

Influence du système mucuna-maïs sur le bilan de l'azote sur un plateau de sols ferrallitiques au Sud-Bénin

A. H. AZONTONDE⁵ et G. KPAGBIN⁵

Résumé

La croissance démographique et la surexploitation suite aux pratiques culturales ont conduit les sols du Bénin et particulièrement les terres de barre au Sud-Bénin à une dégradation importante et à une chute drastique des productions agricoles. C'est dans cet environnement en pleine dégradation que *Mucuna pruriens* variété *utilis* a fait son apparition en 1988 au Bénin comme plante introduite pour la lutte contre *Imperata cylindrica* et la restauration des sols sur les plateaux du Sud-Bénin. La présente étude compare 4 systèmes de culture pendant 10 ans : le système mucuna-maïs où le mucuna est renouvelé tous les ans ; le système mucuna-maïs où le mucuna est renouvelé tous les 2 ans ; le système conventionnel de fertilisation minérale NPK avec 76 N, 30 P et 30 K ; le système traditionnel d'agriculture minière où le sol ne reçoit que les restitutions végétales. Après 10 ans d'essai, l'ensemble des traitements a modifié le sol en profondeur. La prise en compte de la couche 0-40 cm permet de calculer le bilan de l'azote que ne le permet la couche 0-20 cm. Dans le traitement témoin qui correspond à une agriculture minière, les pertes épuisent le sol ($\Delta N_{T_1} = 1.276 \text{ kg.ha}^{-1}$), alors que dans les traitements système mucuna-maïs, M1 qui renouvelle le mucuna tous les ans donne $\Delta N_{M_1} = -2.013 \text{ kg.ha}^{-1}$ et M2 où le mucuna est renouvelé tous les 2 ans, $\Delta N_{M_2} = -660 \text{ kg.ha}^{-1}$, les pertes sont dues à une abondance de l'azote dans le système, l'azote est en excès par rapport au besoin ($\Delta N < 0$). Par contre, les pertes globales d'azote par le système sont par ordre décroissant T (1343) > M2 (741) > M1 (723) > NPK (183) et montrent que la couverture du sol par le mucuna réduit les pertes globales d'azote à la parcelle par rapport à la culture traditionnelle non fertilisée (90 versus 138) mais ces pertes augmentent considérablement par rapport à la culture fertilisée avec NPK (90 versus 23).

Mots clés : Système mucuna-maïs, bilan, nutriments, pertes, Bénin.

Impact of maize-mucuna system on nitrogen balance on a plateau of ferralitic soil at southern Benin

Abstract

Increasing population and shifting cultivation lead Benin's land and particularly ferralitic soils (terres de barre) of southern Benin to exhaustion and drastic decrease of crop productions. It is in this degraded environment that *Mucuna pruriens* variety *utilis* has been introduced in 1988 in Benin as crop eradicates weeds such as *Imperata cylindrica* and to restore soil fertility on the plateau in southern Benin. This study compare four crop systems during 10 years: maize-mucuna system where the mucuna is planted every year, maize-mucuna system where the mucuna is planted every 2 years, conventional system of NPK mineral fertilization system with 76 N 30 P 30 K, the traditional system of mining agriculture where only crop residues are applied on soil. After 10 years of experimentation, the whole treatments modified the soil in deep down. By considering the first 40 cm soil layer, nitrogen balance is calculated than the first 20 cm. In the traditional system corresponding to mining agriculture, nitrogen losses exhaust the soil ($\Delta N_{T_1} = 1,276 \text{ kg.ha}^{-1}$); but with maize-mucuna system treatments (M1 and M2), M1 where the mucuna is planted every year leads to $\Delta N_{M_1} = - 2,013 \text{ kg.ha}^{-1}$ and M2 where the mucuna is planted every 2 years, $\Delta N_{M_2} = - 660 \text{ kg.ha}^{-1}$, nitrogen losses are attributed to an abundance of the nitrogen in the system; the nitrogen is excessive with regard to the soil supply ($\Delta N < 0$). On the other hand, global nitrogen losses by the system are in descending order T (1,343) > M2 (741) > M1 (723) > NPK (183). These values show that the mucuna soil cover reduces global nitrogen losses on plots with regard to the traditional system without fertilizer (90 versus 138), on the other hand, these losses increase greatly with regard to NPK fertilized system.

⁵ Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE), Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-Agonkanmey), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 01 BP 988 Recette Principale, Cotonou 01, Tél. : (+229) 21 35 00 70, e-mail : anastase12000@yahoo.fr, gkpabin@yahoo.fr

Key words: maize-mucuna systems, balance, nutrients, losses, Benin.

Introduction

Les sols du Bénin sont depuis des décennies en proie à une dégradation importante suite à leur surexploitation. Les plants de maïs jaunissent en pleine saison des pluies témoignant de fortes et fréquentes carences en azote. Cette dégradation affecte tout particulièrement les sols sableux à argilo sableux du Sud Bénin. Ce qui entraîne une baisse constante des rendements en céréale et notamment en maïs qui constitue la principale culture vivrière de cette partie du pays. Les prix des engrais ne sont pas souvent au niveau de la grande masse paysanne. Pour restaurer ces sols, de nombreux systèmes de culture sont mis en essai aussi bien en station qu'en milieu paysan. La présente étude compare le système mucuna-Maïs (M1) au système traditionnel (T) d'agriculture minière où le sol ne reçoit que les restitutions végétales. Le mucuna est une légumineuse de couverture qui existe au Bénin sous forme sauvage avec des feuilles veloutées très urticantes. Une rotation de type mucuna-maïs conduit à une augmentation graduelle de la teneur en matière organique dans les 10 premiers cm du sol pendant 10 ans (Redshaw, 1982; Triomphe, 1996; Mandimba *et al.*, 1996). L'espèce "*utilis*" introduite en 1988 a été suivie dans les régions adoptée par les producteurs du Sud-Bénin (Aklamavo et Mensah, 1997; Azontonde, 2000; Azontondé *et al.*, 2005).

Cette étude réalisée en plein champ sur terres de barre pendant 10 ans (1996-2005) vise à quantifier l'effet de cette légumineuse sur le bilan de l'azote dans le système sol-plante et d'en tirer les conséquences agronomiques et environnementales par rapport à la culture traditionnelle.

Les trois hypothèses d'étude sont les suivantes :

- Hypothèse 1 (H1) : Le taux d'azote libre (% NFix) moyen est égal à 75 %.
- Hypothèse 2 (H2) : Le taux d'azote libre (% NFix) moyen est inférieur à 75 %.
- Hypothèse 3 (H3) : Les pertes d'azote (N) sont nulles.

Matériel et méthodes

La méthodologie utilisée dans cette étude est inspirée de celle décrite par Wetselaar et Ganry (1982). Elle est fondée sur la méthode des bilans appliquée aux résultats d'un essai de longue durée. La présente étude, étant réalisée de 1996 à 2005, se situe bien dans le cadre de ce genre d'essai.

Dispositif expérimental

Les essais se sont déroulés en milieu réel sur le plateau d'Aplahoué à Klouékanmey dans le département du Couffo au Sud-Bénin. Les sols sont de type ferrallitique faiblement désaturés sous un climat de type soudano-guinéen caractérisé par l'alternance de deux saisons des pluies et de deux saisons sèches.

La végétation est un fourré arbustif dense dominée sous l'effet des cultures par des palmiers à huile qui poussent à l'état naturel. Le climat est subéquatorial avec une pluviométrie annuelle variant entre 1.000 et 1.200 mm.

Le dispositif expérimental, un bloc de Fisher complètement randomisé, est constitué de 40 parcelles de forme rectangulaire de 20 m x 5 m, de pente faible 1 à 2 % réparties sur 10 producteurs (sites) à raison de 4 parcelles (traitements) chacun. Une allée de 3 m de large sépare les parcelles les unes des autres au niveau de chaque producteur.

Traitements

Les traitements décrits ci-dessous sont appliqués par chaque producteur au niveau de son site. Ces traitements apportés sur les 4 parcelles d'essais sont les suivants :

- Traitement témoin T : culture traditionnelle continue de maïs sans mucuna ni fumure minérale, résidus de récolte ($970 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) laissés à la surface du sol.
- Traitement NPK : culture continue du maïs avec apport de 200 kg ha^{-1} de NPK et 100 kg ha^{-1} d'urée, soit au total à l'hectare, 76 kg N , 30 kg P et 30 kg K , les pailles de maïs ($9.200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) laissées en mulch sur le sol.

- Traitement M2 : association mucuna–maïs avec renouvellement du maïs tous les ans et du mucuna tous les deux ans, pas de fertilisation minérale, pailles de maïs (6.140 kg.ha^{-1}) et litière de mucuna ($10.890 \text{ kg.ha}^{-1}$) laissées en mulch sur le sol.
- Traitement M1 : association mucuna–maïs renouvelée tous les ans, pas de fertilisation minérale, pailles de maïs ($10.510 \text{ kg.ha}^{-1}$) et litière de mucuna ($10.890 \text{ kg.ha}^{-1}$) laissées en mulch sur le sol.
- Il met en expérimentation une nouvelle technique qui consiste à cultiver une légumineuse de couverture, *Mucuna pruriens utilis*, sous forme d'une courte jachère de 7 à 8 mois décalée de 30 jours par rapport au cycle du maïs.

Prélèvements des plantes

Maïs

Les parties aériennes sont prélevées, pour chaque traitement, sur une surface de 1 m^2 (6 plants) dans les quatre parcelles réparties au hasard.

L'estimation du rendement en grains est faite après récolte sans tenir compte des plants de bordure, soit sur une surface utile de 1 m^2 correspondant à 6 pieds de maïs.

Les teneurs en carbones, azote et autres (P, K, Ca et Mg) sont déterminées sur les grains, les tiges et les feuilles.

Les dates de prélèvement sont : début juin (début floraison), fin juin (pleine floraison) et août (à la récolte du maïs). La biomasse racinaire est estimée en fin de récolte.

Mucuna

Les parties aériennes et racinaires sont prélevées sur une surface de 1 m^2 sur les quatre parcelles.

Les parties souterraines sont prélevées sur les profondeurs 0-10, 10-20 et 20-40 cm. Les débris végétaux supérieurs à 1 mm sont séparés par tamisage sous eau et les racines sont triées manuellement.

Les dates de prélèvement sont mi-avril (il s'agit du mucuna de l'année) pour les traitements M1 et M2 (année mucuna), début août, début octobre (période de croissance végétale maximale).

Sur l'ensemble des traitements, seuls les épis avec rafles sont exportés des parcelles.

L'azote (N) total plante exporté (N_{ex}) ou recyclé est le produit du rendement (grains + rafles) exprimé en kg MS ha^{-1} et de la teneur en N de ces organes.

Prélèvements de sol

Chaque traitement correspondant à une seule parcelle au niveau de chaque producteur (site).

Les échantillons sont prélevés sur trois profondeurs 0-10, 10-20 et 20-40 cm (Tableau 1).

Pour les déterminations du Carbone organique (C) et de l'Azote total (N), du pH, les prélèvements sont effectués à la tarière dans toutes les parcelles suivant la méthode de la diagonale pour constituer un échantillon composite, soit 4 échantillons par profondeur et par site en 1996 puis en 2005.

Ce qui fait en tout 40 échantillons pour chacune de ces deux années qui représentent le début et la fin des essais.

Tableau 1. Caractéristiques générales des sols des producteurs

Sites	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	m	σ	
0-10 cm	20-2.000 μ	77,95	77,75	78,05	78,15	77,85	77,85	77,77	77,65	78,00	78,10	77,91	0,15
	2-20 μ	10,01	10,11	10,10	9,91	10,06	10,02	10,11	10,21	10,05	10,11	10,06	0,07
	$\leq 2 \mu$	12,04	12,15	12,05	11,94	12,09	12,13	12,12	12,14	12,05	12,09	12,08	0,06
10-20 cm	20-2.000 μ	69,65	68,95	69,20	69,52	69,58	70,05	69,80	69,15	69,75	69,90	69,55	0,31
	2-20 μ	8,50	8,70	8,75	8,53	8,55	8,30	8,45	9,00	8,60	8,40	8,57	0,24
	$\leq 2 \mu$	21,75	22,25	21,95	21,85	21,77	21,55	21,65	21,75	21,70	21,60	21,78	0,22
20-40 cm	20-2.000 μ	65,53	64,90	65,45	65,60	65,85	65,55	65,50	65,72	65,43	65,53	65,51	0,23
	2-20 μ	7,40	7,43	7,45	7,40	7,28	7,38	7,47	7,31	7,40	7,37	7,39	0,05
	$\leq 2 \mu$	27,07	28,07	27,10	27,00	26,87	27,05	27,03	26,97	27,17	27,10	27,14	0,32
0-10 cm		0,87	0,82	0,84	0,78	0,80	0,86	0,85	0,88	0,87	0,80	0,84	0,06
10-20 cm	C (%)	0,48	0,51	0,46	0,42	0,50	0,49	0,54	0,48	0,50	0,47	0,485	0,04
20-40 cm		0,32	0,26	0,35	0,30	0,32	0,28	0,33	0,29	0,27	0,31	0,30	0,03
0-10 cm		0,60	0,56	0,57	0,55	0,56	0,60	0,59	0,62	0,61	0,56	0,58	0,02
10-20 cm	N (‰)	0,53	0,53	0,54	0,50	0,50	0,55	0,53	0,54	0,54	0,50	0,53	0,02
20-40 cm		0,40	0,35	0,38	0,37	0,38	0,41	0,42	0,43	0,42	0,39	0,39	0,02

m : valeurs moyennes ;

 σ : écart-type ;

Les valeurs moyennes sont significatives au seuil de 5 %.

Méthodes analytiques

Plantes

Les échantillons végétaux sont finement broyés (1 mm) après séchage à l'étuve (70 °C).

Les teneurs en C et N sont déterminées respectivement selon les méthodes Walkley et Black (1934) et Kjeldahl.

Sols

La granulométrie est déterminée selon la méthode internationale avec la pipette Robinson.

Le carbone total (C) a été dosé par voie sèche à l'auto analyseur CHN LEGO et l'azote total (N) par la méthode Kjeldahl. Ces deux dosages sont faits sur des échantillons de sol séchés à l'air et finement broyés. Les résultats sont exprimés en g de C (ou N) par kg de sol. Le stock (Q en kg.ha⁻¹) de C ou de N contenu dans une couche d'épaisseur e (dm) est obtenu par la formule suivante :

$$Q_{cn} \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = C, N \text{ (g.kg}^{-1} \text{ sol)} \times e \text{ (dm)} \times Da \text{ (g.cm}^{-3}\text{)}, \text{ où :}$$

Da est la densité apparente et C, N les teneurs en carbone, azote exprimées en g.kg⁻¹ se sol.

Caractéristiques du *Mucuna pruriens utilis*

Le mucuna a été introduit aux Etats-Unis depuis le début du 19^e siècle où il était utilisé en association aux fourrages pour les mules des bananeraies. Il existe en Amérique centrale depuis 1920. Au Sud du Mexique et au Guatemala, les agriculteurs ont remarqué son intérêt pour lutter contre les adventices et améliorer les rendements de maïs (Bucles, 1995). Il a été introduit au Nord du Honduras dans les années 1980 où il est adopté par 10 % des petits agriculteurs de la côte atlantique (Triomphe, 1996). C'est une plante annuelle volubile et vigoureuse, une légumineuse agressive, fixatrice d'azote produisant des tiges (lianes) de 2 à 18 m de long et un feuillage abondant. Les feuilles sont grandes avec des fioles amples et ovales. Cette légumineuse fait partie de la famille des Fabacées, de la sous famille des Papillonacées de la tribu des Phaseolées, de la sous tribu des Glycinées, du genre *Mucuna*, de l'espèce *pruriens* et d'une variété sélectionnée non urticante appelée *utilis*. Son cycle végétatif est adapté aux tropiques humides (en dessous de 1,500 m) et supporte bien les stress liés à la pauvreté minérale des sols, à l'acidité et à la sécheresse (Berhaut, 1976 cité par Leger-Cresson, 1989). Il perd une quantité importante de feuilles avant la maturité et forme une litière que colonisent ses racines superficielles. Son cycle varie de 100 à 300 j et dure 150 à 200 j au Bénin. Les graines contiennent une substance toxique (*L-dopa*) pour les insectes et les hommes. Toutefois, la consommation des graines de mucuna est possible après certains traitements physico-chimiques spécifiques (Osei-Bonsu *et al.*, 1995; Dossa *et al.*, 1999) comme substitut du café (Tchad), sous forme solide à faible doses (Ghana). Les graines de mucuna ainsi traitées sont utilisées au Bénin dans l'alimentation des animaux monogastriques d'élevage (Koudjou *et al.*, 2001). Le mucuna aurait un effet nématocide sur certaines cultures, mais serait lui-même sensible à certains nématodes. Il est largement épargné de la compétition des adventices grâce à son agressivité naturelle. Il est souvent utilisé comme plante de couverture pour éliminer ou réduire les populations d'adventices et surtout celle du chiendent (*Imperata cylindrica*) ; (Coultas *et al.*, 1996), comme engrais vert pour la restauration des sols (Lal *et al.*, 1978) ; comme fourrage et comme légume consommé par certaines tribus du Sud de l'Inde (Rajyalakshmi *et al.*, 1995). La matière sèche fourragère contient en moyenne 10,7 % de protéine digestibles, 63,4 % de matière digestible totale (Leger-Cresson, 1989), 2,6 % d'azote, 0,9 % de phosphore et 2,1 % de potassium (Igue, 1996 ; Azontonde, 1998, 2000).

Calage des cycles du maïs et du mucuna

Le système mucuna-maïs est une association-rotation entre le maïs de grande saison des pluies (avril-juillet) et *Mucuna pruriens* variété *utilis*. Après, la préparation du sol, qui consiste à réaliser dès les premières pluies de l'année un sarclage léger limité aux 5 premiers cm du sol, le semis du maïs a lieu en avril à une densité de 80 cm sur 40 à raison de 2 graines par poquet. Celui du mucuna se fait un mois après (mai) entre les lignes du maïs à raison d'une graine par poquet. La récolte du maïs a lieu 3 à 4 mois après le semis (août). Le mucuna se développe alors rapidement, recouvre les autres

herbes ainsi que les résidus de maïs et atteint sa pleine croissance en septembre et octobre, il amorce sa sénescence en novembre, se dessèche en décembre, janvier et février. En mars, au moment où démarrent les pluies et les opérations culturales, la couche de paillis n'est plus que de 1 à 2 cm. Les semis de maïs sont réalisés après une pluie supérieure à 15 mm, généralement entre 15 avril et le 15 mai. Le maïs est semé à une densité de 31.000 pieds ha⁻¹ (40 cm sur ligne et 80 cm entre ligne avec 2 grains par poquet). La récolte se fait entre le 30 juillet et le 30 août. La variété de maïs utilisée, le DMR, est un hybride variétal, issu du croisement d'une variété nigériane avec une variété locale. C'est un maïs de 100 à 110 j. Le sol n'est pas labouré mais subit un travail superficiel. Ce travail est effectué à la houe au début de la grande saison des pluies ; ensuite un sarclage superficiel est effectué à la houe les deux semaines si les pluies sont fréquentes et régulières sur une profondeur de 5 cm environ. Les résidus de récolte de maïs sont laissés à la surface du sol et le paillis du mucuna est perturbé le moins possible. L'engrais minéral NPK (15-15-15) est fractionné en deux apports de 100 kg chacun, 15 et 45 j après le semis du maïs. L'urée est apportée 300 j après le semis.

Caractéristiques générales des sols

Les sols sont ferrallitiques faiblement désaturés, développés sur des formations meubles du crétacé (CPCS, 1967 ; Volkoff, 1976 et Willaime, 1976) qui forment un ensemble très homogène le long du golfe de Guinée, depuis Accra (Ghana) jusqu'au delta du Niger au Nigeria. Ils s'étendent jusqu'à environ 120 km du littoral à l'intérieur du pays. Ils occupent la quasi-totalité des plateaux du Sud-Bénin. La teneur en argile est comprise entre 12 et 28 % dans les 40 cm supérieurs. Cette teneur augmente progressivement avec la profondeur, sans qu'un horizon d'accumulation (« vendre » d'argile) n'ait été observé. L'analyse minéralogique de la fraction argileuse révèle la dominance de kaolinite (Fauk, 1972). Les teneurs en carbone (0,84 %) et azote (0,058 %) sont faibles dès la surface. Ces sols sont moyennement acides (pH eau : 5,5) en surface et deviennent fortement acides (pH eau : 4,4) dans la couche 74-150 cm. Seuls les 40 cm supérieurs ont été pris en compte dans ces essais.

Rappel de la méthode du bilan

La méthode du bilan se penche sur la différence entre les entrées (inputs) et les sorties (outputs). Ainsi, selon Wetselaar et Ganry (1982) ce bilan est obtenu par la formule : $\Delta N = \Sigma \text{inputs} - \Sigma \text{outputs}$

Entrées (inputs):

Ces inputs sont désignés Y dans l'équation du bilan et il s'agit de :

- la fixation de N₂ symbiotique (NFix) et libre (Nfix);
- l'apport de N par les pluies et les poussières (Np);
- l'apport de N par l'engrais (NF).

Sorties (outputs):

Dans l'équation du bilan, les outputs sont représentés par X (outputs inconnus ou pertes globales) et Z (outputs connus). Ainsi, sont prises ici en considération les :

- exportations du maïs (Nex) que nous désignons par Z dans l'équation des bilans;
- pertes globales que nous désignons par X dans l'équation du bilan (Figure 3).

Mise en équation et calcul des pertes

Le calcul des se fait comme suit :

- $X = \Sigma \text{outputs inconnus} = \text{pertes totales de N hors du système sol-plante durant } n \text{ années de } t_0 \text{ à } t_n \text{ (ici } n = 10 \text{ ans ; 1996-2005)}$.
- $Y = \Sigma \text{inputs} = \Sigma Np + \Sigma Nfix + \Sigma Nfix + \Sigma NF \text{ de } t_0 \text{ à } t_n$.
- $Z = \Sigma \text{outputs connus} = \Sigma N \text{ total plante exporté}$.
- $\Delta N \text{ sol (0-20 cm)} = N \text{ total sol (0-20 cm) au temps } t_0 - N \text{ total sol (0-20 cm) au temps } t_n$.

Ces différentes variables vérifient la relation suivante (Wetselaar et Garry, 1982) :

- $X = Y - Z + \Delta N \text{ sol}$.

Si le système sol-plante est à l'équilibre organique, alors nous avons :

- $Y = X - Z$ et $\Delta N \text{ sol} = 0$, où :

$\Delta N \text{ sol}$ est la variation des taux d'azote dans le sol entre le début et la fin de l'expérimentation.

Les entrées (inputs) et sorties (outputs) sont schématisées sur la figure 1.

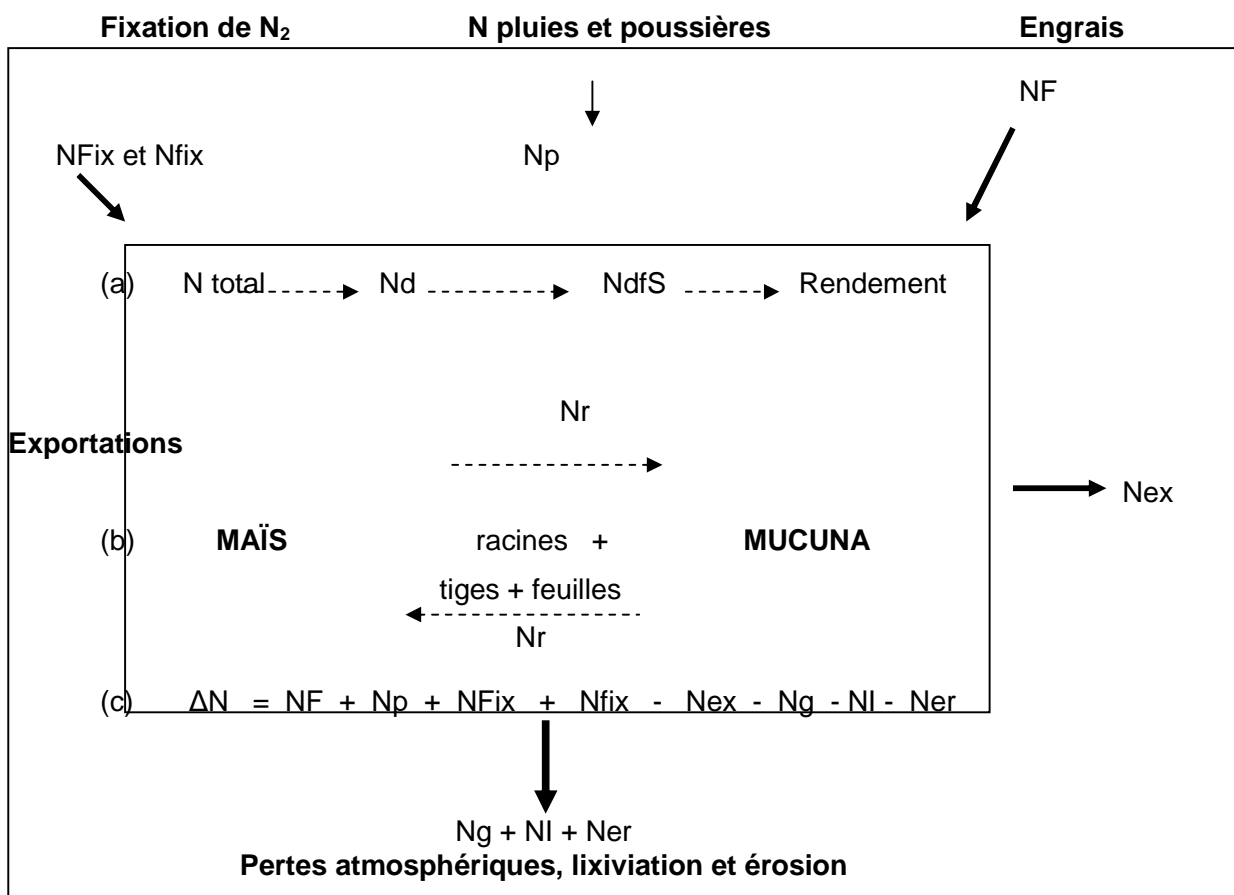


Figure 1. Schéma représentant les entrées (inputs) et les sorties (outputs) de N dans le système de culture mucuna-maïs et son fonctionnement interne.

Ligne (a) : rôle central du pool d'azote minéralisable (Nd) dans la formation du rendement ;

Ligne (b) : transferts internes ;

Ligne (c) : équation du bilan.

Légende : **Nt**: Azote du sol; **Np**: Azote provenant des pluies et poussières; **Ndfs**: Azote de la plante provenant du sol (N derived from fertilizer); **NFix**: Azote provenant de la fixation symbiotique de N₂; **Nfix**: Azote provenant de la fixation libre et rhizosphérique de N₂; **Nd**: Azote disponible : pool d'azote minéralisable (quantité d'azote minéralisable à la disposition d'une culture de la levée à la récolte); **Nr**: Azote provenant des restitutions par la culture (racines + tiges + feuilles); **NF**: Azote total de l'engrais; **Nex**: Azote exporté par cultures; **Ng**: Azote volatilisé et dénitrifié (NH₃, N₂O et N₂); **NI**: Azote lixivié.

Résultats et discussion

Calcul des inputs

Les résultats des calculs sont consignés dans le tableau 2.

Fixation symbiotique de N₂ (NFix)

L'évaluation de NFix suppose au préalable de connaître la quantité de N total produite et recyclée par le mucuna (hypothèse 1). Une fois cette donnée connue, il importe ensuite d'évaluer le taux de NFix moyen (hypothèse 2).

Evaluation de N total sur MS du Mucuna (Hypothèse 1)

- Parties aériennes

D'après Triomphe (1996), au Honduras dans une situation écologique proche de celle du Sud-Bénin, la quantité de litière de Mucuna (vivante et morte) produite varie de 10 à 14 t MS ha⁻¹ an⁻¹ nos mesures indiquent une biomasse végétale de 11 t MS ha⁻¹ an⁻¹ (tableau 2). Cette mesure ayant été faite à une période (octobre) où la litière a déjà amorcé sa décomposition, nous considérons que nous sommes dans une situation proche de celle de Triomphe (1996) et tablons sur une production maximale de 14 t MS.ha⁻¹.an⁻¹, soit 370 kg N.ha⁻¹.an⁻¹. Il est bon de préciser que la matière sèche (MS), le carbone (C) organique et éléments minéraux du mucuna sont nuls une année sur deux

- Parties racinaires

Nos résultats donnent 2,5 t MS.ha⁻¹.an⁻¹ et 2,0 % de N (tableau 2). Comme pour les parties aériennes, il est vraisemblable que la production racinaire maximale soit supérieure à 2,5 t. Nous admettons que l'évolution de la biomasse racinaire suit celle des parties aériennes, à savoir : (2,5 x 14)/10 = 3,5 t MS.ha⁻¹.an⁻¹, soit N total racine = 70 kg N.ha⁻¹.an⁻¹.

Tableau 2. Matière sèche et composition chimique du maïs et du mucuna de 1996 à 2005

Plante	Organe	Traitements	Valeur moyenne (Sx ± σ)		
			MS restituée (kg.ha ⁻¹ , n = 4)	C (g.kg ⁻¹)	N (g.kg ⁻¹)
Maïs	Parties aériennes (PA)	T	970 ± 43	532,5 ± 26	4,50 ± 0,09
		NPK	920 ± 230	523,6 ± 16,0	7,00 ± 0,30
		M2	6.140 ± 184	533,1 ± 14,0	6,30 ± 0,23
	Parties racinaires (PR)	M1	10.510 ± 265	538,4 ± 9,5	6,6 ± 0,3
		T	280 ± 9	473,6 ± 19,9	4,00 ± 0,20
		NPK	2.180 ± 68	508,1 ± 20,3	6,50 ± 0,26
Mucuna	Parties racinaires (PR)	M2	2.100 ± 90	449,3 ± 15,7	6,20 ± 0,27
		M1	2.180 ± 87	455,9 ± 20,5	5,00 ± 0,20
		M2*	0/10.890 ± 357	0/488,4 ± 26,8	0/26,50 ± 1,30
	Parties aériennes (PA)	M1	10.890 ± 316	488,4 ± 24,5	26,50 ± 1,15
		M2*	0/2.450 ± 95	0/454,6 ± 23,5	0/20,50 ± 0,40
		M1	2.450 ± 76	454,6 ± 20,2	20,50 ± 1,20

Sx = moyenne

σ = écart - type

M2* = Matière sèche, C organique et éléments minéraux du mucuna sont nuls 1 année sur 2.

Tableau 3. Somme des inputs de N ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) dans le système mucuna-maïs entrant dans le calcul du bilan de N, selon les traitements au cours de l'essai au champ mucuna-maïs à Klouékanmey de 1996 à 2005

Termes du bilan ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$)	Traitements			
	T	NPK	M2	M1
N engrais (NF)	$0,0 \pm 0,0$	76	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$
N apporté par les poussières et les pluies (Np)	$9 \pm 0,4$	$9,0 \pm 0,5$	$9,0 \pm 0,5$	$9,0 \pm 0,0$
Fixation symbiotique de N (NFix)	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$175,0 \pm 5,3$	$350,0 \pm 8,2$
Fixation libre et rhizosphérique de N (Nfix)	$2,0 \pm 0,2$	$5,0 \pm 0,2$	$20,0 \pm 0,8$	$30,0 \pm 0,7$
Y = Σ inputs de N	$11,0 \pm 0,7$	$90,0 \pm 5,2$	$204,0 \pm 7,4$	$389,0 \pm 10,1$

Sx = moyenne

σ = écart - type

Evaluation de % NFix du Mucuna (Hypothèse 2)

Nous savons que dans un milieu pauvre en N minéral, la fixation de N_2 est élevée les premières années. Ensuite, le sol s'enrichissant en N minéralisable, le taux de Nfix diminue (Ganry, 1990; Sangingan *et al.*, 1996; Aihou *et al.*, 2006a, 2006b). Nous ferons l'hypothèse d'une variation dans le temps de NFix de 90 à 60 %, soit un NFix moyen de 75 %. Ce niveau moyen est en accord avec celui indiqué par Giller (1996) qui trouvent que les légumineuses telles que *Pueraria*, *Desmodium* et *Centrosema*, du groupe cowpea (niébé) dont fait partie *Mucuna*, ont des niveaux de fixation compris entre 70 et 90 %. Par ailleurs nos observations faites sur la nodulation montrent de nombreux nodules tous efficaces (couleur rouge), traduisant une fixation de N_2 élevée.

Calcul de NFix ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$)

- NFix = N total (parties aériennes et racinaires) x % NFix
- Nfix = $440 \times 0,75 = 350 \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour M1 et $350/2 = 175 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour M2.

Fixation libre de N_2 (Nfix)

Selon Ganry (1990) qui l'a estimée pour des systèmes de culture « conventionnel » au Sénégal, la fixation libre de N_2 (Nfix) varierait de 2 à 7 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ suivant le niveau d'intensification du système de culture. Appliquée à notre cas, elle serait de 5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour le niveau semi intensif NPK et de 2 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour le niveau extensif T. pour les traitements M1 et M2, nous ferons une estimation fondée sur la quantité de biomasse végétale (Q) produite annuellement et recyclée dans le sol (donc source de carbone pour les micro-organismes fixateurs). Sur la base d'une valeur de Q égale à 30 t $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (mucuna + maïs) correspondant à 13 t de C et un rendement de la fixation de N_2 par défaut de 0,1 % (Dommergues et Mangenot, 1970) nous estimons donc la fixation à 30 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour M1 et à 20 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour M2.

Azote apporté par les poussières et les pluies (Np)

L'azote apporté par les poussières n'a pu être évalué à la station d'essai, à défaut de matériels adéquats. Néanmoins, selon Roose (1981) au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire, l'azote apporté par les poussières et les pluies peut atteindre 5,4 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ sous 860 mm et 12,2 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ sous 1,350 mm respectivement. Sous une pluviométrie de 1.100 à 1.200 mm qui est celle du site de Klouékanmey, des installations réalisées du nord au sud du Bénin par Herrmann (1996) ont permis de quantifier l'azote à Agouagon au Bénin à moins de 50 km de la station d'essai ; la teneur en azote dans les poussières dans cette localité s'élève à 0,74 % ; on peut estimer alors l'apport d'azote par les pluies et les poussières à une valeur moyenne de 8,8 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (tableau 3), tous traitements confondus.

Azote apporté par fertilisation minérale (NF)

Le traitement NPK seul bénéficie de cet apport qui est de 76 kg N.ha⁻¹.an⁻¹ correspondant à 200 kg N.ha⁻¹.an⁻¹ de NPK (15-15-15) et 100 kg.ha⁻¹.an⁻¹ d'urée (46 % N).

Calcul de ΔN sol

Les résultats de ΔN sol de t0 à tn sont consignés dans le tableau 4. Les résultats montrent que les valeurs de ΔN sol dans les deux couches sont positives pour T, ce qui indique que le sol s'est appauvri, et négatifs pour les autres traitements (le sol s'est enrichi).

Tableau 4. N total du sol g N.kg⁻¹ et variation de N total (ΔN sol kg.ha⁻¹) au cours du temps (t0 - tn) des traitements au cours de l'essai au champ mucuna-maïs Klouékanmey en 1996-2005

N total sol (g kg.ha ⁻¹) et ΔN sol (kg.ha ⁻¹)	Traitements							
	T		NPK		M2		M1	
	t0	tn	t0	tn	t0	tn	t0	tn
N sol 0-20 cm (1)	0,49 ± 0,02	0,18 ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,49 ± 0,02	0,42 ± 0,01	0,53 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,81 ± 0,03
N sol 0-40 cm (2)	0,42 ± 0,02	0,21 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,43 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,48 ± 0,02	0,35 ± 0,02	0,69 ± 0,02
ΔN sol (1)	1.139,00 ± 10,35		- 183,00 ± 6,51		- 408,00 ± 7,12		- 1.470,00 ± 25,70	
ΔN sol (2)	1.470,00 ± 36,34		- 450,00 ± 8,68		- 825,00 ± 16,55		- 2.516,00 ± 38,34	

Sx = moyenne

σ = écart - type

ΔN sol = variation de N de t0 à tn (0-10 ans)

(1) Si nous considérons la couche 0- 20 cm

et (2) Si nous considérons la couche 0-40 cm

Calcul des outputs

• Outputs connus (Z)

Les outputs connus concernent l'exportation par les récoltes désignées par Nex (figure 1).

Les valeurs de Nex (Z) pour les 10 années d'essais sont rappelées dans le tableau 5. Elles diminuent selon les traitements dans l'ordre décroissant suivant : M1 > NPK > M2 > T.

• Outputs inconnus (X)

Les deux termes Y et Z étant connus ainsi que ΔN sol, il nous est possible d'évaluer les outputs inconnus (X) correspondant aux pertes de N globales.

Calcul de X

Les valeurs de X sont déterminées en prenant en compte les couches 0-20 cm et 0-40 cm. Elles sont consignées dans le tableau 5.

Si nous considérons les couches 0-20 cm et 0-40 cm, ces valeurs sont toutes positives, ce qui indique que pour tous les traitements appliqués, le système sol-plante perd chaque année de l'azote (en fait, il est normal dans un sol cultivé qu'il y ait des pertes en dehors des exportations, quel que soit le niveau des inputs de N), et le niveau des pertes varie avec les traitements.

Dans le traitement témoin qui correspond à une agriculture minière, la perte épuise le sol ($\Delta N > 0$) ; dans les traitements avec le mucuna (M1 et M2), les pertes sont dues à l'abondance de N dans le système, en excès par rapport aux besoins. Par ailleurs, en prenant en compte la couche 0-20 cm, les pertes exprimées en kg N ha⁻¹ an⁻¹ sont respectivement de 195, 134, 122, et 49 pour M1, M2 et T et NPK. Toutefois, si nous considérons la couche 0-40 cm, elles sont de 168, 93, 90, et 23 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour T, M2, M1 et NPK respectivement.

Nous voyons donc que le bilan de N diffère suivant la profondeur de sol prise en compte, ce qui s'explique par une modification du sol en profondeur sous l'action des traitements.

Nous retiendrons la couche 0-40 cm qui permet d'assurer un bilan en N plus rigoureux que la couche 0-20 cm.

Tableau 5. Évaluation des différents termes de l'équation $X = Y - Z + \Delta N$ permettant d'estimer les pertes globales dans l'essai mucuna-maïs en plein champ à Klouékanmey en 1996-2005

Termes du bilan (kg.ha ⁻¹)	Traitements			
	T	NPK	M2	M1
Y	88,00 ± 4,02	720,00 ± 11,70	1.552,00 ± 34,25	2.952,00 ± 38,55
Z	21,00 ± 0,41	177,00 ± 6,10	151,00 ± 4,31	216,00 ± 5,98
ΔN (1) 0-20 cm	1.139,00 ± 10,35	- 183,00 ± 6,51	- 408,00 ± 7,12	- 1.470,00 ± 25,70
ΔN (2) 0-40 cm	1.470,00 ± 36,34	- 450,00 ± 8,68	- 825,00 ± 16,55	- 2.516,00 ± 38,34
Pertes N X (1)	1.206,00 ± 12,45	360,00 ± 8,70	993,00 ± 24,10	1.266,00 ± 32,53
Pertes N X (2)	1.537,00 ± 41,26	93,00 ± 3,36	576,00 ± 11,76	220,00 ± 11,10
Pertes annuelles (1) Nex + Ng + Ni	122,00 ± 4,01	49,00 ± 3,20	134,00 ± 5,06	195,00 ± 5,89
Pertes annuelles (2) Nex + Ng + Ni	168 ± 4,83	23,00 ± 0,44	93,00 ± 5,20	90,00 ± 4,29
Ner	13,00 ± 0,42	13,00 ± 0,36	10,00 ± 0,22	0,00 ± 0,00

Sx = moyenne **σ = écart-type** **ΔN = variation de l'azote total de t0 à tn dans le sol**

Y = somme totale des entrées d'azote **Z = azote exporté par la plante**

X = somme totale des sorties inconnues d'azote

(1) pertes annuelles par les récoltes (Nex), par volatilisation et dénitrification (Ng) et par lixiviation (Ni) dans la couche 0-20 cm

(2) si nous considérons la couche 0-40 cm, Ner = azote perdu par érosion.

Nous pouvons comparer ces pertes à celles occasionnées par l'érosion : l'érosion exprimée en kg.ha⁻¹.an⁻¹, respectivement pour T, NPK, M2 et M1, est de 13 (8 %), 13 (56 %), 10 (11 %) et 6 (6,5 %) des pertes. L'érosion est donc bien un phénomène qui appauvrit le sol en N (Barthès *et al.*, 2001, 2006) mais qui est secondaire par rapport aux autres causes de pertes qu'il reste à identifier (lixiviation et/ou perte par volatilisation et/ou par dénitrification). Même dans le traitement NPK, l'érosion reste faible en valeurs absolues. Les deux inconnus majeurs dans l'équation du bilan sont le % NFix et les pertes. Notre discussion porte sur la validité de l'estimation du taux (%) de NFix moyen du mucuna et par voie de conséquence sur la validité de l'estimation des pertes en N. En faisant une hypothèse sur la valeur de l'une, nous pouvons en déduire l'autre. Ainsi, nous avons trois hypothèses en présence :

La première hypothèse (H1) est que le taux de NFix moyen est de 75 % (NFix moyen = 75 %). Une telle hypothèse est étayée par les données de la littérature et par nos observations de la nodulation *in situ*. C'est cette hypothèse que nous avons finalement retenu et sur laquelle sont basés nos calculs.

L'hypothèse 2 (H2) est que le taux de NFix moyen est inférieur à 75 % (NFix moyen < 75 %). Deux raisons rendent peu vraisemblable cette hypothèse :

- (i) La première raison est que nous observons que le N total du sol dans le traitement M1 augmente régulièrement et considérablement au cours du temps durant les 4 premières années (+ 400 kg N.ha⁻¹.an⁻¹) dans les 0-40 cm. Dans un sol fortement carencé en N au départ, cette augmentation atteste d'une fixation de N₂ très élevée, la seule source de N dans le système. Sur les 8 années d'essai, même en admettant une forte baisse de la

fixation au cours du temps, il est difficile d'envisager un taux de NFix moyen inférieur à 75 % car cela nécessiterait un taux de NFix < 60 % les dernières années, ce qui est en deçà des données de la littérature.

- (ii) La seconde raison est que pour permettre au mucuna de produire $440 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ qui est la production que nous avons mesurée sur les 4 premières années, sur la base d'un taux de NFix de 90 %, la fourniture de N par le sol doit être au minimum de $44 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (Azontonde *et al.*, 2005). Ce NdfS semble être une valeur maximum de fourniture de N par le sol, car le sol est carencé en N. Ceci écarte l'hypothèse d'une fixation NFix < 90 % la première année.

La troisième et dernière hypothèse (H3) est que les pertes de N sont nulles. Par conséquent, en prenant en compte les données suivantes se rapportant aux 4 premières années : le N total du mucuna (tableau 2), le ΔN sol (tableau 4) et les apports de N par l'atmosphère et par la fixation libre de N_2 , (tableau 3), l'équation du bilan donne un taux de NFix annuel moyen de 85 %. En appliquant la même méthode de calcul aux 8 années d'essai, le taux de NFix annuel moyen serait de 55 %. Compte tenu du taux de NFix de 85 % les 4 premières années, il faudrait que le taux de NFix des 5 années suivantes soit de 25 % pour permettre une moyenne de 55 % sur les 10 ans. Nous montrons bien par là que pour que l'hypothèse « pertes N nulles » soit satisfaite, il faudrait que le niveau du taux de NFix soit faible surtout après les 5 premières années de cultures du mucuna. Nous rejoignons ici l'hypothèse 2 précédente. Pourtant, bien que peu vraisemblable, cette hypothèse d'une fixation faible de N ou d'une fixation de N décroissante très rapidement demande à être vérifiée.

L'ensemble des traitements modifie le sol en profondeur ; la prise en compte de la couche 0- 40 cm permet de calculer plus rigoureusement le bilan de N que ne le permet la couche 0 - 20 cm. En se basant sur l'hypothèse de fixation de N_2 du Mucuna de NFix = 75 % par ordre décroissant des pertes, nous avons : $T > M1 > M2 > NPK$. Ces bilans montrent que la couverture du sol par le Mucuna réduit les pertes globales de N à la parcelle par rapport à la culture traditionnelle non fertilisée avec NPK et l'urée (90 versus 23). Elle réduit également les pertes par érosion qui passent de 13 kg (système de culture traditionnelle), à $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (système Mucuna-maïs) comme l'ont déjà aussi souligné au Bénin Aihou *et al.* (2006a, 2006b).

Ces pertes de N, outre les conséquences sur la baisse de fertilité azotée du sol peuvent introduire une pollution de la nappe phréatique ou accroître l'émission des gaz à « effets de serre » par dénitrification (libérant du N_2O). Cette étude montre l'intérêt de la couverture végétale du sol d'un point de vue agronomique certes, mais laisse entrevoir un risque pour l'environnement en rapport avec l'excès d'azote (N). Ce risque contrôlé, le système Mucuna permet à lui seul une régénération rapide de la fertilité du sol sans apport d'intrants et constitue à ce titre un type d'agriculture biologique hautement performant, dans la mesure où nous disposons des indicateurs permettant de contrôler l'excès de N dans le milieu, ΔN passant de $1470 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le témoin à $-2516 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le système Mucuna-maïs (M1) avec renouvellement du Mucuna tous les ans. Cette évolution montre que ce système M1 entraîne un changement de l'état du sol épuisé en azote à l'état d'excès d'azote dans le sol par rapport à ses besoins.

Conclusion

L'évaluation des bilans de N des différents systèmes de culture (T, NPK, M2 et M1) étudiés a permis de dégager un certain nombre d'enseignements importants quant au maintien de la fertilité des sols ferrallitiques des terres de barre cultivées au sud du Bénin. Cependant, il faut considérer les bilans comme estimatifs car dans l'évaluation des différents bilans de N des systèmes de culture, un certain nombre de termes sont estimés, notamment dans l'évaluation des entrées, la fixation de N_2 (symbiotique et non symbiotique) et l'azote apporté par les pluies et la poussière (N_p). Toutefois, la validité du bilan repose surtout sur la précision de ΔN sol. De ce fait, le bilan est d'autant plus précis que son calcul porte sur un nombre d'années d'essai élevé.

Références bibliographiques

- Aihou K., N. Sanginga, B. Vanlauwe, J. Diels, R. Merckx, O. Van Cleemput, 2006a: Influence of rock phosphate on growth and biomass production of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) millsp.) in different farmers' fields and its residual effect on maize in the derived savanna of Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*. N° 51-Mars 2006, 1-11.
- Aihou K., N. Sanginga, B. Vanlauwe, J. Diels, R. Merckx, O. Van Cleemput, 2006b: Soil factors limiting growth and establishment of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) millsp.) in farmers' fields in the derived savanna of Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*. N° 52-Juin 2006, 12-21.
- Aklamavo, M., Mensah G. A., 1997 : Quelques aspects de l'utilisation du mucuna en milieu rural en République du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, N° 19, 34-46.
- Azontonde H. A., C. Feller, F. Ganry, J. C. REMY, 1998 : Le Mucuna et la restauration de la fertilité d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. *Agriculture et Développement* n° 18 Juin 1998, 14-21
- Azontonde H. A., 2000 : Dynamique de la matière organique et de l'azote dans le système Mucuna-maïs sur un sol ferrallitique (terre de barre) au Sud-Bénin. Thèse de doctorat, ENSA-Montpellier, 241 p.
- Azontondé H. A., F. A. G. Hazoumè, C. Nngangassi, G. Kpagbin, 2005 : Impact d'une plante de couverture (*Mucuna pruriens utilis*) sur la productivité du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* 50, 47-55 p.
- Barthès B., H. A. Azontondé, B. Z. Boli, C. Prat, E. Roose, 2001: Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). *European Journal of Soil Science*, 51, 485-495.
- Barthès B., H. A. Azontondé, E. Blanchart, C. Girardin, Villenave, C. Feller, 2006 : Effect of a legume cover crop on carbon storage in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. In: *Soil Erosion and Carbon Dynamics, Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Rato 143-155.
- Buckles D., 1995: Velvet bean: a "new" plant with a history. Mexico, Mexique, *Cimmyt economic botany*, 49(1), 13-25.
- CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols), 1967 : Classification des sols. multigr. Edition 1967, 87 p.
- Coultas C. L., T. J. Post, J. B. Jones, Y. P. Hsieh, 1996: Use of velvet bean to improve soil fertility and weed control in corn production in Northern Belize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27 : 9-10, 2171-2196.
- Dommergues, Y., Mangenot, F., 1970 : Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson & Cie. 796 p.
- Dossa C. S., G. A. Mensah, A. D. Dossa, C. Adoun, 1999 : Influence de divers traitements physico-chimiques de graines de *Mucuna pruriens* sur leur composition chimique en nutriments. *Tropicultura*, 1998-1999, 16-17, 3 : 141-146.
- Fauck R., 1972 : Les sols rouges sur sables et grès d'Afrique Occidentale. Mém. ORSTOM, Paris, n° 61, 257 p.
- Fauck R., Cl. Moureaux, Ch. Thomann, 1969 : Bilan de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *Agron. Trop.* 3, Montpellier, France; 263-301
- Ganry, F., 1990 : Application de la méthode isotopique à l'étude de bilans azotés en zone tropicale sèche. Th. Université Nancy I, 355 p.
- Gillier, P., 1966 : Les exportations en éléments minéraux d'une culture d'arachide dans les différentes zones du Sénégal : oléagineux. *Revue internationale des corps gras*, 19^{ème} année n° 16, 174-180.
- Herrmann, L., Sterk, G., 1996: Towards a regional mass budget of aeolian transported material in a Sahelian environment. In : *Proceedings of the International Seminar on "wind Erosion in West Africa : The Problem and its Control,"* B. Buerkert, B. E. Allison and M. von Oppen, 5-7. Dec. 1994. Margraf Verlag, Weikersheim, 319-326.
- Koudjou A. L., G. A. Mensah, K. Y. K. B. Adjahoutonon, 2001 : Influence comparée d'une alimentation à base de farine de graines de Mucuna et /ou de farine d'asticots sur la croissance pondérale des canetons de barbarie. In : *Actes de l'Atelier scientifique 1, INRAB, Niaouli 11-12 janvier 2001, Programme Régional sud-centre du Bénin, Recherche Agricole pour le Développement*, 348-356.
- Lal R., G. F. Wilson, B. N. Okigbo, 1978: No till farming after various grasses and leguminous crop covers in tropical Alfisol. I. Crop performance. *Field Crops research*, 1, 71-84.
- Lal, R., 1996: Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I: Soil physical and hydrological properties. II : Soil chemical properties. *Land-Degradation-and-Development*, Nigeria, 7(1) : 19-45

- Leger-Cresson, N., 1989 : Introduction d'une légumineuse fourragère, (*Mucuna aterrima* Holl.) dans la culture du maïs pluvial à Colima (Mexique). Thèse Doct. Biol. et Physiol. vég. Univ. Montpellier II, 100 p. + annexes.
- Mandimba, G. R., West, N. E., 1996: Performance of *Mucuna pruriens* as biofertilizer on the growth of soybean and maize crops in the Congo. Proceedings of the fifth international rangeland congress, Salt Lake City, Utah, USA, 23-28 July, 1995, I, 340-341
- Osei-Bonsu P., D. Buckles, F. R. Soza, J. Y. Asibuo, 1995: Traditional food uses of *Mucuna pruriens* and *Canavalia ensiformis* in Ghana Internal Document CIMMYT, Mexico, Mexique et Crops Research Institute, Ghana, 39 p.
- Ratyalakshmi, P., Geervani, P., 1995: Nutritive value of the foods cultivated and consumed by the tribals of South India. *Plant Foods for Human Nutrition*, 46(1), 53-61.
- Redshaw, M. J., 1982: Leguminous cover crops, the key to sustained agriculture on upland soils in Indonesia. *Indonesian Agricultural Research and Development Journal*, 4(4), 117-123
- Roose, E., 1981 : Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Travaux et Documents de l'ORSTOM n°130, 566 p.
- Sanginga N., B. Ibewiro, P. Hounngandan, B. Vanlauwe, J. A. Okogun, I. O. Akobundun, B. L. Triomphe, 1996: Seasonal nitrogen dynamics and long term changes in soil properties under the *Mucuna*-maïs cropping system on the hillsides of northern Honduras. Ph.D. thesis, Cornell. University, Ithaca, New York, USA, 217 p.
- Volkoff, B., Willaime, P., 1976 : Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200.000. Feuille de Porto-Novo Notice explicative n°66(1), ORSTOM (Paris), 1 carte h.t., 39 p.
- Volkoff, B., 1976 : Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200.000. Feuille d'Abomey. Notice explicative n°66(2), ORSTOM (Paris), 1 carte h.t., 40 p.
- Walkley, A., Black, I., 1934: An examination of the degt-jareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37, 29-38.
- Wetselaar, R., Ganry, F., 1982: Nitrogen balance in tropical agrosystems. *Microbiology of tropical soils and plant productivity*, Y.R. Dommergues and H.G. DIEM Edit., the Hague, Nijhoff-Junk publ., 328 p.