

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 91 (2008-2009)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Utilisation des roches volcaniques pour la reminéralisation des sols ferrallitiques des régions tropicales : cas des pyroclastites basaltiques du graben de Tombel (Ligne volcanique du Cameroun)  
**Autor:** Nkouathio, David Guimolaire / Wandji, Pierre / Bardintzeff, Jacques-Marie  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-282141>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Utilisation des roches volcaniques pour la reminéralisation des sols ferrallitiques des régions tropicales. Cas des pyroclastites basaltiques du graben de Tombel (Ligne volcanique du Cameroun)

par

David Guimolaire NKOUATHIO<sup>1</sup>, Pierre WANDJI<sup>2</sup>, Jacques-Marie BARDINTZEFF<sup>3</sup>, Paul TEMATIO<sup>1</sup>, Armand KAGOU DONGMO<sup>1</sup>, Félix TCHOUA<sup>4</sup>

Résumé.—NKOUATHIO D.G., WANDJI P., BARDINTZEFF J.-M., TEMATIO P., KAGOU DONGMO A. et TCHOUA F., 2008. Utilisation des roches volcaniques pour la reminéralisation des sols ferrallitiques des régions tropicales. Cas des pyroclastites basaltiques du graben de Tombel (Ligne volcanique du Cameroun). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 91.1: 1-14.

Le graben de Tombel (Ligne volcanique du Cameroun) a été le siège d'un volcanisme explosif récent (age env. 0.2 ma) qui a édifié de nombreux cônes de pyroclastites et dont les produits les plus fins (lapilli, cendres volcaniques) jonchent l'ensemble de la plaine. Des essais de fertilisation des sols ont été réalisés à l'aide des pyroclastites basaltiques à granulométrie fine de la région. L'utilisation de ces matériaux comme intrants agricoles naturels améliorent certains paramètres physico-chimiques de fertilité des sols ferrallitiques, notamment le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), la quantité de bases échangeables et le taux de saturation. Ces améliorations sont dues au relargage des éléments chimiques contenus dans les pyroclastites. L'optimum correspond à l'ajout de 25 à 50% de matériaux volcaniques préalablement broyés. Grâce à la libération lente et continue de leurs constituants, sans pollution, les tephra de Tombel, riches en Ca, Mg, K, etc., peuvent être recommandés comme fertilisants pour les sols appauvris, acides, ou pour la culture de plantes exigeantes en certains éléments chimiques.

*Mots clés:* graben de Tombel, Cameroun, roche volcanique, pyroclastite, fertilisation, engrais de roche.

<sup>1</sup>Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, BP 67, Université de Dschang, Dschang, Cameroun. Courriel: nkouathio@yahoo.fr.

<sup>2</sup>Laboratoire de géologie, École Normale Supérieure, Université de Yaoundé I, BP 47, Yaoundé, Cameroun.

<sup>3</sup>Laboratoire de Pétrographie-Volcanologie, Bât. 504, Université de Paris-Sud, 91405 Orsay, France; IUFM, Université de Cergy-Pontoise, RP 815, 78008, Versailles, France.

<sup>4</sup>Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, BP 812, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun.

*Abstract.*—NKOUATHIO D.G., WANDJI P., BARDINTZEFF J.-M., TEMATIO P., KAGOU DONGMO A. and TCHOUA F., 2008. titre anglais. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 91.1: 1-14.

A recent (age ~ 0.2 My) explosive volcanism occurred in the Tombel Graben (fig. 1), which built up numerous cinder cones. The finest products (lapilli and volcanic ashes) of basaltic composition (tab. 1) are scattered on the whole plain. The authors carried out some trials in pots (bags) during one month with three repetitions. The goal of the experimentation is to test the use of the fine or pulverized pyroclastics rocks, as substitute of the chemical fertilizer. The experience has compared controls tests and pots which contain soils mixed with pyroclastic rocks and pots fertilized with a NPK (20-10-10) fertilizer (tab. 2 and 3). All these pots have been sowed of corn. We used a poor ferralitic soil (oxisoil, tab. 2) for experiments. The use of fine pyroclastic rocks (volcanic ash) as natural agricultural inputs improve some physical and chemical fertility parameters of soils, such as pH (fig. 2), cation exchange capacity (CEC), exchangeable bases and the rate of saturation (tab. 3 and 4, fig. 3). These improvements are due to the release of basic ions (K, Ca, Mg). However, Ca and Mg appear to be the most ready available elements in our samples. This is mostly due to an important stock of these elements in volcanic ash and their fast mineralization. This re-mineralization of soil is proportional to the quantity and grain-size of pyroclastic products. Best results are obtained for addition of 25 to 50 wt% of pyroclastic rocks, preferably crushed (fig. 4). Because of the slow and continuous release of some chemical elements, without any pollution, the tephra from Tombel, rich in Ca, Mg, K, a.s.o., could be recommended as fertilizer for poor acid soils or for crops having high requirements.

*Keywords:* Tombel graben, Cameroon, volcanic rock, pyroclastite, fertilization, rock fertilizer.

## INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Les sols intensément exploités pour les cultures s'appauvrissent rapidement. Pour demeurer fertiles, ils ont besoin d'un apport renouvelé en éléments chimiques nutritifs. Ceux-ci sont généralement fournis par des engrais chimiques. Malheureusement, dans les régions tropicales à forte pluviosité, ces engrais sont rapidement lessivés (OLIVRY 1986). Ces derniers s'infiltrent dans le sous-sol et entraînent la pollution des cours d'eau et des nappes souterraines, modifiant parfois gravement l'environnement. En outre, un apport intensif d'engrais peut entraîner l'acidification des sols (SCHAETZL et ANDERSON 2005). Pour pallier ces inconvénients, on peut concevoir des techniques appropriées imitant les systèmes naturels. L'une de ces techniques consiste à utiliser des roches naturelles (HARALDESEN et PEDERSEN 2003, BARRAL SILVA *et al.* 2005, KLEÏR et THORNHILL 2007) et plus particulièrement des roches volcaniques de type pyroclastite, à granulométrie fine, pour restaurer la fertilité des sols: c'est l'objet de la présente note.

Les sols, issus de l'altération des roches, portent l'empreinte chimique de la roche-mère (DUCHAUFOR 1998, 2001). Au fur et à mesure de la dissolution des minéraux constitutifs des roches, les éléments chimiques libérés dans le sol deviennent disponibles pour les plantes (LEORNARDOS *et al.* 1987). L'altération est d'autant plus rapide que les roches sont de granulométrie fine (cendres volcaniques, moraines, etc.) (FRAGSTEIN 1991).

Les régions riches en roches volcaniques sont particulièrement fertiles (BARDINTZEFF 2006). Ce qui est vrai en général, l'est en particulier en milieu intertropical (LEORNARDOS *et al.* 1987). C'est le cas du graben de Tombel, plaine appartenant à la Ligne volcanique du Cameroun (NKOUATHIO *et al.* 1998, 2002). Celui-ci doit sa fertilité aux retombées de tephra liées au dynamisme explosif récent (âge ~ 0,2 Ma, NKOUATHIO 2006) de nature basaltique qui l'a affecté (NKOUATHIO *et al.* 1999, 2004). Ce dynamisme est responsable de l'édification de nombreux cônes et du saupoudrage de la plaine par des quantités importantes de cendres volcaniques.

Dans le but d'évaluer le pouvoir fertilisant des projections volcaniques du graben de Tombel, nous avons effectué une série d'expériences. Il s'agit de nombreux essais de cultures de plants de maïs dans des sachets contenant des échantillons de sols plus ou moins enrichis en pyroclastites. Le suivi de la croissance de la plantule permet de mettre en évidence l'impact éventuel des pyroclastites.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES D'ÉTUDES

### *Matériels*

Nos expérimentations ont été réalisées sur les plants de maïs, croissant dans des sachets d'échantillons de sols ferrallitiques de la région de Yaoundé (fig. 1), parfois enrichis avec des cendres volcaniques (pyroclastites).

Les pyroclastites de Tombel sont de nature basaltique (fig. 1). Les analyses chimiques (tab. 1) confirment leur caractère basique ( $\text{SiO}_2 < 49\%$ ) et alcalin ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 3,8\%$  et atteignant 5,1%). Celui-ci est souligné par leur composition minéralogique reconnue au microscope polarisant (NKOUATHIO 1997, 2006) ou déterminée, pour les phases vitreuses de la mésostase, par l'étude des spectres de diffraction des rayons X (WANDJI 1995). Ces projections pyroclastiques sont principalement constituées d'olivine, de clinopyroxène (augite), de plagioclase (anorthite à labrador), d'oxydes ferrotitanés (ilménite, hématite, titanomagnétite) et de feldspathoïdes (analcime, néphéline). Il s'agit pour la majorité d'entre eux de minéraux silicatés basiques et des minéraux opaques, riches en calcium, magnésium ou fer ferreux.

Le maïs (*Zea mays*) est la principale culture vivrière au Cameroun (IFDC/USAID, 1986). C'est une plante exigeante, très sensible aux variations de fertilité du sol, d'où son intérêt dans le cadre de cette étude. Le maïs utilisé est une variété du CMS (Cameroon Maize Selection) type 8704, sélectionnée par l'IRA (Institut de Recherche Agronomique) de Nkolbisson à Yaoundé.

Le sol prélevé a été tamisé et seule la fraction inférieure à 2 mm a été utilisée (analyses: tab. 4). Des essais en pots ont été effectués avec du maïs. Des sachets

perforés pour permettre l'écoulement de l'eau ont été remplis d'un kilogramme de ce sol-témoin, mélangé ou non à des engrais (NPK 20 -10 - 10), et d'autres sachets remplis par un mélange de sol et de pyroclastites de différentes granulométries en proportions variées. Ces sachets sont disposés à l'extérieur, sur une tablette, à environ 40 cm du sol, pour éviter toute interférence avec lui. Ils reçoivent l'eau de pluie et sont de plus arrosés.

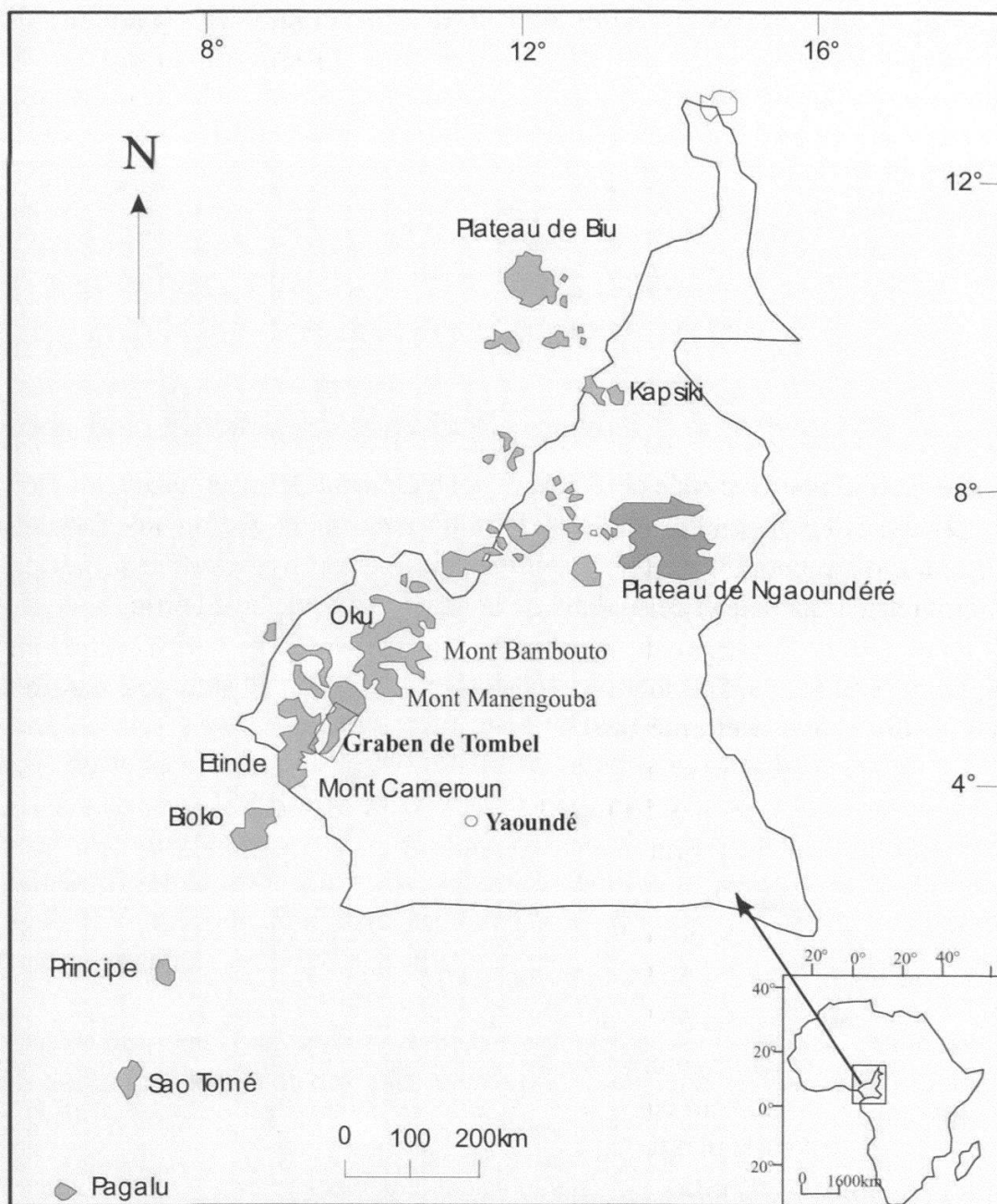


Figure 1.—Carte du Cameroun, montrant la localisation du graben de Tombel et de la région de Yaoundé. En grisé = Ligne volcanique du Cameroun.

Tableau 1.—Analyses chimiques de quelques pyroclastites de la plaine de Tombel en % poids (Bidjocka et al., 1993 (1); Tchoua, 1971 (2, 3); Wandji, 1995 (4, 5)).

Eléments	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	48,15	47,30	44,80	46,52	45,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,28	17,20	16,90	15,31	14,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,98	12,12	12,47	13,28	13,22
CaO	8,16	8,30	9,75	9,17	9,08
MgO	6,64	7,05	8,57	7,43	7,94
Na <sub>2</sub> O	3,00	4,95	4,63	3,60	3,60
K <sub>2</sub> O	0,80	1,66	2,07	1,50	1,50
TiO <sub>2</sub>	2,72	0,31	0,35	2,72	2,71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,31	0,38	-	-
MnO	0,16	0,24	0,24	0,19	0,18
H <sub>2</sub> O	-	-	0,22	0,31	-
Total	97,89	99,44	100,38	100,03	98,54

### Méthodes

Les pH sont mesurés suivant un rapport sol/solution de 1/2.5 à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode de verre et d'une électrode de référence.

Les bases échangeables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) sont extraites par une solution d'acétate d'ammonium (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) à pH 7. Le dosage du K<sup>+</sup> se fait par photométrie à flamme et celui du Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> par complexométrie.

La capacité d'échange cationique de chaque sol est mesurée après extraction de 2 g de sol par 10 ml de solution de BaCl<sub>2</sub> + NH<sub>4</sub>Cl à 0,2 M. Les cations sont ensuite dosés par spectrométrie d'absorption de flamme.

Pour chaque essai, nous avons expérimenté sur 5 exemplaires parallèlement (ce sont les moyennes des 5 qui ont été prises en compte). Onze expériences ont donc été conduites simultanément avec à chaque fois 5 répliqués (tab. 3):

- un sol témoin (T0)
- un sol enrichi avec des engrais classiques de type NPK (T2)
- quatre sols avec 5 à 50 % de pyroclastites naturelles (N1 à N4)
- quatre sols avec 5 à 50 % de pyroclastites broyées (B1 à B4)
- un essai avec des pyroclastites naturelles pures (100 %) (N5)

Quatre paramètres ont été pris en compte, comme témoins de la croissance et du rendement de la plantule:

(i) le nombre de feuilles par tige, (ii) la hauteur des plants, (iii) le diamètre du collet, (iv) la biomasse sèche.

Les relevés des données sur les plantes se sont fait après 2 semaines

d'expérience, après 3 semaines d'expérience et enfin après 1 mois pour les paramètres (i) et (ii) et directement après 1 mois d'expérience pour les paramètres (iii) et (iv).

L'expérimentation a été renouvelée 3 fois successivement, aux dépens des mêmes échantillons de sols, pour juger de leur épuisement progressif.

Tableau 2.—Analyses des sols de Nkong-Meyos (analyses effectuées à l'I.I.T.A., International Institute of Tropical Agriculture, Yaoundé). Capacité d'échange cationique (CEC) = quantité maximale de cations qu'un sol peut adsorber (échanger) (pour 100 g de matière sèche).

Paramètres	Duguma, 1989 in Messanga, 1992	Nkouathio, 1997
pH eau	5,67	5,73
Ca échangeable (me/100 g)	1,88	1,61
Mg échangeable (me/100 g)	0,90	0,91
K échangeable (me/100 g)	0,22	0,15
Acidité d'échange (me/100 g)	0,38	0,50
Al échangeable (me/100 g)	0,30	-
Capacité d'échange cation. (me/100 g)	3,70	3,17



Figure 2.—Evolution du pH en fonction des tests. S, Pi et Pt sont définis dans le tableau 4.

Après le premier essai, les sols de chaque traitement ont été analysés afin de les comparer au sol de départ et d'évaluer leurs taux de minéralisation selon la quantité de pyroclastites ajoutées. Nous avons déterminé chaque fois le pH, les bases échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) et les cations acides échangeables ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^{+}$ ) (tab. 4).

Tableau 3.—Proportion relatives des sols et des pyroclastites dans chaque sachet. T = Témoins; B = Matériaux pyroclastiques broyés finement (< 0,063 mm), N = Matériaux pyroclastiques de granulométrie fine (cendres volcaniques < 2 mm).

Echantillons	Nombre de sachets	Quantité de sol	Quantité de Pyroclastites
T0	5	1000g seul	0 g
T2	5	1000g +NPK (20-10-10)	0 g
B1	5	950 g	50 g
B2	5	900 g	100 g
B3	5	750 g	250 g
B4	5	500 g	500 g
N1	5	950 g	50 g
N2	5	900 g	100 g
N3	5	750 g	250 g
N4	5	500 g	500 g
N5	5	0 g	1000 g

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le sol utilisé pour les différents essais est un sol dégradé par la mise en cultures successives. Il a été prélevé à Nkong-Meyos, à 12 km à l'ouest de Yaoundé. Il s'agit de sols de type ferrallitique (C.P.C.S., 1967) très désaturés et acides, qui correspondent à des oxisols selon la «Soils taxonomy» (WRB, 1998). Ces sols sont plutôt acides ( $\text{pH} < 6$ , tableau 2), relativement pauvres en bases échangeables ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} < 3$ ) et généralement très profonds (épaisseur dépassant parfois 10 m). Ils sont physiquement très bons, mais chimiquement très pauvres car ils manquent d'éléments nutritifs (ONGUENÉ MALA 1993).

On note une augmentation importante des pH au cours de l'expérience. Les sols de départ moyennement acides deviennent très faiblement acides, au fur et

à mesure de l'accroissement du volume de pyroclastites préalablement broyés (échantillons B, fig. 2). L'acidité échangeable diminue pour se stabiliser autour de 0,15 me/100g de matériaux (tab. 4). En effet, au dessus du pH 5,5 l' $\text{Al}^{3+}$  s'insolubilise (MIDDELBURG *et al.* 1988; DUCHAUFOR 2001). La diminution de cette acidité des sols tests est liée au relargage des cations basiques, notamment le Ca et le Mg.

Les courbes d'évolution de la quantité des bases échangeables et de la capacité d'échange cationique (CEC) montrent un accroissement du taux de bases et de la CEC avec l'augmentation du volume de matériaux pyroclastiques ajoutés. Les concentrations les plus importantes sont celles du  $\text{Ca}^{2+}$ , suivis du  $\text{Mg}^{2+}$  et enfin du  $\text{K}^+$  (fig. 3). Cela implique un relargage important du Ca et du Mg contenu dans les pyroclastites. Les faibles taux de K s'expliquent simplement par les faibles proportions de K dans la roche (tab. 1). L'augmentation de la CEC malgré l'absence du changement dans la minéralogie des sols peut s'expliquer par l'addition de la CEC propre au sol et la CEC du matériaux pyroclastiques.

En ce qui concerne le nombre de feuilles (fig. 4a), il n'existe pas de différences vraiment significatives entre les différents traitements au cours de l'expérience. Il semblerait qu'après un mois, les plantules, qui ont poussé dans un mélange sol-pyroclastites aient systématiquement une feuille de plus (7 au lieu de 6). Les pyroclastites pures ne donnent pas un meilleur résultat que le sol seul. On peut aussi vérifier l'efficacité des engrais chimiques NPK (2 feuilles de plus).

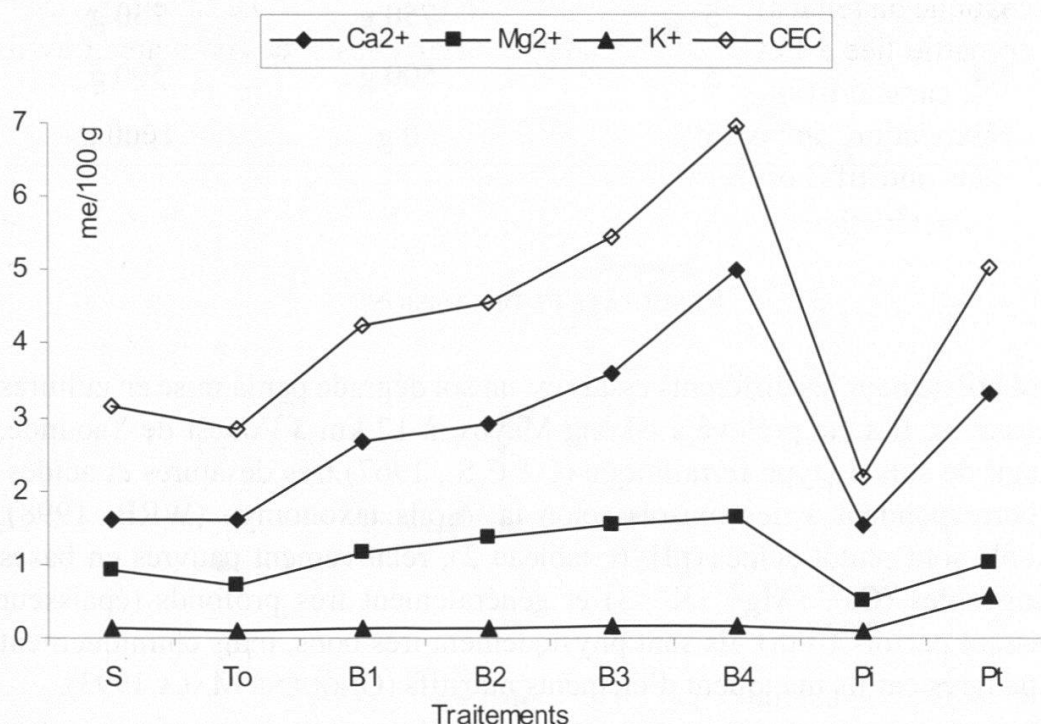


Figure 3.—Evolution de quelques paramètres chimiques en fonction des tests.

Les différents traitements ont eu plus d'effet sur la croissance en hauteur du maïs (fig. 4b). L'ajout des pyroclastites se fait de plus en plus sentir au cours du temps d'expérience. Les résultats sont meilleurs avec 25 ou 50 % de pyroclastites. Mais ils restent les mêmes, que celles-ci soient broyées ou non. Les résultats concernant les pyroclastites pures (croissance plus faible des plants plans) et l'engrais NPK (croissance accélérée) confirment l'expérience précédente.

Le diamètre du collet (fig. 4c) et la biomasse sèche (fig. 4d) sont les paramètres les plus susceptibles d'être associés à une augmentation du rendement (FRAGSTEIN 1991). On peut noter, ici aussi, des améliorations sensibles avec l'ajout de pyroclastites. Les valeurs de 25 et 50% donnent les meilleurs résultats, surtout pour les pyroclastites broyées. Mais il faut reconnaître que les bilans sont bien inférieurs à ceux obtenus avec de l'engrais NPK.

Au cours du second essai (B2, N2, T2) sur le même sol déjà appauvri (fig. 4d), on observe une augmentation du rendement dans la majorité des traitements avec des apports en pyroclastites. Cela est lié à la libération progressive des ions contenus dans ces roches. Par contre, le témoin et les sachets fertilisés à l'engrais NPK ont subi une baisse de leur rendement. Ceci prouve bien que les réserves nutritives contenues dans ces sachets s'épuisent progressivement, alors que pour les pyroclastites on a plutôt une libération continue des éléments nutritifs.

Au troisième essai sur le sol alors très appauvri (fig. 4d), la baisse systématique du rendement doit être interprétée avec prudence car elle pourrait être en partie liée à l'effet des abondantes pluies observées en mars et avril. Celles-ci, caractéristiques des régions intertropicales, ont pu être à l'origine d'une lixiviation importante, entraînant des quantités non négligeables d'éléments nutritifs hors des sachets perforés.

Les caractéristiques des sols analysés (tab. 4) après le premier essai, sont appréciées par rapport aux valeurs de références (BACHELIER 1951, LÉON 1979), fourchettes pour lesquelles les sols sont considérés comme fertiles.

L'ajout de pyroclastites augmente significativement le pH (de 5,2 à 6,4) de l'eau, qui se situe alors dans le domaine de fertilité de référence. Cette augmentation du pH est due en partie à une augmentation de la quantité des cations basiques échangeables, principalement les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . D'ailleurs parallèlement, la somme des bases échangeables augmente (de 2,4 à 6,8) alors que l'acidité échangeable diminue (0,4 à 0,15). Le taux de saturation en base des sols augmente également. En définitive, vu l'amélioration de leurs différentes caractéristiques géochimiques, les sols B3 et B4 acquièrent un niveau de fertilité assez bon.

Le sol témoin T0, plus pauvre, est fortement acide (pH = 5,21) et sa capacité d'échange cationique est par conséquent faible.

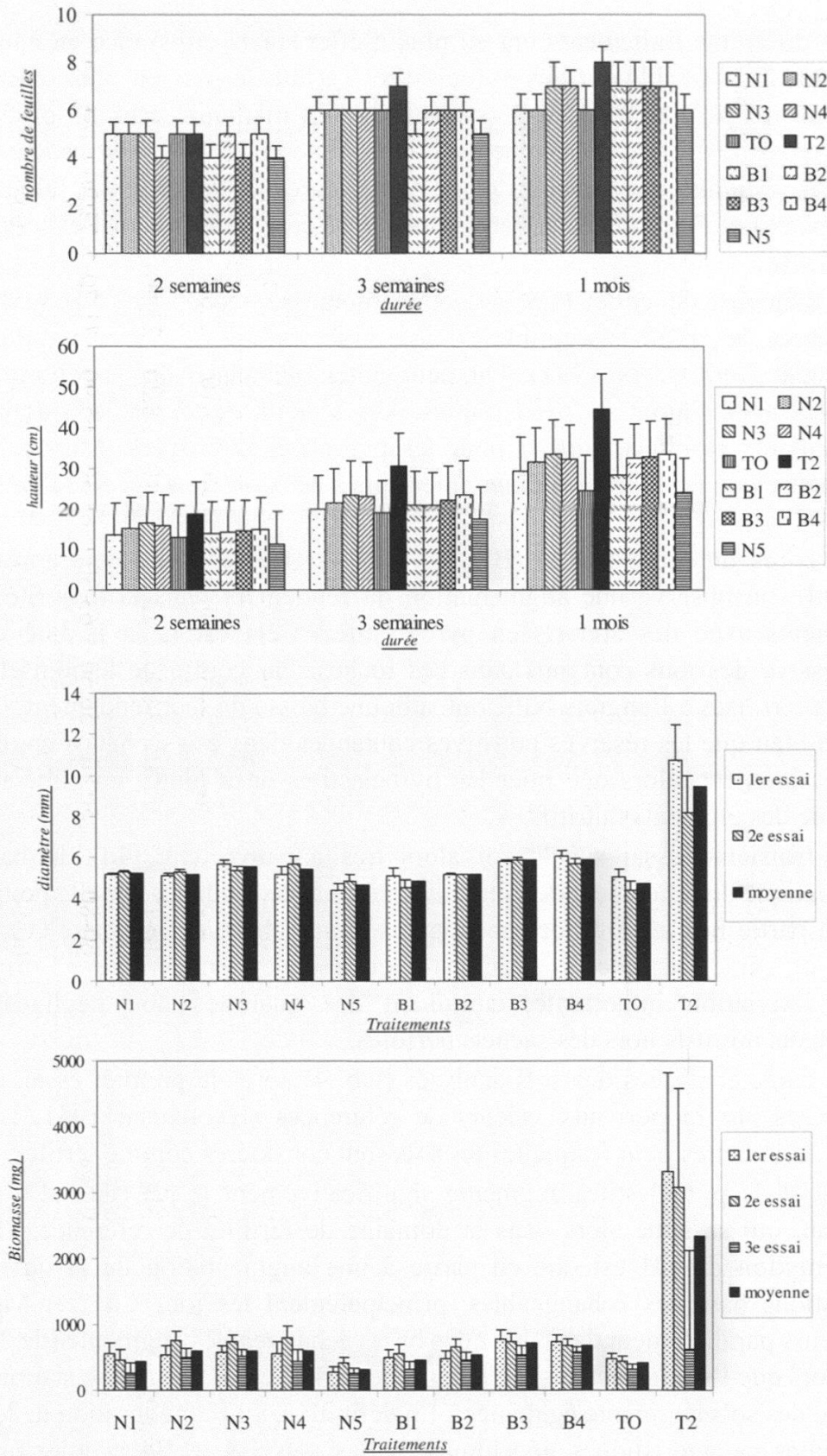


Figure 4.-a) Effet des traitements sur le nombre de feuilles (après 2 semaines, 3 semaines, 1 mois). b) Effet des traitements sur la hauteur des plants (après 2 semaines, 3 semaines, 1 mois). c) Effet des traitements sur le diamètre du collet (après 1 mois). d) Effet des traitements sur la biomasse sèche (après 1 mois).

Tableau 4.—Analyses des sols et des pyroclastites après le premier essai et calcul des différents paramètres. Valeurs de référence selon BACHELIER (1951) et LÉON (1979), S: sol de départ, Pi: pyroclastites initiales, Pt: pyroclastites trempées (immergées).

Paramètres physico-chimiques	Valeurs de référence									
		S	T0	B1	B2	B3	B4	Pi	Pt	
pH eau	6-7	5,73	5,21	5,14	5,72	6,42	6,38	7,15	6,94	
Ca <sup>2+</sup>	3,5-7	1,61	1,61	2,69	2,90	3,60	5,00	1,56	3,32	
Bases échangeables (me/100 g)	1,5-3	0,91	0,71	1,15	1,38	1,54	1,64	0,51	1,02	
K <sup>+</sup>	0,4-0,8	0,15	0,10	0,13	0,15	0,17	0,18	0,12	0,60	
Acidité d'échange (Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup> ) (me/100 g)		0,50	0,43	0,28	0,15	0,15	0,15	0,00	0,10	
CEC (me/100 g)	10-15	3,17	2,85	4,25	4,58	5,46	6,97	2,19	5,04	
S: Somme des bases échangeables (me/100 g)	10-15	2,67	2,42	3,97	4,43	5,31	6,82	2,19	4,94	
K %	2-5	4,73	3,50	3,10	3,30	3,10	2,60	5,48	11,9	
Mg %	10-15	28,70	24,90	23,50	30,10	28,20	23,50	23,30	20,20	
Ca %	60-80	50,80	56,50	63,30	63,30	65,90	71,70	71,20	65,20	
Saturation en bases % (S/CEC)	60-80	84,20	84,90	89,90	96,70	97,20	97,80	100,00	97,90	

Les pyroclastites sont riches en bases totales agronomiques, soit  $\text{CaO} > 8\%$ ,  $\text{MgO} > 6\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} > 1\%$  (tab. 1). Mais après un mélange avec un sol, celles-ci ne sont pas immédiatement disponibles pour les plantes: elles constituent uniquement des réserves potentielles (Ministère de la Coopération et du Développement, 1991). Afin de suppléer aux engrais comme fertilisants, elles doivent passer par une étape supplémentaire: la minéralisation. L'analyse des différents sols après le premier essai (tab. 4) montre que la vitesse de minéralisation des pyroclastites finement broyées est relativement rapide puisque les concentrations en éléments évoluent sensiblement après un mois d'expérience seulement.

Une expérience supplémentaire a été faite pour avoir une idée de la vitesse de minéralisation. Des pyroclastites ont été trempées (Pt) pendant neuf mois dans une même eau (pour éviter les problèmes de lessivage des ions par départ des solutions). La comparaison de leur composition avec celle des pyroclastites initiales (Pi) montre plus qu'un doublement de la quantité de bases échangeables dans la solution. Ceci confirme que la mise en solution des ions est assez rapide, à l'échelle de moins d'une année.

#### CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Grâce à des réserves en bases importantes, des pyroclastites peuvent enrichir des sols et, en quelque sorte, les rajeunir par la libération progressive de celles-ci.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec l'ajout 25 à 50 % de pyroclastites, broyées de préférence. Bien que moins efficace que les engrais classiques de type NPK, les pyroclastites présentent l'avantage de libérer les éléments nutritifs de façon lente et continue. Elles s'épuisent moins vite alors qu'il faut souvent renouveler l'épandage d'engrais. En outre elles ne sont pas polluantes, telles que les métaux lourds des engrais phosphatés naturels.

Ces roches volcaniques, de coût d'exploitation minime (même s'il faut tenir compte des frais de transport variables), présentent un apport indéniable: sans être un substitut parfait aux engrais chimiques, elles peuvent néanmoins contribuer à réduire les besoins des paysans en fertilisants chimiques. En particulier, elles s'avèrent être de bons amendements calco-magnésiens. Leur épandage sur les sols ferrallitiques tropicaux peuvent contribuer à réduire l'appauvrissement relativement rapide de ces sols par suite de l'agressivité des phénomènes d'érosion et de lessivage. Ils peuvent donc être utilisés comme fertilisants pour la reminéralisation des sols appauvris. Ils peuvent aussi être recommandés pour la culture de plantes exigeantes en certains éléments chimiques. Il s'agira alors de trouver un équilibre judicieux entre engrais chimiques et roches naturelles.

## REMERCIEMENTS

Cécile Quantin est remerciée pour la relecture minutieuse du manuscrit.

## BIBLIOGRAPHIE

- BACHELIER G., 1951. Essai d'un tableau d'interprétation des résultats analytiques pour les sols tropicaux. ORSTOM/IRCAM, IRA. 68 p.
- BARDINTZEFF J.M., 2006. Volcanologie. 3<sup>e</sup> éd., Dunod, Paris, 312 p.
- BARRAL SILVA M.T., SILVA HERMO B., GARCÍA-RODEJA E. and VÁZQUEZ FREIRE N., 2005. Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils. *Chemosphere* 6: 993-1002.
- BIDJOCKA C., TUSET J., MESSI A. et PERRA J., 1993. Étude et évaluation de l'activité pouzzolanique des pouzzolanes de Djungo (Cameroun). *Ann. Fac. Sc. HS Chim. & Sc. de la Terre*: 133-145.
- C.P.C.S. (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols), 1967. Classification des Sols. E.N.S.A. Paris-Grignon.
- DUCHAUFOR P., 1998. Pédologie. 2<sup>e</sup> éd., Masson, Paris. 224 p.
- DUCHAUFOR P., 2001. Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement. 6<sup>e</sup> éd. Dunod, Paris. 331p.
- FRAGSTEIN V.P., 1991. Silicate rock dusts as natural fertilizers. in: Remineralize the Earth, Soil remineralization. *Research Packet, Agriculture*: 73-76.
- HARALDSEN T.K. and PEDERSEN P.A., 2003. Mixtures of crushed rock, forest soils, and sewage sludge used as soils for grassed green areas. *Urban For. Urban Green*. 2: 41-51.
- IFDC/USAID (International Fertilizer Development Center / United State Agency for International Development), 1986. Etude du secteur des engrais au Cameroun. Muscle Shoals, Alabama, USA.
- KLEIR R.A. and THORNHILL M., 2007. Production of mechanically activated rock flour fertilizer by high intensive ultrafine grinding. *Minerals Engineering* 2:334-341.
- LÉON J.J., 1979. Introductory soil sciences, a study guide and laboratory manual. McMillan Publ. London. 264 p.
- LEONARDOS O.H., FYFE W.S. and KRONBERG B.I., 1987. The use of ground rocks in laterite system as improvement to the use of conventional soluble fertilizers. *Chem. Geol.* 60: 361-370.
- MESSANGA MBIDA A.B., 1992. Effets de la fertilisation du sol par des émondes d'essences agroforestières sur la croissance initiale et la concentration en macro-éléments du maïs. Mém. Ecole des Sci. Forestières, Univ. de Moncton, Canada. 63 p.
- MIDDELBURG J.J., WEIJDEN C.H.V.D. and WOITTIEZ J.R.W., 1988. Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks. *Chem. Geol.* 68: 253-273.
- Ministère de la Coopération et du Développement, République Française, 1991. Mémento de l'agronome. 4<sup>e</sup> éd. Collection Techniques rurales en Afrique. 1635 p.
- NKOUATHIO D.G., 1997. Le volcanisme récent du graben de Tombel (provinces du Littoral et du Sud-Ouest, Cameroun). Volcanologie, Géochimie, Pétrologie et valeurs agricoles. Thèse 3<sup>e</sup> cycle Univ. Yaoundé I. 179 p.
- NKOUATHIO D.G., 2006. Evolution tectono-magmatique et volcanologique de la Ligne du Cameroun: comparaison d'un volcanisme de graben (plaine de Tombel) et d'un volcanisme de horst (monts Bambouto). Thèse Doct. Etat, Univ. Yaoundé I, Cameroun. 231 p.
- NKOUATHIO D.G., WANDJI P., BARDINTZEFF J.M. and KAGOU DONGMO A., 2004. Pyroclastic rocks as natural fertilizers in Cameroon. S06d-pt-148, IAVCEI General Assembly, Pucon, Chile, November 14-19.

- NKOUATHIO D.G., WANDJI P., MÉNARD J.J., BARDINTZEFF J.M., VICAT J.P., DONGMO KAGOU A. et TCHOUA F.M., 1998. Critères pétrologiques et géochimiques des laves récentes du graben de Tombel (Ouest Cameroun). *Geosciences au Cameroun*, Vicat J.P. et Bilong P. (Ed.) coll. GEOCAM, t. 1. Presses Univ. Yaoundé I: 229-234.
- NKOUATHIO D.G., WANDJI P., TCHOUA F.M. et KAGOU DONGMO A., 1999. Revalorisation et intérêt économique des projections des volcans holomagmatiques du graben de Tombel (Ligne du Cameroun). *Géologie et environnements au Cameroun*, Vicat J.P. et Bilong P. (Ed.), coll. GEOCAM, t. 2, Presses Univ. Yaoundé: 339-345.
- NKOUATHIO D.G., MÉNARD J.J., WANDJI P. and BARDINTZEFF J.M., 2002. The Tombel graben (West Cameroon): a recent monogenetic volcanic field of the Cameroon Line. *J. Afr. Earth Sc.* 35, 2: 285-300.
- OLIVRY J., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. MESRES, ORSTOM. 733 p.
- ONGUENÉ MALA J.B., 1993. Différenciations pédologiques dans la région de Yaoundé (Cameroun) : transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune et relation avec l'évolution du modelé. Thèse Univ. Paris VI. 357 p.
- SCHAETZL J.R. and ANDERSON S., 2005. Soils. Genesis and geomorphology. Cambridge University Press. 817 p.
- TCHOUA F.M., 1971. Le volcanisme strombolien de la plaine de Tombel (Cameroun). *Ann. Fac. Sc. Cam.* 17, 3: 53-78.
- WANDJI P., 1995. Le volcanisme récent de la plaine du Noun (Ouest-Cameroun). Volcanologie, pétrologie, géochimie et pouzzolanité. Thèse d'État Univ. Yaoundé I Cameroun. 245 p.
- WRB, 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources 84, ISSS, ISRIC, FAO, Rome.

*Manuscrit reçu le 21 juin 2007*