

# Gestion intégrée de la fertilité des sols pour améliorer la productivité dans le Sahel : Effets des jachères, des légumineuses et du phosphate naturel sur le rendement du mil et le *Striga hermonthica*

Samaké O\* et A. Kodio

Institut d'Economie Rurale (IER), B.P. 258, Rue Mohamed V, Bamako, Mali.

\* Adresse de contact

Centre Régional de Recherche de Mopti, B.P. 205, Mopti, Mali

Tel. (223) 243 03 57; (223) 243 03 57

E-mail : [odiabasamake@yahoo.fr](mailto:odiabasamake@yahoo.fr);

## Résumé

Une étude de quatre années était menée de 1998 à 2001 dans le village de Lagassagou en zone sahélienne du Mali. Elle avait pour but de déterminer les effets de la rotation jachère–niébé–mil en combinaison avec l'application de la fumure phosphatée sur le rendement du mil, la fertilité des sols et l'infestation du *Striga hermonthica*. L'essai était conduit en milieu réel sur sol sableux. Le dispositif utilisé était le strip–split–plot avec quatre durées de jachère (0, 2, 5 et 7 ans) comme facteur principal, quatre doses d'application de la fumure phosphatée (P0, P1, P2 et P3) comme facteur secondaire et deux précédents culturels (mil et niébé) comme facteur tertiaire).

Les résultats ont montré que le précédent niébé a un effet positif sur le rendement du mil et le niveau d'azote du sol à la première année de rotation mais il est sans effet dans les années qui suivent. Son effet persiste plus longtemps quand la fumure phosphatée est apportée au précédent niébé. Par contre, le niveau de carbone n'a pas été significativement amélioré par le système. Par ailleurs, pour la culture continue du mil, une augmentation de la durée des jachères (2, 5 et 7 ans) entraîne une augmentation sensible du rendement moyen de grain de mil de l'ordre de 250 kg ha<sup>-1</sup> à 340–410 kg ha<sup>-1</sup>. L'application de P sous forme de phosphate naturelle de Tilemsi augmente le rendement grain de mil et la quantité de carbone dans le sol sans pouvoir améliorer sa teneur en N. La concentration de la biomasse aérienne du mil en azote aussi augmente avec la durée des jachères et la fertilisation phosphatée. L'infestation des champs par le *Striga hermonthica* était réduite par les précédents niébé et jachère.

*Mots clés* : Rotation, phosphate naturel, jachère, légumineuse, fertilité, rendement mil.

## Introduction

La croissance démographique dans le Sahel nécessite l'augmentation soutenue de la production alimentaire pour couvrir les besoins de la population. L'augmentation de la production agricole au cours des dernières décennies a été obtenue principalement à travers l'extension des superficies cultivées, la réduction de la durée et des superficies des jachères ainsi que le remplacement des systèmes de cultures itinérantes par le système de culture continue des céréales (World Bank, 1984 ; Club du Sahel, 1991). Dans les années à venir, les possibilités d'extension des superficies cultivées seront limitées, nécessitant l'augmentation de la productivité par unité de surface. Cette augmentation sera difficile à réaliser si les sols demeurent dégradés, fragiles et pauvres en éléments nutritifs. La plupart des terres arables au Sahel ont un bilan minéral négatif à cause de la non application des fumures ou des faibles quantités d'engrais utilisés pour remplacer les éléments nutritifs exportés (Bationo et al., 1998; Buerkert et Hiernaux, 1998; Van der Pol, 1992; Stoorvogel et Smaling, 1990).

L'abandon de l'agriculture itinérante, la réduction de la durée des jachères et la pratique des systèmes de monoculture continue des céréales provoquent des problèmes de fertilité du sol. Des études menées dans le Sahel (Bationo et al., 1994) ont montré que le système de monoculture de céréales conduit à une réduction du niveau de la matière organique et à l'acidification des sols. Dans la partie Nord du Nigeria, Jones (1971) a montré après 18 années de culture continue de céréale, que la quantité de matière organique contenue dans le sol diminuait de 3-5% par an. Cette pratique influence négativement les caractéristiques physico-chimiques des sols et augmente l'incidence des pestes, maladies et adventices comme le *Striga hermonthica* (Juo et Lal, 1977; Piéri, 1989; Dembélé, 1994). Les jachères de courte durée, utilisées de nos jours pour restaurer la fertilité des sols servent également de pâturages. Cependant, les quantités d'éléments nutritifs y accumulés ne sont probablement pas suffisantes pour couvrir les besoins des cultures à long terme. Les engrais minéraux constituent le meilleur moyen pour restaurer la fertilité des sols et accroître les rendements des plantes cultivées (Bationo et al., 1998, Piéri, 1989, Van Reuler et Janssen, 1989). Cependant, l'application de ces intrants est extrêmement limitée dans le Sahel à cause de leur faible disponibilité, de la faible capacité d'investissement de la plupart des paysans et les risques économiques dus aux aléas climatiques (Témé et al., 1995; Dugué, 1993; Anderson, 1992). En conséquence, des technologies efficaces et accessibles aux producteurs à faibles revenus sont nécessaires pour accroître la production agricole.

Des études ont montré que la rotation des céréales avec des légumineuses peut aider à améliorer les caractéristiques physiques et chimiques du sol (Bagayoko et al., 1992; Tarawali et al., 1992). Bationo et Ntare (2002) ont conclu que la rotation jachère–mil apporte plus d'azote minéral que la rotation légumineuse–mil. La rotation des cultures avec des jachères améliorées à base des espèces de légumineuses ligneuses et herbacées contribuent à l'augmentation des rendements des cultures (Jama et al., 1998 ; Nyakanda et al., 1998 ; Juo et Lal, 1977). Les légumineuses contribuent efficacement à améliorer le niveau d'azote sans résoudre le problème de phosphore dans le sol. Des informations quantitatives sur les effets combinés des systèmes de culture, des jachères de courte durée et l'application de la fumure comme moyens de maintenir la productivité des cultures à long terme et de minimiser l'incidence du *Striga hermonthica* dans les conditions écologiques du Sahel ne sont pas reportées. L'objectif de cette étude consistait en détermination des effets combinés de la rotation jachère de courte durée niébé – mil et de l'application de la fumure phosphatée sur la fertilité du sol, le rendement du mil et la densité du *Striga hermonthica*.

### Matériels et méthodes

Une étude de quatre années était conduite de 1998 à 2001 en milieu réel dans les champs de brousse à Lagassagou, un village situé en zone sahélienne du Mali. Ces champs peu fertiles avec des sols sableux et pauvres en matière organique (Tableau 1), ne reçoivent pas d'apport d'intrants. Seules les jachères sont utilisées pour restaurer la fertilité des sols (Samaké, 2003). Au début de la saison des pluies en 1998, des jachères de différents âges étaient sélectionnés pour l'étude. Les parcelles étaient manuellement défrichées pour leur mise en culture. Tous les résidus herbacés et ligneux étaient ramassés et brûlés dans le champ pour imiter les pratiques paysannes. Contrairement à ces pratiques, les cendres étaient répandues sur toutes les parcelles pour leur homogénéité.

Tableau 1. Caractéristiques générales du sol (0–15 cm) des différents champs au semis en 1998 à Lagassagou

Nutrients	MC*	J2	J5	J7
Carbone organique C (g kg <sup>-1</sup> )	1.64	2.57	2.78	2.92
N total (g kg <sup>-1</sup> )	0.14	0.20	0.21	0.24
P disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	2.26	2.46	2.52	2.65
K disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	5.70	5.84	5.98	5.54

\* MC = Champ de 3-5 années consécutives de culture du mil ; J2, J5 et J7 = jachères de 2, 5 et 7 ans.

Le dispositif expérimental en 1998 était un strip-split-plot en quatre répétitions avec quatre périodes de jachère et un témoin comme facteur principal, deux doses d'application de la fumure phosphatée comme facteur secondaire et deux systèmes de culture comme facteur tertiaire. Le champ de chaque paysan constituait une répétition. Les durées de ces jachères qui sont de 2, 5 et 7 ans sont considérées dans le village comme de courte, moyenne et de longue durée. Le témoin était un champ ayant 3–5 années consécutives de culture. Selon les paysans, tous les champs incluant le témoin, étaient infestés de *Striga hermonthica* avant leur mise en jachère. Aucune information quantitative n'a pu être donnée sur l'ampleur de l'infestation. Les doses d'application de la fumure étaient de 0 et 300 kg ha<sup>-1</sup> de phosphate naturel de Tilemsi à 27% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivement notées P0 et P1. Les deux systèmes de culture étaient le mil et le niébé en culture pure. Les superficies des parcelles élémentaires étaient de 800 m<sup>2</sup> pour la parcelle principale, 400 m<sup>2</sup> pour la parcelle secondaire et 200 m<sup>2</sup> pour la parcelle tertiaire. La parcelle principale était constituée par les différentes jachères. Le phosphate naturel de Tilemsi (PNT) était manuellement épandu au semis sur la parcelle secondaire entre le 10 et 20 Juin 1998. Une variété locale de mil (*Pennisetum glaucum* (L.)), bien adaptée au milieu et une variété améliorée de niébé (*Vigna unguiculata*, var. IT89DK-245) étaient semées après une humidité suffisante en culture pure sur les parcelles tertiaires. Les semis étaient effectués sur billons pour éviter la mortalité des plantules par le phénomène d'ensablement. Le mil était semé à l'écartement de 1 x 1 m à 15–20 graines et démarrié à trois plants par poquet 15 jours après la levée. Le niébé était semé à 4-6 graines par poquet à l'écartement de 0.5 m entre les lignes et 0.25 m sur la ligne et démarrié à deux plants par poquet 15 jours après la levée.

Les mêmes parcelles de 1998 ont été utilisées en 1999, 2000 et 2001 pour évaluer les arrières effets des précédents mil et niébé après jachères (Tableau 2) sur le rendement du mil, la fertilité du sol et la densité du *Striga hermonthica*. Deux traitements additionnels (P2 et P3) étaient ajoutés aux deux traitements initiaux (P0 et P1) assignés à la parcelle secondaire. Le traitement P2 était constitué d'une application annuelle de 100 kg ha<sup>-1</sup> de PNT sur la moitié de la parcelle ayant reçu le traitement P1 en 1998 tandis que le traitement P3 était obtenu par une application annuelle de 100 kg de phosphate super triple (TSP) sur la moitié de la parcelle sans phosphore (P0). Les superficies des parcelles élémentaires du nouveau dispositif étaient de 800 m<sup>2</sup> pour la parcelle principale, 200 m<sup>2</sup> pour la parcelle secondaire et 100 m<sup>2</sup> pour la parcelle tertiaire (Table 1). Les traitements P0 et P1 n'avaient reçu aucune autre fertilisation phosphatée après 1998. Le TSP était utilisé pour évaluer l'efficacité des différentes doses d'application du PNT. Toutes les fumures phosphatées étaient apportées au semis. Les mêmes variétés de mil étaient semées sur toutes les parcelles entre le 1<sup>er</sup> et le 10 Juillet en 1999, entre le 11 et le 14 Juin puis entre le 20 Juillet et le 10 Août en 2000 après l'échec des premiers semis par suite de sécheresse et entre le 1<sup>er</sup> et le 10 Juin en 2001. Aucune autre forme de fumure ou de pesticide n'a été apportée conformément à la pratique des paysans de ce village qui n'utilisent pas d'intrants dans les champs de brousse. Toutes les parcelles étaient manuellement sarclées 15 jours après la levée et le reste à la demande jusqu'au 35<sup>ème</sup> jour après la levée et avant l'apparition du *Striga hermonthica*.

A la maturité, le mil était récolté traitement par traitement. Les épis étaient séchés au soleil pendant deux semaines, battus et les grains pesés par traitement. Le nombre de *Striga hermonthica* était compté dans chaque parcelle une semaine avant la récolte. Des échantillons de sols étaient prélevés avant le semis pour analyser leur teneur en carbone organique (C) et en azote total (N). Ceux des plants prélevés à la récolte étaient analysés pour déterminer leur concentration en N uniquement. Les données pluviométriques du village ont été collectées durant toute la période de l'étude. L'analyse de la variance était effectuée pour déterminer la différence entre les effets des traitements et le test de Duncan utilisé pour séparer les moyennes des différents traitements.

Tableau 2. Représentation des différents systèmes de rotation et historique des parcelles d'étude.

Systèmes de rotation	Historique des champs	1998	1999	2000	2001
MC-MM*	Mil de 1995 à 1997	Mil	Mil	Mil	Mil
MC-NM	Mil de 1995 à 1997	Niébé	Mil	Mil	Mil
J2-MM	Mil en 1995 puis jachère de 1996 à 1997	Mil	Mil	Mil	Mil
J2-NM	Mil en 1995 puis jachère de 1996 à 1997	Niébé	Mil	Mil	Mil
J5-MM	Mil en 1992 puis jachère de 1993-1997	Mil	Mil	Mil	Mil
J5-NM	Mil en 1992 puis jachère de 1993-1997	Niébé	Mil	Mil	Mil
J7-MM	Mil en 1990 puis jachère de 1991-1997	Mil	Mil	Mil	Mil
J7-NM	Mil en 1990 puis jachère de 1991-1997	Niébé	Mil	Mil	Mil

\* MC-MM = 3-5 années consécutives de culture du mil suivies de la culture pure du mil de 1998 à 2001; MC-NM = 3-5 années consécutives de culture du mil suivies de la culture pure du niébé en 1998 puis du mil en 1999, 2000 et 2001; J2, J5 et J7 = Jachères de 2, 5 et 7 ans.

## Résultats et discussion

### Pluviométrie

La pluviométrie annuelle de 581 mm enregistrée en 1998 était similaire à la moyenne interannuelle de dix ans (570 mm) à Lagassagou. En 1999, 2000 et 2001, les cumuls annuels recueillis de 522, 438 et 460 mm respectivement, étaient inférieurs à la moyenne interannuelle. Les plus grandes quantités de pluie étaient obtenues en Juillet et en Août dans toutes les années (Figure 1). La distribution dans le temps et dans l'espace était favorable au développement des cultures en 1998, 1999 et 2001. Par contre en 2000, une longue période de sécheresse est intervenue entre mi-Juin et mi-Juillet provoquant la mort des plants et la reprise des semis entre le 20 Juillet et le 10 Août.

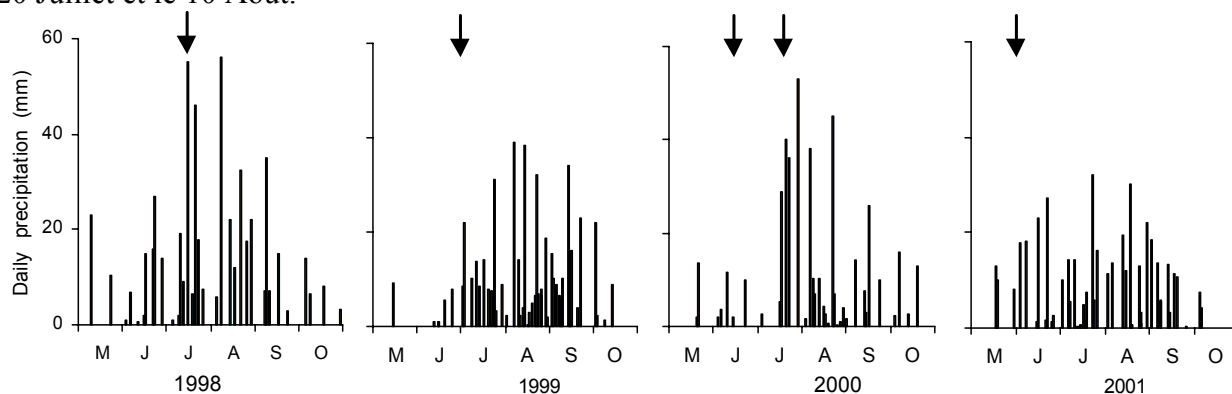


Figure 1. Pluviométrie journalière relevée de Mai à Octobre dans le village de Lagassagou en 1998-2001. Les flèches indiquent les dates de semis. En 2000 le mil a été semé une seconde fois à cause de l'échec des premiers semis par suite d'un trou de sécheresse.

### Effets de la rotation et du PNT sur le rendement du mil

Les résultats indiqués dans le tableau 3 montrent que le niébé cultivé en 1998 a un effet hautement significatif sur le rendement du mil en 1999. L'augmentation du poids grain était de 23% par rapport à la culture continue de mil. En 2000 et 2001, les rendements du mil obtenus après les cultures du niébé et du mil en 1998 sont restés statistiquement équivalents ( $P > 0.05$ ). Les mêmes tendances ont été obtenues par Peterson et Varvel (1989) qui ont montré que la rotation céréale-légumineuse entraîne une augmentation du rendement grain de sorgho de 15 à 94% par rapport à la culture continue du sorgho à la première année de rotation et demeure sans effet dans les années suivantes. Dans une étude similaire, Bagayoko et al. (1992) ont indiqué des accroissements de rendements grain de sorgho de 44% après une année de culture de soja en première année de rotation et de 6% en deuxième année.

L'augmentation de la durée des jachères influence significativement les rendements du mil (Tableau 3). En 1999, 2000 et 2001, les rendements du mil en culture continue ont été nettement inférieurs à ceux du mil après jachère. En 2000, le rendement du mil après une jachère de 2 ans a été de 14% inférieurs à celui obtenu après une jachère âgée de 7 ans et statistiquement équivalent à celui après 5 années de jachère. En 2001, les rendements les plus élevés ont été obtenus après des jachères de 5-7 ans.

Tableau 3 Effets des différents systèmes de culture sur le rendement grain de mil à ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dans le village de Lagassagou en zone nord du Mali.

Cropping systems	1999	2000	2001
<i>Effet des précédents culturaux</i>			
Mil	700	340	540
Niébé	860	360	590
Erreur standard	30	10	20
P>F**	<0.001	0.228	0.068
<i>Effet des jachères</i>			
3-5 années consécutives de mil	630 b†	250 c	350 c
Jachère de 2 ans	800 a	360 b	560 b
Jachère de 5 ans	810 a	370 ab	640 a
Jachère de 7 ans	880 a	420 a	650 a
Erreur standard	40	20	30
P>F	<0.001	<0.001	<0.001
<i>Effet de la fertilisation phosphatée</i>			
P0 (témoin sans P)	510 b	240 b	400 c
P1	830 a	370 a	530 b
P2	860 a	380 a	610 b
P3	930 a	410 a	720 a
Erreur standard	40	20	30
P>F	<0.001	<0.001	<0.001
<i>Interactions (P&gt;F)</i>			
Précédent x jachère	0.745	0.983	0.310
Précédent x fertilisation phosphatée	0.932	0.959	0.461
Fertilisation phosphatée x jachère	>0.999	0.999	0.04
Précédent x jachère x fertilisation	0.999	>0.999	0.988

\* Erreur standard

\*\* : Niveau de probabilité

† : Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes

La fertilisation phosphatée augmente également le rendement grain du mil par rapport au témoin sans fumure (Tableau 3). En 1999 et 2000, aucune différence significative n'a été observée entre les différentes doses et périodes d'application de P. Seulement en 2001, l'apport annuel de 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de TSP a entraîné un accroissement notoire de rendement grâce à la plus grande quantité de P disponible du TSP par rapport au PNT (Samaké, 1990).

Aucune interaction significative entre les différents facteurs n'a été observée en 1999 et 2000 (Tableau 3). Ceci peut être en partie dû aux coefficients de variation plus élevés (21% en moyenne) et au nombre de répétitions de 4 qui est relativement faible. Cependant en 2001, l'interaction entre la durée des jachères et la fertilisation phosphatée a été significative.

Une autre analyse plus détaillée a été faite pour déterminer séparément les effets des différentes durées des jachères et ceux des précédents culturaux avec et sans PNT. Cette situation pourrait

donner une idée sur des technologies facilement accessibles aux producteurs à faible revenu sans l'utilisation d'intrants externes.

Les résultats de cette analyse ont montré que l'augmentation de la durée des jachères influence significativement le rendement moyen du mil de 250 kg ha<sup>-1</sup> en culture continue à 340-410 kg ha<sup>-1</sup> après une jachère de 2 à 7 ans. Concernant les précédents culturaux, l'effet de la culture du niébé en 1998 après les différentes jachères sur le rendement du mil en 1999 était plus fort que celui après MC (Fig. 2). Par contre, l'effet du précédent niébé de 1998 était absent en 2000. Ceci pourrait s'expliquer par les faibles rendements du mil en 2000 suite à la reprise des semis à cause des aléas pluviométriques. En 2001, aucun effet du précédent niébé sur le rendement du mil n'a été observé dans les systèmes de rotation avec les jachères de 5 et 7 ans.

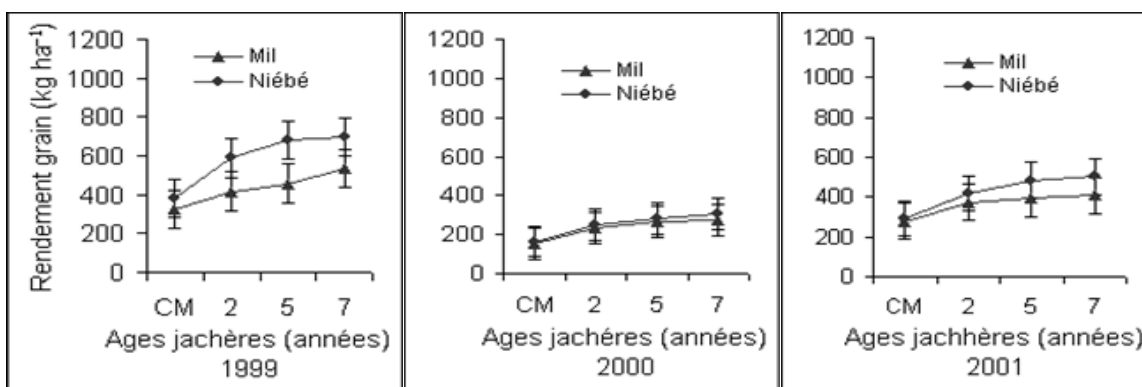


Fig. 2 Effets de la rotation niébé-mil et de la durée des jachères sur le rendement du mil dans le village de Lagassagou en zone Nord du Mali.

Les effets de la fertilisation phosphatée du mil après des jachères de différents âges et des précédents mil et niébé sur les rendements sont indiqués sur les figures 3a et 3b. En 1999, les effets de la fertilisation du mil au phosphore après des jachères de 2-7 ans étaient identiques entre eux et plus élevés que ceux après 3-5 années consécutives du mil. Par ailleurs, la différence entre les effets des doses d'application du PNT est faible pendant que le traitement au TSP donne le meilleur effet à cause de la disponibilité de P contenu dans le PNT par rapport au TSP. En 2000, les rendements du mil étaient plus faibles et les effets des jachères très bas. Tous les traitements phosphatés ont eu le même effet probablement à cause du grand déficit hydrique et les semis tardifs intervenus au cours de l'année.

Ces résultats suggèrent que le phosphore était le facteur limitant dans le traitement 3-5 années de culture continue du mil (MC) et que l'eau était le facteur limitant dans tous les traitements P. Les effets positifs de la durée des jachères sur le rendement en 2000 pourraient être le résultat de la meilleure capacité de rétention d'eau du sol ayant accumulé plus de matière organique due à la période des jachères (Tableau 1).

En 2001, les rendements ont significativement augmenté avec l'augmentation de la durée des jachères et l'application du phosphore. Les parcelles traitées au super phosphate ont donné le meilleur rendement par rapport aux autres traitements phosphatés. Les résultats ont aussi montré que l'effet du traitement P2 était équivalent à celui de P1; Ce qui suggère que l'application triennale d'une dose unique de 300 kg ha<sup>-1</sup> de PNT ou l'application de cette dose suivie d'un apport annuel de 100 kg ha<sup>-1</sup> ne semble pas être aussi efficace pour la durabilité de la production que l'application de 100 kg ha<sup>-1</sup> de TSP au semis chaque année. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Thibout et al. (1980) qui ont suggéré une application de 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> sous forme de PNT en première année suivie d'un apport complémentaire de 20-40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> suivant les cultures pour assurer une productivité durable. Des résultats similaires ont été reportés par Roesch et Pichot (1985) au Niger qui ont enregistré des meilleurs rendements avec 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> sous forme de phosphate naturel de Tahoua au Niger en première année suivi d'une application annuelle de 15-20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Par ailleurs, Bationo et al. (1990) ont montré qu'un

apport d'une grande dose unique de base de phosphate naturel de Tahoua comme source de P aux cultures pour trois années consécutives était plus efficace sur la production du mil au Niger que l'application fractionnée de la même dose pendant trois ans.

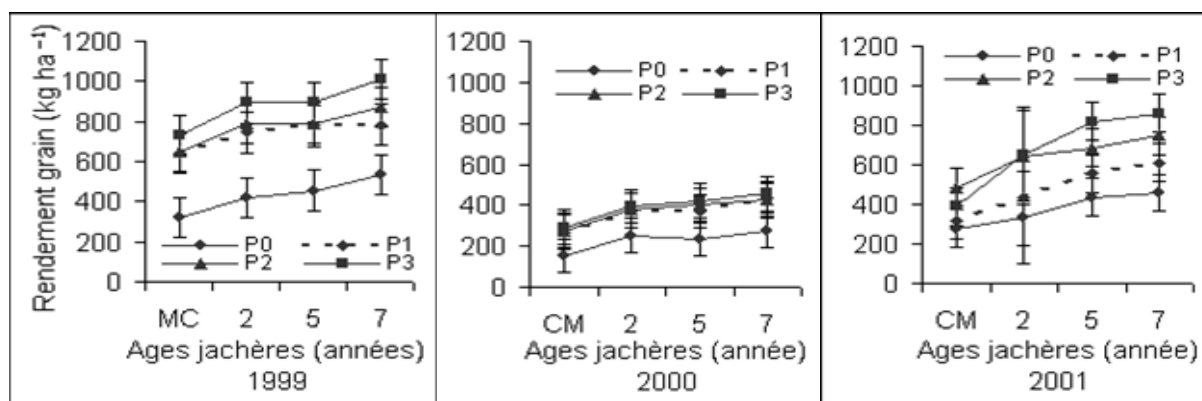


Fig.3a. Effets des différentes jachères et de la fertilisation phosphatée sur le rendement du mil dans le système de culture continue dans le village de Lagassagou.

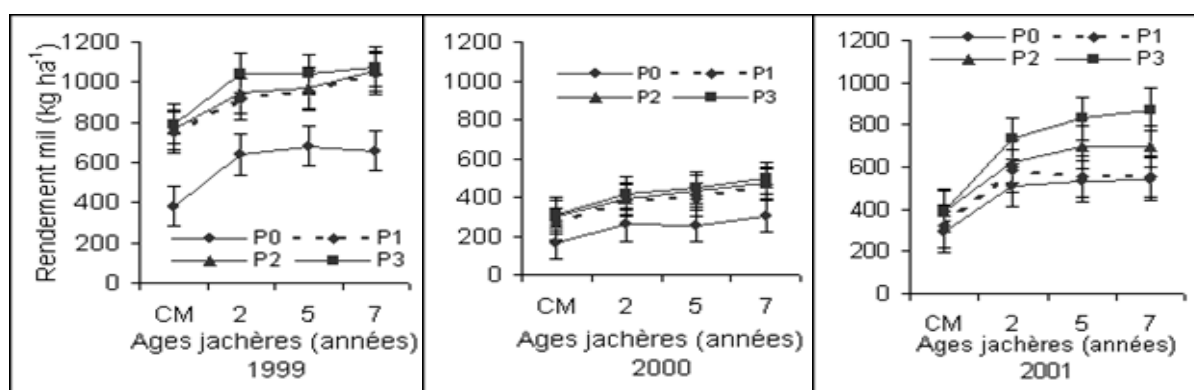


Fig.3b. Effets des différentes jachères, du précédent niébé et de la fertilisation phosphatée sur le rendement du mil dans le village de Lagassagou.

#### *Effet de la rotation et du PNT sur le carbone et l'azote du sol*

Les effets des différents systèmes de cultures sur la teneur du sol en carbone organique et en azote total sont présentés dans le tableau 4. Les résultats ont montré que les précédents mil et niébé n'ont pas significativement amélioré le niveau de C dans le sol. Par contre, la quantité de N total obtenue avec la culture du niébé en 1998 comme précédent avait augmenté de 27% en 1999 au semis par rapport à celle du précédent mil. L'effet du niébé sur l'azote du sol a été réduit à 16% en 2000 pour devenir nul en 2001. Aucune fumure azotée n'ayant été appliquée aux différentes cultures, la différence en N entre les différents traitements pourrait s'expliquer par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par le niébé de 1998 ou de l'augmentation des activités microbiennes causée par les changements de la séquence des systèmes culturaux (Turco et al, 1990). La différence en N obtenue en 1999 due au précédent niébé a été estimée à 180 kg ha<sup>-1</sup>. Cette quantité est dans la fourchette de 23 à 250 kg ha<sup>-1</sup> obtenue par Giller et Wilson (1991) avec une moyenne de 110 kg ha<sup>-1</sup> pour les légumineuses annuelles de cycle de 100–150 jours.

Les niveaux de C organique et N total dans le sol augmentent significativement avec l'augmentation de la durée des jachères (tableau 4). L'augmentation de la quantité de C en 1999 provoquée par les jachères variait entre 34% avec les jachères âgées de 2 ans à 55% avec celles de 7 ans pendant que les niveaux de N dans le sol étaient compris entre 9 et 38%.

La fertilisation phosphatée a aussi des effets positifs sur l'accumulation de C dans le sol et sans effet sur N (tableau 4). Une augmentation du niveau de C a été observée avec les traitements au

PNT. Par contre, la quantité de C obtenue avec le TSP était statistiquement équivalente à celle du témoin non fertilisé. Ceci pourrait être dû à la plus grande disponibilité de P du TSP qui aurait entraîné une minéralisation rapide de la matière organique et de la non application du TSP aux précédents mil et niébé de 1998.

**Tableau 4.** Effets des jachères, des précédents cultureux et de la fertilisation phosphatée sur la teneur du sol en C organique et en N total à Lagassagou.

Cropping systems	1999		2000		2001	
	C	N	C	N	C	N
<i>Effets des précédents cultureux</i>						
Mil	2.44	0.19	2.32	0.18	2.20	0.14
Niébé	2.76	0.28	2.44	0.21	2.34	0.16
Erreur standard	0.08	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01
P>F**	0.059	0.02	0.303	0.011	0.061	0.076
<i>Effets des jachères</i>						
3-5 années de culture de mil	2.00 c†	0.18 b	1.87 c	0.17 b	1.72 c	0.12 b
Jachère de 2 ans	2.54 b	0.21 b	2.51 b	0.20 a	2.35 b	0.13 b
Jachère de 5 ans	2.87 a	0.26 ab	2.67 a	0.20 a	2.53 ab	0.17 a
Jachère de 7 ans	2.98 a	0.30 a	2.82 a	0.21 a	2.71 a	0.19 a
Erreur standard	0.12	0.02	0.06	0.01	0.05	0.01
P>F	0.016	<0.001	<0.001	0.012	<0.001	<0.001
<i>Effets de P</i>						
P0 (Témoin non fertilisé)	2.33	0.21	2.24 b	0.20	2.15 c	0.16
P1	2.86	0.26	2.60 a	0.19	2.45 a	0.15
P2	-	-	2.60 a	0.19	2.48 a	0.15
P3	-	-	2.10 b	0.19	2.02 c	0.15
Erreur standard	0.08	0.01	0.06	0.01	0.05	0.01
P>F	0.026	0.001	<0.034	0.062	<0.001	0.142
<i>Interactions (P&gt;F)</i>						
Précédents x jachère	0.334	0.230	0.175	0.111	0.151	0.105
Précédents x P	0.703	0.858	0.068	0.284	0.088	0.157
Jachère x P	0.332	0.841	0.334	0.124	0.489	0.711
Précédents x jachère x P	0.638	0.770	0.174	0.477	0.551	0.287

\* Erreur standard

\*\* : Niveau de probabilité

† : Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes

Une analyse plus détaillée a été effectuée pour les traitements non fertilisés. Les résultats montrent que les quantités de C n'ont pas varié entre les différents précédents (Fig. 4a). Cependant en 1999, une augmentation de la teneur en N a été obtenue avec le précédent niébé par rapport au précédent mil (Fig. 5b). En 2000 et 2001, une tendance à la baisse de la quantité de C a été observée par rapport à celle de 1999, probablement à cause de la faible quantité des résidus de récolté retournés au sol pour restaurer sa fertilité (Samaké, 2003). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Jones (1971) qui ont montré dans le Nord du Nigeria, que la teneur du sol en matière organique diminuait de 3–5% par an après 18 années consécutives de culture continue de céréale. Plus récemment, Bationo et al. (1994) ont conclu que la culture continue de céréale conduit à une réduction remarquable de la matière organique du sol. Le déclin de la quantité de matière organique observée de 1999 à 2001 était en harmonie avec le train de réduction de rendement grain du mil au cours des années.

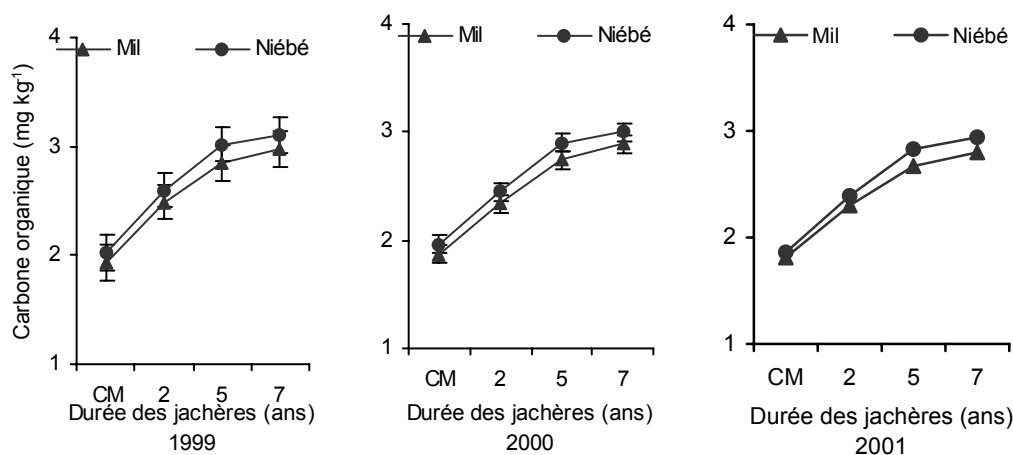


Figure 4a. Effet de la durée des jachères et des précédents culturaux sur le carbone organique du sol.

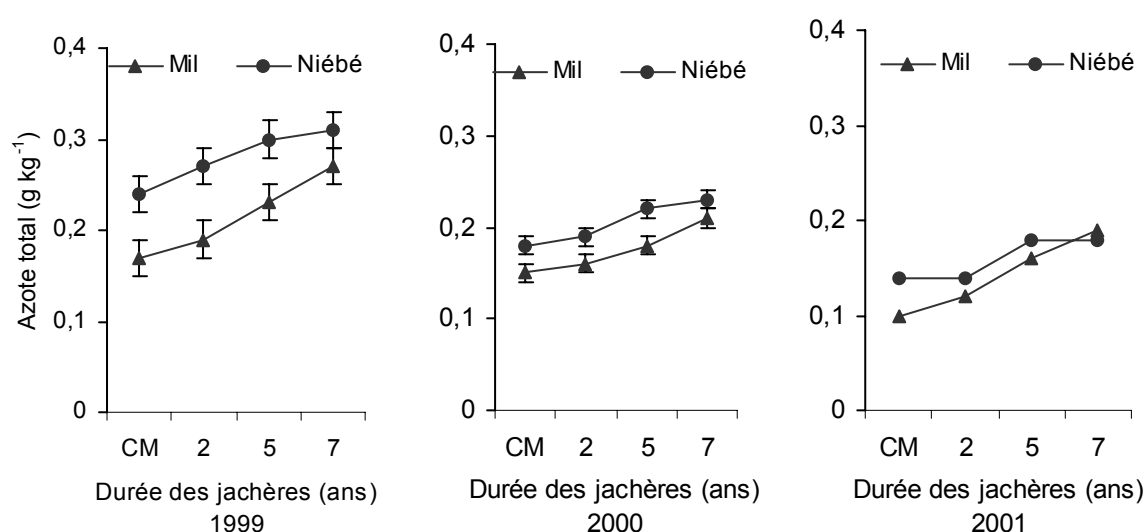


Figure 4b. Effet de la durée des jachères et des précédents culturaux sur l'azote du sol.

#### Effet de la rotation et du PNT sur le *Striga hermonthica*

Les résultats consignés dans le tableau 5 indiquent que les précédents culturaux ont significativement affecté le niveau d'infestation des champs par le *Striga hermonthica* (tableau 5). La culture du niébé en 1998 comme précédent cultural a réduit l'attaque du *Striga* en 1999 de 50% par rapport au précédent mil. Par contre, l'application de fumures phosphatées est restée sans effet sur la propagation de ce parasite du mil.

La pratique des jachères a également eu une influence sur le degré d'infestation du *Striga* (Fig. 5). En 1999 aussi bien qu'en 2001, la densité du *Striga* était plus élevée dans les parcelles de 3–5 années consécutives de culture du mil (MC) que dans les jachères de 2 ans. Van Ast et al. (2003) ont indiqué que la longévité des semences du *S. hermonthica* dans les zones sud soudanienne et nord guinéenne du Mali était beaucoup plus courte que celle communément reportée. Ils ont également montré que le déclin de la viabilité des semences enterrées à 5 et 10 cm de profondeur suit une allure exponentielle avec des taux de mortalité compris entre 70 à 95%. Aucune incidence additionnelle sur le nombre de *Striga* n'a été obtenue avec l'augmentation de la durée des jachères de 2 à 7 ans.

Une interaction significative a été observée entre les effets des précédents culturaux et la durée des jachères sur la densité du *S. hermonthica*. L'effet bénéfique de la rotation du niébé avec le mil

dans la réduction du nombre de *Striga* a été perçu quand le niébé est cultivé après 3–5 années consécutives de culture de mil mais pas après des jachères âgées de 2, 5 et 7 ans (Fig. 5). Aucune apparition du *Striga* n'a été constatée en 2000. Cette situation pourrait être due au semis tardif du mil intervenu entre le 20 Juillet au 10 Août.

Tableau 5. Influence des précédents culturaux, de la durée des jachères et de la fertilisation phosphatée sur l'infestation du *Striga* infestation (nombre de *Striga* par ha)

Cropping systems	1999	2001
<i>Effects of previous crop</i>		
Millet	3,000	11,920
Cowpea	1,480	11,830
SED*	360	1,500
P>F**	0.003	0.967
<i>Effects of fallow lengths</i>		
Continuous millet	6,300 a†	24,280 a
2 years fallow	2,010 b	13,980 b
5 years fallow	550 c	8,110 c
7 years fallow	80 c	1,130 c
SED	500	2,100
P>F	<0.001	<0.001
<i>Effects of P</i>		
P0 (control without P)	1,960	11,370
P1	2,220	11,930
P2	2,300	12,260
P3	2,450	11,940
SED	500	2,100
P>F	0.918	0.993
<i>Interactions (P&gt;F)</i>		
Previous crop x fallow duration	0.028	0.726
Previous crop x P	0.964	0.998
Fallow x P	0.987	>0.999
Previous crop x fallow duration x P	0.998	0.640

\* Erreur standard

\*\* : Niveau de probabilité

† : Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes

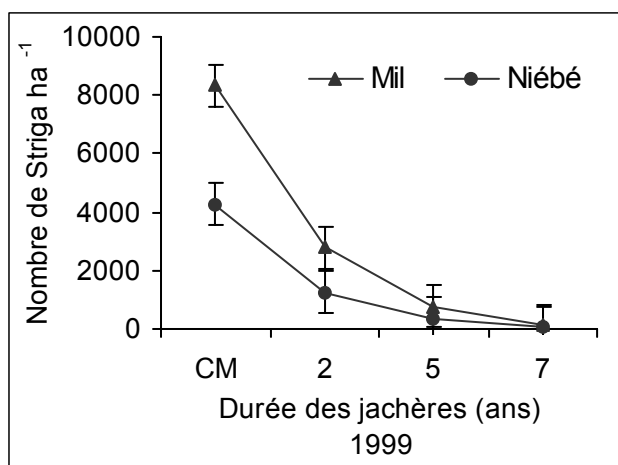


Fig. 5 Effets des précédents culturaux et de la durée des jachères sur l'infestation du *Striga hermonthica* à Lagassagou dans la région Nord du Mali

## Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que la rotation du niébé avec le mil améliore le rendement du mil la première année après la culture du niébé et reste sans effet les années qui suivent. Elle a permis d'améliorer le niveau de l'azote total du sol sans affecter significativement la quantité de carbone organique et de réduire l'infestation des champs par le *Striga hermonthica* de 50% par rapport à la culture continue du mil. L'effet bénéfique de la rotation niébé–mil sur la réduction du nombre de *Striga* a été plus marqué quand le niébé est cultivé après 3–5 années consécutives de mil.

Les pratiques des jachères de 2–7 ans ont permis d'améliorer pendant trois ans, le rendement du mil ainsi que les niveaux de N et C dans le sol et de réduire l'invasion des champs par le *Striga*. Les effets résiduels des jachères de plus de 7 ans n'ont pas été étudiés à cause de leur inexistence dans la zone.

Dans la recherche de technologies durables de production, la rotation niébé–mil semble une option intéressante pour des paysans à faibles revenus étant donné que les ressources en terre diminuent de plus en plus et les producteurs doivent intensifier les systèmes de culture pour accroître la production et satisfaire les besoins alimentaires croissants de la population. L'effet de cette rotation peut être amélioré avec l'apport du PNT ou de TSP. Le choix de ces intrants au niveau des producteurs dépendra des différences de prix entre les sources d'approvisionnement, les doses et les périodes d'application de ces fumures et de la disponibilité de la main d'œuvre pour leur transport et leur utilisation.

## Remerciements

Les auteurs remercient Aly Konta et de Karim Diarra, tous deux techniciens à l'ESPGRN de Mopti pour leur contribution dans la collecte des données et les paysans collaborateurs du village de Lagassagou pour leur disponibilité.

## Reference

- Anderson, J.R., 1992. Difficulties in Africa agricultural systems enhancement: ten hypotheses. *Agricultural Systems* 38: 387-409.
- Bagayoko, M., S.C. Mason and R.J. Sabata, 1992. Effects of previous cropping systems on soil nitrogen and grain sorghum yield, *Agron. J.* 84:862-868.
- Bationo, A and B.R. Ntare, 2000. Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in the semi-arid tropics. *West Africa J. Agricult. Science* 134:277-284.
- Bationo, A, F. Lompo and S. Koala, 1998. Research on nutrient flows and balances in West Africa: State-of-the-art. *Agriculture. Ecosystems & Environment.* 71:19-35.
- Bationo, A., A. Buerker, M.P. Sedogo, B.C. Christianson and A.U. Mokwunye, 1994. A critical review of crop residue use as soil amendment in the West African Semi-arid Tropics. *In: Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa*, J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams and C. Renard (eds.), Volume 1: Conference summary Proceedings of an International Conference held in Addis-Ababa, Ethiopia. 22-26 November 1993.
- Bationo, A; S.H. Chien; J. Henao; C.B. Christianon and A.U. Mokwunye, 1990. Economic evaluation of two acidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1772-1777.
- Buerkert, A; and P. Hiemaux; 1998. Nutrients in the West African Sudano-Sahelian zone: Losses, transfers and role of external inputs. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 161:365-383.
- Club du Sahel, 1991. Synthèse des travaux 1990 du secrétariat du Club du Sahel. Bilan de la décennie 1980-1990 et réflexions pour l'avenir du Sahel. Rapport SAH/D/91/381. Club du Sahel, CILSS, OCDE, Paris, 186 pp.
- Dembélé, B., A.R. Roques, G. Sallé and C. Tuquet, 1994. Plantes parasites des cultures et des essences forestières au Sahel. Institut du Sahel, Bamako, Mali.

- Dugué, P., 1993. La gestion de la fertilité et l'utilisation des ressources naturelles dans les systèmes agropastoraux soudano-sahéliens. Quelques éléments de réflexion à partir des situations du Yatenga (Burkina Faso) et du Sine Saloum (Sénégal). Communication présentée à la journée AGR (Gestion de la fertilité) du 20 Janvier 1993. CIRAD-SAR No 26/93, 15 p.
- Giller, K.E. and K.J. Wilson, 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International, Oxford, UK, pp. 171.
- Jama, B., R.J. Buresh and F.M. Place, 1998. Sesbania tree fallows on phosphorus-deficient sites: maize yield and financial benefit. *Agron. J.* 90:717-726.
- Jones, M.J., 1971. The maintenance of organic matter under continuous cultivation at Samaru, Nigeria. *J. Agric. Sci. Camb.* 77: 473-482.
- Juo, A.S.R. and R. Lal, 1977. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an alfisol in western Nigeria. *Plant and soil.* 47:567-548.
- Nyakanda, C., I.K. Maringa, B.H. Dzowela and H. Murwira, 1998. Biomass production and maize yield under a tree-based improved fallow of Sesbania and pigeonpea. *In* S.R. Waddington *et al.* (eds.) Soil fertility research for the maize-based farming systems in Malawi and Zimbabwe. Proc. Soil Fertil. Network Results and Planning Workshop. Africa Univ., Mutare, Zimbabwe, 7-11 July 1997. Soil Fertil. Network and CIMMYT-Zimbabwe, Harare, Zimbabwe, pp. 115-119.
- Peterson, T.A. and G.E. Varvel, 1989. Crop yield as affected by rotation and N rate. II. Grain Sorghum, *Agron. J.* 81:731-734.
- Piéri, C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. Ministère de la Coopération/CIRAD, Paris, 444 p.
- Roesch, M. and J. Pichot, 1985. Utilisation du phosphate naturel de Tahoua en fumure de fond et en fumure d'entretien dans les sols sableux du Niger. *Agronomie Tropicale* 40 :89-97.
- Samaké. O., 1990. Characterization and agronomic potential of Tilemsi (Mali) rock phosphate Thesis for a degree of Master of Science, Texas A&M University, USA, pp 62.
- Samaké. O., 2003. Main induced spatial variation of soil fertility and millet yields in the Sahel. *In* Integrated crop management strategies in the Sahelian land use systems to improve agricultural productivity and sustainability: A case study in Mali; 47:39-53.
- Stoorvogel, J.J. and E.M.A. Smaling, 1990. Assessment of nutrient depletion in sub-saharan Africa: 1983-2000. Vol. III. Literature review and description of land use systems. 2nd Ed., Report No.28, the Winand Starting Centre for Integrated Land. Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands.
- Tarawali, R., M.A. Von Kaufman and M. Saleem, 1992. The role of livestock-based cropping systems for developing sustainable food production in the sub-Saharan Africa. *In*: Bezeneh, T., M. Kamuaanaga, T. Kibrah and J.O. Olukosi (eds.), SAFGRAD. Oagadougou, Burkina Faso.
- Témé, B., H. Breman and K. Sissoko, 1995. Intensification agricole au Sahel: Mythe ou réalité? Rapport de synthèse du colloque international sur l'intensification agricole au Sahel; Bamako (Mali), Déc. 1995, 28 pp.
- Thibout, F., Traoré, M.F., Piéri, C., Pichot, J., 1980. Utilisation agricole des phosphates naturels de Tilemsi (Mali). Synthèse des résultats de la recherche agronomique sur les cultures vivrières et oléagineuses. *Agronomie Tropicale*, 35:240-249.
- Turco R.F., M. Bischoff, D.P. Breakwell and D.R. Griffith, 1990. Contribution of soil-born bacteria to the rotation effect in corn. *Plan and Soil* 122:115-120.
- Van Ast, A., L. Bastiaans, Z.J.L. Sanogo, A.H. Pieterse and M.J. Kropff, 2003. Longevity of *Striga hermonthica* seed under field and laboratory conditions (in preparation).
- Van der Pol, F., 1992. Soil mining: an unseen contributor for farm income in southern Mali. Bull 325. Royal Tropical Institute. Amsterdam. The Netherlands. 47 pp.
- Van Reuler, H. and B.H. Janssen, 1989. Nutrient constraints in secondary vegetation and upland rice in southwest Ivory Coast. *In*: J.H. Proctor (eds), Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems. Special publication No 9 of the British Ecological Society, Blackwell Scientific publications, Oxford, England, pp 371-382.
- World Bank, 1984: Toward sustained development in sub-Saharan Africa. World Bank, Washington DC, USA.