} . Des résultats similaires ont été signalés par Aon *et Colaneri* (2001). Cette augmentation d'activités enzymatiques serait la conséquence d'une déficience des sols en P, particulièrement dans le sol 3, et par suite d'une augmentation de la synthèse de la P_{acide} dans les racines des cultures, dans l'intérêt de remédier à ce stress (Versaw *et Harrison*, 2002). Par ailleurs, l'augmentation de la concentration de la P_{acide} différerait selon le

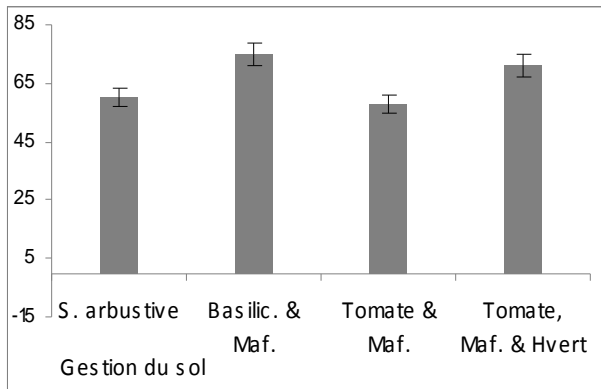


Figure 2: Effets de la gestion du sol sur les activités des déshydrogénases (mg TPF / Kg sol sec / 24 h)
S. : Savane ; Maf. : Morelle africaine ; H. : Haricot

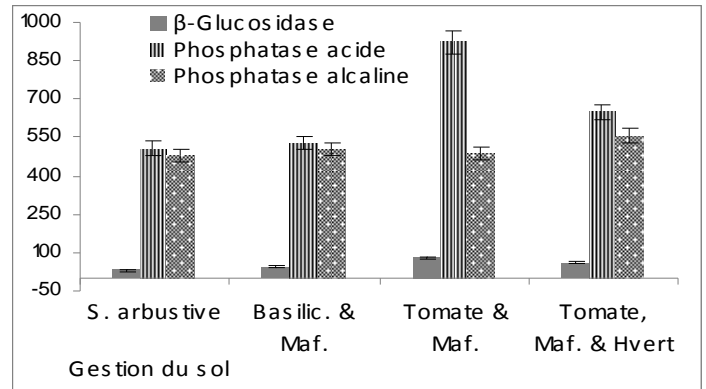


Figure 3: Effets de la gestion du sol sur les activités de la β -glucosidase, phosphatase acide et phosphatase alcaline (mg PNP / Kg sol sec/h)
S. : Savane ; Maf. : Morelle africaine ; H. : Haricot

système de cultures, la valeur maximale étant produite par le sol où étaient cultivées la tomate et la Morelle africaine. Dans les trois sites, les cultures pratiquées sont des légumes. Le mode de gestion du sol et l'utilisation des produits agrochimiques seraient responsables de l'augmentation des activités enzymatiques.

La β -glucosidase est un important enzyme du sol catalysant l'hydrolyse et la décomposition biologique de divers substrats β -glucosides de la matière organique (**Martinez et Tabatabai, 1997**) dont la sensibilité à la gestion du sol (labour, système cultural, utilisation de fertilisant et de pesticides, rotation, etc.) et aux variations de pH en font un excellent indicateur de la santé du sol (**Acosta-Martinez et Tabatabai, 2000**). L'activité de l'enzyme peut aussi être néfaste pour le sol, notamment lorsque l'aglycone libéré est toxique ou est un précurseur de substances toxiques pour le sol (**Melouk et Horner, 1973 ; Sherrod et Domsch, 1970**). L'activité de la β -glucosidase a été stimulée dans tous les sols cultivés comparativement à celui non encore mis en culture et a varié d'un site à un autre (**figure 7**). L'activité la plus importante a été relevée dans le sol des parcelles de tomate et de Morelle africaine. Par ailleurs, des corrélations significatives et positives ont été observées entre la β -Glu et le rapport C_{org} / P ($r = 0,962$; $P = 0,05$), β -Glu et CE ($r = 0,956$; $P = 0,05$), β -Glu et pH ($r = 0,976$; $P = 0,05$) (**tableau 4**). Ces résultats étaient similaires à ceux rapportés par **Ajwa et Tabatabai (1994)** et indiquaient que la β -glucosidase avait été très sensible aux propriétés chimiques du sol.

Conclusion

La plupart des propriétés physicochimiques et enzymatiques du sol ont varié selon le système cultural et la pratique culturale. Des corrélations significatives et positives entre les propriétés physicochimiques et enzymatiques ont été observées indiquant ainsi un effet bénéfique de la pratique culturale sur l'activation des enzymes du sol et sur l'augmentation de la concentration des microorganismes du sol. Cependant la stimulation de l'activité de la P_{acide} et le rapport élevé de C_{org} / N indiquaient une déficience en P. Une corrélation significative, forte et négative ($r = -0,806$, $P = 0,01$) entre l'argile et la biomasse microbienne C suggérait une diminution de la biomasse fongique et l'existence de populations différentes de microorganismes dont le métabolisme reflète les conditions physicochimiques qui règnent au sein de leur habitat respectif.

Remerciements

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de la Coordination du projet de «Renforcement des Partenariats dans la Recherche Agronomique au Cameroun» (REPARAC) pour avoir financé une partie de cette étude, à nos partenaires producteurs du bassin de FOUMBOT et plus particulièrement à Madame MBETE ABIBA Esther, Messieurs MOUNCHILI AROUNA et MONGBAT OUSSENI pour leur participation et leur collaboration franche à la réalisation de ce travail.

Bibliographie :

- Acosta-Martínez V, Tabatabai M. A., 2000. Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biol. Fert. Soils*, 31, 85-91.
- Ajwa H. A., Tabatabai M. A., 1994.. Decomposition of different organic materials in soils. *Biol. Fert. Soils*, 18, 175-182.
- Aon M. A. et Colaneri A. C., 2001. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.*, 18, 255-270.
- Ascoli R. D., Rao M. A., Adamo P., Renella G., Landi L., Rutigliano F. A., Terribile F., Gianfreda L., 2006. Impact of river overflowing on trace element contamination of volcanic soils in south Italy: Part II. Soil biological and biochemical properties in relation to trace element speciation. *Environmental Pollution*, 144, 317-326.
- Barak, P., Jobe B. O., Krueger A., Peterson L. A. and Laird D. A., 1998. Effects of long-term soil acidification due to agricultural inputs in Wisconsin. *Plant Soil*, 197, 61-69.
- Brookes P. C., Landman A., Pruden G. and Jenkinson D. S., 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 17, 837-842.
- Brookes P. C., Powlson D. S. and Jenkinson D. S., 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14, 319-329.
- Carter M. R., Gregorich E. G., Angers D. A., Beare M. H., Sparling G. P., Wardle D. A. and Voroney R. P., 1999. Interpretation of microbial biomass measurements for soil quality assessment in humid temperate regions. *Can. J. Soil Sci.*, 79, 507-520.
- Casida L. E., 1977. Microbial Metabolic Activity in Soil as Measured by Dehydrogenase Determinations. *Applied and Environmental Microbiology*, Dec. 1977, 630-636.
- Coleman D. C., Malcom Oades, Goro Uehara 1989. Dynamic of soil organic mater. In: Interactions of soil organic mater and variable-charges clays; Dynamic of soil organic mater in tropical ecosystems Malcolm Oades et al (éds), University of Hawaii, University of Hawaii.
- Dick W. A. and Tabatabai M. A., 1983. Activation of soil phosphatase by metal ions. *Soil Biol. Biochem.*, 15, 59-363.
- Eivazi F. and Bayan M. R., 1996. Effects of long-term prescribed burning on the activities of selected soil enzymes in an oak-hickory forest. *Can. J. For. Res.*, 26, 1799-1804.
- Eivazi F. and Tabatabai M. A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 20, 601-606.
- Eivazi F. and Tabatabai M. A., 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 9, 167-172.
- ELLIOTT E. T., COLEMAN D. C., 1988. Let the soil work for us. *Ecol. Bull.*, 39, 23-32.
- Engelen Bert, Meinken Kristin, Friedrich von Wintzingerode, Heuer Holger, Malkomes Hans-Peter and t Backhaus Hors, 1998. Monitoring Impact of a Pesticide Treatment on Bacterial Soil Communities by Metabolic and Genetic Fingerprinting in Addition to Conventional Testing Procedures. *Applied and Environmental Microbiology*, 2814-2821.

- Feller C., 1993. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low-acidity clay soils in tropical zones. In: Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture. Mulongoy K. and Merckx R. (Eds), *John Wiley & Sons, New York*, 77-88.
- Fotio D., Monkièdje A., Miépi Ngoupiho S., Nguefack J. et Amvam Zollo P. H., 2006. Évaluation des résidus pesticides et de leurs effets sur la qualité des récoltes, du sol et de l'eau en zone périurbaine de Yaoundé à cultures maraîchères. *Actes de l'atelier de présentation des résultats des opérations de recherche participative, 21-23 février 2006, Yaoundé, Cameroun du Pôle de Compétence en Partenariat (PCP) Grand Sud Cameroun*, 33-39.
- Fotio D., Monkièdje A., 2005. Effets des pesticides sur les cultures maraîchères et le sol en zone périurbaine au Cameroun. *Recueil des posters de la Réunion annuelle Flhor du CIRAD*, 4-6 Juillet 2005, Montpellier, France.
- Heanes D. L., 1984. Determination of organic C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometer procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 15, 1191-1213.
- Janssen B. H., Noij Igam, Wesselink L. G., Grinsven J. J. M. van, 1990. Simulation of the dynamics of nutrients and moisture in tropical ecosystems. *Fert Res.*, 26, 145-156.
- Jenkinson D. S. and Powlson D. S., 1976. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V) A method for measuring biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8, 209-213
- Johansson E., Krantz-Rülcker C., Zhang B. X. and Öberg G., 2000. Chlorination and biodegradation of lignin. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 1029-1032.
- Kaczmarek W., Pedziwilk Z., 1988. Mycolotic activity and the development of microflora in soils of different mechanical structure. *Soil Biol. Biochem.*, 20, 2, 129-136.
- Lamaze T., Khamis S., Foyer C., Farineau J., Valadier M. H. et Morot-Gaudty J. F., 1990. Effet d'une limitation en N sur la photosynthèse chez le maïs. In : *Physiologie et production du maïs*. INRA, Paris, 113-121.
- Margesin R., Zimmerbauer A. and Schinner F., 2000. Monitoring of bioremediation by biological activities. *Cheos.*, 40, 339-346.
- Martinez C. E. and Tabatabai M. A., 1997. Decomposition of biotechnology byproducts in soils. *J. Environ. Qual.*, 26, 625-632.
- Matthews G., Wiles T. et Baleguel P., 2003. A survey of pesticide application in Cameroon. *Crop Protection*, 22, 707-714.
- Melouk H. A. and Horner C. E., 1973. β -glucosidase from *Phoma strasseri* and its possible role in a disease of peppermint. *Phytopathology*, 63, 973-975.
- Monkièdje A., Spiteller M., Fotio D. and Sukul P., 2006. The Effect of Land Use on Soil Health Indicators in Peri-Urban Agriculture in the Humid Forest Zone of Southern Cameroon. *J. Environ. Qual.*, 35, 2402-2409.
- Moukam A. et Ngakanou D., 1997. The fertility status of surface soils in the humid forest zone of Southern Cameroon. *African Crop Science Journal*, Vol. 5. No. 3, 273-284.
- O'Neil R.V., Asmus B. S., Jackson D. R., Van Hook R. I., Van Voris P., Washburne C. and Watson A. P., 1977. Monitoring terrestrial ecosystems by analysis of nutrient export. *Water Air Soil Pollut.*, 8, 271-277.
- Olsen S. R. and Sommers L. E., 1982. Phosphorus. p. 403-430. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.*
- Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. CIRAD, Montpellier.

- Ross D. J., 1971. Some factors influencing the estimation of dehydrogenase activities of some soils under pasture. *Soil Biol. Biochem.*, 3, 97-110.
- Scott R. M., 1962. Exchangeable bases of mature, well-drained soils in relation to rainfall in East Africa. *J Soil Sci.*, 13, 1-9.
- Sherrod L. L., Domsch K. H., 1970. Amino acids in exudates of healthy and fungus-affected pea roots. *Arch. Mikrobiol.*, 70, 3, 240-242.
- Some A. N., Traoré K., Traoré Ouola, Tassebedo Moustapha, 2007. Potentiel des jachères artificielles à *Andropogon* spp. dans l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques des sols en zone soudanienne (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11, 3, 245-252.
- Stevenson J. F., 1986. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. *John Wiley & Sons, New York*.
- Swift M. J., Russel-Smith A., Perfect T. J., 1981. Decomposition and mineral-nutrient dynamics of plant litter in regeneration bush-fallow in sub-humid tropical Nigeria. *J Ecol.*, 69, 981-995.
- Tabue Youmbi J. G., Wethe J., Etame J., Feumba R., Ngnikam e., 2007. Occupation anarchique des sols et pollution des nappes phréatiques et des altérites en zone Équatoriale humide : exemple de la ville de Yaoundé au Cameroun. *Rapport présenté à la Conférence S2D 2007 : Sol et Développement Durable en Afrique Intertropicale*, 21-23 Novembre 2007, Douala, Cameroun.
- Tan K. H., 1996. Soil sampling, preparation, and analysis. p. 135–152. Marcel Dekker, New York.
- Tita M. A., Tsala G. N., Kamgang Kabeyene V. B., 2007. Surface Water Quality of the Nkoup River System in FOUMBOT: Microbial Factors. *Rapport présenté à la Conférence S2D 2007 : Sol et Développement Durable en Afrique Intertropicale*, 21-23 Novembre 2007, Douala, Cameroun.
- Upadhyay V.P. and Singh J. S., 1989. Patterns of nutrient immobilization and release in decomposing forest litter in central Himalaya, India. *J. Ecol.*, 77, 127-146.
- Versaw W. K. and Harrison M. J., 2002. A Chloroplast Phosphate Transporter, PHT2; 1, Influences Allocation of Phosphate within the Plant and Phosphate-Starvation Responses. *Plant Cell.*, 14, 1751-1766.
- Voroney R. P., Winter J. P. and Beyaert R. P., 1993. Soil microbial biomass C and N. p. 277-286. In Carter M. R. (ed.) Soil sampling and methods of analysis. *Lewis Pub., Boca Raton, FL*.
- Yemefack M., Nounamo L., Njomgang R. et Bilong P., 2004. Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud Cameroun. *TROPICULTURA*, 22, 1, 3-10.