

Impact du niébé (*Vigna unguiculata*) et de la fumure minérale sur les propriétés chimiques de la terre de barre du Bénin

G. L. Amadji et H. N.S. Aholoukpe

UAC. BP : 499 Calavi. République du Bénin

RÉSUMÉ

Un dispositif Split plot de deux facteurs (fumure et variété) a été installé chez six paysans à Gbékandji afin d'évaluer l'effet de trois formules de fumure : P47K25N45, P47K50N45 et P47K50N30 sur les caractéristiques du sol. Sur le sol témoin, indépendamment de la variété de niébé, le Corg. et le phosphore ont baissé. A part l'amélioration du potassium et du phosphore induite par le traitement P47K50N30, tous les autres paramètres ont chuté suite aux trois fumures testées. En intégrant tous ces effets des traitements et les investissements qui y sont liés, le traitement P47K50N30 est écologiquement le plus bénéfique pour le paysan.

Mots clés

Niébé, fumure, azote, potassium, terre de barre.

SUMMARY

EFFECT OF COWPEA (*VIGNA UNGUICULATA*) AND MINERAL FERTILIZERS ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF A FERRALSOL OF BENIN

A split-plot design of two factors (fertilizer and variety) has been conducted with six peasants in the village of Gbekandji to evaluate the effect of three fertilizer formulas : P47K25N45, P47K50N45 and P47K50N30 on the characteristics of the ferralsol. The covariance analysis of the variation of soil characteristics shows that no significant effect of fertilizers and cowpea varieties on soil acidity has been observed. Under creeping cowpea variety V1, only total phosphorus content has increased ; the treatment P47K50N30 has increased the total phosphorus content. But under erected variety of cowpea V2, this treatment has significantly increased in the soil total phosphorus content at 30 % and potash at 168 %. On the control plot, for the all varieties of cowpea, Corg, and phosphorus have decreased. Similarly, the three fertilizers

have induced the decrease of those parameters, except an improvement of potassium and phosphorus by P47K50N30. The former use of peasant field has significantly highly influenced the sum of exchangeable bases, CEC, total nitrogen and significantly (at 5 % threshold) influenced soil acidity, potash and available phosphorus ; but it has not affected the carbon and total phosphorus. Integrating all the effects of fertilizer treatments and linked investments, the fertilizer formula P47K50N30 appeared more ecologically profitable to the peasant.

Key-words

Cowpea, fertilizer, nitrogen, potassium, terre de barre.

RESUMEN

IMPACTO DEL JUDÍA DE VARA (VIGNA UNGUICULATA) Y DEL ABONO MINERAL SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA TIERRA DE « BARRE » DE BENIN

Se instalo un dispositivo Split plot de dos factores (abono y variedad) en campos de seis campesinos de Gbékandji a fin de evaluar el efecto de tres formulas de abono: P47K25N45, P47K50N45 et P47K50N30 sobre las características del suelo. Sobre el suelo testigo, independientemente de la variedad de judía de vara, el C orgánico y el fósforo disminuyeron. Salvo de la mejora del potasio y del fósforo inducida por el tratamiento P47K50N30, todos los otros parámetros bajaron a consecuencia de los tres abonos probados. Integrando todos estos efectos de los tratamientos y las inversiones que están ligados, el tratamiento P47K50N30 está ecológicamente el más benéfico para el campesino.

Palabras clave

Judía de vara, abono, nitrógeno, potasio, tierra de "barre".

L'augmentation des densités de population rurales occasionne une rapide dégradation de la fertilité des sols tropicaux. Au Bénin, les terres de barre, dominantes au sud, n'occupent que 7 à 10 % de la couverture pédologique nationale, mais concentrent plus de 30 % de la population, avec des densités de l'ordre de 200 à 300 habitants/km² (Azontondé, 1999). Dans la plupart des régions tropicales, face au problème de dégradation des sols, la plus ancienne des méthodes de correction utilisées est la jachère de longue durée (Versteeg et Koudokpon, 1991). Les différents travaux qui comparent les systèmes de culture et de jachère ont montré que pour les sols cultivés le bilan annuel des éléments nutritifs est négatif et qu'à l'inverse, sous jachère, ce bilan est positif (Somé *et al.*, 2000). Mais bien que biologiquement très efficace, la jachère n'est effectivement appliquée que lorsqu'il y a assez de terres disponibles (Agbo, 1999). Les jachères subissent une forte pression agrosylvopastorale, ayant pour conséquence la diminution de la fertilité des sols (Maïga, 2000). C'est pourquoi de nouvelles options sont étudiées, dont l'introduction de légumineuses. Une des légumineuses supposées améliorer le sol est le niébé; il se retrouve dans de nombreux systèmes de rotation de cultures ou en culture pure. Dans toute l'Afrique de l'Ouest, le niébé offre une gamme variée de préparations culinaires, fournit du fourrage d'excellente qualité et contribue aussi au maintien et/ou à l'amélioration de la fertilité du sol (Kergna, 2001). Malheureusement, très peu de travaux ont été consacrés au rôle du niébé sur la fertilité des sols. Les résultats des travaux de Bado (2002) ont montré très clairement que les sols des rotations comportant les légumineuses fournissaient plus d'azote au sorgho comparativement à ceux de la monoculture. Giller *et al.* (1995) ont montré que 15 à 20 % de l'azote atmosphérique fixé par les légumineuses était réutilisé par la culture succédant. Plusieurs travaux ont évoqué une interaction positive entre la nutrition azotée et phosphatée (Foth, 1990; Christianson et Vleck, 1991). Si la plante utilise mieux l'azote lorsqu'elle est bien alimentée en phosphore, une bonne nutrition en azote favorise également l'absorption du phosphore, expliquant ainsi l'effet bénéfique des légumineuses sur la nutrition phosphatée. Cet effet bénéfique sur le phosphore peut être lié spécifiquement au P contenu dans les résidus et aux exsudats racinaires des légumineuses.

L'hypothèse de ce travail est qu'en milieu réel, la variété de la culture pratiquée et le niveau de fumure minérale changent considérablement les paramètres de fertilité du sol.

L'objectif de cette étude est d'évaluer en milieu paysan au Bénin l'effet de trois systèmes de fumure (P47K25N45, P47K50N30, P47K50N45), de deux variétés de niébé et du mode d'exploitation paysanne sur différentes caractéristiques physico-chimiques d'une terre de barre.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériels

Le cadre de l'étude: la zone d'étude est située à 6 km au sud - est de la ville d'Adjohoun qui est à 60 km au nord de la ville de Porto-novo, capitale du Bénin (figure 1). La zone correspond à un plateau entaillé de petites dépressions fermées « dolines » de 5 à 10 m de profondeur et de 10 à 100 m de longueur. Cette monotonie géomorphologique est caractéristique de tous les plateaux du continental terminal du sud du Bénin (Sakété et allada). On y retrouve des sols ferrallitiques faiblement désaturés, appauvris ou remaniés, hydromorphes, avec ou sans concrétions. Le matériau originel de formation des sols est variable (argilo-sableux, grès ou colluvions argilo sableuses).

La zone d'étude, Gbékandji, comprise entre 6° et 7°5 de latitude nord, est soumise à un climat de type soudano guinéen à quatre saisons (deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches) avec une répartition des pluies très irrégulière, avec une moyenne annuelle de 1245 mm. Au cours de la période d'essai (juin - septembre 2002) le total des relevés pluviométriques a été de 495 mm, avec des températures moyennes maximale et minimale respectives de 35 °C et 25 °C durant la période de l'expérimentation.

La forêt sèche initiale est partout remplacée par les plantations de palmier à huile et quelques aires reboisées d'*Eucalyptus torreliana*, d'*Acacia auriculiformis* et de *Tectona grandis*.

Le sol du site (Lat. 6°42'16"N, Long.2°32'44"E) correspond à un sol de plateau, de couleur rouge, développé sur des matériaux sédimentaires du continental terminal et il est appelé localement « terre de barre ». Selon la FAO, il s'agit d'un Ferralsole rhodique, mollique sous forêt et ochrique sous culture; suivant la soil taxonomy USDA, c'est un eustrustox (*cf. encart p. 152*). **Les terres de barre** sont des sols ferrallitiques, faiblement désaturés, appauvris, modaux, caractérisés par la succession d'un horizon humifère sableux, d'un horizon de transition devenant sablo-argileux puis d'un horizon rouge (2,5YR 4/6), très friable à l'état humide, argilo-sableux, qui peut se poursuivre sur plus de 10 m de profondeur par un matériau très semblable mais plus compact. Le matériau originel est un sédiment argilo-sableux très évolué où ne subsistent plus que la kaolinite, le quartz et la goéthite (3 à 8 % de fer); au niveau des terres de barre la pédogenèse actuelle ne concerne plus que les horizons de surface, par appauvrissement et lixiviation (Viennot, 1981).

L'azote, le phosphore et le potassium ont été apportés aux plants respectivement sous forme d'urée CO(NH₂)₂, de superphosphate (TSP) et de chlorure de potassium (KCl). Les deux variétés de niébé testées ont été choisies par les producteurs suivant leurs besoins alimentaires et commerciaux: une variété à port rampant appelée « Tontouin » et une variété à un port érigé appelée « Téryvi ».

Méthodes

L'essai a consisté à apprécier, chez six paysans, l'effet de différentes doses d'engrais minéraux précédemment identifiées en vases de végétation comme bénéfiques sur le rendement des deux variétés de niébé et les caractéristiques de la terre de barre. Le dispositif expérimental utilisé est le split-plot avec la fumure comme facteur principal et la variété de niébé comme facteur secondaire. Le facteur principal (fumure) est à cinq niveaux, le facteur secondaire (variété) est à deux niveaux, le tout répété six fois (six blocs = six paysans). En milieu réel, chaque paysan a entretenu son exploitation à sa manière, différente de celle de l'autre. Ainsi, les six champs d'essai diffèrent les uns des autres par leurs passés culturaux et leurs caractéristiques physico-chimiques; raison pour laquelle avant l'essai, chaque champ paysan, considéré comme presque homogène (bloc), a été échantillonné suivant ses deux diagonales, donnant ainsi un échantillon composite, traduisant son état initial.

À la récolte, par contre, au sein du même champ paysan (bloc), chacune des dix parcelles élémentaires (5 traitements x 2 variétés) a été échantillonnée pour analyse chimique.

Le facteur fumure, à cinq niveaux comporte trois doses d'engrais et deux sans engrais équivalant, l'un au témoin absolu (O) sous gestion chercheur et l'autre à la pratique paysanne (PP). Cette pratique paysanne consiste en la cueillette des jeunes feuilles à des fins alimentaires. Ainsi chaque paysan a abrité sur son champ 10 parcelles élémentaires suivant le schéma suivant:

VARIÉTÉ À PORT RAMPANT « Tontouin » V1				
O	P47K25N45	PP	P47K50N30	P47K50N45

VARIÉTÉ À PORT ÉRIGÉ « Téryivi » V2				
P47K25N45	O	P47K50N45	P47K50N30	PP

O = témoin sans engrais, sous gestion chercheur

PP = témoin sans engrais, sous pratique paysanne

La densité de semis est de 125 000 plants par hectare pour la variété érigée et de 62 500 plants par hectare pour la variété rampante.

Les engrais phosphatés et potassiques sont épandus à la volée avant le labour; l'urée est appliquée en ligne deux semaines après le semis.

La collecte des données biométriques et de rendement a eu lieu au cours de l'essai.

Les échantillons de la couche arable du sol (0-20 cm) des parcelles de chaque paysan ont été prélevés à la tarière au début et à la fin de l'essai et analysés au laboratoire pour les paramètres suivants (tableau 1):

- La granulométrie par la méthode de la pipette de Robinson
- L'acidité du sol avec un rapport sol : eau de 1 : 2.5
- L'azote total par distillation selon la méthode de Kjeldahl
- Les bases échangeables (Ca, Mg et K) par la méthode de

Metson, consistant à déplacer ces cations par une solution normale d'acétate d'ammonium à pH 7; le dosage des bases s'est fait par spectrométrie d'absorption atomique (SAA Unicam 929)

- La capacité d'échange cationique (CEC) par la désaturation du complexe argilo humique par l'ammonium et le dosage de ce dernier par distillation de l'azote désorbé.
- Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Bray1; le sol est attaqué par la solution Bray1 ($x\text{NH}_4\text{F} + y\text{HCl}$) à pH 1,5; le filtrat est mélangé avec l'acide borique, l'acide ascorbique et la solution sulfomolybdique; ce mélange placé au bain-marie à 85 °C pendant 10 minutes se colore en bleu; il est lu au colorimètre à 665 nm.
- Le phosphore total a été déterminé par la méthode de Duval; le sol est longuement attaqué au feu par HNO_3 concentré bouillant; le phosphore total est libéré et lu après coloration en bleu par du molybdate d'ammonium en présence de l'acide sulfurique, avec un colorimètre à 650 nm.

Comme, l'état initial (avant essai) des six blocs (champs paysans) était différent, l'état final (à la récolte) de chacune des dix parcelles élémentaires a été comparé à l'initial de son bloc. Ainsi, l'analyse statistique des données collectées a été réalisée par l'étude de la covariance (ANCOVA) du logiciel SAS afin d'affirmer ou non l'égalité des moyennes; ces dernières ont été classées à base du test de Student-Newman Keuls (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 %. Cette analyse de covariance permet d'évaluer l'effet des traitements, tout en tenant compte du passé culturel particulier (état initial) de chaque bloc (champ du paysan).

Résultats

L'effet des traitements sur la production du niébé est publié (Amadji et Gliho, 2005). Toutes variétés confondues, cet impact sur la production de grains et de fanes de niébé en vases de végétation est hautement significatif au seuil de 5 % par rapport au témoin, de +52 %. Cependant les trois systèmes de fumure testés ont produit en milieu paysan des rendements en grains statistiquement identiques au seuil de 5 % par variété; mais le système $\text{P}_{47}\text{K}_{25}\text{N}_{45}$ a donné le rendement arithmétiquement le plus élevé et économiquement le plus rentable.

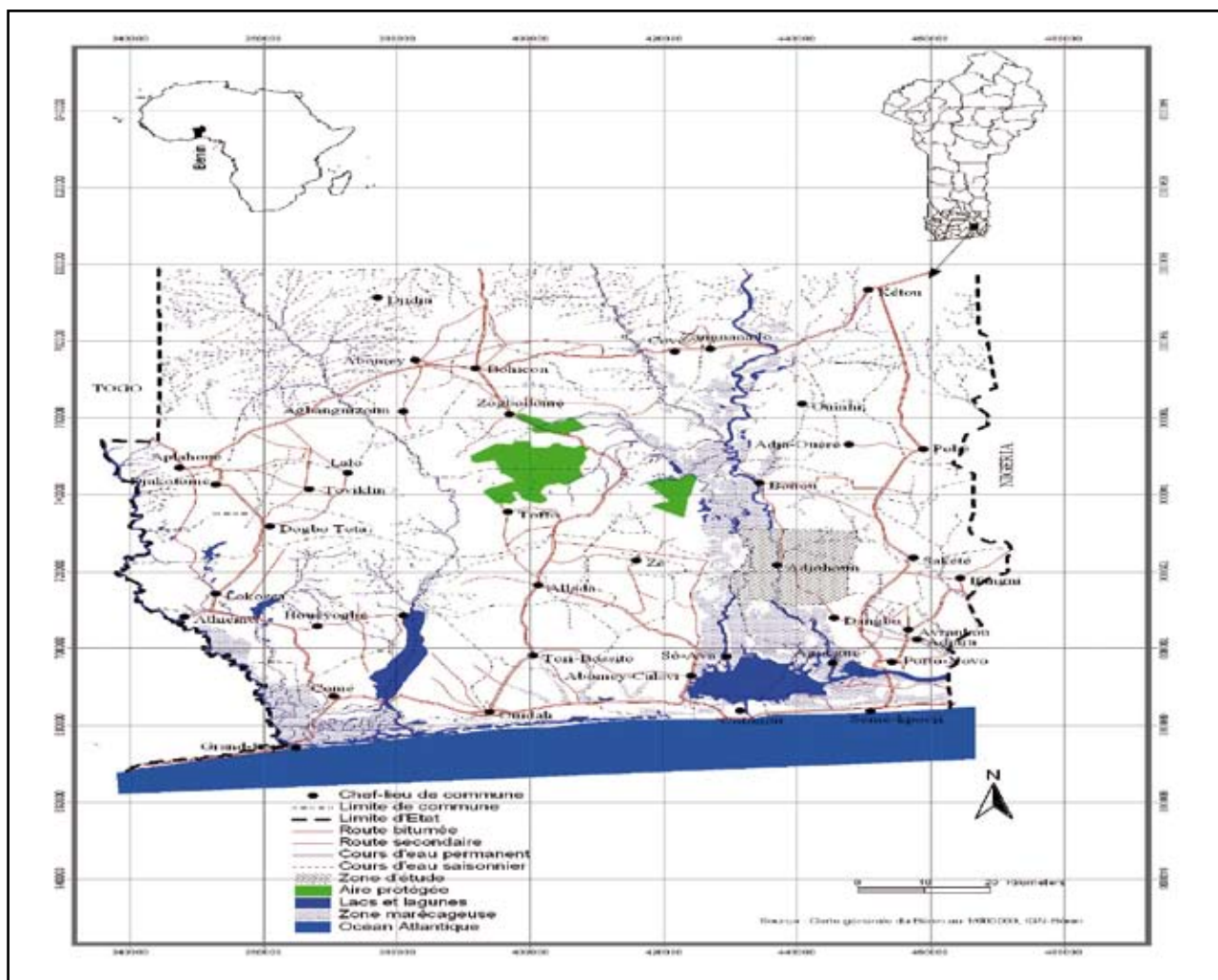
Comment la variété de niébé, les traitements et les pratiques paysannes ont-ils agi sur le sol, et présentent-ils des interactions? Quelle est la part de la variabilité initiale des sols dans le changement des valeurs de leurs caractéristiques à la fin de l'essai?

Caractéristiques physiques et chimiques des sols avant essai (0- 20 cm)

Les caractéristiques moyennes de la couche arable du sol des différents paysans (tableau 1) révèlent que, comme la plupart des Ferralsols, ceux de la zone d'essai (Gbékandji) présentent une faible teneur en argile en surface qui augmente en profondeur. Il en

Figure 1 - Situation géographique de la zone d'étude

Figure 1 - Study area location



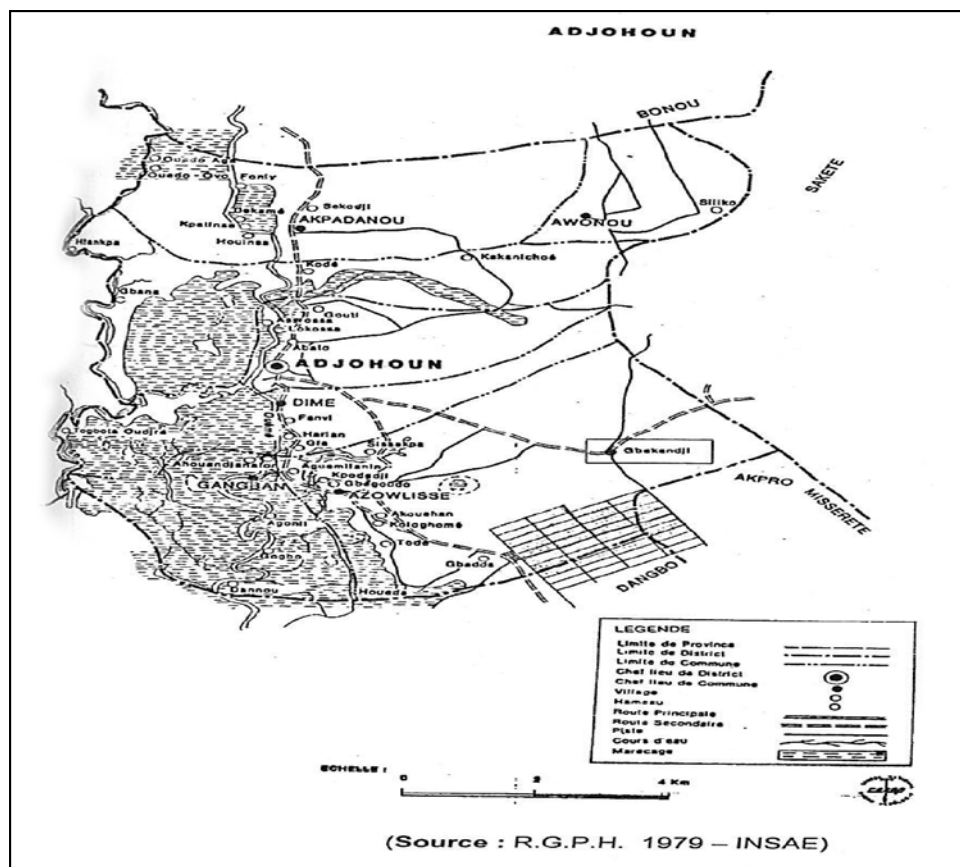
résulte une faible capacité de rétention en eau et donc des risques de stress hydrique pour les cultures annuelles dont la majorité des racines reste confinée dans les horizons de surface.

Ces champs, bien que situés dans la même zone, se trouvent dans un rayon d'au moins 5 km ; leurs caractéristiques ont varié d'un paysan à l'autre, suivant l'historique et les pratiques antérieures de chaque producteur avant l'essai. Le premier sol est acide, à faibles teneurs en potassium et en phosphore car ayant abrité d'après le paysan, plusieurs fois la culture de maïs et de manioc ; le second est à faible teneur en matière organique car utilisé depuis quinze ans sous le manioc et le maïs, sans aucune jachère. Le troisième et le quatrième sol sont neutres et possèdent une teneur plus importante en phosphore assimilable (2,85 et 3,45 ppm) et en azote total (0,06 %) que les deux premiers sols ; ces deux sols avaient porté ces cinq dernières années les associations maïs-manioc, maïs-arachide et parfois maïs-sésame. Le cinquième sol est plus riche en éléments nutritifs, contient plus de carbone organique

(0,92 %) et d'azote total (0,07 %), car utilisé seulement pendant trois années après une jachère de 5 ans. Le dernier sol est cultivé depuis dix ans sous les associations maïs-manioc et maïs-sésame ; il a porté, il y a trois ans la tomate et le niébé ; cette exploitation intensive de ce sol l'a appauvri ; son pH = 5,65, avec une somme des bases échangeables et une CEC très faibles, respectivement 4,31 Cmol.kg⁻¹ et 5,83 Cmol.kg⁻¹ Cependant tous ces six sols forment un groupe homogène, comme le prouvent des CV inférieurs à 10 % pour la moitié des paramètres mesurés (tableau 1).

Le pH de tous les sols est proche de la neutralité. Les teneurs en bases échangeables sont relativement faibles (moins de 10 Cmol.kg⁻¹) ; le cation le plus abondant est le calcium. Comme pour la capacité d'échange cationique, on observe une large variation d'un paysan à un autre.

Cette double variation de la CEC et des teneurs en bases échangeables conduit à l'obtention des taux de saturation en bases

Figure 1 - Localisation de la zone d'étude**Figure 1** - Study area location

de 69,6 %, avec un maximum de 74 % là où nous avons la teneur en argile la plus élevée (13,7 %).

Les teneurs en carbone organique sont généralement inférieures à 1 %.

Les teneurs en azote total sont très faibles, avec une large variation d'une exploitation à une autre (CV de 15 %). Ces teneurs en azote expliquent les valeurs élevées des ratios C/N (de 14 à 19), témoignant d'une faible minéralisation de la matière organique de ces sols. Les teneurs en phosphore total et assimilable sont faibles, avec une grande variation des teneurs en phosphore assimilable (CV = 35 %) suivant les exploitations.

Effet combiné de la fumure et des variétés de niébé sur les paramètres physico-chimiques du sol

À la récolte, par rapport à la situation d'avant essai, l'acidité des sols a légèrement augmenté, (pH_{eau} de 6,7 à 6,4); cette tendance est plus marquée sur les sols ayant reçu une fumure (tableau 2) bien que les différences ne soient pas significatives. Sous la variété rampante V1 le pH_{KCl} a baissé par rapport à la situation en début d'essai, mais est devenu stable quel que soit le traitement; alors que

sous la variété érigée V2 il y a eu une légère réduction de l'acidité, mais statistiquement non significative; ainsi, la variété du niébé n'a eu aucun effet significatif sur l'acidité du sol. Même si d'un paysan à l'autre l'impact des fumures testées a été tantôt positif, tantôt négatif, aucun effet moyen de ces traitements sur l'acidité du sol à la récolte n'a été statistiquement significatif au seuil de 5 %, quelle que soit la variété de niébé.

Au niveau de la variété rampante V1, seule la teneur en phosphore total montre une différence significative; le traitement P47K50N30 a une teneur significativement (seuil de 5 %) plus élevée en phosphore total du sol de 34 % par rapport au témoin sans fumure; la fumure P47K25N45 occupe une position intermédiaire. Sous la variété érigée V2, l'effet des fumures sur les teneurs en potassium échangeable et en phosphore total a été marquant; le traitement P47K50N30 a significativement (seuil de 5 %) augmenté de 30 % la réserve en phosphore total du sol et de 168 % celle en potassium par rapport au témoin sans fumure. Le traitement P47K25N45 n'a pas eu un effet significatif sur ces caractéristiques comparativement au témoin.

Toutes variétés confondues, l'effet des fumures appliquées sur la terre de barre a varié selon les caractéristiques du sol (tableau 3).

Description du profil d'une terre de barre (Sud Bénin) / Ferralitic soil profile description (South Benin)

Informations sur la station du profil

Nom du sol : sol rouge des plateaux

Unité supérieure de classification : ferrallitique

Géomorphologie :

- position topographique de la station : haut de pente
- géomorphologie de la zone environnante : glacis de dénudation
- microtopographie : pente de classe nulle
- Végétation ou utilisation : champ de maïs, galeries forestières

Vue d'une fosse (carrière)

sur terre de barre de 10 m de

profondeur. Forte teneur de tous les horizons en sesquioxyde de fer (couleur rouge) ; profil très profond, sans taches ni concrétions. Présence presque exclusive de kaolinite.

Informations générales sur le sol

- Roche-mère : sédiment argilo-sableux du continental terminal
- Drainage : parfait
- Etat hydrique du sol : frais à sec
- Profondeur de la nappe phréatique : non visible
- Présence de cailloux en surface ou d'affleurements rocheux : non
- Manifestations de l'érosion : non
- Présence de sel ou d'alcalinité : non
- Influence humaine : champ de maïs

Description brève du profil

Sol sableux en surface à argile sableuse, rouge en profondeur. La teneur en argile rouge croît avec la profondeur du profil. Profil de type : A_n, AB, Bt₁, Bt₂, Bt₃

Description des horizons :

0 - 10 cm : Brun-grisâtre très foncé (10YR 3/2) ; sec ; sableux ; structure grumeleuse fine à tendance polyédrique grossière ; un peu compact ; non collant, non plastique ; très poreux ; nombreuses racines fines et moyennes ; bonne activité biologique ; transition graduelle, irrégulière.

10- 30 cm : Brun (7,5YR 4/4) ; sec ; structure grumeleuse à tendance polyédrique grossière ; compact ; non collant, non plastique ; très poreux ; nombreuse racines fines et moyennes ; bonne activité biologique ; transition distincte, irrégulière.

30 - 60 cm : Rouge (2,5 YR 4/6) ; sec ; argile sableuse à limon argilo-sableux ; structure massive *in situ* ; compact ; peu plastique ; assez poreux ; assez de racines fines ; transition graduelle, régulière.

60 - 160 cm : Rouge (2,5YR 4/6) ; frais ; argile ; structure massive *in situ* ; collant, peu plastique ; rares racines fines ; compact ; peu poreux.

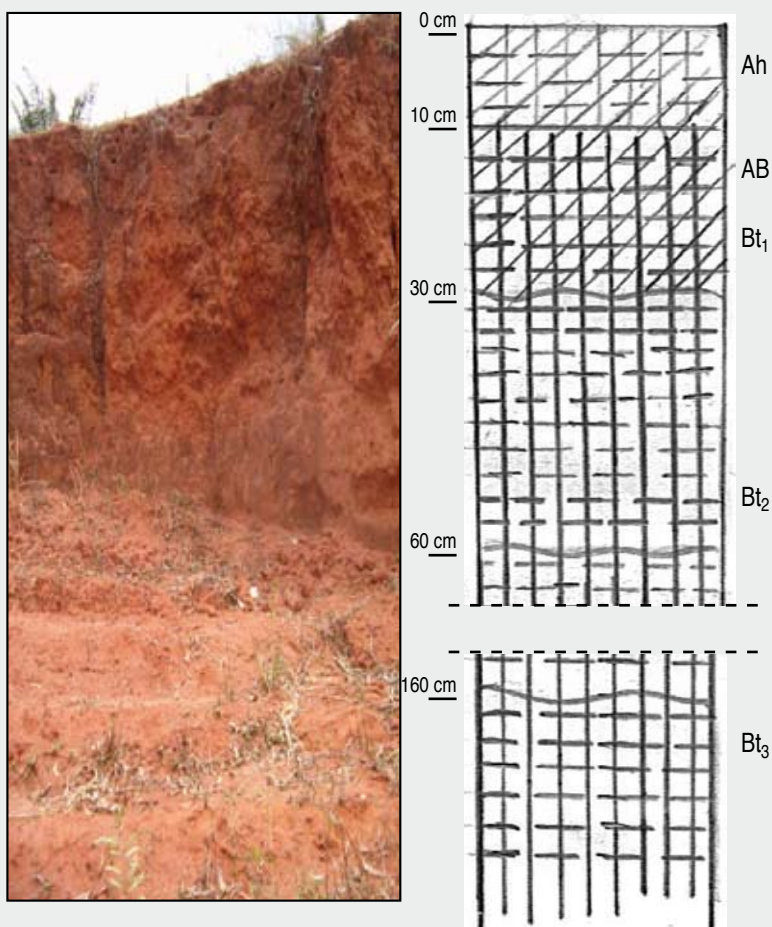


Tableau 1 - Caractéristiques physiques et chimiques des sols avant essai (0-20cm) (n = 6)**Table 1** - Soils characteristics of the sites (0 - 20 cm).

Paramètres		Valeurs			
		moyenne	minimum	maximum	CV%
Argile	%	10,4 ± 0,6	9,5	13,7	6,8
Limons		2,8 ± 0,3	1,9	3,6	5,9
Sable		86,8 ± 2,4	84,3	89,5	3,6
pH	eau	6,7 ± 0,04	6,2	6,9	3,6
	KCl	5,8 ± 0,04	5,3	6,1	4,3
Ca	cmol.kg ⁻¹	3,4 ± 0,10	2,6	4,5	18,2
Mg		0,4 ± 0,01	0,3	0,5	16,7
K		0,3 ± 0,01	0,2	0,4	24,1
Bases échang.		4,1 ± 0,12	3,1	5,3	17,7
CEC		5,8 ± 0,16	4,4	7,3	16,4
Taux sat.(V)	%	69,6 ± 0,7	62,6	73,9	5,6
C _{org.}		0,9 ± 0,01	0,8	0,9	5,7
N _{tot.}		0,05 ± 0,001	0,04	0,07	15,4
C/N		16 ± 0,29	14	19	10,8
P _{ass.}	mg kg ⁻¹	2,6 ± 0,15	1,3	3,6	35,1
P _{tot}		115,1 ± 3,13	98,2	154,2	16,3

Ces données montrent que surtout deux teneurs en éléments nutritifs ont subi des changements importants : le potassium et le phosphore total. Le traitement P47K25N45 a eu les mêmes effets que le témoin sur les caractéristiques du sol ; mais le traitement P47K50N30 a significativement (seuil de 5 %) doublé celle en potassium et augmenté de 32 % la teneur en phosphore total.

Malgré l'augmentation de la dose de l'azote minéral de 50 %, ni la teneur en azote total, ni le ratio C/N du sol n'ont significativement changé.

Mais indépendamment des traitements, certaines caractéristiques du sol ont été influencées par les variétés de niébé : le potassium, et l'azote total (tableau 4). La variété à port érigé V2 a augmenté significativement la teneur du sol en potassium de 35 % et 8 % celle en azote total par rapport à la variété rampante V1.

Ces différents systèmes de fumure testés avaient été dégagés comme rentables du point de vue agronomique, au cours des essais en pots, dans l'ordre suivant : P47K25N45 < P47K50N45 < P47K50N30. Mais en milieu paysan, plusieurs facteurs autres que la fumure et la variété interviennent, isolément et en interaction (tableau 5).

L'étude de la covariance des différentes caractéristiques en fonction des diverses sources a révélé différents degrés de signification ; ainsi, l'état initial des sols (avant essai) par exploitation paysanne a eu une influence significative sur les caractéristiques

chimiques des sols à la récolte. Ces paramètres initiaux ont eu un effet hautement significatif ($P < 0,01$) sur la teneur en calcium, la somme des bases échangeables, la capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en phosphore total du sol à la récolte. L'effet sur le carbone organique à la récolte a été significatif au seuil de 5 %. Ainsi, l'étude de la covariance nous a permis, en comparaison avec les états initiaux, de comprendre que les effets lieux (sols) sur ces caractéristiques chimiques à la récolte sont considérables.

La variété de niébé a eu un effet hautement significatif sur le potassium, et significatif sur la CEC à 5 %.

Le type d'exploitation paysanne a très significativement influencé la teneur du sol en Ca, Mg, la somme des bases échangeables (S) la CEC et l'azote total. L'effet des exploitations sur l'acidité du sol, le potassium et le phosphore assimilable a été significatif au seuil de 5 %. Les teneurs en carbone et en phosphore total n'ont pas été affectées par le type d'exploitation paysanne.

Les fumures ont eu un effet hautement significatif sur les teneurs en potassium et en phosphore total du sol. L'interaction variété-traitement n'a significativement influencé au seuil de 5 % que la teneur du sol en potassium. Mais l'interaction paysan-variété n'a eu d'effet significatif au seuil de 5 % sur aucun paramètre physico-chimique du sol.

Tableau 2 - Caractéristiques physico-chimiques moyennes des six sols d'exploitations paysannes à la récolte par variété (Analyse de covariance, plus Student Newman et Keuls). (n = 6)

Table 2 - Soils characteristics after cowpea harvesting.

Variété	Traitement	pH		Ca	Mg	K	Som. bases	CEC	V	C _{org.}	N _{tot.}	C/N	P _{ass}	P _{tot}
		eau	KCl											
V1	0	6.4 ±0.06 a	5.7±0.09 a	3.2±0.29 a	0.5±0.08 a	0.3±0.03 a	3.9± 0.35 a	5.9±0.44 a	74.1 ±3.7 a	0.7±0.05 a	0.05 ±0.002 a	16 ±0.97 a	2.4±1.31 a	97.2 ±8.63 b
	P47K25N45	6.4±0.11 a	5.7±0.11 a	3.0 ±0.28 a	0.5 ±0.12 a	0.3±0.04 a	3.7± 0.36 a	5.4 ±0.42 a	68.6±4.3 a	0.7 ±0.04 a	0.05±0.002 a	15±0.30 a	3.8± 0.37 a	111.2 ±3.62 ab
	P47K50N30	6.2 ±0.10 a	5.7 ±0.09 a	3.2±0.33 a	0.4 ±0.07 a	0.5±0.10 a	4.0±0.42 a	5.5±0.34 a	72.1±4.7 a	0.8 ±0.05 a	0.05 ±0.003 a	16±0.67 a	3.2±0.74 a	130.6± 10.26 a
V2	0	6.4 ±0.07 a	5.8 ±0.06 a	3.2±0.35 a	0.6 ±0.13 a	0.3±0.03 b	4.1±0.38 a	5.6 ±0.54 a	73.6±3.3 a	0.8±0.02 a	0.05±0.003 a	15±0.74 a	3.2 ±1.32 a	106.9 ±6.27 b
	P47K25N45	6.3 ±0.15 a	5.6±0.14 a	3.0±0.33 a	0.6 ±0.15 a	0.4± 0.03 b	3.9± 0.42 a	5.7 ±0.60 a	69.3±4.3 a	0.8 ±0.07 a	0.06 ±0.003 a	14 ±1.37 a	6.2 ±1.81 a	113.6±3.95 b
	P47K50N30	6.3 ±0.29 a	6.0 ±0.34 a	2.9±0.31 a	0.6±0.12 a	0.8 ±0.07 a	4.2± 0.44 a	6.0 ±0.56 a	70.5 ±5.6 a	0.8 ±0.05 a	0.05 ±0.007 a	17± 1.64 a	5.5±1.66 a	139.1 ±8.88 a

NB : Les valeurs portant les mêmes lettres et situées dans la même colonne ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 %.
V1 : variété rampante de niébé ; V2 : variété érigée de niébé

Discussion

Caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon de surface (0- 20 cm) des sols

Chaque exploitation paysanne présente des caractéristiques physiques et chimiques qui lui sont propres, principalement liées à son passé cultural.

Les caractéristiques texturales des différents échantillons de surface des sols collectés dans la zone d'étude reflètent la granulométrie des terres de barre qui sont d'habitude caractérisées par « un appauvrissement » (Boyer, 1982).

Mais les sols de Gbékandji présentent en surface un pH légèrement acide, voire neutre, lié sûrement aux pratiques paysannes comme l'effet des cendres de feux de brousse, maintenant ainsi le pH_{eau} à une valeur supérieure à celles des autres couches qui présentent habituellement un pH_{eau} acide (Pieri, 1989).

Les larges variations des valeurs de la CEC sont directement liées à l'évolution de la teneur en argile, puisque le taux de matière organique est globalement faible le long du profil. Ces faibles teneurs en bases échangeables (<10 Cmol.kg⁻¹) sont surtout liées à la forte lixiviation en profondeur de ces dernières comme cations accompagnateurs du nitrate dans les eaux de drainage (Boyer, 1982). Comme pour la capacité d'échange cationique, on observe une large variation des bases échangeables d'un paysan à un autre. L'historique des parcelles a une importance capitale dans ces variations; certaines parcelles étaient antérieurement soumises à une production intense de maïs et de manioc, d'autres sont exploitées sous le maïs depuis une quinzaine d'années sans aucune jachère; par contre d'autres sols présentent des caractéristiques chimiques relativement meilleures (Corg. = 0,92 % ou Ntot. > 0,07 %) car ils ont porté des associations manioc-maïs, maïs-arachides, maïs- sésame, du niébé et parfois du sésame ces cinq dernières années, selon les déclarations des propriétaires. La relative richesse de ces parcelles en matière organique régularise la disponibilité de l'azote et du phosphore pour les cultures (Mallouhi, 1997). Certains sols de bonnes caractéristiques proviennent, selon le paysan, d'une jachère de 5 ans. Cela explique des taux de saturation en bases échangeables de l'ordre de 72 % et confirme les conclusions de Nkamleu et al.(2000) selon lesquelles la jachère permet au sol d'accumuler des éléments nutritifs indispensables à une culture; mais ces observations contredisent celles de Pieri (1989), qui avait signalé qu'une jachère naturelle sur sol dégradé n'induit une restauration du

Tableau 3 - Effet des systèmes de fumure sur les caractéristiques du sol ; les deux variétés de niébé confondues. (n = 12)
Table 3 - Fertilizers effect on soil characteristics

Traitement	pH		Ca	Mg	K	Bases échang.	CEC	V	C org.	N tot.	C/N	P ass	P tot
	eau	KCl											
0	6.4 ± 0.04 a	5.8 ± 0.55 a	3.2 ± 0.22 a	0.6 ± 0.08 a	0.3 ± 0.02 b	4.0 ± 0.25 a	5.5 ± 0.33 a	73.8 ± 2.35 a	0.77 ± 0.03 a	0.05 ± 0.002 a	15 ± 0.58 a	2.8 ± 0.89 a	102.1 ± 5.29 b
P47K25N45	6.3 ± 0.09 a	5.7 ± 0.09 a	3.0 ± 0.21 a	0.5 ± 0.09 a	0.3 ± 0.02 b	3.8 ± 0.26 a	5.5 ± 0.35 a	68.9 ± 2.90 a	0.76 ± 0.04 a	0.05 ± 0.002 a	15 ± 0.68 a	5.0 ± 0.95 a	112.4 ± 2.58 b
P47K50N30	6.3 ± 0.15 a	5.9 ± 0.17 a	3.0 ± 0.22 a	0.5 ± 0.08 a	0.6 ± 0.07 a	4.1 ± 0.29 a	5.8 ± 0.32 a	71.3 ± 3.50 a	0.82 ± 0.04 a	0.05 ± 0.003 a	16 ± 1.12 a	4.4 ± 0.93 a	134.9 ± 6.60 a

NB : Les valeurs portant les mêmes lettres et situées dans la même colonne ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 %.

bilan organique des sols qu'après une durée allant de 10 à 40 ans. Ainsi, les changements stables importants des caractéristiques du sol suite à la fertilisation seront plus visibles après une longue période d'observation.

Effet des fumures et des variétés de niébé sur les paramètres physico-chimiques du sol

Comparativement à l'état d'acidité initial du sol, on remarque une baisse non significative du pH_{KCl} sur le traitement témoin sous la variété rampante. Cette tendance à une faible acidification du sol témoin s'explique par une excrétion de protons par les racines dans ce sol et la lixiviation du nitrate ; ceci rejoint les conclusions de Singh et Goma (1995) qui ont affirmé que la culture continue fait chuter le pH du sol ; cette chute du pH sous les cultures a aussi été remarquée sous le maïs (Sebilotte, 1989), le manioc et l'igname (Yeboua *et al.*, 1996). Selon Aïhou et Adomou (1999), les légumineuses comme le niébé, par la fixation de l'azote atmosphérique, ont contribué à la diminution du pH de la rhizosphère sur le Ferralsol de Sékou. Sous les deux variétés de niébé, le pH est demeuré stable ; cette stabilité peut s'expliquer par une restitution des bases au sol par la plus fréquente chute des feuilles.

En moyenne, on remarque que les fumures n'ont pas engendré une tendance à une acidification par rapport au sol témoin. Mais Saragoni *et al.* (1992) avaient remarqué une diminution du pH (de 5,8 à 5,4) suite à l'apport de NPK sur la terre de barre de Davié au Togo. Selon Bekunda *et al.* (1997) cette acidification suite à l'apport de l'azote et du potassium s'explique par l'antagonisme potassium-azote dans les Ferralsols. Cette légère acidification peut aussi provoquer un déplacement des ions Ca du complexe argilo-humique vers la solution du sol pour leur utilisation par la culture (Agbo 1999), mais aussi une lixiviation. Contrairement aux témoins, la teneur en potassium du sol à la récolte sous la variété érigée a augmenté significativement (168 %) suite à la fumure potassique élevée (50 kg K ha⁻¹) ; tel n'était pas le cas avec 25 kg K ha⁻¹ ; ce qui sous entend que la demi-dose de potassium est faible pour combler les besoins de la culture. Le niébé est une culture très sensible à la fumure potassique (Saragoni *et al.* 1992).

L'effet des fumures sur les teneurs en phosphore total a été moins marquant que sur le potassium ; le traitement P₄₇K₅₀N₃₀ n'a significativement au seuil de 5 % augmenté que de 30 % la réserve en phosphore total du sol par rapport au témoin sans fumure. Ceci confirme les observations de Carsky *et al.* (2003) qui disaient que les effets favorables du soja ou du niébé sur la fertilité du sol sont faibles à modérés, et que l'intervalle de temps entre la récolte du précédent niébé et le semis des céréales tient donc un rôle important dans l'appréciation des arrières effets de ces légumineuses dont les litières paraissent peu persistantes (Carsky *et al.*, 1998).

Ainsi, d'après nos résultats, les caractéristiques physico-chimiques du sol dans leur majorité n'ont pas positivement évolué, sauf le phosphore et surtout le potassium, suite aux fumures potassique et phosphatée. Dans certains cas, l'augmentation des rendements

Tableau 4 - Impact de la variété de niébé sur les caractéristiques physico-chimiques du sol (n = 30)
Table 4 - Cowpea variety effect on soil

Traitement	pH		Ca	Mg	K	Som. bases	CEC	V	C _{og}	N tot.	C/N	Pass	P tot.
	eau	KCl											
V1	6.3 ± 0.05 a	5.7 ± 0.05 a	3.1 ± 0.16 a	0.5 ± 0.05 a	0.3 ± 0.04 b	3.9 ± 0.20 a	5.4 ± 0.22 a	71.6 ± 2.38 a	0.8 ± 0.03 a	0.049 ± 0.01 b	16 ± 0.62 a	3.2 ± 0.50 a	119.9 ± 5.47 a
V2	6.3 ± 0.11 a	5.8 ± 0.12 a	3.1 ± 0.18 a	0.6 ± 0.07 a	0.5 ± 0.06 a	4.1 ± 0.23 a	5.8 ± 0.31 a	71.1 ± 2.47 a	0.8 ± 0.03 a	0.053 ± 0.02 a	15 ± 0.75 a	4.9 ± 0.93 a	113 ± 4.94 a

NB : Les valeurs portant les mêmes lettres et situées dans la même colonne ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 %. V1 : variété rampante de niébé V2 : variété érigée de niébé

des cultures après le niébé est attribuée à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, mais le plus souvent de telles augmentations du rendement après une jachère à mucuna sont surtout liées à une meilleure nutrition azotée de la culture céréalière, grâce essentiellement à la production de biomasse et à la teneur en azote de la jachère à mucuna (Carsky, 2001). Dans notre cas, l'amélioration de ces éléments nutritifs (phosphore et potassium) dans le sol grâce aux fumures s'est vue renforcée par la présence du niébé à port érigé qui apporte une litière plus fréquente par sa défoliation plus rapide ; d'où l'effet synergique positif de la fumure et de la variété de niébé sur la biodisponibilité du potassium et du phosphore total (grâce à sa part organique) dans ce sol ; mais pour plus de précision, c'est surtout un bilan chimique futur montrant l'exportation du phosphore par la culture qui confirmera mieux ou non cet effet litière.

De nombreux chercheurs ont observé les effets positifs des légumineuses sur la disponibilité du P. Le rôle des exsudats racinaires des légumineuses a été très souvent invoqué pour justifier leur capacité à augmenter la disponibilité du P dans les sols (Nagarajah *et al.* 1970 ; Gardener *et al.*, 1981 ; Subbarao *et al.*, 1997). Ces exsudats racinaires seraient capables de solubiliser les phosphates de calcium et le phosphore occlus, augmentant ainsi le phosphore biodisponible. Selon Gardner (1981) l'acide citrique produit par les exsudats de lupin forme dans un premier temps des complexes avec le P lié au fer. Par une réaction de réduction, le fer ferrique (Fe³⁺) est transformé en fer ferreux (Fe²⁺). Les exsudats racinaires des légumineuses peuvent ainsi diminuer l'adsorption du P par les argiles et les oxydes. Nagarajah *et al.* (1970) ont trouvé que les acides aminés des exsudats racinaires des légumineuses diminuaient l'adsorption du P sur les argiles et les oxydes, augmentant le P biodisponible. Aussi, Ae *et al.* (2001) ont pu démontrer que les exsudats racinaires de l'arachide étaient à l'origine de sa capacité à solubiliser le phosphore. Ils ont mis en évidence la capacité de deux acides organiques des exsudats racinaires de l'arachide (l'acide malique et l'acide 2-hydroxyméthyl-2-4-dihydroxypentanedioic), capables de chélater le Fe³⁺ responsable de la rétention du P. De plus, les légumineuses peuvent favoriser la colonisation du sol par les mycorhizes qui améliorent la disponibilité du P (Alvey *et al.*, 2001). Le passé cultural (successions culturales, systèmes de fumure, feux de brousse, jachères...) a un effet important sur l'impact des fumures annuelles sur les caractéristiques chimiques du sol.

Conclusions

Aucun effet des fumures, ni des variétés n'a été statistiquement significatif au seuil de 5 % sur l'acidité du sol à la récolte.

Au niveau de la variété rampante V1, seule la teneur en phosphore total s'est améliorée ; le traitement P47K50N30 a augmenté la réserve en phosphore total du sol. Sous la variété érigée V2, ce traitement a significativement augmenté de 30 % la réserve en phosphore total et de 168 % celle en potassium du sol, contrairement

Tableau 5 - Effet des exploitations paysannes, traitements, variétés et de leurs interactions sur les caractéristiques physico-chimiques du sol
Table 5 - Effect of farms, treatments and varieties on soil.

Sources	Degré de liberté	pH		Ca	Mg	K	Som. bases	CEC	V	C org.	N tot.	C/N	P _{ass}	P _{tot}
		eau	KCl	Cmol. kg ⁻¹ de sol						%			mg. kg ⁻¹	
Covariance	1	ns	ns	**	ns	ns	**	**	ns	*	ns	ns	ns	**
Variété	1	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Paysan	4	*	*	**	**	*	**	**	**	ns	**	ns	*	ns
Paysan Variété	5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
traitement	2	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Variété traitement	2	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV%	-	5.03	6.07	13.76	47.66	31.15	11.83	8.50	9.11	16.71	14.66	18.71	70.76	13.05

Degré de liberté de l'erreur résiduelle: 20

* $P < 0.05$

Degré de liberté du total : 35

** $P < 0.01$

ment au traitement P47K25N45 qui n'a pas eu un effet significatif sur ces caractéristiques.

Toutes variétés de niébé confondues, seuls le potassium et le phosphore total ont été significativement modifiés suite aux apports d'engrais. Contrairement au traitement P47K25N45, le traitement P47K50N30 a significativement doublé la teneur en potassium et augmenté de 32 % la teneur en phosphore total.

Indépendamment des traitements, le potassium et l'azote total ont été influencés par la variété de niébé. La variété à port érigé V2 a augmenté significativement la teneur en potassium de 35 % et 8 % celles en azote total comparativement à la variété rampante V1.

Le passé cultural de l'exploitation paysanne a très significativement influencé la teneur du sol en bases échangeables (Ca, Mg), la CEC et l'azote total, et significativement l'acidité du sol, le potassium et le phosphore assimilable. Les teneurs en carbone et en phosphore total n'ont pas été affectées par ce facteur.

Remerciements: Nous exprimons notre sincère gratitude à Monsieur Roland POSS, qui, dès la première version de ce manuscrit nous a aidés par ses critiques et propositions constructives à améliorer la qualité de ce document.

BIBLIOGRAPHIE

- Ae N., Kato Y., Shen R. F., Magno B., Horst W. J., Schenk M. K., Burkert A., Claassen N., Flessa H., Fromme W. B., Goldbach H., Olf H.W and V. Romheld 2001 - Identification of phosphorus solubilizing active components (PSAC) from root cell wall or groundnut having better growth on an infertile soil among several legume crops. In: Plant nutrition: food security and sustainability of agro ecosystem through basic and applied research. Fourteenth-Int 2001: pp. 532-533, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands
- Agbo B., 1999 - Restoring crop productivity in West Africa: the potential of agroforestry. Ph.D. Tropical Agricultural series. Hohenheim, Margraf Verlag (ed.) 139 p.
- Aïhou K. et Adomou M., 1999 - Contribution du phosphore à l'amélioration de l'assimilation de l'azote par le maïs en rotation avec le mucuna et le niébé. In: Carsky, R.J. et al., Cover crops for natural resource management in West Africa. CIIFAD, pp. 14- 22
- Alvey S., Bagayoko M., Neumann G., Buerkert A., 2001 - Cereal/legume rotations affect chemical properties and biological activities in two West African soils. Plant and Soil. 231 (1) pp. 45-54.
- Amadjì G. et Giltho M., 2005 - Diagnostic des carences minérales d'une terre de barre du sud Bénin sous le niébé (*Vigna unguiculata*). Annales des Sciences Agronomiques du Bénin (7) 1 pp. 69- 89.
- Azontondé A., 1999 - Problématique de la fertilité des sols au Bénin. Dégradation des sols par zone agro écologique. In: Atelier National de lancement de l'Initiative sur la fertilité des sols (IFS); du 20 au 23 avril 1999 à Cotonou. Communication N° 1(1). pp. 39-55.
- Bado B.V., 2002 - Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Ph.D. Université Laval, Québec, Canada. 184 p.
- Bekunda M. A., Bationo A., Ssali H. 1997 - Soil fertility management in Africa, a review of selected research trials. In: Buresh, R.J., Sanchez, P.A. and Calhoun F. (Eds.) Replenishing soil fertility in Africa. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. pp. 63- 79.
- Boyer J., 1982 - Les sols ferrallitiques. Tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. ORSTOM. Paris, 384 p.
- Carsky R.J., Tarawali SA, Becker M., Chikoye D., Tian G., Sangina N., 1998 - Mucuna-herbaceous cover legume with potential for multiple uses. Resource and Crop Management Research Monograph N° 25. Ibadan, Nigeria: international Institute of Tropical Agriculture. 52 p.
- Carsky R J, Singh B.B., Oyewole B., 2001 - Contribution of early season cowpea to late season maize in the savanna zone of West Africa. Biological Agriculture et Horticulture. 18 (4) pp. 303-315.
- Carsky R.J., Douthwaite B., Manyong V.M., Sangina N., Schulz S., Vanlauwe B., Diels J., Keatinge J.D.H., 2003 - Amélioration de la gestion des sols par l'introduction de légumineuses dans les systèmes céréaliers des savanes africaines. Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures. 12 (4) pp. 227-233.
- Christianson C. B. and Vleck P. L. G., 1991 - Alleviating soil fertility constraints to food production in West Africa: Efficiency of nitrogen applied to food crops. In: Uzo Mokwunye, Eds. Alleviating soil fertility constraints to improve crop production in West Africa. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 45-57.
- CPCS., 1967 -Classification des sols. ENSA. Grignon, 87 p.
- Foth H. D., 1990. Fundamentals of soil science. New York. John Wiley et sons. 336 p.
- Gardener W. K., Parbery D. G., Barber D. A. 1981 - Proteoid root morphology and function in *Lapinus albus*. Plant and soil 60. pp. 143-147.
- Giller K. E. and Cadisch G., 1995 - Future benefits from biological nitrogen fixation in agriculture: an ecological approach. Plant and soil 174: pp. 255-277.
- Kergna Alpha Oumar, 2001 - Evaluation économique de l'impact de la recherche sur le niébé au Mali. Rapport provisoire. Ministère du Développement Rural République du Mali. 22 p.
- Maïga O., 2000 -Facteurs sociodémographiques explicatifs de la crise des jachères en zone soudanienne nord au Mali. In: Floret Ch. et Pontanier R., Eds. La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagement, alternatives. Actes du Séminaire international, vol 1. Dakar, 13-16 Avril 1999. pp. 52-58.
- Mallouhi N., 1997 - Manuel d'interprétation des analyses du sol et principales caractéristiques de certaines substances organiques et du compost. Cotonou, Bénin: FSA. 19 p.
- Nagarajah S. A., Posner M., and Quirk J. P., 1970 - Competitive adsorption of phosphate with polygalacturonate and others organic anions on kaolinite and oxide surfaces. Nature 228 pp. 83 - 84.
- Nkamleu G., Kamajou F., Gockowshi J., 2000 - La pratique de la jachère en Afrique tropicale: caractérisation comparée au Nigeria et au Cameroun. In: Floret Ch. et Pontanier R., Eds. La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagement, alternatives. Actes du Séminaire international, vol 1. Dakar, 13-16 Avril 1999. pp. 1-5.
- Pieri C., 1989 - Fertilité des terres de savanes: bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Paris. Agridoc-international. CIRAD-IRAT. 444 p.
- Saragoni H., Poss R., Marquette J., Latrille E., 1992 - Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du Togo: synthèse d'une expérimentation de longue durée sur terre de barre. Agronomie. 12 (2) pp. 107-119. SAS Institute 1995. Statistics Users Guide, Vol. 2, Version 6.1. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Sebilotte M., 1989 - Fertilité et système de production. INRA, Paris. 369 p.
- Singh et Goma 1995 - Long-term soil fertility management experiments in Eastern Africa. In: Lal R., Stewart B, Eds. Soil management: Experimental basis for sustainability and environmental quality. CRC Press, Boca Raton FL. pp 347- 382. Somé A., Hien V., Daniel-Yves A., 2000 - Dynamique comparée de la matière organique du sol dans les jachères soudanaises sous l'influence d'herbacées annuelles et pérennes. In: Floret Ch., et Pontanier R. La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagement, alternatives. Actes du Séminaire international, vol 1. Dakar, 13-16 Avril 1999. pp. 212-222.
- Subbarao G. V., Ae N. and Otani T. , 1997 - Genotypic variation in iron and aluminium-phosphate solubilizing activity of pigeon pea root exudates under P deficient conditions. Soil science and plant nutrition, 43(2) pp. 295-305.
- Varvel, G. E. and T. A. Peterson, 1990 - Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. Agron. J. 82 pp. 935-938.
- Versteeg N. et Koudokpon V., 1991 - Les pratiques actuelles des paysans et les innovations au niveau du facteur fertilité au sud du Bénin. In: Faye, J. (Eds). Agricultural systems in Africa. pp. 86-90.
- Viennot, M., 1981 - Aperçu géographique de la répartition des sols et de la pédogenèse dans la République Populaire du Bénin. ORSTOM, Adiopodoume (CIV). 40 p.
- Webb P., 1998 - Amélioration de la fertilité des sols en Afrique de l'Ouest: contraintes et perspectives. In: Renard G., et al. Soil fertility management African Land use systems, Proceedings, 577 p.
- Yeboua K., N'guettia R., Goué B., Couloud J-Y., 1996 - Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs (*Zea mays* L.). Cahiers d'Agricultures 5 pp. 189-193.

