

# Rapports PSS N°21

Production Soudano-Sahélienne (PSS)  
Exploitation optimale des éléments nutritifs en élevage

Projet de coopération scientifique

## Efficacité d'utilisation du phosphore et de l'azote par *Stylosanthes hamata*, *Vigna unguiculata*, *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum* en zone Soudano- sahélienne du Mali

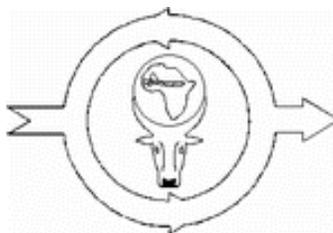
Koné, D.<sup>1</sup> & J.J.R. Groot<sup>2</sup>

Adresse

1) Institut d'Economie Rurale (IER), BP 258, Bamako, Mali

2) AB-DLO, B.P. 14, 6700 AA Wageningen, les Pays-Bas

IER, Bamako  
ISFRA, Bamako  
AB-DLO, Wageningen, Haren  
DAN-UAW, Wageningen



P S S

Rapports PSS N° 21

Wageningen, 1996

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 21

## Table des matières

- [Résumé](#)
- [1. Introduction](#)
  - [1.1. Analyse des données.](#)
- [2. Matériel et méthodes](#)
  - [2.1. Les milieux d'étude](#)
  - [2.2. Matériel végétal](#)
- [3. Resultats](#)
  - [3.1. Vigna unguiculata](#)
    - [3.1.1. Essais pluriannuelles à Cinzana \(essais 6, 7, 8\)](#)
    - [3.1.2. Essais sur jachères jeunes à Cinzana \(essais 9, 10, 11 et 12\)](#)
    - [3.1.3. Essais pluriannuelles à Niono \(essais 1, 3 et 4\)](#)

- [3.1.4. Essais sur sol sableux 'fertile' à Niono \(essai 5\).](#)
  - [3.2. Stylosanthes hamata](#)
    - [3.2.1. Essais pluriannuelles sur sol sableux à Cinzana \(essai 13\).](#)
    - [3.2.2. Essai pluriannuelle sur sol sableux à Niono \(essai 2\).](#)
    - [3.2.3. Essai sur sol limon-sableux à Bamako, 1994 \(essai 23\).](#)
  - [3.3. Graminées](#)
    - [3.3.1. Courbe de croissance et absorption des éléments nutritifs par l'Andropogon gayanus](#)
    - [3.3.2. Production et recouvrement des éléments nutritifs par Andropogon gayanus et Pennisetum pedicellatum](#)
- [4. Discussion](#)
  - [4.1. Approche méthodologique.](#)
  - [4.2. Production de biomasse.](#)
  - [4.3. Teneur en P et N et absorption de P et N.](#)
  - [4.4. Efficacité de l'utilisation de P.](#)
- [Bibliographie](#)
- [Annexe 1.](#)

---

« The research for this publication was financed by the Netherlands' Minister for Development Co-operation. Citation is encouraged. Short excerpts may be translated and/or reproduced without prior permission, on the condition that the source is indicated. For translation and/or reproduction in whole the Section DST/SO of the aforementioned Minister should be notified in advance (P.O. Box 20061, 2500 EB The Hague). Responsibility for the contents and for the opinions expressed rests solely with the authors ; publication does not constitute an endorsement by the Netherlands' Minister for Development Co-operation ».

## Résumé

La présente étude examine l'efficacité d'utilisation du phosphore par les légumineuses, de l'azote et du phosphore par les graminées en rapport avec la disponibilité de l'eau, de la matière organique et des modifications des conditions chimiques des sols liées à une application continue du phosphore.

L'étude comparative des rendements de biomasse aérienne du *Vigna unguiculata* cv Niban après des années successives d'application du phosphore, donne des productions variables en fonction des conditions pluviométriques des années, des types de sol et du site. L'optimum de production de fourrage est obtenu avec la dose de 26 kg ha<sup>-1</sup> de P, quelque soit le type de sol, l'année ou le site. Cette dose permet d'atteindre 6 à 7 t de matière sèche ha<sup>-1</sup> sous une pluviométrie moyenne annuelle de 750 mm de pluie sur un sol sableux-limoneux, et de 3 à 4 t ha<sup>-1</sup> sèche sur sol sableux sous une pluviométrie moyenne annuelle de 500 mm de pluie.

Le suivi de l'arrière-effet du P sur *Vigna unguiculata* démontre un effet résiduel évident du P avec des productions variant entre 3 et 5 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche en fonction des années et des types de sol. Qu'il s'agisse de l'effet direct ou de l'arrière effet, les productions de *Vigna unguiculata* (2 à 3 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche) sont inférieures sur le site de 500 mm de pluie en moyenne par an comparées à celles du site de 750 mm (5 à 6 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche). Les réponses du *Vigna unguiculata* au P sont plus sensibles sur des jeunes jachères.

La réponse du *Stylosanthes hamata* au P est variable en fonction de l'âge de la plante. Il est possible de produire jusqu'à 11 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche avec des plants en deuxième année de croissance contrairement au resemis naturel où les productions moyennes sont de l'ordre de 7 - 8 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche quelque soit le site. Les possibilités d'installer le *Stylosanthes hamata* sous une pluviométrie de 500 mm an<sup>-1</sup> sont limitées à cause des risques des pluviométries faibles et mal réparties.

Les teneurs en éléments nutritifs (N et P) varient en fonction des traitements et de l'année. Il existe un effet du P sur la teneur en N des plantes de *Vigna unguiculata* et du *Stylosanthes hamata*. L'absorption des éléments par le *Vigna unguiculata* et du *Stylosanthes hamata* varie en fonction des traitements. Elle est faible pour le P en comparaison avec celle de N (20 - 30 kg ha<sup>-1</sup> de P en moyenne contre 100 - 150 kg ha<sup>-1</sup> de N). Il existe un effet positif du P sur l'absorption de N par le *Vigna unguiculata* et le *Stylosanthes hamata*.

Le coefficient d'utilisation du P par le *Vigna unguiculata* et le *Stylosanthes hamata* dépasse rarement 30 % en première année d'application. Seulement avec une accumulation du P apporté au sol pendant plusieurs années ce coefficient peut être supérieur à 50 % en année de pluviométrie favorable.

La courbe de croissance et d'absorption des éléments nutritifs d'*Andropogon gayanus* montre que la production maximale sans limitation de N et P pour la zone de pluviométrie 900 mm an<sup>-1</sup> se trouve dans l'ordre de 23 t ha<sup>-1</sup>, ce qui correspond à la production potentielle. En 1994, avec un pluviométrie de 1043 mm, la production (aérienne + racinaire) était de 29 t ha<sup>-1</sup>. En général, on observe une augmentation des quantités d'éléments absorbés jusqu'au moment de la floraison / début fructification. A partir de ce stade les quantités diminuent progressivement, ce qui implique que les quantités d'éléments nutritifs observés au moment de récolte final ne sont pas représentatifs de l'absorption par la culture. La production de la graminée annuelle *Pennisetum pedicellatum* est approximativement 25 % en dessous de celle d'*Andropogon gayanus*, mais son absorption des éléments nutritifs est plus efficace, impliquant des coefficients d'utilisation de N et P qui se trouvent dans le même ordre que pour l'*Andropogon gayanus*.

## 1. Introduction

Dans la zone Soudano-Sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, en plus de la limitation et de la variabilité de la pluviométrie, une des contraintes majeures à la production primaire est la faible fertilité des sols (Penning de Vries & Djitéye, 1982 ; van Keulen & Breman, 1990). L'accroissement démographique a conduit à une situation où l'agriculture extensive ne répond plus aux besoins croissants des populations. Pour satisfaire de façon durable les besoins d'une population croissante, une augmentation de la production par unité de surface s'avère indispensable. Dans la zone Soudano-sahélienne du Mali, l'élevage et l'agriculture utilisent les mêmes ressources naturelles conduisant ainsi à l'installation d'une forte compétition entre ces deux activités avec pour conséquence une surexploitation des ressources naturelles. Van der Pol (1992) a signalé que dans ces zones, plus de 40% des revenus des paysans revenait d'une exploitation exhaustive de la fertilité du sol. Puisque la pauvreté des sols en éléments nutritifs représente le facteur le plus limitatif de la production agro-pastorale dans la zone, l'amélioration de l'utilisation efficace des éléments nutritifs est un élément clé de la durabilité des systèmes de production. Pour comprendre et mieux soutenir la gestion des ressources naturelles, le Projet Production Soudano-Sahélienne (PSS) s'est fixé un objectif global portant sur l'utilisation optimale de N et du P dans la production fourragère et dans l'alimentation du bétail. C'est ainsi que l'**Equipe Production Fourragère** (EPF) tente à travers les essais agronomiques fourragères d'approfondir les connaissances sur la production végétale en liaison avec la disponibilité de ces éléments nutritifs par rapport à la matière organique dans le sol et par rapport à l'application des engrais chimiques et organiques. Pour une meilleure exploitation des intrants externes, l'EPF a donc retenu trois propriétés spécifiques végétaux susceptibles de jouer un rôle important : la capacité fixatrice de N par les légumineuses, la pérennité et l'influence positive des ligneux sur la fertilité des sols.

Le présent rapport examine l'utilisation du P par les légumineuses et de N et P par les graminées annuelles et pérennes. Les associations symbiotiques entre les bactéries fixatrices du genre *rhizobium* et les légumineuses pérennes et annuelles peuvent jouer un rôle important dans le bilan de N du sol. Mais seulement l'augmentation de la production primaire de ces légumineuses ne peut se faire qu'en présence d'une quantité suffisante de P assimilable. Une fois le déficit phosphaté est corrigé, les légumineuses ont alors l'avantage non seulement de satisfaire leur besoin en N mais aussi d'enrichir le sol en cet élément. L'avantage ainsi créé permet donc d'agir positivement sur le coût de production par la minimisation des intrants externes azotés. Du point de vue impact sur l'élevage, les légumineuses fourragères peuvent constituer un supplément de bonne qualité pour les animaux domestiques surtout en saison sèche où la disponibilité fourragère est limitée quantitativement et qualitativement.

Dans cette étude on examine l'utilisation du P par les légumineuses *Vigna unguiculata* (niébé) et *Stylosanthes hamata* sur différents types de sol et de sites à travers la production de biomasse et l'absorption du P et de N pour mieux apprécier l'efficacité d'utilisation (taux de recouvrement) des engrais phosphatés appliqués sur des sols tropicaux dans différentes zones agro-écologiques. D'autre part, compte tenu de la complexité de la dynamique du P dans les sols tropicaux, certains aspects liés à l'arrière-effet et l'effet du temps de jachère sur l'efficacité d'utilisation des engrais phosphatés par le *Vigna unguiculata* ont fait l'objet d'analyse.

La dernière comportante de l'étude porte sur les graminées pérennes, qui peuvent contribuer considérablement à l'augmentation de fertilité des sols. Ils ont un système racinaire permanent et actif et dès les premiers pluies, les nutriments dans le rhizosphère peuvent être absorbés. A cause de son caractère pérenne et son système racinaire profond l'absorption de l'eau et des nutriments continue après l'hivernage, indiquant une utilisation des nutriments efficace. De plus, les pérennes maintiennent une partie des éléments nutritifs en circulation ; au cours de la sénescence des parties aériennes (feuilles, tiges) les éléments sont rémobilisés pour être stockés dans le plateau de tallage et les grosses racines. Ce comportement permet à l'espèce de diminuer les pertes en nutriments et ainsi d'augmenter l'efficacité d'utilisation de ceux-ci. La production de biomasse racinaire d'*Andropogon gayanus* est élevée (Breman *et al.*, dans Penning de Vries & Djitèye, 1982), ayant un effet améliorateur sur la teneur en matière organique du sol ; qui par tour influence positivement l'efficacité d'utilisation de N et de P. Parmi les nombreuses espèces testées dans le domaine de la production fourragère en Afrique tropicale, l'*Andropogon gayanus* s'est avéré la plus prometteuse. En plus de l'aspect production de fourrage de quantité et qualité (selon l'époque de récolte), divers auteurs (Bowden, 1963 ; Boudet, 1975 ; Jones, 1979) lui reconnaissent des propriétés améliorantes des sols cultivés.

Dans nos essais d'utilisation des nutriments, la graminée annuelle *Pennisetum pedicellatum* est utilisée comme témoin. Le *Pennisetum pedicellatum* est très répandu dans les savanes africaines sur sols légers bien drainés. Elle s'installe rapidement sur les terrains de culture abandonnés. Par rapport aux autres graminées annuelles, le *Pennisetum pedicellatum* est caractérisé par un cycle qui s'allonge avec la pluviométrie et un système racinaire dense (Breman *et al.*, 1982).

L'étude examine d'une façon quantitative la croissance et le développement de l'*Andropogon gayanus* par la détermination de la biomasse aérienne et souterraine de la plante à différents stades de développement et par le suivi de l'évolution de la teneur de la plante en différents éléments nutritifs. En plus, l'efficacité d'utilisation de l'azote et du phosphore par l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum* en appliquant des doses croissantes d'azote et du phosphore a été déterminé. Pour chacune des espèces, la biomasse aérienne et sa teneur en N et P ont été mesurées à la fin du cycle.

## 1.1. Analyse des données.

L'analyse des résultats des essais s'appuie sur la représentation graphique comme suggérée par de Wit (1953). La description de ce type d'analyse est basée sur Siband *et al.* (1989). L'exemple (la Figure 1) présente trois relations :

*Le quadrant a* montre la relation entre la production de la biomasse aérienne et la quantité de N ou P absorbé par la culture. En général il existe une relation proportionnelle entre l'absorption et le rendement sous les conditions d'absorption faible. Cette proportionnalité est la conséquence du fait que sous des conditions de disponibilité limitée d'un élément nutritif, le taux de cet élément dans le tissu aboutit à une valeur limitative. Donc, il est impossible d'arriver à des taux inférieurs, à moins de rémobiliser l'élément des structures végétatives. La conséquence est que chaque unité de N ou de P absorbée augmente le rendement avec la même quantité. Si l'absorption des éléments nutritifs augmente, la relation entre l'absorption et le rendement s'écarte de la linéarité, aboutissant à des concentrations plus élevées dans la culture. Finalement la courbe atteint un niveau constant, indiquant que l'élément considéré n'est plus le facteur limitatif pour la croissance. La valeur de ce plateau est déterminée par le facteur le plus limitatif, et sous conditions de « croissance potentielle » (c'est à dire aucune restriction pour la croissance) fonction de la disponibilité de l'énergie solaire.

*Le quadrant b* donne la relation entre la quantité d'élément appliquée et son absorption par la culture. Pour N, la relation entre la quantité appliquée est souvent une ligne droite pour toutes les doses appliquées. Si des quantités d'engrais élevées sont

appliquées, la capacité d'absorption par la végétation sera limitative, et la relation entre l'application et l'absorption montre une discontinuité. En général, la relation peut être caractérisée par deux paramètres : le point d'intersection avec l'axe horizontal et la pente. Le premier paramètre représente la fertilité naturelle du sol, i.e. la quantité de N ou P dérivant des sources naturelles comme la matière organique. Le deuxième paramètre représente le coefficient d'utilisation apparent de l'engrais, i.e. le rapport entre la quantité absorbée et la dose appliquée.

*Figure 1. Des relations entre la biomasse aérienne, la quantité d'engrais appliquée et la quantité de P absorbé par la biomasse aérienne pour l'essai de *Vigna unguiculata* sur sol sablo-limoneux à Cinzana (750 mm an<sup>-1</sup>). Pour les explications voir l'introduction, analyse des données.*

Comme pour N, la relation entre application du P et absorption de cet élément est caractérisée par une absorption en l'absence d'engrais (P fourni par des sources naturelles) et le recouvrement de l'engrais chimique appliqué. Pour les engrais phosphatés, la situation est plus complexe que pour les engrais azotés. Apparemment, les processus qui jouent un rôle dans la disponibilité de cet élément pour la culture, ne suivent pas des dynamiques de premier ordre, c'est à dire que les vitesses des processus ne sont pas simplement proportionnelles à la concentration de l'élément dans la solution. Les processus d'adsorption, précipitation et immobilisation enlèvent des ions de la solution du sol. Les vitesses de transformation (adsorption par le sol, immobilisation) et le niveau d'équilibre sont déterminés par des conditions du sol, notamment la teneur en eau, la température et le pH. Donc, la concentration n'est pas proportionnelle à la quantité appliquée. En conséquence, le recouvrement d'engrais phosphaté est généralement bas, et diminue en fonction de la quantité. Cependant, après plusieurs années d'application de P, on devrait s'attendre à une amélioration du coefficient d'utilisation. Une des raisons principales est la saturation en P de complexe d'adsorption (surtout des oxydes de fer et d'aluminium et des particules fines des sols). Ainsi au fil du temps un nouvel équilibre s'installe entre le P adsorbé et le P en solution ; les 'pertes' en P par adsorption seront moindres, et le coefficient d'utilisation du P s'accroît avec une augmentation du P libre dans les solutions du sol.

*Le quadrant c*, composé des deux autres par l'élimination de l'absorption présente la relation commune, la courbe de réponse c'est à dire le rendement en fonction de la quantité de l'élément appliqué.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Les milieux d'étude

Les essais ont été exécutés dans trois zones pluviométriques : 500 mm an<sup>-1</sup> (Station de Recherche Agronomique Niono, « Ranch de Niono »), 750 mm an<sup>-1</sup> (Station de Recherche Agronomique de Cinzana) et 900 mm an<sup>-1</sup> (Station de recherche Agronomique de N'Tarla et Station de recherche Agronomique de Sotuba-Bamako), et sur différents types de sol. Les différents essais sont résumés dans le Tableau 1. La pluviométrie pour les différentes années de recherche est donnée dans le Tableau 3.

*Site Niono (500 mm an<sup>-1</sup>)*. Il fait parti du delta fossile du fleuve Niger et situé à 15 Km à l'Est de Niono (5°45'O, 14°30'N) et à une altitude de 227 m. Le climat est du type Soudano-sahélien caractérisé par des températures élevées (29°C en moyenne par an) avec des minima de 8 à 9°C (Novembre à Février) et des maxima de 40°C (Mai-Juin), une forte évapotranspiration (1700 mm an<sup>-1</sup> en moyenne) de l'ordre de 4,2 mm j<sup>-1</sup> et une pluviométrie moyenne annuelle de 500 mm pendant la seule saison de croissance de Juin à Septembre, alternant avec une période sèche de huit à neuf mois. Les quantités moyennes de pluie tombées pendant les années de l'étude sont 370, 280 et 567 mm respectivement pour 1992, 1993 et 1994. Les caractéristiques physico-chimiques des terrains d'essais sont consignées dans le Tableau 2.

*Site Cinzana (750 mm an<sup>-1</sup>)*. Son climat de type Soudano-sahélien situé entre 5°55'O et 13°10'N et à une altitude de 280 m est caractérisé par des températures moyennes annuelles se situant entre 28° et 33°C avec des minima variant entre 8 et 12°C au mois de Janvier et des maxima entre 39 - 40°C au mois d'Avril. Les vents sont très violents au début des tornades, et l'évapotranspiration potentielle reste très élevée. La saison des pluies se situe entre Juin et mi-Octobre avec le maximum de

pluie au mois d'Août. Les précipitations annuelles normales sont de l'ordre de 750 mm par an. Les quantités de pluie tombées pendant les années de l'étude sont 749, 580 et 849 mm respectivement pour 1992, 1993 et 1994. La végétation est de type savane arborée caractérisée par une strate haute et clairsemée. C'est sur cette formation végétale d'une durée de jachère d'au moins dix ans que les essais agronomiques de réponse des cultures fourragères aux engrais phosphatés et azotés ont été conduits. Les caractéristiques physico-chimiques des terrains d'essais sont consignées dans le Tableau 2.

*Site N'Tarla (900 mm an<sup>-1</sup>)*. La Station de Recherche Agronomique de N'Tarla est situé à 5deg.42'O ; 12deg.35' N avec une altitude moyenne de 310 m. Son climat est de type Soudanien avec une saison sèche qui s'étend de Novembre à Avril et une saison pluvieuse de Mai à Octobre avec un pic au mois d'Août (260 mm). Entre 1951 et 1967 la pluviométrie oscillait autour de 1.000 mm an<sup>-1</sup> ; pour la période 1968-1992 la pluviométrie moyenne est tombée à 903 mm an<sup>-1</sup>. Pendant l'année d'étude 1992, le pluviométrie a été de 987 mm. Les températures moyennes annuelles se situent aux environs de 26 à 28deg.C avec des températures minimales de 6 à 14deg.C au mois de Janvier et des températures maximales de 36 à 41deg.C au mois d'Avril. Le site d'expérimentation à N'Tarla sur lequel est installé la population d'*Andropogon gayanus* est un bas-glacis à surface plane de la catégorie des sols dits ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux. Les caractéristiques physico-chimiques des terrains d'essais sont consignées dans le Tableau 2.

Tableau 1. Description des différentes sites

	ZONE	Espèce	Sol/code	Histoire	Durée essai	Doses de N ou P (kg ha <sup>-1</sup> )	Observations
1.	Niono (500 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Sable	Pâturage naturel	1991-1994	P : 0-26-53-78	Arrières effets : 1993 et 1994
2.	Niono (500 mm)	<i>S.hamata</i>	Sable	Pâturage naturel	1991-1993	P : 0-22-44-66-88	Essai arrêté en 1993 à cause de l'hétérogénéité élevée
3.	Niono (500 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Limon-1	Pâturage naturel	1991-1992	P : 0-26-52-78	Essai arrêté en 1993 à cause de l'hétérogénéité élevé
4.	Niono (500 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Limon-2	Pâturage naturel	1991-1994	P : 0-26-52-78	Arrières effets : 1993 et 1994
5.	Niono (500 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Sable	Jachère de > 7 ans	1994	P : 0-9-17-26-36-44	Essai sur "sol fertile" abandonné par les paysans
6.	Cinzana (700 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Sable	Jachère de > 10 ans	1991-1994	P : 0-26-52-78	Arrières effets : 1993 et 1994
7.	Cinzana (700 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Sable-limon	Jachère de > 10 ans	1991-1994	P : 0-26-52-78	Arrières effets : 1993 et 1994
8.	Cinzana (700 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Argile	Jachère de > 10 ans	1991-1994	P : 0-26-52-78	Arrières effets : 1993 et 1994
9.	Cinzana (700 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Limon	Jachère de 1 année	1993-1994	P : 0-26-52-78	Arrières effets en 1994
10.	Cinzana (700 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Limon	Jachère de 2 années	1994	P : 0-9-18-27-36-45-54	
11.	Cinzana (700 mm)	<i>V.unguiculata</i>	Sable	Jachère de 1 année	1993-1994	P : 0-26-52-78	Arrières effets en 1994

12.	Cinzana (700 mm)	<i>V. unguiculata</i>	Sable	Jachère de 2 années	1994	P : 0-9-18-17-36-45-54	
13.	Cinzana (700 mm)	<i>S. hamata</i>	Sable	Jachère de > 10 ans	1991-1994	P : 0-22-44-66-88	
14.	Cinzana (700 mm)	<i>A. gayanus</i>	Sable	Jachère de > 10 ans	1993	P : 0 ; N : 0 et P : 180, N : 300	Courbe de croissance sur parcelle installé en 1991
15.	Cinzana (700 mm)	<i>A. gayanus</i>	Sable	Jachère de > 10 ans, <i>A. gay.</i> installé 1991	1993	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P
16.	Cinzana (700 mm)	<i>P. pedicellatum</i>	Sable	Jachère de > 10 ans suivi par 2 ans <i>A. gay.</i>	1993	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P
17.	Cinzana (700 mm)	<i>A. gayanus</i>	Sable-limon	Jachère de > 10 ans, <i>A. gay.</i> installé 1991	1993	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P
18.	Cinzana (700 mm)	<i>P. pedicellatum</i>	Sable-limon	Jachère de > 10 ans suivi par 2 ans <i>A. gay.</i>	1993	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P
19.	N'Tarla (900 mm)	<i>A. gayanus</i>	Sable-limon	<i>A. gayanus</i> installé en 1951	1993	P : 0 ; N : 0 et P : 180, N : 300	Courbe de croissance sur parcelle installé en 1951
20.	N'Tarla (900 mm)	<i>A. gayanus</i>	Sable-limon	<i>A. gayanus</i> installé en 1951	1993-1994	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P

21.	N'Tarla (900 mm)	<i>P. pedicellatum</i>	Sable-limon	Semée après fauche <i>A.gay</i> installé en 1951	1993-1994	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P
22.	N'Tarla (900 mm)	<i>P. pedicellatum</i>	Sable-limon	Sol «épuisé» après monoculture de mil	1993	P : 0-20-40-60-80 N : 0-75-150-225-300	Recouvrement P sans limitation N Recouvrement N sans limitation P
23.	Sotuba (900 mm)	<i>S.hamata</i>	Limon-sable	Jachère	1994	0-11-22-33-44-55-66	Parcelle installé en 1991

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm des sols des différentes essais. Pour la numérotation des essais voir le Tableau 1.

No. d'essai (voir Tab.1)	1,2	3	4	5	6,11,12,13,14,15,16	7,17,18	8	9,10	11,12	19,20,21	22	23
pH (eau)	5.67	5.23	5.13	5.73	5.02	5.60	5.41	5.23	5.58	5.67	5.36	5.42
pH KCL	5.98	3.92	3.99	4.36	4.54	4.15	5.03	4.70	4.44	5.77	5.43	4.30
% C	0.18	0.26	0.42	0.17	0.21	0.29	0.92	0.79	0.32	0.39	0.24	0.31
% N	0.02	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.06	0.06	0.01	0.03	0.02	0.01
C/N	9	5	13	8.5	12	15	15	13	32	13	12	31
P-ass(ppm)	5.1	4.6	1.3	2.09	4.2	2.2	1.8	2.4	4.3			1.7
P-tot(ppm)	122	115	104	103	78	90	156	166	58	20.4	19.1	75
CEC (meq/100g)	2.1	9.0	5.7	1.8	1.2	2.5	12.0	8.1	2.04	1.90	1.60	3.33
Ca (meq/100 g)	1.02	2.42	2.68	0.81	0.48	0.74	8.56	4.66	1.00	1.17	0.83	0.69
Mg (meq/100 g)	0.46	2.07	2.23	0.44	0.17	0.32	2.48	1.90	0.27	0.40	0.26	0.46
K (meq/100 g)	0.28	0.47	0.27	0.25	0.08	0.14	0.51	0.41	0.31	0.18	0.12	0.20
Na (meq/100 g)	0.00	0.24	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.38
Saturation (%)	84	58	92	84	61	48	96	86	86	92	76	52
Sable (%)	76.7	50.8	19.6	69.9	77.0	73.6	36.5	35.6	85.3	61.5	60.0	47.3
Limon (%)	17.9	31.4	55.5	23.9	17.2	15.7	25.1	29.8	9.7	28.7	32.6	43.4
Argile (%)	5.4	17.8	24.9	6.2	5.8	10.7	38.4	34.6	5.0	6.1	7.4	9.3

Tableau 3. Description des sites expérimentaux

Site	pluviométrie moyenne (mm an <sup>-1</sup> )	coordonnées	Pluviométrie (mm)

			1992	1993	1994
Niono	500	5deg.45'O 14deg.30'N	370	280	567
Cinzana	750	5deg.55'O 13deg.10'N	749	580	849
N'Tarla	900	5deg.42'O 12deg.35'N	987	704	1043
Sotuba	900	7deg.57'O 12deg.40'N			1108

*Site Sotuba-Bamako (900 mm an<sup>-1</sup>)*. Ce site retenu seulement pour une année de croissance correspond également à un climat du type Soudano-sahélien dont les coordonnées géographiques sont : longitude 7°57'O, latitude 12°40'N altitude 325 m. Le climat est caractérisé par une température moyenne annuelle variant entre 26°C et 31° C avec une forte amplitude. Le maximum de température peut atteindre 42°C en avril contre un minimum de 10°C en janvier. La pluviométrie annuelle moyenne par an est de 900 mm avec une saison des pluies allant de Mai à Octobre. Pendant l'année de l'essai, il est tombé 1108 mm de pluie. Les vents sont surtout l'harmattan chaud et la mousson humide. Les caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm du sol de l'essai sont données dans le Tableau 2.

## 2.2. Matériel végétal

### *Vigna unguiculata (niébé)*

A Niono (500 mm), les essais avec des doses croissantes de P ont été installés en 1991 sur 3 sols (voir Tableaux 1 et 2) sur pâturage naturel. Le dispositif expérimental pour tous les essais est le bloc de Fisher en 4 répétitions. Le variété de niébé était le *Niban* (longueur de cycle 90 j) en 1991 et 1992, et le *Gorom-gorom* en 1993 et 1994 (longueur de cycle 70 j). L'engrais phosphaté appliqué est le Triple Super Phosphate (TSP, 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), et les doses appliqués, sont de 0, 26, 52 et 78 kg ha<sup>-1</sup> (P-pure). Les mêmes doses sont appliqués sur les mêmes parcelles pendant les 4 années d'essais. Après 2 ans d'application de P, les sous-parcelles ont été divisés en deux ; sur une moitié l'application de P continuait, par contre l'autre moitié ne recevait plus de P en 1993. En 1994 aucun des sous-parcelles des essais pluriannuelles à Niono n'a reçu du P. Cette méthode permet non seulement de cerner les modifications physico-chimiques liées à l'application continue de P, mais aussi d'apprécier les arrière-effets sur la production fourragère de l'espèce pour différentes années d'application. En 1992, sur les mêmes sites, des essais parallèles ont été installés afin d'évaluer l'effet des oligo-éléments (Cu, Fe, B, Mn, Zn et Mo) et l'effet de l'inoculum avec les bactéries du type *Rhizobium*. En 1994, un essai supplémentaire est installé sur un sol sableux, abandonné par les paysans depuis 1989 à cause des productions faibles du mil. Les doses de P appliqués étaient de 0, 9, 17, 26, 36 et 45 kg (P) ha<sup>-1</sup>. A coté de l'essai, une parcelle de la graminée annuelle *Schoenefeldia gracilis* a été semé afin d'estimer la quantité de N fixé par les légumineuses par la méthode de différence (N fixé = N absorbé par la légumineuse - N absorbé par la graminée).

A Cinzana (750mm), les essais avec des doses croissantes de P ont été installés en 1991 sur trois types de sol d'au moins 10 ans de jachère (sol sableux, sablo-limoneux et argileux), suivant la même méthodologie qu'à Niono. Le variété de niébé était le *Niban* (longueur de cycle 90 j) pendant les 4 années. Pour cerner les rendements en fonction d'application de P sur des sols épuisés, deux essais ont été installés en 1993 sur des jachères d'une année, suivant le même dispositif sur sol sableux et limoneux. Après une année d'application de P en 1993, l'arrière effet a été étudié en 1994. Une autre étude avait été initiée en 1994 étant entendu que les doses croissantes de P appliqué depuis le démarrage du projet avaient des pas très grands. Ces essais étaient situés sur des jachères de 2 années, sol sableux et limoneux. Les doses appliqués étaient de 0, 9, 18, 27, 36, 45 et 54 kg(P) ha<sup>-1</sup>.

Tous les sols ont été caractérisés au démarrage des essais par des prélèvements de sol à une profondeur de 1,20 m par couche de 20 cm suivant des points radiant du centre des parcelles. Le labour et le billonnage des parcelles ont été effectués à la main. Les semis ont été faits à un écartement de 0,40 m entre poquets et 0,80 m entre billons. Le cloisonnement, le traitement phytosanitaire et le sarclage en fonction de l'enherbement des parcelles ont été effectués. La production de biomasse aérienne a été déterminée à partir des parcelles utiles définies, au stade 50% de floraison correspondant aux teneurs maxima des éléments nutritifs. Des échantillons de plantes ont été prélevés pour la détermination de la teneur en N et P en fonction des

doses croissantes de P. Pour un suivi des changements physico-chimiques des différents sols des prélèvements par couches de 20 cm jusqu'à une profondeur de 120 cm ont été faits en début et en fin de chaque campagne sur les parcelles d'essais. L'humidité des différents sols sous cultures n'a pu être mesuré que partiellement..

### ***Stylosanthes hamata***

La culture de *Stylosanthes hamata* a été installée depuis la campagne 1991 sur le site de 500 mm an<sup>-1</sup> (Niono, sol sableux) et de 750 mm an<sup>-1</sup> (sol sableux à la Station de Cinzana) et sur le site de 900 mm an<sup>-1</sup> (Station de Sotuba-Bamako) en 1991. Si à la Station de Cinzana la culture a bénéficié d'une fumure de fond phosphaté de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sous forme de TSP, cela ne fut pas le cas à Niono et à la Station de Sotuba. Après une végétation bien établie, les essais ont débuté en 1992 sur les sites de Niono et Cinzana. A Niono l'essai a été abandonné en 1993 à cause d'une hétérogénéité trop élevée. A Cinzana il a été exécuté pendant trois ans (1992-1994) alors que celui du site de 900 mm n'a duré que la saison de croissance 1994. Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fisher avec des doses croissantes d'engrais phosphaté (0, 22, 44, 66 et 88 kg ha<sup>-1</sup> de P) sous forme de Triple Super Phosphate (TSP) pour les sites des 500 mm (Niono) et 750 mm de pluie (Cinzana) contre des doses plus faibles pour celui des 900 mm (0, 11, 22, 33, 44, 55 et 66 kg ha<sup>-1</sup> de P). Les prélèvements de sols ont été effectués suivant la méthodologie appliquée aux essais de *Vigna unguiculata*. L'estimation des productions de biomasse aérienne des parcelles élémentaires a été faite à partir des parcelles utiles. Des échantillons de plantes ont été prélevés pour la détermination de la teneur en azote et en P des plants afin de se prononcer sur l'absorption de ces éléments.

### ***Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*.**

Les essais d'*Andropogon gayanus* à Cinzana a été conduit sur une parcelle mise en place sur une jachère d'au moins 10 années, pendant la campagne 1991. L'étude à N'Tarla a été conduite sur une bande d'*Andropogon gayanus* de 12 m de large. Cette bande anti-érosive installée depuis 1951 a été assimilée à une population naturelle. Il n'a pas été possible d'installer des répétitions au niveau des sites. Au démarrage des essais, il a été procédé à une fauche dite d'homogénéisation de l'*Andropogon gayanus* à 50 cm au dessus du sol suivi du cloisonnement des sous parcelles. Quant au *Pennisetum pedicellatum*, il a été semé à la volée, après l'installation des pluies sur des parcelles ayant supportés d'*Andropogon gayanus* à Cinzana et à N'Tarla. Afin d'apprécier l'effet de la matière organique du sol sur l'efficacité de l'utilisation des engrais azotés et phosphatés par *Pennisetum pedicellatum*, l'espèce a été aussi installé à N'Tarla sur un sol épuisé (jachère d'une année après plusieurs années de monoculture de mil), avec une texture comparable à celle sous *Andropogon gayanus*.

Des doses croissantes d'azote (0, 75, 150, 225 et 300 kg(N) ha<sup>-1</sup>) sous condition non limitative du phosphore (180 kg ha<sup>-1</sup> de P) et des doses croissantes de P (0, 20, 40, 60 et 80 kg ha<sup>-1</sup>) sous condition non limitative de N (300 kg ha<sup>-1</sup> de P) ont été appliquées avec un témoin absolu commun aux deux facteurs. La source de l'azote utilisé est l'urée (46% de N) et celle du phosphore est le Triple Super Phosphate (46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). En 1994, le potassium (300 kg ha<sup>-1</sup>) sous forme de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et un mélange industriel des oligo-éléments (Cu, Fe, B, Mn, Zn et Mo) ont été appliqués pour corriger d'éventuelles carences en ces éléments.

L'estimation de la production d'*Andropogon gayanus* est intervenue en fin de cycle de la plante bien après la production des semences de l'espèce sur des parcelles utiles définies. Quant au *Pennisetum pedicellatum*, il a été récolté à 50% de floraison. En tous les cas, des échantillons ont été prélevés pour la détermination des teneurs en N et P afin de déterminer les absorptions des différents éléments en vue d'apprécier leur efficacité d'utilisation par les deux graminées.

## **3. Resultats**

### **3.1. *Vigna unguiculata***

#### **3.1.1. Essais pluriannuelles à Cinzana (essais 6, 7, 8)**

**Production du biomasse.** Le Tableau 4a montre les résultats des essais pluriannuelles sur différents types de sol à Cinzana. L'analyse statistique pluriannuelle des productions de biomasse aérienne indique une différence significative entre les types de sol ( $p < 0,05$ ). Pour toutes les années confondues, le sable-limoneux est considéré le plus productif suivi de l'argile et du sable. Cette différence significative est également observée pour les années, où l'année 1994 est considérée la plus favorable à la production fourragère du *Vigna unguiculata* suivi des années 1992 et 1993. Cette différence est certainement liée aux différences pluviométriques observées au cours des trois dernières années. Quant aux doses de P appliqués, les résultats suggèrent uniquement une différence entre le témoin et les autres traitements ( $p < 0,05$ ). Ainsi donc pour avoir une réponse du *Vigna unguiculata* au P, la dose de  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  de P semble suffisante dans la mesure où une augmentation de doses n'entraîne plus une augmentation significative de la production. L'application d'oligo-éléments (Cu, Fe, B, Mn, Zn et Mo) et de l'inoculum avec des bactéries du genre *Rhizobium* pendant la saison de croissance 1992, n'avait pas eu un effet positif sur la production de biomasse aérienne.

**Teneur en P et N.** Des Tableaux 4b et 4c, il ressort que la teneur moyenne en P du *Vigna unguiculata* d'une manière générale, augmente en fonction des doses appliquées quelque soit le type de sol et l'année. Le sable-limon donne les teneurs en P les plus élevées suivi du sable et de l'argile. Pour le sable et l'argile on constate une augmentation de teneur en P au cours de trois années d'application de P. L'année (pluviométrie) n'apparaît pas comme un facteur important dans l'évolution des teneurs en P. Quant aux teneurs moyennes en N, aucune tendance nette ne se dégage quelque soit les doses de P appliqué.

**Absorption de P et N.** Les Tableaux 4d et 4e donnent respectivement les moyennes des absorptions de P et N en fonction des différentes doses de P appliqué. Les absorptions moyennes de P augmentent en fonction des doses appliquées quelque soit le type de sol et l'année. Elles sont plus élevées sur le sable-limon que sur les autres types de sol. L'année 1994 correspond à une année particulièrement favorable à l'absorption du P (effet pluviométrie, voir aussi Tableau 3) sur le sol sable-limon, suivi de l'argile et du sable. Quelque soit le type de sol et l'année, l'absorption dépasse rarement les  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de P et n'est pas proportionnelle aux doses appliquées. Quant aux absorptions de N, la tendance n'est pas aussi nettement marquée que dans le cas du P. Au delà de  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, on n'observe plus une augmentation dans l'absorption de N. En utilisant la moyenne des absorptions des traitements  $P_{26}$ ,  $P_{52}$  et  $P_{78}$ , on constate pour les années 1992, 1993 et 1994 une augmentation de l'absorption de N par rapport au témoin, de 24, 26 et 166% pour le sable, de 10, 133 et 107% pour le sable-limon et de 51, 57 et 30% pour l'argile.

**Coefficient d'utilisation des engrais.** Le Tableau 4e donne le coefficient d'utilisation pour chaque dose de P. On constate qu'il y a une diminution de ce coefficient en fonction des doses croissantes au cours de la même année. Il augmente au fil du temps quelque soit le type de sol sauf en 1993 sur le site sableux (faible disponibilité d'eau en année déficitaire par comparaison aux autres sites). Les coefficients les plus élevés sont observés pour la dose de  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  en 1994 (Figure 1) sur sol sableux-limoneux. Les résultats suggèrent également que la disponibilité naturelle de P en 1993 et 1994 a diminué par rapport à 1992 dû à un effet combiné de l'exploitation et des variations pluviométriques. Cependant l'augmentation de l'absorption sans application de P en 1994 s'explique par la pluviométrie élevée en 1994 ; étant entendu que les teneurs élevées en eau du sol ont certainement eu un effet positif sur la disponibilité de P naturel du sol.

Tableau 4. Effet du P sur a : la production aérienne ( $\text{t ha}^{-1}$ ), b : la teneur en P (%), c : la teneur en N (%), d : l'absorption de P ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), e : l'absorption de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) et f : le recouvrement de P (%) du *Vigna unguiculata* par traitement, par type de sol et par an à Cinzana.

Traitement (kg P $\text{ha}^{-1}$ )	SABLE			SABLE LIMONEUX			ARGILE		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994	1992	1993	1994
a. Production ( $\text{kg ha}^{-1}$ )									
0	4,22	2,55	1,55	4,18	2,35	3,57	2,26	2,59	5,00
26	4,36	3,23	4,64	5,14	5,49	7,63	3,44	3,85	7,01

52	5,03	2,65	4,08	5,97	5,00	6,46	3,25	4,37	5,59
	4,43	2,73	4,27	5,47	5,34	7,32	3,56	4,09	6,85
<b>b. Teneur en P (%)</b>									
0	0,16	0,25	0,28	0,36	0,26	0,25	0,18	0,12	0,26
26	0,19	0,35	0,36	0,42	0,40	0,38	0,20	0,22	0,30
52	0,33	0,41	0,45	0,45	0,47	0,43	0,18	0,25	0,35
78	0,39	0,45	0,47	0,52	0,58	0,49	0,23	0,28	0,45
<b>c. Teneur en N (%)</b>									
0	1,90	2,50	3,02	2,60	2,90	2,75	2,00	2,70	2,65
26	2,10	2,70	2,84	2,05	2,60	2,81	2,10	2,60	2,59
52	2,30	2,80	2,97	2,30	2,90	2,85	1,90	2,70	2,59
78	2,20	2,80	2,96	2,06	2,90	2,91	2,07	2,80	2,63
<b>d. Absorption du P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>									
0	6,8	6,4	4,3	15,1	6,1	9,2	4,1	3,3	12,6
26	13,0	11,3	16,5	21,5	22,3	28,4	6,9	8,4	21,3
52	17,0	10,9	18,4	27,2	23,5	27,8	5,8	10,9	20,1
78	17,3	12,5	19,1	28,3	31,0	35,5	8,4	11,5	30,1
<b>e. Absorption de N (k g ha<sup>-1</sup>)</b>									
0	82,4	63,5	47,0	110,3	64,4	98,0	46,4	70,1	130,3
26	92,5	89,1	130,9	112,5	146,2	212,4	72,3	101,0	181,7
52	113,7	75,1	121,2	138,0	147,8	183,6	65,0	116,6	147,7
78	97,4	76,9	123,3	112,5	155,5	212,1	73,8	113,2	179,2
<b>f. Coefficient d'utilisation de P (%)</b>									
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	23	18	46	24	61	73	11	20	33
52	19	8	27	23	33	35	3	15	14
78	13	8	19	17	31	33	5	10	22

Tableau 5. Arrière-effet de l'application du P sur a : la production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), b : la teneur en P (%), c : la teneur en N (%), d : l'absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), e : l'absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et f : le recouvrement cumulé de P (%) du Vigna unguiculata par traitement, par type de sol et par an à Cinzana.

Traitement (kg P ha <sup>-1</sup> )	SABLE		SABLE LIMONEUX		ARGILE	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994
<b>a. Production (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	2,35	1,55	2,35	3,57	2,59	4,99
26	3,20	2,28	3,48	7,26	3,52	6,49
52	3,78	2,47	3,82	6,35	4,13	5,53

78	3,99	2,49	3,77	6,02	3,98	6,13
<b>b. Teneur en P (%)</b>						
0	0,25	0,28	0,20	0,25	0,24	0,26
26	0,44	0,33	0,33	0,24	0,31	0,22
52	0,46	0,30	0,35	0,27	0,35	0,22
78	0,51	0,45	0,42	0,32	0,41	0,26
<b>c. Teneur en N (N)</b>						
0	2,47	3,02	2,77	2,75	2,65	2,65
26	2,70	2,79	2,78	2,37	2,75	2,28
52	2,65	2,32	2,76	2,31	2,78	2,17
78	2,61	2,89	2,87	2,57	2,78	2,37
<b>d. Absorption du P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	6,4	4,3	5,8	9,2	5,6	12,1
26	14,0	7,2	11,4	17,2	11,0	14,4
52	17,2	7,4	13,0	17,1	14,2	12,3
78	19,8	10,3	15,8	19,6	15,9	16,5
<b>e. Absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	63,5	47,0	68,0	98,0	61,4	124,0
26	86,9	63,2	104,4	171,3	96,9	149,4
52	101,5	56,8	108,5	144,8	112,6	120,1
78	104,1	70,3	104,0	156,1	107,8	147,5
<b>f. Coefficient d'utilisation cumulatif de P (%)*</b>						
0	-	-	-	-	-	-
26	41.5	47.1	50.0	65.4	26.3	30.8
52	29.5	33.3	34.1	41.7	16.1	16.3
78	22.3	26.2	28.8	35.6	16.0	18.7

\* Coefficient d'utilisation cumulatif :  $([\Sigma](P_{\text{abs}} - P_0) / [\Sigma]\text{appl}) * 100\%$

**Arrière-effets.** Après 2 années d'application successive de P, les parcelles ont été divisées en deux afin de pouvoir suivre l'arrière-effet de P sur l'une des deux sous-parcelles. Le Tableau 5a montre les arrière-effets observés en 1993 et 1994, après application de P en 1991 et 1992. Les résultats suggèrent que l'arrière-effet du P est plus remarquable sur l'argile et le sable-limon que sur le sable. Quant aux traitements, tous sols confondus, les doses de 26, 52, et 78 kg ha<sup>-1</sup> de P ne sont pas différents entre eux ( $p < 0,05$ ). L'année 1994 est la plus favorable en terme de production de biomasse aérienne, malgré des absorptions élevées en 1993 sur les mêmes parcelles, qui n'ont d'ailleurs pu épuiser le stock de P assimilable provenant du P appliqué pendant deux années successives (1991 et 1992). L'évolution des teneurs moyennes de P issues de l'arrière-effet de l'application du P (Tableaux 5b et 5c) indique une augmentation de celles-ci en fonction des traitements, quelque soit l'année et le type de sol. Les teneurs en P observées en 1994 ont diminué par rapport à l'année 1993. Ce phénomène peut s'expliquer par la diminution de la disponibilité du P dans le sol. Il est à remarquer que, malgré la baisse des teneurs en P en 1994, les productions restent significatives. Quant aux teneurs moyennes en N, aucune tendance nette ne se dégage comme ce fut le cas avec les effets directs.

Les absorptions de P et de N issues de l'arrière-effet de l'application successive des doses croissantes sur les mêmes parcelles, observées en 1993 (Tableaux 5d et 5e) suivent la même logique que celles des effets directs.

Le coefficient d'utilisation du phosphore ne peut pas être calculé, parce que la dose appliquée est égale à zéro. Cependant, il est possible de calculer un 'coefficient d'utilisation du phosphore cumulatif', ce qui est la quantité de P absorbé par la culture (- absorption par le témoin) dans les années successives exprimé comme fraction de P appliqué pendant les années d'application (par exemple pour l'année 1993 :  $((Abs_{91}-P_{0,91})+(Abs_{92}-P_{0,92})+(Abs_{93}-P_{0,93})) / (App_{91}+App_{92}))$ ). Les quantités de P absorbées en 1991 ne sont pas connues alors elles ont été estimées égales aux moyennes des absorptions en 1992, 1993 et 1994 (voir Tableau 4d). Le Tableau 5f montre qu'après deux années d'application de P, le 'coefficient d'utilisation cumulatif' était le plus élevé sur sol sablo-limoneux en 1994 (65,4% de P appliqué en 1991 et 1992 a été absorbé au cours des 4 années successives).

### 3.1.2. Essais sur jachères jeunes à Cinzana (essais 9, 10, 11 et 12)

**Production du biomasse.** Contrairement aux trois types de sol des essais pluriannuelles à Cinzana, dont la durée de jachère était d'au moins 10 ans, cette étude avait été entreprise pour mieux apprécier les courbes de réponse du *Vigna unguiculata* aux doses croissantes de P sur des jachères jeunes. Les résultats obtenus pendant une année de croissance sont consignés dans le Tableau 6. Les résultats de production sur les sols limoneux et sableux en 1993 suggèrent une différence entre les témoins et les autres doses croissantes du P appliqué. Quelque soit le type de sol la dose de 52 kg ha<sup>-1</sup> de P est suffisante pour obtenir l'optimum de production (5 t ha<sup>-1</sup> pour le limon contre 4,5 t ha<sup>-1</sup> pour le sable). Néanmoins, il apparaît une supériorité du limon au sable pour les productions des différentes doses appliquées. Il ressort une différence entre les productions des témoins les arrière-effets des doses croissantes de P. Les productions sont en moyenne de 3 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin contre 5 t ha<sup>-1</sup> pour la dose la plus élevée (79 kg ha<sup>-1</sup> de P) sur le sol sableux. Pour le sol limon, la production est de 2,8 contre 6,7 pour respectivement 0 et 78 kg ha<sup>-1</sup> de P. Ces productions sont supérieures à celles obtenues sur limon avec une application directe du P contrairement au sable où les productions sont dans les mêmes ordres de grandeur. Ceci dénote donc un arrière-effet certain du P sur la production du *Vigna unguiculata*, surtout en présence d'une pluviométrie élevée.

**Teneur en P et N et absorption de P et N.** Du Tableau 6 il ressort que la teneur en P augmente en fonction des doses appliquées ; ce constat est valable pour les effets directs en 1993 et les arrière effets en 1994. Les teneurs en P issues de l'arrière effet en 1994 sont plus faibles que celles des effets directs ; cependant les productions en 1994 sur le limon dépassent celles de 1993. Quant aux teneurs en N, aucune tendance nette ne se dégage quelque soit les doses de P appliqué. Les absorptions moyennes de P et de N par le *Vigna unguiculata* sur une jachère d'un an indiquent une augmentation de celles-ci en fonction des doses croissantes de P (Tableaux 6d et 6e) ; qu'il s'agisse des effets directs ou des arrière-effets. En année d'application, les absorptions moyennes sur le sable sont légèrement supérieures à celles du limon, mais ne dépassent pas les 17 kg ha<sup>-1</sup>. Quant à N, les absorptions moyennes sont également plus élevées sur le sable que sur le limon. En 1994, l'étude des absorptions liées à l'arrière-effet du P sur ces mêmes types de sol montre une absorption variant entre 6 et 15 kg ha<sup>-1</sup> de P quelque soit le type de sol (Tableau 6d). Pour N, elles varient entre 60 et 140 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Tableau 6. Effet de l'application du P en 1993 et l'arrière-effet en 1994 sur une jachère d'un an sur un sol limoneux à Cinzana. a : production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), b : teneur en P (%), c : teneur en N (%), d : absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), e : absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et f : recouvrement de P (%) du *Vigna unguiculata* par traitement et par an.

Traitement (kg P ha <sup>-1</sup> )	LIMON		SABLE	
	1993	1994	1993	1994
a. Production (t ha <sup>-1</sup> )				
0	2,12	2,78	2,93	3,14
26	4,08	5,30	3,80	3,23

52	5,05	5,37	4,46	4,07
78	4,95	6,73	4,04	5,19
<b>b. Teneur en P (%P)</b>				
0	0,17	0,17	0,22	0,22
26	0,24	0,18	0,32	0,26
52	0,26	0,23	0,40	0,31
78	0,30	0,25	0,40	0,30
<b>c. Teneur en N (%)</b>				
0	1,90	2,26	2,45	2,65
26	1,80	1,86	2,45	2,40
52	1,80	2,14	2,51	2,28
78	1,90	2,13	2,78	2,39
<b>d. Absorption du P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
0	3,6	4,8	6,7	6,9
26	9,7	9,4	12,1	8,2
52	13,5	12,6	17,7	12,4
78	15,0	16,5	17,1	15,7
<b>e. Absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
0	41,9	63,1	72,9	82,3
26	73,8	98,0	92,5	76,5
52	89,7	115,2	112,0	92,2
78	94,0	143,9	112,1	124,0
<b>f. Coefficient d'utilisation de P (%)*</b>				
0	-	-	-	-
26	23	41	20	26
52	19	34	21	32
78	14	30	13	25

\*en 1994 il s'agit du coefficient d'utilisation cumulatif

**Coefficient d'utilisation des engrais.** Le Tableau 6e donne pour 1993 le coefficient d'utilisation pour chaque dose de P appliqué ; pour 1994 il s'agit de 'coefficient d'utilisation cumulatif'. Pour la dose de 26 kg ha<sup>-1</sup> sur le limon, le coefficient est de 23%, pour le sable 20%. On constate qu'il y a une diminution de ce coefficient en fonction des doses croissantes en 1993. Pour les arrières effets en 1994, le 'coefficient d'utilisation cumulatif' était le plus élevé sur sol limoneux (41% de P appliqué en 1993 ont été absorbés au cours des 2 années successives).

Une autre étude avait été initiée en 1994 étant entendu que les doses croissantes de P appliqué depuis le démarrage du projet avaient des pas très grands. Du Tableau 7, il ressort que pour les deux de types de sol la production la plus élevée est obtenue avec les doses variant entre 26 et 36 kg ha<sup>-1</sup> de P. Ainsi donc pour la production de fourrage du *Vigna unguiculata*, il ne semble pas indiqué de dépasser la dose de 36 kg ha<sup>-1</sup> de P. L'application des doses croissantes de P sur deux types de sol - dont le sable était en monoculture de mil et le limon en jachère de deux ans - montre une faible augmentation dans l'évolution

des teneurs en P. Il n'y a pas de tendance nette dans l'évolution des teneurs en N en fonction des doses. Les absorptions de P et de N indiquent une augmentation de celles-ci en fonction des doses croissantes de P. Les absorptions sur le sable sont légèrement supérieures à celles du limon, mais ne dépassent pas les 15 kg ha<sup>-1</sup>. Quant à N, on constate que l'augmentation de l'absorption est dans l'ordre de 50% pour les différentes doses de P.

Tableau 7. Effet de l'application des doses croissantes et faibles du P sur sol sableux (après monoculture de mil) et sol limoneux (2 ans de jachère) à Cinzana. Production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), teneur en P (%), teneur en N (%), absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et coefficient d'utilisation de P (%) du *Vigna unguiculata* par traitement à Cinzana, 1984.

Trait. (kg ha <sup>-1</sup> )	SABLE						LIMON					
	Prod. (t/ha)	P (%)	N (%)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	Rec (%)	Prod. (t/ha)	P (%)	N (%)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	Rec (%)
0	3,43	0,22	2,51	7,6	85,4	-	3,01	0,17	2,24	4,9	66,6	
9	4,93	0,20	2,32	9,7	113,7	23	4,62	0,18	2,22	8,5	102,8	40
18	4,73	-	-	-	-		4,37	-	-	-	-	
27	5,51	0,21	2,31	11,1	126,7	13	5,51	0,18	1,90	9,6	104,2	17
36	6,10	-	-	-	-		5,27	-	-	-	-	
45	5,00	0,26	2,36	12,7	116,9	11	5,63	0,20	1,93	11,1	108,7	14
64	5,68	0,26	2,34	14,7	133,2	11	5,02	0,21	2,21	9,8	101,1	8

### 3.1.3. Essais pluriannuelles à Niono (essais 1, 3 et 4)

**Production du biomasse.** Les résultats de production de 1992 du site 500 mm de pluie en moyenne par an, suggèrent une différence entre les traitements témoins et les doses de P appliqué quelque soit le type de sol (Tableau 8a). Les doses de 26, 52 et 78 kg ha<sup>-1</sup> de P ne sont pas différents entre eux, tous sols confondus. La différence de production entre le sable et l'argile est négligeable en 1992. Par contre, pour le limon les productions sont faibles a cause d'un infiltration mauvaise et hétérogène ; à cause de cette hétérogénéité la parcelle a été abandonnée. L'application d'oligo-éléments et de l'inoculum pendant la saison de croissance 1992 n'avait pas un effet positif sur la production de biomasse aérienne.

L'étude de l'arrière-effet avait été également initiée sur ce site en 1993 à partir des doses appliquées sur les mêmes parcelles en 1991 et 1992, pour mieux apprécier le comportement du P sur les types de sol retenus. En 1994, aucune des parcelles n'a reçu du P. Malheureusement, les données obtenues en 1993 n'ont pu être exploitées et seuls les résultats de 1994 sont disponibles pour le sable et le limon. Ainsi donc, les résultats (Tableau 8) suggèrent un arrière-effet évident du P sur le sable ; l'arrière effet de 2 années d'application de P et de 3 années de P sont dans le même ordre, ce qui indique que le stock de P disponible après deux années d'application de 26 kg(P) ha<sup>-1</sup> sous des conditions pluviométriques de Niono suffit pour atteindre le maximum production. Tout le P appliqué n'est pas assimilé par la culture, mais devient disponible l'année suivante pour la croissance de la plante quand les conditions pluviométriques les permettent comme ce fut le cas en 1994. Cela implique que la quantité de P adsorbé par le sol doit être faible. Sur l'argile on constate que l'absorption de P en 1994 après deux années d'application de P (1994ae<sub>2</sub>) a diminué par rapport à 3 ans d'application continue, suite à un épuisement du stock du P.

**Teneur en P et N.** Les tendances observées au niveau des teneurs en P (Tableau 8b et 8c) sur le site des 500 mm de pluie suggèrent une augmentation de celles-ci en fonction des doses appliquées quelque soit le type de sol et l'année contrairement aux teneurs en N qui ne varient ni en fonction des traitements ni en fonction des sols. Les teneurs en P les plus élevées sont obtenues sur le sable suivi de l'argile et du limon. Les teneurs moyennes en P de l'arrière-effet du P obtenues en 1994 indiquent aussi une augmentation du taux du P en fonction des doses appliquées, et les teneurs de P issues de l'arrière effet après 2 années d'application ont légèrement baissé par rapport à 'application pendant 3 ans, quelque soit le type de sol. Par

contre, les taux de N ne dégagent aucune tendance nette.

**Absorption de P et N.** Sous l'isohyète 500 mm de pluie en moyenne par an, l'application de doses croissantes de P entraîne une augmentation dans l'absorption de cet élément quelque soit le type de sol et l'année (Tableau 8d). D'une manière générale l'augmentation de l'absorption du P n'est pas proportionnelle aux quantités apportées. Elle a été plus importante en 1994 dû aux conditions pluviométriques favorables. Les absorptions moyennes de N observées pour les différents types de sol ne montrent pas une tendance nette, même si les absorptions des doses élevées sont supérieures à celles du témoin. Là également les conditions pluviométriques de 1994 ont joué positivement sur la production et par conséquent sur l'absorption de N.

**Coefficient d'utilisation des engrais.** Les coefficients d'utilisation de P en 1992 pour les doses de 26, 52 et 78 kg ha<sup>-1</sup> sont de 11, 9 et 4%, et ces valeurs sont faibles par rapport aux observations faites à Cinzana. Certainement la faible pluviométrie a influencé la disponibilité de P dans le sol. Cependant, on constate qu'avec les faibles absorptions de P les quantités de N absorbé augmentent d'une façon considérable.

*Tableau 8. Effet et arrière effet de l'application du P sur trois différentes sols à Niono. a : production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), b : teneur en P (%), c : teneur en N (%), d : absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), e : absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et f : recouvrement de P (%) du Vigna unguiculata par traitement et par an. 1992 : Effet d'application en 1991 et 1992 ; 1994ae<sub>1</sub> : arrière effet observé en 1994 après application de P en 1991, 1992 et 1993 ; 1994ae<sub>2</sub> : arrière effet observé en 1994 après application de P en 1991 et 1992.*

Traitement (kg P ha <sup>-1</sup> )	SABLE			LIMON-2			LIMON-1
	1992	1994ae <sub>1</sub>	1994ae <sub>2</sub>	1992	1994ae <sub>1</sub>	1994ae <sub>2</sub>	1992
<b>a. Production (t ha<sup>-1</sup>)</b>							
0	1,97	2,38	2,38	1,56	1,42	1,42	1,31
26	3,07	3,83	3,78	2,70	3,44	3,18	1,65
52	3,19	4,10	3,94	2,12	3,98	3,38	2,06
78	3,02	3,93	4,13	3,33	3,07	3,10	2,19
<b>b. Teneur en P (%)</b>							
0	0,23	0,24	0,24	0,18	0,22	0,22	0,15
26	0,25	0,29	0,29	0,23	0,36	0,30	0,18
52	0,32	0,37	0,35	0,24	0,38	0,35	0,21
78	0,36	0,45	0,40	0,22	0,42	0,40	0,20
<b>c. Teneur en N (%)</b>							
0	2,52	2,72	2,72	2,79	2,62	2,62	2,94
26	2,49	2,55	2,63	2,67	2,88	2,52	2,37
52	2,54	2,54	2,59	2,50	2,76	2,63	2,60
78	2,50	2,64	2,51	2,44	2,75	2,74	2,60
<b>d. Absorption du P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>							
0	4,6	5,6	5,6	2,8	3,2	3,2	2,0
26	7,5	11,1	10,9	6,3	12,3	9,6	2,9
52	10,3	15,2	13,7	5,1	15,1	11,9	4,3

78	10,8	17,9	16,3	7,5	12,8	12,3	4,5
e. Absorption de N (kg ha <sup>-1</sup> )							
0	49,8	65,0	65,0	43,4	37,0	37,0	38,6
26	76,3	98,0	99,0	72,4	99,0	80,0	39,2
52	81,0	104,0	102,0	53,0	110,0	89,0	53,4
78	75,3	104,0	104,0	81,2	84,0	85,0	57,1
f. Coefficient d'utilisation de P (%)							
0	-			-			-
26	11			13			4
52	11			4			4
78	8			6			3

### 3.1.4. Essais sur sol sableux 'fertile' à Niono (essai 5).

En 1994, un essai supplémentaire de *Vigna unguiculata* a été installé sur un sol sableux à Niono, abandonné par les paysans depuis 1989 à cause des productions faibles du mil. A coté de l'essai une parcelle de la graminée annuelle *Schoenefeldia gracilis* a été installée comme témoin, pour estimer de la quantité de N fixé par les légumineuses par la méthode de différence (N fixé = N absorbé par le légumineuse - N absorbé par graminée). Le Tableau 9 indique qu'il n'y a pas d'effet de P sur la production de biomasse. Quant à l'absorption de P, on constate une légère augmentation des quantités absorbées en fonction des doses croissantes, résultant en des teneurs en P plus élevées. Cela indique clairement une consommation de luxe de P. L'absorption moyenne de N (moyenne de différents traitements) est de 110 kg ha<sup>-1</sup>, par rapport à 21 kg ha<sup>-1</sup> pour le *Schoenefeldia gracilis*, ce qui indique une fixation de 90 kg(N) ha<sup>-1</sup>. Le fait que l'absorption de P par le *Vigna unguiculata* et le *Schoenefeldia gracilis* sont de 11,4 et de 4,1 kg respectivement, montre que la disponibilité en N a limité la production de *Schoenefeldia graciles*.

Tableau 9. Effet de l'application des doses croissantes du P sur une jachère sableux de 6 ans (après monoculture de mil) à Niono. Production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), Teneur en P (%), Teneur en N (%), Absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), Absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et Coefficient d'utilisation de P (%) du *Vigna unguiculata* par traitement et du *Schoenefeldia gracilis* sans apport de P

Traitement (kg P ha <sup>-1</sup> )	Prod. (t ha <sup>-1</sup> )	P (%)	N (%)	P (kg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	Rec. (%)
0	3.9	0.29	2.87	11.4	111	-
9	3.6	0.29	2.64	10.4	95	-
18	4.2	0.29	2.72	12.1	114	-
26	4.0	0.31	2.79	12.5	111	-
35	3.6	0.34	3.06	12.2	109	-
44	3.9	0.33	2.92	13.2	115	-
<i>S.gracilis</i>	2.7	0.15	0.77	4.1	21	-

## 3.2. Stylosanthes hamata

### 3.2.1. Essais pluriannuelles sur sol sableux à Cinzana (essai 13).

**Production du biomasse.** Le Tableau 10a donne les résultats de production de biomasse aérienne du *Stylosanthes hamata* obtenus sur sol sableux à Cinzana. L'analyse statistique indique une différence significative des traitements et des années ( $p < 0,05$ ). Il ressort également une interaction significative des années et des traitements ( $p < 0,05$ ). Les moyennes de production obtenues, toutes les années confondues, suggèrent que les traitements de 22, 44, 66, 88 kg ha<sup>-1</sup> de P sont supérieurs au témoin avec respectivement 6,4, 6,7, 7,3, et 7,1 t ha<sup>-1</sup> contre 4,5 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin. Ainsi donc la dose de 22 kg ha<sup>-1</sup> de P qui n'est pas différentes des autres doses élevées en terme de production de biomasse aérienne, semble suffisante pour atteindre l'optimum de production. Concernant les années, 1992 donne la meilleure production (11 t ha<sup>-1</sup>) suivi par 1994 (8 t ha<sup>-1</sup>) et 1993 (2 t ha<sup>-1</sup>). Ici, la différence entre les années ne s'explique pas par la pluviométrie dans la mesure où l'année 1994 qui fut la plus pluvieuse ne donne pas la production la plus élevée. Elle s'explique essentiellement par le comportement semi-pérenne ou annuel de la plante. En effet, après une population bien établie en 1992, les essais ont commencé avec des « pieds-mères » de *Stylosanthes hamata* en deuxième année de croissance ; donc plus productifs que le resemis naturel des deux dernières années. Sans minimiser l'effet de la pluviométrie, la différence de densité des plants issus de resemis naturel explique essentiellement la différence de production entre les années.

**Teneur en P et N.** Les teneurs moyennes observées en P indiquent une augmentation celles-ci en fonction des doses appliquées avec un effet marqué de l'année 1994 pour les teneurs en P. Ceci est également le cas pour les taux de N en 1993 et 1994 contrairement à l'année 1992 où aucune tendance nette ne se dégage après les doses de 44 kg ha<sup>-1</sup> de P.

**Absorption de P et N.** Les quantités de P absorbé augmentent en fonction des doses croissantes et dépassent rarement les 20 kg ha<sup>-1</sup>. En tous les cas, les absorptions du P des témoins sont nettement inférieures à celles des autres traitements. Les absorptions les plus faibles sont celles de l'année 1993 eu égard aux conditions d'installation de la culture. La pluviométrie de 1994 semble favoriser l'absorption du P, même en présence des pieds annuels. L'effet de monoculture sans apport d'engrais entraîne la diminution de l'absorption du P des témoins même en année de bonnes conditions pluviométriques.

L'absorption de N augmente en fonction des doses croissantes de P. En tous les cas, les absorptions des témoins sont nettement inférieures à celles des autres traitements. Les maximum d'absorption sont obtenus en 1992 avec 44 kg ha<sup>-1</sup> de P (158 kg ha<sup>-1</sup> de N) et en 1994 avec 88 kg ha<sup>-1</sup> de P (154 kg ha<sup>-1</sup> de N).

**Coefficient d'utilisation de P.** L'analyse des données du Tableau 10 et la Figure 2 montre une diminution des coefficients d'utilisation du P par le *Stylosanthes hamata* en fonction des doses croissantes de P. En première année d'application du P, le coefficient d'utilisation est de 27% pour les 22 kg ha<sup>-1</sup> de P contre 14% pour la dose la plus forte (88 kg ha<sup>-1</sup> de P). Malgré l'apport successif de P sur les mêmes parcelles, l'année 1993 fut une année de faible utilisation du P avec des coefficients ne dépassant guère 5% (les raisons liées à la production ont été déjà évoquées). Les coefficients les plus élevés sont obtenus en 1994 avec un maximum de 46% (22 kg ha<sup>-1</sup> de P) contre un minimum de 22% (88 kg ha<sup>-1</sup> de P). Là également, il apparaît une amélioration du coefficient d'utilisation du P avec des doses successive de cet élément sur les mêmes parcelles, si les conditions pluviométriques et l'homogénéité de la population végétale sont favorables.

Tableau 10. Effet du P sur la production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), la teneur en P (%), la teneur en N (%), l'absorption de P (Kg ha<sup>-1</sup>), la teneur en N (%), l'absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et le recouvrement du *Stylosanthes hamata* par traitement et par an sur sol sableux à Cinzana.

Traitement (kg P ha <sup>-1</sup> )	Production (t ha <sup>-1</sup> )			Teneur en P (%)			Absorption de P (kg/ha)		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994	1992	1993	1994
0	8,36	1,37	3,77	0,07	0,07	0,08	6,1	0,9	2,9
22	10,96	1,95	7,28	0,11	0,10	0,18	11,9	2,0	13,0
44	9,96	1,88	8,15	0,13	0,13	0,21	12,5	2,4	17,1

66	11,33	2,35	8,26	0,15	0,18	0,26	17,5	3,5	20,9
88	10,86	2,14	8,35	0,17	0,22	0,27	18,4	4,4	22,3
	Teneur en N (%)			Absorption de N (kg/ha)			Recouvrement (%)		
0	1,12	1,41	1,47	92,5	19,8	54,5	-	-	-
22	1,18	1,65	1,52	125,8	32,0	110,1	27	5	46
44	1,59	1,81	1,45	158,5	34,9	118,0	15	3	32
66	1,26	1,96	1,82	142,9	46,1	149,5	17	4	27
88	1,31	1,98	1,85	141,4	42,3	154,4	14	4	22

**Figure 2.** Des relations entre la biomasse aérienne, la quantité d'engrais appliquée et la quantité de P absorbé par la biomasse aérienne pour l'essai de *Stylosanthes hamata* à Cinzana (750 mm an<sup>-1</sup>). Pour les explications voir l'introduction, analyse des données.

### 3.2.2. Essai pluriannuelle sur sol sableux à Niono (essai 2).

La culture de *Stylosanthes hamata* a été installée en 1991, sans application de fumure de fond phosphaté. Les observations ont débuté en 1992 avec des jeunes pieds issues de resemis naturel de 1991. A cause de la faible pluviométrie en 1992 (370 mm), une mauvaise répartition des pluies et une variabilité spatiale élevée de l'essai (différences d'infiltration à cause du micro-relief), les productions étaient faibles et très variable. Un seul bloc (Bloc III, voir [annexe](#)) était homogène, et donne des résultats réalistes. Cependant les données permettent de conclure qu'il y a une augmentation de la production en fonction des doses croissantes avec une production maximale dans l'ordre de 2 t ha<sup>-1</sup>. Les quantités de P absorbé sont faibles, ce qui est certainement le résultat de la pluviométrie faible et mal répartie.

A cause de l'insuffisance pluviométrique, la plupart des pieds n'ont pu produire des semences en 1992, ce qui a conduit à l'arrêt de l'essai.

### 3.2.3. Essai sur sol limon-sableux à Bamako, 1994 (essai 23).

**Production de biomasse.** Une autre étude avait été initié en 1994 dans le but de voir la variabilité de la production en fonction de différentes zones agro-écologiques. A la station de Recherche Agronomique de Sotuba, le *Stylosanthes hamata* cv. Verano a été installé en 1991. Les populations utilisées dans l'essai étaient issues de resemis naturels avec donc un comportement annuel comme ce fut le cas du site à Cinzana (750 mm) en 1993 et 1994.

L'analyse des résultats du Tableau 11 suggère une différence entre le témoin et les doses croissantes de P ( $p < 0,05$ ). Même s'il n'existe pas de différence entre les doses de 11, 22, 33, 44, 55 et 66 kg ha<sup>-1</sup> de P ; la production augmente du simple au double avec l'application du P. Ainsi donc, sur ce type de sol, une faible dose de 11 kg ha<sup>-1</sup> de P en année de pluviométrie supérieure à la normale donne un potentiel de 9,2 t ha<sup>-1</sup> contre 10 t ha<sup>-1</sup> pour une dose de 66 kg ha<sup>-1</sup> de P.

**Teneur en P et N.** Le Tableau 11 indique une augmentation des teneurs en P à partir des doses de 33 kg ha<sup>-1</sup> de P. Une application de 11 kg ha<sup>-1</sup> de P par rapport au témoin n'engendre pas une augmentation du taux de P dans la biomasse aérienne du *Stylosanthes hamata* sur le sol sableux-limoneux de Sotuba. Quant aux taux de N, ils augmentent en fonction des doses appliquées jusqu'aux doses de 33 kg ha<sup>-1</sup> à partir desquelles la tendance reste constante.

**Tableau 11.** Effet du P sur la production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), la teneur en P (%), la teneur en N (%), l'absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), la teneur en N (%), l'absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et le recouvrement du *Stylosanthes hamata* sur sol limon-sableux à Sotuba en 1994

Traitement (kg P ha <sup>-1</sup> )	Prod. (t ha <sup>-1</sup> )	P (%)	N (%)	P (kg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	Rec. (%)
0	5,01	0,10	1,16	4,7	58,3	-
11	9,21	0,10	1,73	9,0	158,4	38
22	8,72	-	-	-	-	-
33	9,16	0,16	1,91	14,3	174,9	29
44	9,52	-	-	-	-	-
55	9,66	-	-	-	-	-
66	10,03	0,17	1,91	16,9	191,6	18

**Absorption de P et N.** Pour des conditions pluviométriques de 900 mm de pluie en moyenne par an, l'absorption des éléments (N et P) par le *Stylosanthes hamata* issu du resemis naturel, augmente en fonction des doses croissantes. Elle est de l'ordre de 4 kg ha<sup>-1</sup> de P pour le témoin contre 17 kg ha<sup>-1</sup> pour la dose la plus élevée. En tous les cas, l'absorption ne semble pas proportionnelle aux doses appliquées. Les mêmes tendances sont observées pour l'absorption de N. Une application de 11 kg ha<sup>-1</sup> de P par rapport au témoin engendre une augmentation de l'absorption de 100 kg(N) ha<sup>-1</sup> (P<sub>0</sub> : 58 kg ha<sup>-1</sup> contre P<sub>11</sub> : 158 kg ha<sup>-1</sup>) avec un maximum d'absorption de 190 kg ha<sup>-1</sup> de N pour la dose de 66 kg ha<sup>-1</sup>.

**Coefficient d'utilisation de P.** Pour une année d'application du P sur des pieds de *Stylosanthes hamata* issus de resemis naturel sur sol limoneux-sableux sous 900 mm de pluie en moyenne par, les coefficients d'utilisation du P varient avec un maximum de 38% pour la dose la plus faible (11 kg ha<sup>-1</sup> de P) contre un minimum de 18% pour la dose la plus élevée (66 kg ha<sup>-1</sup> de P). Le coefficient d'utilisation diminue donc en fonction des doses croissantes de P. Les coefficients augmentent de nord au sud dans le même sens que l'augmentation de la pluviosité.

### 3.3. Graminées

#### 3.3.1. Courbe de croissance et absorption des éléments nutritifs par l'*Andropogon gayanus*

**Croissance aérienne.** La courbe de croissance et d'absorption des éléments nutritifs ont été déterminés sans apport d'engrais (le témoin) et sous conditions sans limitation des éléments nutritifs (apport de 300 kg(N)ha<sup>-1</sup> et 180 kg(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)ha<sup>-1</sup>). Le Tableau 12 montre l'évolution de la biomasse aérienne totale et sa répartition entre les différents organes pour les essais sur sol sablonneux à Cinzana (1993) et sur sol sablo-limoneux à N'Tarla (1993 et 1994). Malgré le fait qu'il y a des discontinuités dans les courbes de production, le Tableau 12 montre qu'à Cinzana en 1993 il n'y a pratiquement pas de différences entre les deux traitements. Cela s'explique par la grande variabilité spatiale sur la parcelle utilisée pour les essais. En plus, la pluviométrie faible (581 mm en 1993 contre une moyenne pluriannuel d'environ 750 mm an<sup>-1</sup>) et sa mauvaise répartition ont certainement influencé la culture ; la plupart des plantes pour les deux traitements n'ont pas donné d'inflorescences, ce qui est le résultat d'un stress hydrique. A cause de la grande variabilité spatiale, les essais sur *Andropogon gayanus* à Cinzana ont été arrêtés en fin 1993.

A N'Tarla en 1993 on observe des productions maximales de 12 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin, et de presque 18 t ha<sup>-1</sup> sans limitation de N et P. En ajoutant la biomasse racinaire produit au cours de la croissance, qui est dans l'ordre de 2,4 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin et de 4,3 t ha<sup>-1</sup> (pour les détails de recherche du système racinaire voir [Traoré, 1996](#)), on arrive à des productions totales de 14,5 et 22 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin et le traitement sans limitation de N et P. Les courbes de croissance de la biomasse aérienne et sa répartition entre les différentes organes sont illustrés par la Figure 3.

En 1994 les productions à N'Tarla étaient plus élevées : 20 t ha<sup>-1</sup> pour le témoin et 25 t ha<sup>-1</sup> pour le traitement sans limitation de N et P. En considérant les productions de la biomasse racinaire, les productions annuelles sont même de 24 t ha<sup>-1</sup> et 29 t ha<sup>-1</sup> pour les deux traitements respectivement. La grande différence entre les deux années est certainement liée à la pluviométrie : 704 mm en 1993 contre 1043 mm en 1994. Une comparaison entre les productions obtenues avec les calculs de production potentielle dans [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) montrent que dans les essais à N'Tarla sans limitation de N, P et K, la production potentielle de la biomasse aérienne pour la pluviométrie donnée a été atteinte.

*Figure 3. Courbe de croissance des différentes organes d'Andropogon gayanus à N'Tarla 1993 pour le témoin (a) et pour le traitement sans limitation de N et P (b).*

**Croissance racinaire.** En plus de la courbe de croissance de la biomasse aérienne, la dynamique de la biomasse racinaire a été déterminé en utilisant plusieurs méthodes d'échantillonnage ([Groot et al., 1995](#), [Traoré, 1996](#)). Un résumé des données obtenues sur des cultures non-fertilisés à N'Tarla durant 1993 et 1994 est présenté dans la Figure 4a. La Figure 4b montre la représentation schématique de la dynamique de la biomasse racinaire dans le temps. Cette analyse montre qu'au cours de l'hivernage la biomasse racinaire est dans l'ordre de 5 t ha<sup>-1</sup>, et diminue à 1,5 t ha<sup>-1</sup> au cours de la saison sèche, à cause de la mortalité des racines. La Figure 3 montre que lorsque la production totale maximale du traitement témoin est atteinte, il y a une légère diminution de biomasse totale. Cette diminution est surtout liée à la diminution des poids des tiges. Une comparaison avec la dynamique du système racinaire montre que pendant la même période on observe toujours une légère augmentation de la biomasse racinaire (voir Figure 4). Vraisemblablement, il y a une translocation des réserves en forme des hydrates de carbone des tiges vers le système racinaire. Cependant, cette tendance n'est pas évidente pour tous les traitements (voir Tableau 12).

*Figure 4. Dynamique de la biomasse racinaire d' Andropogon gayanus à N'Tarla au cours de 1993 et 1994 (a) et représentation schématique du dynamique de la biomasse racinaire (b).*

*Tableau 12. Evolution de la biomasse aérienne totale (kg ha<sup>-1</sup>) et sa répartition entre organes pour l'Andropogon.gayanus au cours de la saison de pluies 1993 à Cinzana et N'Tarla et en 1994 à N'Tarla*

Traitement	date	biomasse aérienne (kg/ha)	N aérienne (kg/ha)	P aérienne (kg/ha)	feuilles vertes (kg/ha)	feuilles mortes (kg/ha)	gaines (kg/ha)	tiges vertes (kg/ha)	épis (kg/ha)	surface foliaire (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	biomasse racines (kg/ha)	N racines (kg/ha)	P racines (kg/ha)
Témoin N'Tarla	05-08-93	2512	35	3.9	1320	22		1170	0	1.8	1570	9	0.8
	07-09-93	8336	50	6.6	2491	132		5713	0	3.2	2875	11	1.5
	13-10-93	11934	66	7.9	1686	537		9167	544	2.1	3619	17	1.8
	11-11-93	12164	26	2.1	594	876		9919	775	1.0	4131	28	2.9
	10-12-93	10104	21	1.8	263	839		8473	529	0.3	2442	13	1.1

N4P4 N'Tarla	06-08-93	1823	29	4.2	1001	3		820	0	2.0	960	9	1.0
	08-09-93	9852	131	21.7	2634	67		7152	0	4.9	3321	25	3.7
	14-10-93	16576	139	18.2	2835	657		12469	614	3.8	1718	19	1.8
	12-11-93	16582	80	10.9	571	1504		13890	618	0.7	2633	30	3.2
	11-12-93	17690	58	7.8	416	2327		14394	554	0.5	4339	39	5.4
Témoin Cinzana	21-08-93	2790	34	3.2	1507	0		1283	0	3.0	4477	21	1.8
	16-09-93	5846	52	6.4	2328	0		3518	0	3.9	4220	25	2.5
	22-04-93	6628	31	5.4	1291	280		4963	94	1.8	5460	30	3.5
	23-11-93	7256	17	2.9	295	624		6147	190	0.3	5626	26	2.6
	20-12-93	4661	15	2.1	0	579		4062	20	6476	29	3.3	
N4P4 Cinzana	20-08-93	1073	16	1.9	606	0		467	0	1.1	6281	36	3.7
	15-09-93	5220	60	11.3	2463	0		2757	0	3.8	4569	36	3.0
	21-10-93	4776	54	7.6	985	288		3503	0	1.3	3745	50	3.4
	22-11-93	3965	38	5.2	303	265		3397	0	0.3	3507	40	3.0

	20-12-93	4748	32	5.6	732	0		4000	16	0.8	5297	52	3.5
<b>1994</b>													
Témoin N'Tarla	12-07-94	806	7	1.1	459	27	0	320	0	0.0	2157	11	1.7
	08-08-94	5770	49	6.6	4996	609	0	165	0	6.8	1896	8	0.7
	22-08-94	6804	43	6.0	4902	95	1642	165	0	6.0	1959	7	0.9
	10-10-94	11706	49	8.2	1905	354	2239	6749	459	2.2	2908	11	1.1
	07-11-94	24014	127	16.9	3089	963	3340	14841	1781	2.9	3430	13	2.4
	07-12-94	20121	42	5.3	482	1825	3204	13016	1594	0.0	2351	10	1.4
<b>N4P4 N'Tarla</b>													
	12-07-94	806	7	1.1	459	27	0	320	0	0.0	2157	11	1.7
	10-08-94	15048	344	40.3	6751	85	5183	3029	0	11.3	2552	17	2.1
	23-08-94	21555	152	25.0	9094	0	8724	3737	0	11.9	2565	19	2.0
	11-10-94	23762	233	32.6	3850	568	3936	15047	361	5.1	2358	23	2.8
	08-11-94	22271	122	19.2	1500	859	2265	15406	2241	1.6	3613	31	3.6
	08-12-94	25329	64	11.1	0	1083	4574	18561	1111	0.0	3990	23	3.6

**Dynamique de N et P au cours de croissance.** Le Tableau 12 montre les quantités de N et P absorbés par l'*Andropogon gayanus* au cours de la croissance en 1993 et en 1994. Ces quantités sont calculés sur la base des biomasses obtenues et leur teneur en éléments nutritifs. Les quantités absorbées sont présentées dans la Figure 5 en fonction des différents stades de

développement. Celles au stade T2 en 1994 ont été écartées suite aux valeurs aberrantes obtenues, suite à une erreur dans l'échantillonnage au champ. En général, on observe une augmentation des quantités d'éléments absorbés jusqu'au moment de la floraison / début fructification (Stade T3 en 1993 et T4 en 1994). A partir de ce stade les quantités diminuent progressivement ; parallèlement on observe une légère augmentation des éléments dans le système racinaire (voir Tableau 12). Cependant, la majorité de ceux-ci semble être 'perdu à cause de la dégradation de biomasse aérienne à partir de la floraison. Cela implique que les quantités d'éléments nutritifs observés au moment de récolte final ne sont pas représentatifs pour l'absorption par la culture.

*Figure 5. Absorption de N, P et K par l' Andropogon gayanus en 1993 (Cinzana et N'Tarla) et en 1994 (N'Tarla) en fonction des stades de développement.*

**Dynamique des réserves dans le système racinaire.** Au cours de la saison sèche 1994, des observations ont été faites sur la teneur en hydrates de carbone soluble dans le système racinaire. Ces hydrates de carbone sont considérés comme réserves disponibles au cours de la saison sèche, permettant à la culture de survivre cette période, et de former des repousses en absence de tissu photosynthétique. La Figure 6 montre que la teneur en hydrates de carbone est de 15% en Janvier, et augmente encore jusqu'à 17% en début Mars ; l'augmentation est le résultat de la translocation des assimilats des tiges vers le système racinaire. A partir du début de Mars, on constate une diminution rapide de ce stock. A partir de mi-Juin, on observe que la teneur en hydrates de carbone augmente, ce qui est le résultat de démarrage de l'hivernage et de la croissance aérienne, fournissant des nouvelles hydrates de carbone au système racinaire.

*Figure 6. Teneur en hydrates de Carbone (g kg<sup>-1</sup>) dans les racines d' Andropogon gayanus à N'Tarla 1993-1994 au cours de la saison sèche.*

### 3.3.2. Production et recouvrement des éléments nutritifs par Andropogon gayanus et Pennisetum pedicellatum

Les Tableaux 13 et 14 montrent les quantités de N et P absorbée par l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum* avec des doses croissantes de N et P et les productions aériennes obtenues avec ces doses. Comme déjà constaté dans l'interprétation des courbes de croissance, les réponses aux doses croissantes de N et P à Cinzana sont souvent difficiles à comprendre. Cependant, pour tous les essais, on constate que la production d'*Andropogon gayanus* est supérieure à celle du *Pennisetum pedicellatum*.

Malgré le fait que la production d'*Andropogon gayanus* dépasse celle du *Pennisetum pedicellatum*, on constate que l'absorption de N et P par le *Pennisetum pedicellatum* dépasse celle de l'*Andropogon gayanus*. Pour tous les essais le taux de recouvrement est supérieur pour la graminée annuelle *Pennisetum pedicellatum* par rapport à la graminée pérenne *Andropogon gayanus*, ce qui est surprenant. Ce phénomène peut être expliqué par les courbes d'absorption des éléments nutritifs dans le temps. La Figure 5 montre que pour l'*Andropogon gayanus*, la quantité maximale des éléments nutritifs est absorbée au moment de la floraison / début fructification ; à partir de ce stade, les quantités diminuent progressivement. Dans les essais de recouvrement les productions de biomasse et les quantités des éléments absorbés ont été déterminées à la fin du cycle, c'est-à-dire en Décembre. A cette date, une bonne partie des éléments nutritifs est déjà 'perdu' à cause de la dégradation de la biomasse aérienne et de la translocation des éléments vers le système racinaire. En se basant sur la dynamique d'absorption de N et P dans la Figure 5, nous estimons que le recouvrement de N et P par l' *Andropogon gayanus* est approximativement 2 fois plus élevé que les valeurs dans les Tableaux 13 et 14.

*Tableau 13. Effet du P sur a : la production aérienne (t ha<sup>-1</sup>), b : la teneur en P (%), c : la teneur en N (%), d : l'absorption de P (kg ha<sup>-1</sup>), e : l'absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>) et f : le recouvrement de P (%) d'Andropogon gayanus et de Pennisetum pedicellatum par traitement pour les différentes essais à Cinzana et N'Tarla en 1993 et 1994. Les numéros d'essais correspondent avec le Tableau 1.*

(kg P ha <sup>-1</sup> )	1993								1994	
no.essai	15	16	17	18	20	21	22		20	21
<b>a. Production (kg ha<sup>-1</sup>)</b>										
Témoin										
0	11.7	7.2	10.4	5.1	22.4	9.3	9.3		14.0	11.7
20	7.6	7.8	8.4	7.1	15.4	12.0	9.3		16.1	13.9
40	9.3	8.9	9.6	6.7	13.0	10.8	9.7		16.8	14.2
59	10.8	8.7	8	8.1	18.2	10.8	9.0		17.5	14.6
79	8.2	7.5	7.6	8.8	16.7	10.7	8.4		18.4	16.0
<b>b. Teneur en P (%)</b>										
Témoin										
0	0.30	0.20	0.05	0.07	0.02	0.16	0.12		0.07	0.14
20	0.27	0.16	0.06	0.08	0.02	0.11	0.10		0.04	0.11
40	0.35	0.25	0.09	0.12	0.03	0.18	0.13		0.06	0.16
59	0.41	0.25	0.10	0.18	0.02	0.17	0.13		0.07	0.19
79	0.37	0.24	0.09	0.20	0.06	0.18	0.13		0.06	0.18
79	0.41	0.28	0.10	0.23	0.04	0.19	0.18		0.06	0.23
<b>c. Teneur en N (%)</b>										
Témoin										
0	0.69	0.73	0.53	0.68	0.29	0.66	0.70		0.28	0.79
20	0.62	1.51	0.72	1.78	0.31	1.27	1.17		0.38	0.94
40	0.80	1.78	0.85	1.29	0.38	1.25	1.13		0.50	0.93
59	0.93	1.46	0.92	1.27	0.31	1.23	1.07		0.38	0.84
79	0.85	1.54	0.81	1.63	0.36	1.17	0.96		0.49	0.89
79	0.95	1.61	0.93	1.32	0.36	1.24	1.34		0.45	0.89
<b>d. Absorption du P (kg ha<sup>-1</sup>)</b>										
Témoin										
0	7.9	12.5	5.1	1.8	3.6	12.2	5.5		8.6	13.4
20	6.1	11.7	6.7	4.0	5.9	10.7	8.9		5.5	12.6
40	7.3	19.7	7.8	8.3	6.0	21.2	12.0		9.8	22.4
59	8.5	22.5	9.5	12.3	4.0	18.6	12.3		11.5	26.5
79	11.7	21.3	7.3	16.3	14.3	19.2	11.9		10.8	26.1
79	12.2	21.1	7.6	20.3	9.4	20.3	15.4		10.7	36.9
<b>e. Absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>										
Témoin										
0	60	46	49	18	40	51	33		32.8	72.8
20	61	109	75	91	69	118	110		53.9	110.0
40	55	139	72	91	58	150	105		81.3	128.9
59	104	130	88	85	40	133	104		63.7	118.8
79	78	134	65	132	66	126	86		86.3	129.7
79	93	120	71	116	60	132	112		82.3	143.1
<b>f. Coefficient d'utilisation de P (%)</b>										

Témoin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	6	41	6	22	1	53	16	22	22	49
40	6	28	7	21	-5	20	9	15	15	35
59	10	16	2	21	14	14	5	9	9	23
79	8	12	1	21	4	12	8	7	7	31

15 : *A.gyanus*, sol Sableux, Cinzana ; 16 : *P.pedicellatum*, sol sableux, Cinzana ; 17 : *A.gyanus*, sol Sable-limoneux, Cinzana ; 18 : *P.pedicellatum*, sol sable-limoneux, Cinzana ; 20 : *A.gyanus*, sol Sable-limoneux, N'Tarla ; 21 : *P.pedicellatum*, sol sable-limoneux, N'Tarla ; 22 : *P.pedicellatum*, sol sable-limoneux épuisé, N'Tarla.

Tableau 14. Effet du N sur a : la production aérienne ( $t\ ha^{-1}$ ), b : la teneur en P (%), c : la teneur en N (%), d : l'absorption de P ( $kg\ ha^{-1}$ ), e : l'absorption de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) et f : le recouvrement de N (%) d'*Andropogon gyanus* et de *Pennisetum pedicellatum* par traitement pour les différentes essais à Cinzana et N'Tarla en 1993 et 1994.

(kg N $ha^{-1}$ )	1993							1994	
no.essai	15	16	17	18	20	21	22	20	21
<b>a. Production (<math>kg\ ha^{-1}</math>)</b>									
Témoin	10.6	6.2	8.3	2.6	14.2	7.7	4.7	11.5	9.6
0	6.8	8.8	7.1	8.3	15.2	6.4	7.1	13.5	11.8
75	10.4	7.2	8.2	6.7	16.3	10.2	8.8	16.3	13.2
150	8.5	8.0	8.6	9.2	13.1	9.5	8.1	16.4	14.0
225	11.8	7.9	10.6	6.7	13.7	10.1	8.5	16.7	14.5
300	10.2	7.5	6.9	8.8	17.0	10.7	8.4	18.4	16.0
<b>b. Teneur en P (%)</b>									
Témoin	0.30	0.20	0.06	0.07	0.02	0.16	0.12	0.07	0.14
0	0.29	0.18	0.07	0.20	0.06	0.27	0.15	0.13	0.27
75	0.28	0.20	0.09	0.29	0.07	0.21	0.17	0.10	0.21
150	0.36	0.23	0.12	0.23	0.05	0.20	0.16	0.07	0.24
225	0.38	0.24	0.09	0.24	0.03	0.23	0.15	0.06	0.23
300	0.41	0.28	0.08	0.23	0.04	0.19	0.18	0.06	0.23
<b>c. Teneur en N (%)</b>									
Témoin	0.69	0.73	0.54	0.68	0.29	0.66	0.70	0.28	0.76
0	0.67	0.90	0.59	0.83	0.19	0.69	0.85	0.25	0.63
75	0.64	0.93	0.72	0.88	0.17	0.73	0.83	0.30	0.63
150	0.83	1.24	0.82	1.17	0.26	0.96	1.02	0.34	0.79
225	0.88	1.32	0.77	1.51	0.26	1.14	1.06	0.39	0.78
300	0.95	1.61	0.97	1.32	0.36	1.24	1.34	0.45	0.89
<b>d. Absorption du P (<math>kg\ ha^{-1}</math>)</b>									
Témoin	9.7	12.5	4.7	1.8	3.7	12.2	5.5	8.6	13.4

0	7.1	16.1	5.1	17.1	11.9	17.6	10.9	17.8	32.3
75	14.0	14.1	7.7	19.6	15.6	21.1	14.9	16.4	27.9
150	11.5	18.6	10.0	20.9	9.2	19.1	12.8	11.4	33.0
225	17.5	19.2	9.3	16.3	5.4	23.2	12.8	10.7	32.8
300	15.2	21.2	5.3	20.3	9.6	20.3	15.4	10.7	36.9

e. Absorption de N (kg ha<sup>-1</sup>)

Témoin	73	46	45	18	41	51	33	33	73
0	45	79	42	69	29	45	61	34	74
75	66	67	59	59	28	74	73	49	84
150	71	100	70	108	34	91	82	56	111
225	104	104	82	101	36	115	90	64	112
300	97	120	64	116	61	132	112	82	143

## f. Coefficient d'utilisation de N (%)

Témoin	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	28	-16	23	-13	-1	39	16	20	13
150	17	14	19	26	3	31	14	15	24
225	26	11	18	14	3	31	14	14	17
300	17	14	7	16	11	29	17	16	23

15 : *A.gyanus*, sol Sableux, Cinzana ; 16 : *P.pedicellatum*, sol sableux, Cinzana ; 17 : *A.gyanus*, sol Sable-limoneux, Cinzana ; 18 : *P.pedicellatum*, sol sable-limoneux, Cinzana ; 20 : *A.gyanus*, sol Sable-limoneux, N'Tarla ; 21 : *P.pedicellatum*, sol sable-limoneux, N'Tarla ; 22 : *P.pedicellatum*, sol sable-limoneux épuisé, N'Tarla.

A N'Tarla en 1993, une comparaison a été faite entre le recouvrement de N et P par *Pennisetum pedicellatum* sur deux sites avec les mêmes caractéristiques granulométriques, mais avec des teneurs en matière organique différente. Sur le premier site, *Andropogon gyanus* a été installé depuis 1951, mais a été fauché au ras du sol avant l'installation de *Pennisetum pedicellatum*. Le deuxième site concerne une sol épuisé après plusieurs années de culture de mil. Les Tableaux 13 et 14 montrent que les productions de *Pennisetum pedicellatum* sur le sol enrichi par l'*Andropogon gyanus* sont plus élevés que sur le sol épuisé. L'absorption des éléments nutritifs est plus élevée sur sol sur lequel l'*Andropogon gyanus* était installé que sur sol épuisé. Les productions élevées sont partiellement expliquées par la minéralisation plus élevée sur le sol « riche », mais il est fort possible que la teneur en matière organique plus élevée ait contribué à un taux de recouvrement plus élevée.

## 4. Discussion

### 4.1. Approche méthodologique.

De l'analyse des données de production et absorption de N et P, on peut admettre que le concept méthodologique de vouloir utiliser les mêmes parcelles pendant 4 années ne permet pas d'obtenir une courbe de réponse viable. En effet l'accumulation du P d'année en année concourt à minimiser voire même à annuler les différences entre les doses croissantes tandis que les parcelles témoin subissent l'effet de monoculture. A la limite, on serait tenté de comparer uniquement le traitement témoin à la première dose de P étant entendu que celle-ci serait comparable à la dose considérée non limitative pour la production par le fait du « **build up** » de P. Ceci conduit donc à admettre qu'au cours de la saison de croissance tout le P apporté n'est pas absorbé par la culture indiquant ainsi un effet résiduel d'engrais. Cependant, l'approche a montré qu'il est possible

d'augmenter le coefficient d'utilisation de P après avoir 'saturé' le complexe d'adsorption. Sous des conditions agronomiques et des sols comparables au Ghana, Lathwell (1979) a trouvé qu'avec l'application des doses élevées et croissantes de P, il existait seulement une différence entre le témoin et la dose la plus faible ( $88 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) et les arrières effets observés pendant 2 années successives étaient considérables. Il concluait que sous ces conditions, des doses faibles de P suffisaient pour des productions maximales.

## 4.2. Production de biomasse.

La supériorité des sols sableux-limoneux sous 750 mm de pluie en moyenne par an par rapport au sable et argile sous l'effet d'une application continue de P pendant quatre ans, s'explique essentiellement par l'effet de certaines caractéristiques physico-chimiques du sol sur la nutrition de la plante. Parmi ces caractéristiques on peut distinguer une meilleure capacité de rétention d'eau du sable-limon grâce aux particules plus fines que sur le sable qui a un drainage élevé de l'eau. Pour les légumineuses, l'aération du sol est une des conditions de fixation, elle s'affirme en présence d'une bonne alimentation hydrique tant en quantité qu'en durée d'humidification du sol, pour permettre un bon déroulement de la croissance de la culture (cas du sable-limon). Les sols lourds type argileux sont moins aérés, et en cas d'excès d'eau l'anaérobiose peut freiner la fixation. En plus les sols lourds sont de nature à s'opposer à la pénétration des racines qui jouent un rôle essentiel dans l'exploitation des éléments nutritifs. Par une forte rétention de l'eau créant souvent des conditions de hydromorphie temporaire ou prolongée, les sols argileux peuvent contribuer à l'asphyxie des plants. Ainsi donc, les sols sableux-limoneux étant intermédiaires entre les deux types de sol, les conditions semblent réunies pour une meilleure production du *Vigna unguiculata* même si en premières années, il ne répond généralement pas à la fumure lorsque le semis intervient sur des terres récemment ouvertes, comme ce fut le cas des essais installés sur une jachère d'au moins dix ans. Des réponses obtenues sur des jeunes jachères ou après culture continue de mil confirmées par les résultats des Tableaux 6 et 7, indiquent une carence de P qui a été limitative de la production.

La production potentielle des légumineuses de l'ordre de  $9 \text{ t ha}^{-1}$  de matière sèche sous 750 mm de pluie ([Penning et Djitéye, 1982](#)) n'a pu être obtenue sur le sol le plus favorable malgré un « build up » de P dû aux apports successifs de l'engrais sur les mêmes parcelles et les conditions pluviométriques favorables de 1994. L'application des oligo-éléments en 1992 n'avait pas un effet sur la production de biomasse aérienne. Des essais menés par le *Programme d'Appui à la Recherche Agronomique* sur le même site ont permis d'obtenir  $9 \text{ t ha}^{-1}$  de matière sèche avec le *Vigna unguiculata cv IAR 1696* avec une fumure de fond unique de  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de P sous forme de TSP. Cela nous amène à conclure que le cultivar est un facteur important dans l'obtention du rendement potentiel d'une culture sous une pluviométrie donnée. Néanmoins, avec la variété Niban, il a été possible de produire 80 % du rendement potentiel que l'on peut considérer être le rendement potentiel agronomique.

Sur le site des 500 mm de pluie en moyenne par an, les productions faibles et l'absence des grandes différences entre les différents sols sont certainement liées à la pluviométrie déficitaire et irrégulière. Les productions sur le limon sont inférieures aux autres sites à cause d'une infiltration mauvaise et hétérogène qui est à l'origine de l'abandon de la parcelle en 1992. L'application d'oligo-éléments et de l'inoculum pendant la saison de croissance 1992 n'avait pas un effet positif sur la production de biomasse aérienne, ce qui indique que ni la croissance, ni la fixation de l'azote était limitée par ces éléments. La légère supériorité du sable en termes d'absorption de P pourrait se traduire par son caractère moins fixateur de P contrairement aux sols argileux et limoneux.

Pour l'essai sur 'sol fertile' à Niono en 1994 on constate qu'il n'y a pas de différence entre les traitements en terme de production. Le Tableau 9 permet de conclure que l'azote a été le facteur limitatif pour le *Schoenefeldia graciles*. Quant à l'absorption de P, on constate une légère augmentation des quantités absorbées en fonction des doses croissantes, résultant des teneurs en P plus élevées (consommation de luxe). Le fait que l'absorption de P par le *Vigna unguiculata* et le *Schoenefeldia graciles* sont de 11.4 et de 4.1 kg respectivement, montre que la disponibilité en N a limitée la production de *Schoenefeldia graciles*.

De l'analyse de l'effet de l'année sur la production du *Vigna unguiculata*, il ressort que la pluviométrie commande aussi la production en plus de la fertilité des sols en P. En effet qu'il s'agisse des effets directs ou des arrière-effets, les productions

sont toujours faibles en année de faible pluviométrie. Les productions obtenues à Cinzana en 1994 avec 849 mm de pluie, sont supérieures à celles de l'année 1993 (580 mm) et 1992 (749 mm). Ce même constat est valable pour le site des 500 mm de pluie où les productions les plus élevées sont obtenues en 1994 (567 mm) par rapport à l'année 1992 (370 mm). Il apparaît donc que la solubilisation de P même adsorbé par les particules du sol en conditions pluviométriques favorables augmente la disponibilité de cet élément pour la croissance de la plante.

Les productions de *Stylosanthes hamata* sous 750 mm (Cinzana) les plus élevées sont obtenues en 1992 grâce à l'existence des pieds pérennes dans les parcelles d'essais contrairement à l'année 1993 et 1994 dont les productions proviennent uniquement de resemis naturel. L'inexistence de différence entre les traitements en 1992 est dû à l'âge de la jachère qui était d'au moins dix ans ; cela est confirmé par l'absence de différence entre les traitements pour le *Vigna unguiculata* sur la même parcelle. Ce qui confirme encore une fois de plus l'hypothèse que sur les jeunes friches, la réponse des légumineuses à l'engrais phosphaté est faible. Néanmoins il apparaît que la production potentielle de l'espèce a été obtenue sous 749 mm de pluie en 1992 (10 à 11 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche). Il est à remarquer que le resemis naturel bien installé avec une population homogène peut produire jusqu'à 8 t ha<sup>-1</sup> sous l'effet d'application continue contrairement au témoin (monoculture) qui ne produit que 4,8 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche. L'effet des années doit être pris avec prudence vue la différence entre les plants de 1992 (pérennes) et ceux de 1993 et 1994 (resemis naturel).

Sur le sol limoneux-sableux de Sotuba, avec une seule année d'application de P, la production augmente d'au moins 70 % par rapport au témoin. De ce seul essai, il semble difficile de prédire l'effet de la pluviométrie sur la production. Néanmoins il est à constater que la pluviométrie moyenne était de 1108 mm contre une moyenne de 900 mm en année normale. Malgré la différence de type de sol et d'application continue du P sur le site de 750 mm de pluie, la production est dans le même ordre de grandeur que celle à Cinzana.

Des résultats obtenus sur les sites de 750 et 500 mm de plus, il apparaît nettement que la production du *Vigna unguiculata* est fonction de la pluviométrie quand le P n'est pas limitatif comme indiqué par [Penning de Vries et Djitéye \(1982\)](#) pour la productivité des pâturages sahéliens.

Comme déjà indiqué dans l'interprétation des courbes de croissance de l'*Andropogon gayanus*, les réponses aux doses croissantes de N et P à Cinzana sont souvent difficiles à comprendre. Cependant, pour tous les essais, on constate que la production d'*Andropogon gayanus* est supérieure à celle de *Pennisetum pedicellatum*.

### 4.3. Teneur en P et N et absorption de P et N.

La teneur moyenne en phosphore de *Vigna unguiculata* et *Stylosanthes hamata* augmente d'une manière générale en fonction des traitements ; qu'il agisse des effets directs ou de l'arrière-effet du P appliqué. La teneur en azote ne change pas en fonction des traitements pour le *Vigna unguiculata*, mais pour le *Stylosanthes hamata* on constate une augmentation de celle-ci en fonction des doses de P. L'augmentation de teneur en P peut être considérée comme consommation de luxe, parce que l'augmentation n'a pas d'effet sur la production de biomasse ; quand les conditions pluviométriques sont favorables, les teneurs moyennes en P augmentent grâce à une plus grande solubilisation de P, et on constate que les teneurs en P les plus élevées sont observées en 1994. De tous les sols, le sable-limon semble donner les teneurs moyennes les plus élevées. Ceci est certainement dû à son caractère moins fixateur de P, ce qui permet une disponibilité plus grande de P surtout en présence de conditions pluviométriques favorables. L'augmentation de teneur en N pour le *Stylosanthes hamata* dénote l'effet positif du P sur la fixation symbiotique, surtout en conditions pluviométriques favorables. De plus, sous conditions d'humidité du sol favorable, la décomposition / minéralisation de N est plus efficace, ce qui augmente encore la disponibilité de N minéral.

Les données ne permettent pas de calculer le rapport N fixé / N absorbé. Cependant, il est possible de faire une estimation sur la base des absorptions de N par des graminées annuelles sur les mêmes parcelles. Le Tableau 9 montre que l'absorption moyenne de N (moyenne de différents traitements) est de 110 kg ha<sup>-1</sup>, par rapport à 21 kg ha<sup>-1</sup> pour le *Schoenefeldia gracilis*. En assumant que tout N minéral disponible a été assimilé par le *Vigna unguiculata*, cela indique une fixation de 90 kg(N) ha<sup>-1</sup>. Pour les essais à Cinzana, on peut comparer les absorptions des légumineuses avec celles de *Pennisetum*

*pedicellatum* sur les mêmes sites, voir Tableaux 13 et 14. En 1993, l'absorption de N par *Pennisetum pedicellatum* sur des parcelles témoin sans limitation de P était de 80 kg(N) ha<sup>-1</sup> sur sol sableux et de 70 kg(N) ha<sup>-1</sup> sur sol sablo-limoneux ; ces valeurs élevées, vraisemblablement à cause de plus de 10 années de jachère, peuvent être considérées comme fertilité naturel. En se basant sur la quantité moyenne de N absorbé par les traitements ayant reçu du P, on peut estimer les quantités fixées sur sol sableux d'être au moins 21, 0 et 45 kg ha<sup>-1</sup> en 1992, 1993 et 1994 respectivement et sur sol sablo-limoneux 51, 78 et 133 kg ha<sup>-1</sup> respectivement. En 1993, l'absorption de P pour les traitements témoin reste en dessous de la fertilité naturel, ce qui indique que la disponibilité de P était limitatif pour la production.

La qualité fourragère élevée du *Stylosanthes hamata* semble liée à l'âge des plants. Il semblerait que les jeunes pieds contiendraient des teneurs plus élevées que les pieds âgés de deux ans. En effet malgré une pluviométrie inférieure en 1993 (580 mm) les teneurs en éléments sont supérieures à celles de 1992 (749 mm). Ceci s'expliquerait par une lignification des pieds-mères par rapport aux jeunes pieds issus du resemis naturel. Pour une année de faible pluviométrie comparée à une année de conditions pluviométriques favorables, les teneurs moyennes des éléments sont presque dans les mêmes ordres de grandeur aux regards des différentes doses appliquées.

L'adsorption du P par les oxydes de fer et d'aluminium dans les sols tropicaux est à l'origine de la faible disponibilité du P pour les plantes. En effet les doses croissantes de P entraînent une augmentation de l'absorption de P par rapport au témoin quelque soit le type de sol l'année et le site, mais il n'y pas une augmentation proportionnelle de l'absorption en fonction des doses. Des quantités importantes de P appliquées, l'absorption de P dépasse rarement les 30 kg ha<sup>-1</sup>. Pour atteindre cette absorption de P il est nécessaire d'appliquer le maximum du fait de l'adsorption de P. Cependant avec une dose supérieure à 26 kg ha<sup>-1</sup> de P, il n'y a plus une augmentation significative de la production quelque soit le type de sol et l'année. Pourtant l'absorption augmente bien au delà des 26 kg ha<sup>-1</sup> de P.

Les données montrent que l'absorption des témoins diminue au fil des années (effet monoculture sans apport d'intrants externes) sur le site des 750 mm de pluie en moyenne, ce qui indique une diminution du stock de P disponible dans le sol. Une comparaison entre l'essai sur jachère d'au moins dix années sur sol sablo-limoneux en 1993 (Tableau 4) et l'essai sur une jachère jeune d'un an après monoculture de mil (Tableau 6), montre que malgré l'augmentation de disponibilité en P après 10 années de jachère ; et une année de culture, la disponibilité de P diminue et les productions sont comparables à celles obtenues sur site limon (jachère d'un ou deux ans).

#### 4.4. Efficacité de l'utilisation de P.

L'efficacité de l'utilisation de P communément appelé 'taux de recouvrement' est une mesure de la faculté de la plante à utiliser le P appliqué. L'un des objectifs principaux de recherche était de mieux comprendre cette efficacité par différentes cultures fourragères. Les résultats obtenus avec le *Vigna unguiculata* en application continue pendant plusieurs années indiquent une diminution du coefficient d'utilisation en fonction des doses appliquées, surtout à cause du fait que la quantité appliquée dépasse largement la capacité d'absorption de P. Pour les essais sur le site avec pluviométrie de 750 mm an<sup>-1</sup>, le coefficient d'utilisation du P pour le *Vigna unguiculata* en première année d'application, varie entre 13 et 25 % pour la dose de 26 kg ha<sup>-1</sup>. Van Duivenbooden (1992) a calculé le coefficient d'utilisation de P pour 180 essais exécuté sous conditions tropicaux ; le coefficient moyenne, - toute culture confondue - s'élève à 13%, et seulement pour 18% des essais le coefficient dépasse 20%. Cela indique que les coefficients obtenus sur le site de 750 mm en 1992 sont relativement élevés par rapport à ceux trouvés dans la littérature. Cela est vraisemblablement le résultat de l'application de P en 1991, ce qui a déjà augmenté la quantité de P adsorbé par le sol ; par conséquent le manque de disponibilité de P lié à l'adsorption est moindre en 1992. On observe (Tableau 4) qu'en apport annuel de 26 kg de P ha<sup>-1</sup>, le coefficient s'améliore à 61% principalement pour le sol sableux-limoneux, même en année de faible pluviométrie. Il est encore plus élevé, 73%, en 1994 sous des conditions pluviométriques favorables sous application continue de P. La raisons principale est la saturation en P des oxydes de fer et d'aluminium et des particules fines des sols. Ainsi au fil du temps le coefficient d'utilisation de P s'accroît avec une augmentation du P libre dans les solutions du sol. Cette hypothèse est confirmée par l'existence du P résiduel de l'engrais appliqué qui est à l'origine des arrières-effets de P sur la production ; après avoir saturé le complexe d'adsorption, le P appliqué reste accessible aux cultures. D'ailleurs comme indiqué par les résultats, il n'y a pas une relation entre la durée de

jachère et le taux de recouvrement. En d'autre terme une jachère de longue durée n'améliore pas forcément le taux de recouvrement. Ceci est conforme aux réponses de production obtenues qui sont plus nettes sur les jeunes jachères (avec des doses faibles ou élevées) que sur les terres nouvellement défrichées ou en jachère de plus de 10 ans.

Le taux de recouvrement sur sol sableux est de 23% en 1992 mais diminue à 18% en 1993. Cela est certainement liée à la faible capacité de rétention d'eau par rapport au sol sablo-limoneux. En 1994, le recouvrement était de 46%. Sur l'argile on constate aussi une augmentation de taux de recouvrement, mais à cause de la capacité d'adsorption plus élevée des sols argileux et limoneux, l'augmentation est moindre.

L'effet de site se traduit principalement par une plus grande efficacité de l'utilisation de l'engrais en présence de l'eau du sol. C'est pourquoi les coefficients sont plus élevés pour le site de 750 mm de pluie que pour le site de 500 mm toutes années confondues.

Les coefficients d'utilisation du P par le *Stylosanthes hamata* suggèrent une efficacité de l'ordre de 27 % sur une jachère de 10 ans après une population bien établie en sa deuxième année de croissance. Comme dans le cas du *Vigna unguiculata*, ce taux diminue en fonction des doses appliquées. Pour la population issue de resemis naturel, le taux de recouvrement atteint 46 % sur sol sableux en conditions pluviométriques favorables en 1994, après une accumulation du P appliqué plusieurs années (les raisons ont été évoquées dans les paragraphes précédents). Puisqu'il existe une relation entre la biomasse produite et l'absorption, il apparaît donc qu'en année de faible production, comme ce fut le cas en 1993 sous 750 mm, le coefficient d'utilisation du P soit faible.

Il est à noter aussi que pour des sols limoneux-sableux du site des 900 mm de pluie supportant le *Stylosanthes hamata* au moins trois ans sans application de P, le coefficient d'utilisation du P peut atteindre 38 % avec une dose de 11 kg ha<sup>-1</sup> de P permettant de produire 9 t ha<sup>-1</sup> de matière sèche avec des resemis naturel.

Le taux de recouvrement pour la graminée annuelle *Pennisetum pedicellatum* est supérieur par rapport à la graminée pérenne *Andropogon gayanus*. Ce phénomène s'explique par les courbes d'absorption des éléments nutritifs dans le temps (Figure 5) ; pour l'*Andropogon gayanus*, la quantité maximale des éléments nutritifs est absorbée au moment de la floraison / début fructification ; à partir de ce stade, les quantités diminuent progressivement. Dans les essais de recouvrement les productions de biomasse et les quantités des éléments absorbés ont été déterminés à la fin du cycle, c'est-à-dire en Décembre. A cet moment, une bonne partie des éléments nutritifs est déjà 'perdu' à cause de la dégradation de la biomasse aérienne et de la translocation des éléments vers le système racinaire. En se basant sur la dynamique d'absorption de N et P dans le Figure 5, nous estimons que le recouvrement de N et P par l'*Andropogon gayanus* est approximativement 2 fois plus élevé que les valeurs dans les Tableau 13 et 14.

## Bibliographie

Boudet, G., 1975. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. IEMVT. Manuel et précis d'élevage no.4, 254 pp.

Bowden, B.N., 1963. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth. I. The use of *Andropogon gayanus* in agriculture. Emp. J. Exp. Agric. 32 : 267-273.

Breman, H., A.M. Cissé, M.A. Djitéye & W.Th. Elberse, 1982. Le potentiel botanique des pâturages. Dans : [Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye \(eds.\), 1982](#). La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle PUDOC, Wageningen, 98-132.

Duivenbooden, N. van., 1992. Sustainability in terms of nutrient elements with special reference to West-Africa. CABO-DLO Wageningen, Report 160, 261 pp.

Groot, J.J.R., D. Koné, M. Traoré, & N. Kamissoko, 1995. [Description du système racinaire de l'\*Andropogon gayanus\*, du \*Vigna unguiculata\* et du \*Stylosanthes hamata\* en zone Soudano-Sahélienne](#). Rapports PSS no.8, 30 pp.

Jones, C.A., 1979. The potential of *Andropogon gayanus* Kunth. in the oxisol and ultisol savannas of Tropical America. Herb. Abstracts 49 : 1-8.

Keulen, H. van & Breman, H., 1990. Agricultural development in the West African Sahelian region : a cure against land hunger? Agriculture Ecosystemes and Environment 32, 177-197.

Lathwell, D.J., 1979. Phosphorus response on oxisols and ultisols. Cornell University International Agricultural Bulletin 33, 43 pp.

Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye (eds.), 1982. [La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle](#). PUDOC, Wageningen, 525 pp.

Pol, F. van der, 1992. Soil mining and unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin 325, Royal Tropical Institute Amsterdam, 48 pp.

Siband, P., H. van Keulen & N. van Duivenbooden, 1989. Suivi des dynamiques minérales, recommandations pour le plan et les modalités d'échantillonnage. CIRAD/IRAT Rapport 118, 33 pp.

Traoré, M., 1996. [Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne : \*Andropogon gayanus\*](#). Thèse de doctorat, ISFRA, Mali. Rapports PSS no.19, AB-DLO Wageningen, IER-Bamako Mali..in prep.

Wit, C.T. de, 1953. A physical theory on placement of fertilizers. Agricultural Research Reports 59.4, Staatsdrukkerij 's Gravenhage, 71 pp.

## Annexe 1.

Résultats de l'essai de *Stylosanthes hamata* à Niono, 1992, par Bloc et par traitement.

		poids seche (kg ha <sup>-1</sup> )	%N	%P	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P (kg ha <sup>-1</sup> )	Rec (%)
BLOC I	P0	1370	1,78	0,04	24,39	0,49	
	P22	1329					
	P44	1000	1,96	0,17	19,60	1,74	2,8
	P66	1482					
	P88	1110	1,91	0,37	21,19	4,06	4,1
BLOC II	P0	475	2,14	0,13	10,17	0,62	
	P22	1537					
	P44	690	2,05	0,15	14,14	1,05	1,0
	P66	828					

	P88	1112	1,92	0,19	21,35	2,13	1,7
<b>BLOC III</b>	P0	1274	1,94	0,11	24,71	1,44	
	P22	1572					
	P44	1748	1,93	0,20	33,73	3,51	4,7
	P66	1905					
	P88	2141	1,90	0,17	40,68	3,73	2,6
<b>BLOC IV</b>	P0	1396	1,58	0,08	22,06	1,16	
	P22	8448					
	P44	1202	1,75	0,18	21,04	2,20	2,4
	P66	1429					
	P88	1887	1,91	0,26	36,04	4,94	4,3

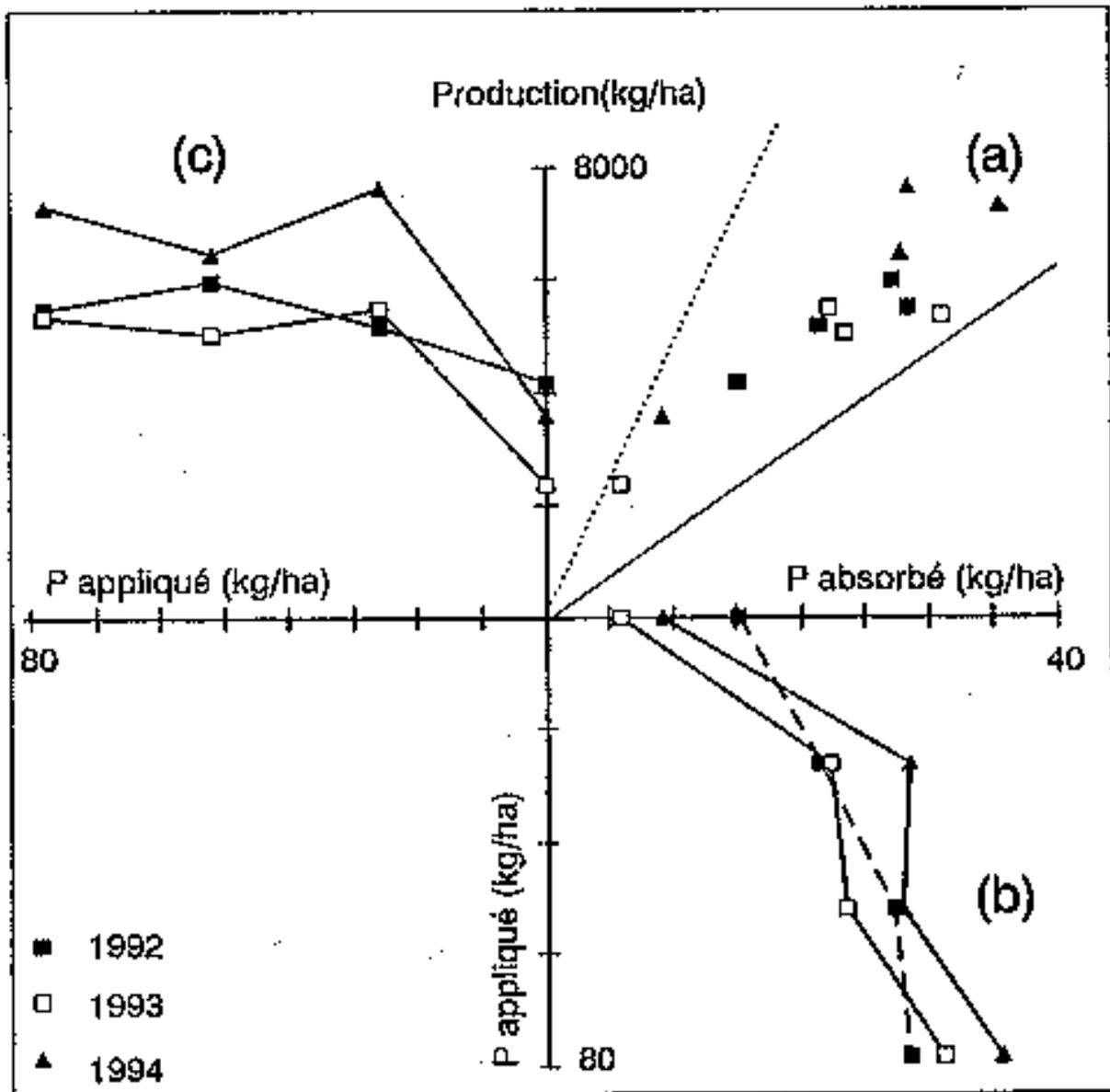


Figure 1. Des relations entre la biomasse aérienne, la quantité d'engrais appliquée et la quantité de P absorbé par la biomasse aérienne pour l'essai de *Vigna unguiculata* sur sol sablo-limoneux à Cinzana ( $750 \text{ mm an}^{-1}$ ). Pour les explications voir l'introduction, analyse des données.

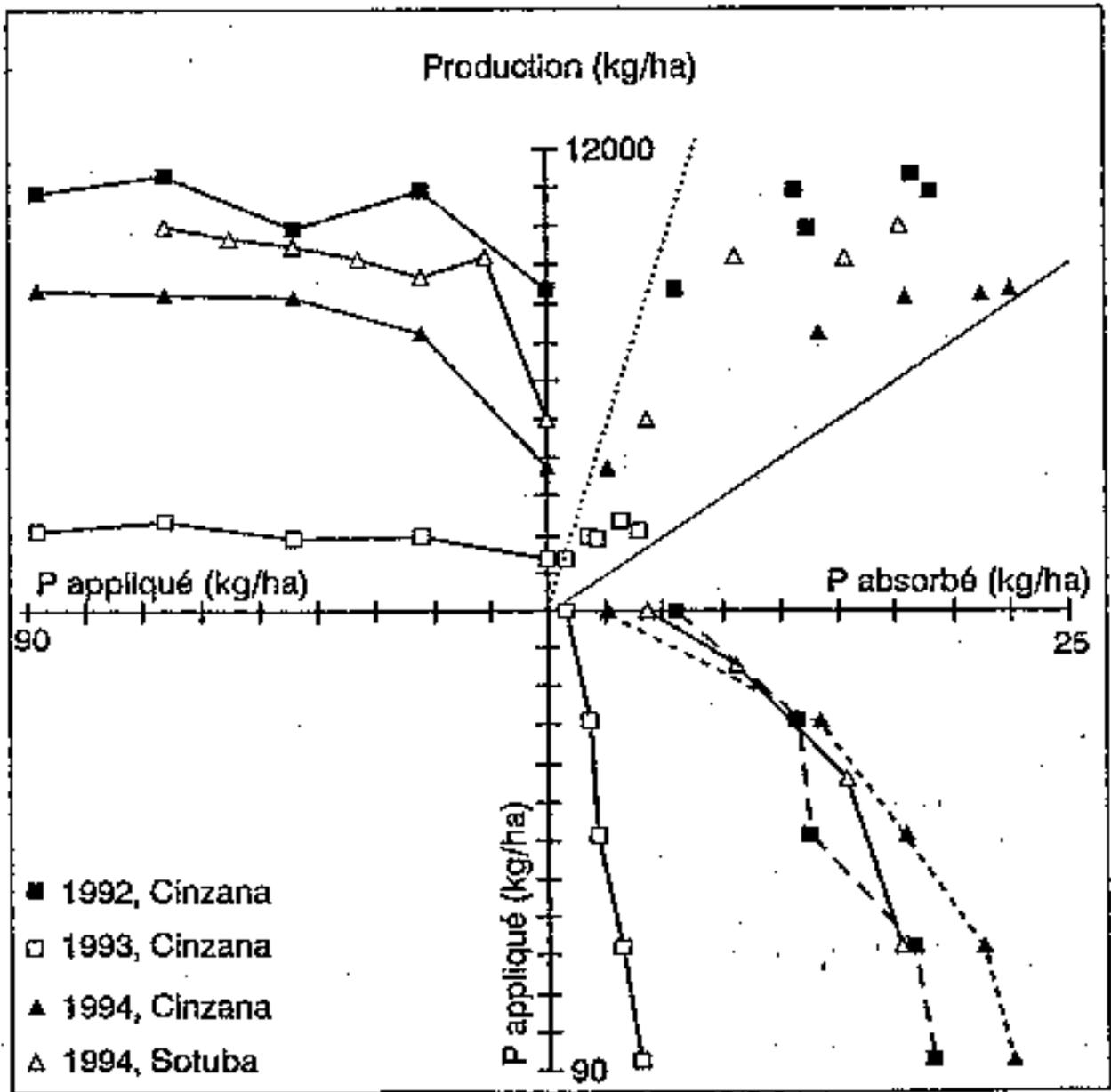
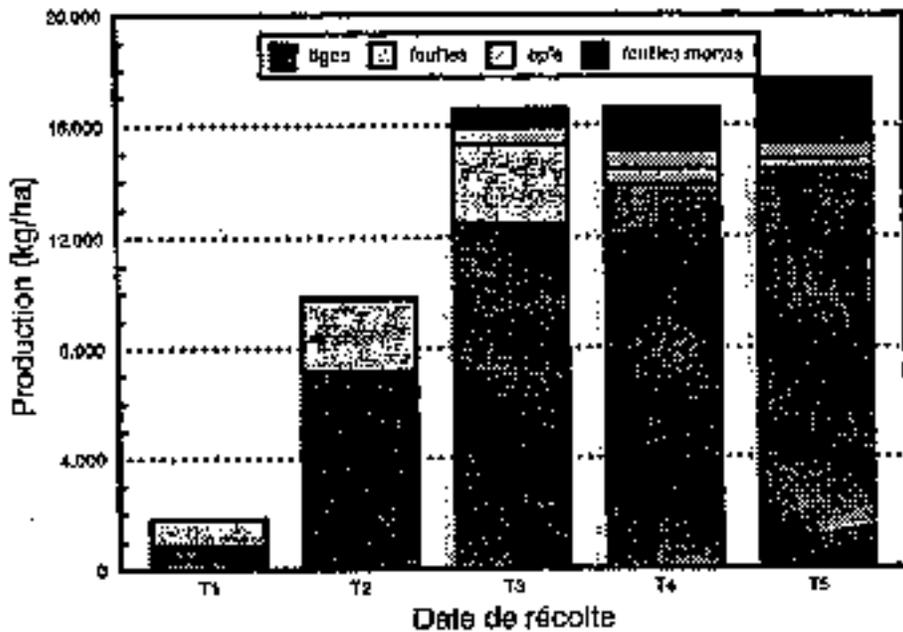


Figure 2. Des relations entre la biomasse aérienne, la quantité d'engrais appliquée et la quantité de P absorbé par la biomasse aérienne pour l'essai de *Stylosanthes hamata* à Cinzana ( $750 \text{ mm an}^{-1}$ ). Pour les explications voir l'introduction, analyse des données.

a



b

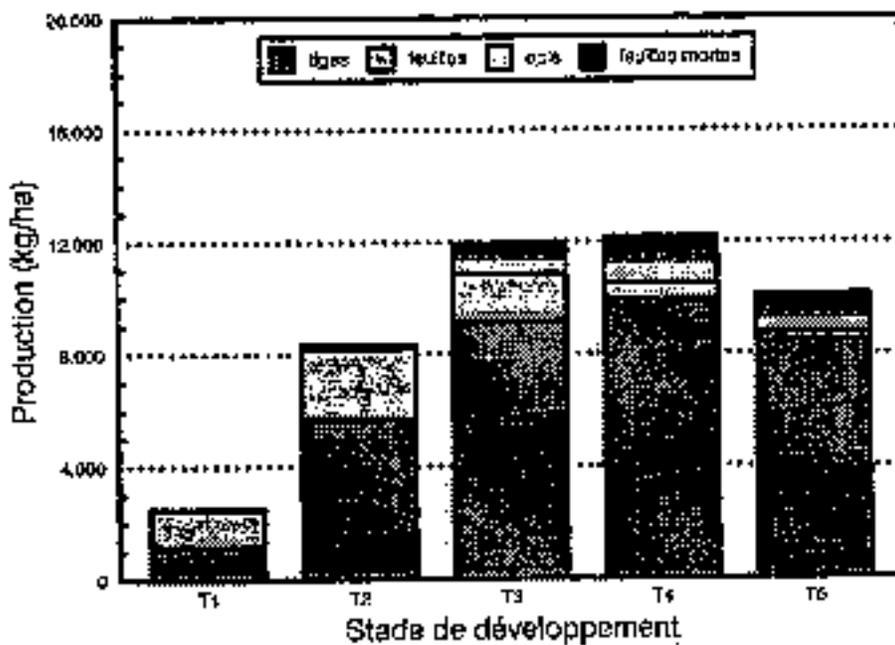


Figure 3. Courbe de croissance des différentes organes d'*Andropogon gayanus* à N'Taria 1993 pour le témoin (a) et pour le traitement sans limitation de N et P (b).

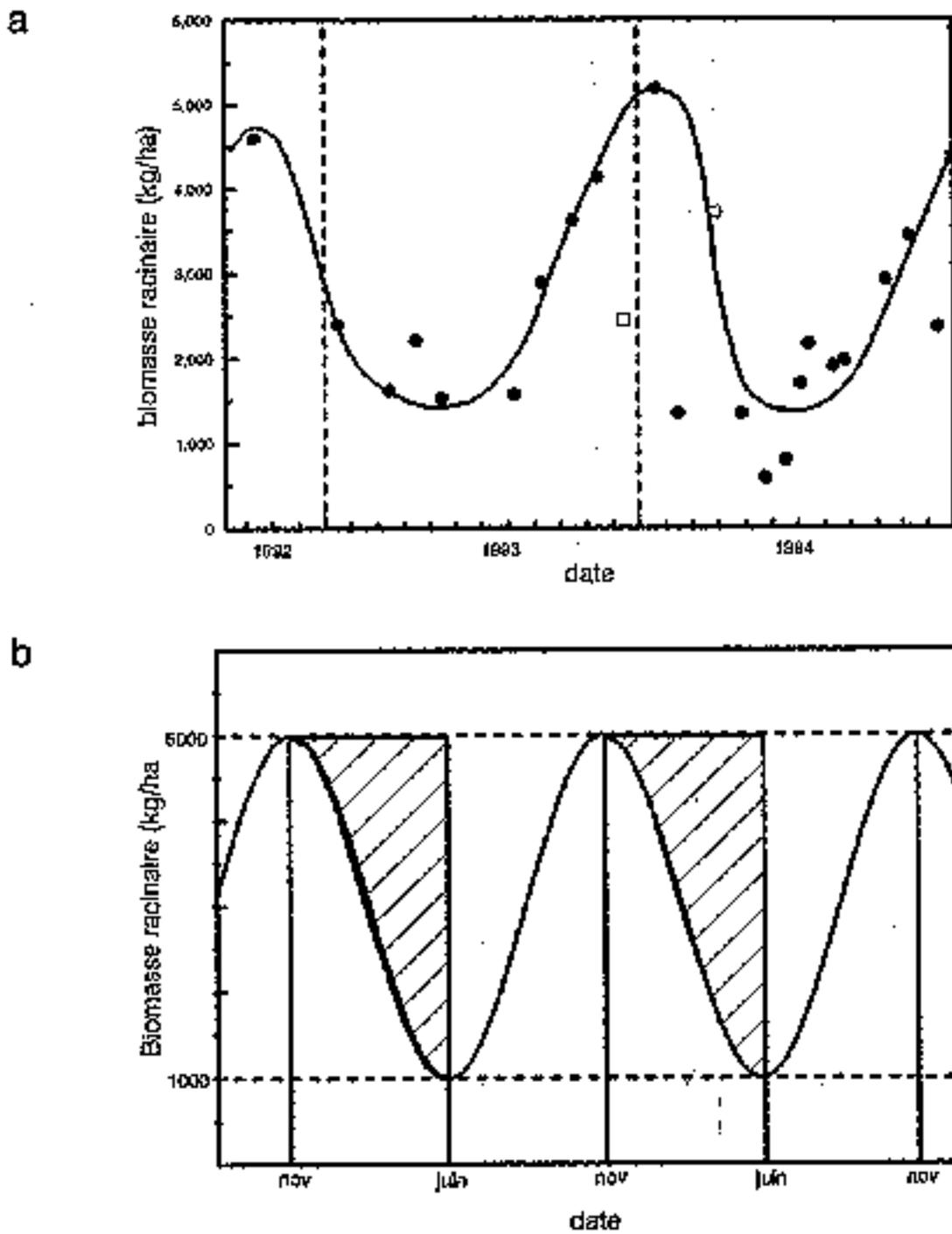


Figure 4. Dynamique de la biomasse racinaire d'*Andropogon gayanus* à N'Tarla au cours de 1993 et 1994 (a) et représentation schématique du dynamique de la biomasse racinaire (b).

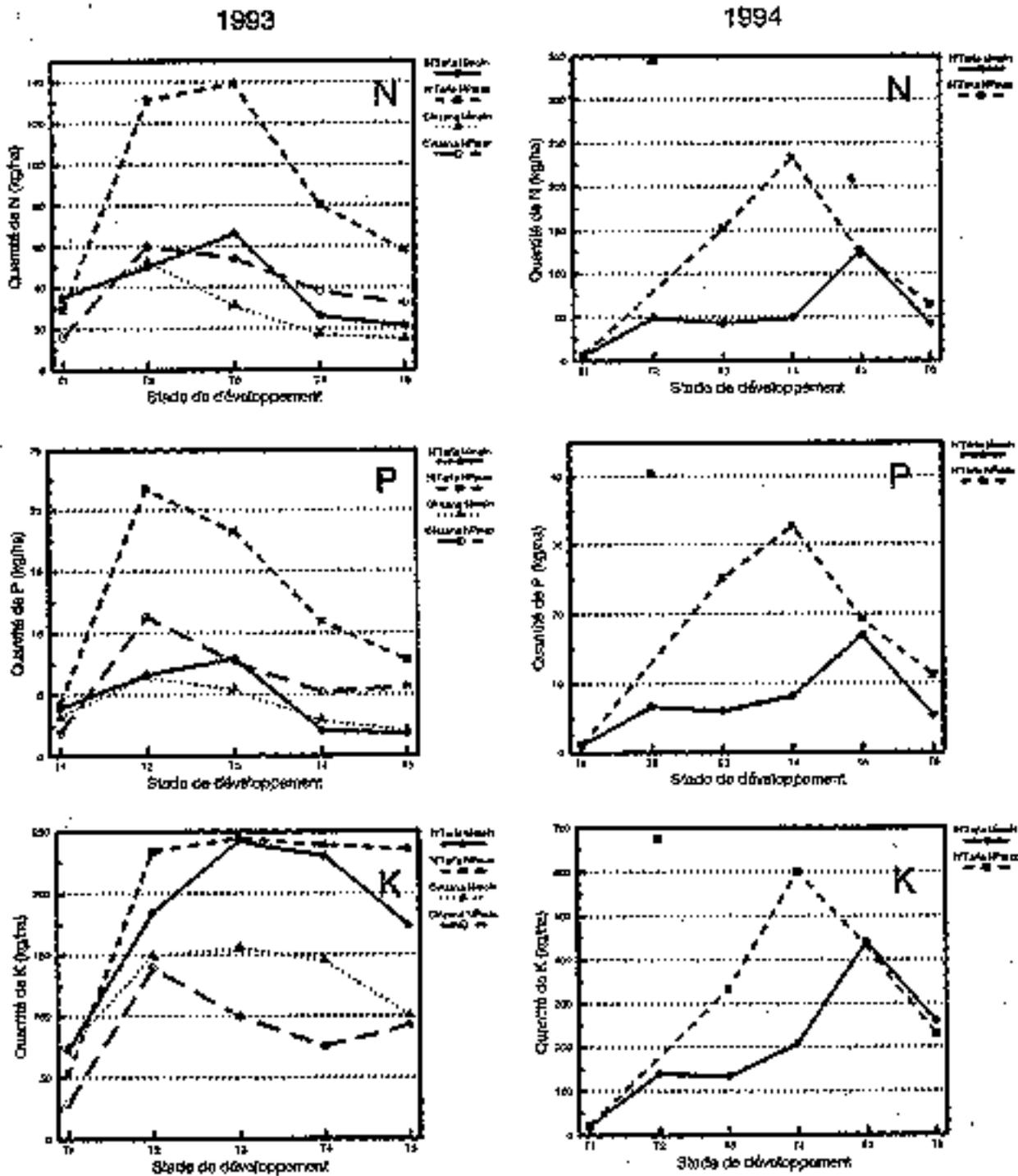


Figure 5. Absorption de N, P et K par l'Andropogon gayanus en 1993 (Cinzana et N'Tarla) et en 1994 (N'Tarla) en fonction des stades de développement.

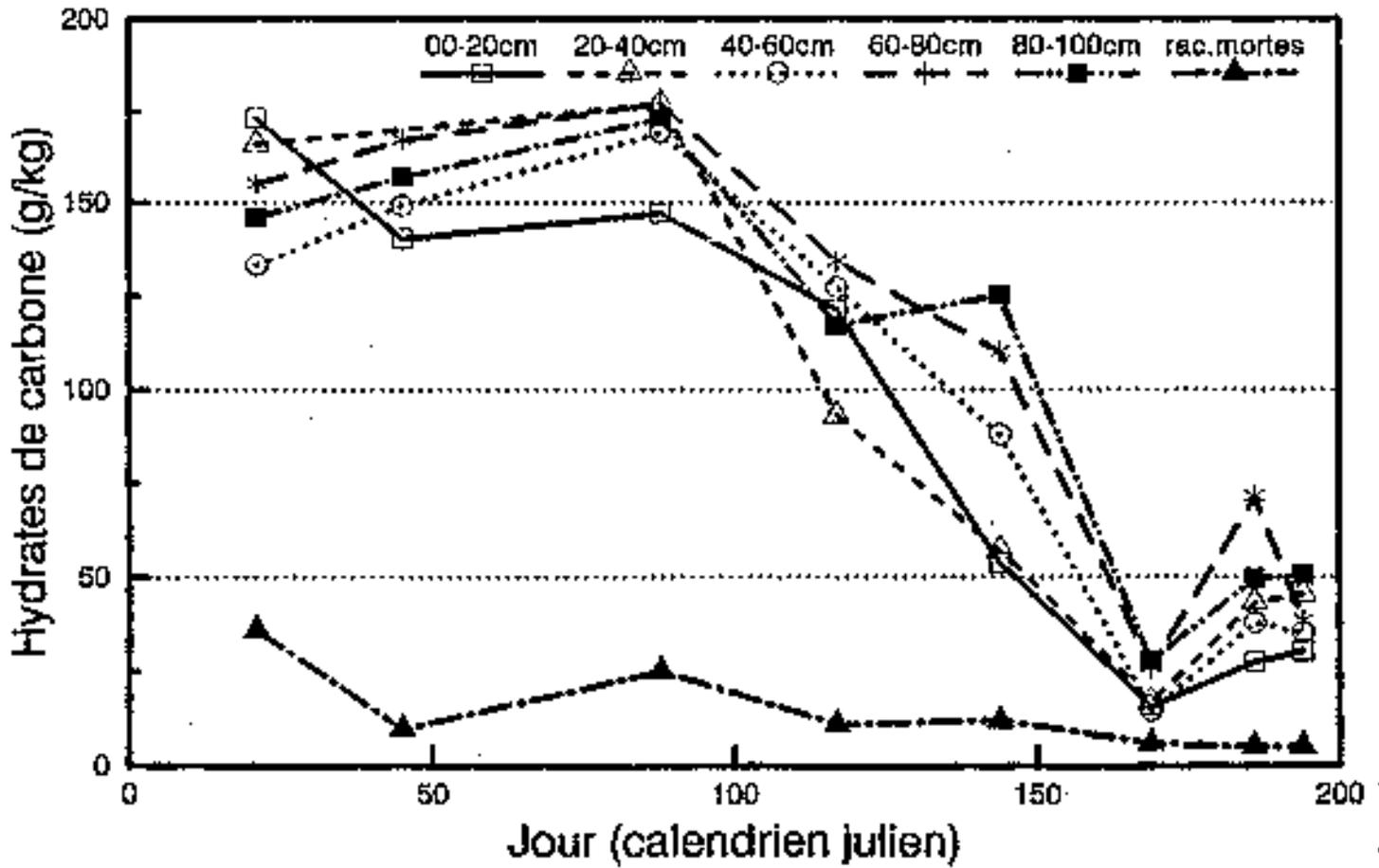


Figure 6. Teneur en hydrates de Carbone ( $g\ kg^{-1}$ ) dans les racines d'Andropogon gayanus à N'Tarla 1993-1994 au cours de la saison sèche.