

Rapports PSS N°19 (Chapitre 1, 2 et 3)

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

Projet de coopération scientifique

Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne : *Andropogon gayanus*

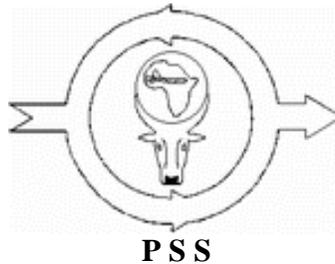
Thèse pour obtenir le titre de Docteur de Spécialité, Option : Production Fourragère
à l'Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée*

Mouhamadou Traoré**

* ISFRA, B.P. 241, Bamako, Rép. du Mali

** Institut d'Economie Rurale (IER), B.P. 258, Bamako

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



Rapports PSS N° 19

Wageningen, 1996

Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS)

Numéro 19

Table des matières

- [Avant-propos](#)
- [Remerciements](#)
- [Résumé](#)
- [1. Introduction générale](#)
- [2. Description des milieux d'étude](#)
 - [2.1. Caractéristiques de la zone d'étude](#)
 - [2.2. Caractéristiques des milieux d'étude](#)
 - [2.2.1. Station de Recherche Agronomique de Cinzana](#)
 - [2.2.2. Station de Recherche Agronomique de N'Tarla](#)
 - [2.3. Caractéristiques physiques et chimiques du sol des sites étudiés](#)

- [2.3.1. Echantillonnage du sol](#)
- [2.3.2. Résultats analytiques](#)
- [2.3.3. Description du profil pédologique](#)
- [2.4. Conséquence des résultats des analyses chimiques sur la valeur agricole des sols des sites d'étude](#)
- [3. Matériel végétal et méthode d'étude](#)
 - [3.1. Matériel végétal](#)
 - [3.1.1. L'Andropogon gayanus](#)
 - [3.1.1.1. Caractéristiques de l'espèce](#)
 - [3.1.1.2. Distribution géographique](#)
 - [3.1.1.3. Mode de dissémination](#)
 - [3.1.1.4. Production et utilisation](#)
 - [3.1.2. Le Pennisetum pedicellatum](#)
 - [3.1.2.1. Caractéristiques de l'espèce](#)
 - [3.1.2.2. Distribution géographique](#)
 - [3.1.2.3. Mode de dissémination](#)
 - [3.1.2.4. Production et Utilisation](#)
 - [3.2. Méthode d'étude](#)
 - [3.2.1.1. Approche](#)
 - [3.2.1.2. Dispositifs expérimentaux](#)
 - [3.2.1.3. Travaux préliminaires](#)
 - [3.2.1.4. Fertilisation](#)
 - [3.2.1.5. Observations](#)
 - [3.2.2.1. Approche](#)
 - [3.2.2.2. Dispositif expérimental](#)
 - [3.2.2.3. Travaux préliminaires](#)
 - [3.2.2.4. Fertilisation](#)
 - [3.2.2.5. Observations](#)
 - [3.2.3. Essai n°3 : Paramétrisation du développement d'une graminée pérenne : Andropogon gayanus](#)
 - [3.2.3.1. Approche](#)
 - [3.2.3.2. Dispositifs expérimentaux](#)
 - [3.2.3.3. Travaux préliminaires](#)
 - [3.2.3.4. Fertilisation](#)
 - [3.2.3.5. Observations](#)
- [4. Résultats obtenus et discussions](#)
 - [4.1. Taux de recouvrement des éléments nutritifs : analyse de l'application des engrais](#)
 - [4.1.1. La production de matière sèche et la distribution des éléments nutritifs](#)
 - [4.1.1.1. Courbe de croissance de la biomasse aérienne et racinaire au cours du cycle de développement](#)
 - [4.1.1.3. Evolution de la surface foliaire au cours du cycle de développement en 1993 et 1994 \(Essai n°3\)](#)
 - [4.1.1.4. Effet de l'utilisation de l'azote et du phosphore sur la production de la biomasse aérienne](#)
 - [4.1.1.5. Effet de l'azote et du phosphore sur la qualité du fourrage produit \(Essais n°1 et 3\)](#)
 - [4.1.2. Bilan des éléments nutritifs à la fin du cycle de développement des plantes](#)
 - [4.1.2.1. Détermination des quantités de N et de P utilisées par les cultures](#)
 - [4.1.2.2. Analyse quantitative de l'application des engrais azotés et phosphatés sur les cultures \(Essai n°1\)](#)

- [4.2. Stockage des éléments nutritifs et des hydrates de carbone par *Andropogon gayanus*](#)
 - [4.2.1. Effet de la fauche sur la production de la biomasse aérienne](#)
 - [4.2.2. Effet de la fauche sur l'évolution des taux de N et de P dans la biomasse aérienne](#)
 - [4.2.3. Evolution de la biomasse des repousses et de leur stock en éléments nutritifs et en hydrate de carbone en 1994](#)
 - [4.2.3.1. Biomasse aérienne des repousses pendant la saison sèche et en début d'hivernage](#)
 - [4.2.3.2. Stock des éléments nutritifs dans les parties aériennes et souterraines à la fin du cycle de développement en 1993 \(Essai n°3\)](#)
 - [4.2.3.3. Stock d'hydrate de carbone soluble dans la biomasse aérienne pendant la saison sèche et en début d'hivernage en 1994 \(Essai n°2\)](#)
 - [4.2.3.4. Stock d'hydrate de carbone soluble dans la biomasse racinaire pendant la saison sèche et en début d'hivernage \(Essai n°2\)](#)
 - [4.2.4. Effet du niveau du stock d'eau sur l'apparition des repousses pendant la saison sèche \(Essai n°2\)](#)
- [4.3. Production et rôle de la matière organique dans l'utilisation des éléments nutritifs](#)
 - [4.3.1. Rôle de la matière organique dans le sol](#)
 - [4.3.2. Dynamique de la matière organique dans le sol](#)
 - [4.3.3. Décomposition de la matière organique stable](#)
 - [4.3.4. Décomposition de la matière organique apportée](#)
 - [4.3.5. Biomasse racinaire et matière organique dans le sol](#)
- [4.4. Résultats de simulation du modèle PGWA](#)
 - [4.4.1. Utilisation du modèle PGWA](#)
 - [4.4.2. Le comportement du modèle](#)
 - [4.4.3. Sensibilité du modèle](#)
 - [4.4.4. Validation du modèle : Comparaison de données observées et simulées](#)
 - [4.4.5. Test d'application du modèle : estimation pluriannuelle du potentiel productif de l'*Andropogon gayanus*](#)
- [5. Discussions et conclusions générales](#)
 - [5.1. Production de biomasse et son influence sur le maintien du taux de matière organique et du taux de recouvrement des engrais azotés et phosphatés](#)
 - [5.2. Le stockage des éléments nutritifs et des hydrates de carbone et son influence sur la diminution des pertes ainsi que le démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage](#)
 - [5.3. Test de validation du modèle de simulation PGWA](#)
- [Bibliographie](#)
- [Abréviations](#)
- [Annexes](#)
 - [Annexe 1](#)
 - [Annexe 2](#)

« 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 ».

Avant-propos

Au Mali comme dans les autres pays sahéliens, l'objectif prioritaire des gouvernements à l'heure actuelle est d'assurer l'autosuffisance alimentaire.

Cependant, l'augmentation rapide de la population et le faible niveau des productions végétales et animales font qu'il devient de plus en plus difficile d'atteindre ce but.

La raison fondamentale à ce phénomène est l'absence de données quantitatives sur les processus assurant la stabilité du système Sol-Plante-Animal ainsi que le rôle des innovations sur ce mécanisme. Pour pallier cette lacune, le Mali et les Pays-Bas ont mis sur pied un programme de recherche dénommé Projet PSS dont le but est d'apporter une contribution au développement des systèmes de production agro-pastoraux durables dans les pays sahéliens.

Le projet « Production Soudano-Sahélienne » (PSS) est une coopération scientifique et technique entre différents instituts de recherches dont l'IER (Institut d'Economie Rurale) au Mali ; l'AB-DLO (Institut de la Biologie Agronomique et de la fertilité du sol) aux Pays-Bas et le DAN/UAW (Département d'Aménagement de la Nature) aux Pays-Bas.

Le projet vise surtout l'exploitation optimale des éléments nutritifs pour l'élevage. Les actions de recherche sur le terrain ont été exécutées sous la supervision de l'IER et de l'AB-DLO au sein de trois équipes de chercheurs qui sont :

- L'équipe Production Fourragère (EPF) pour approfondir les connaissances sur la production végétale et celles sur la disponibilité en éléments nutritifs par rapport à la matière organique dans le sol et l'application des engrais chimiques et organiques.
- L'Equipe Exploitation Fourragère (EEF) pour étudier les possibilités de valorisation du fourrage produit pour la supplémentation des ruminants.
- Et enfin, l'Equipe Modélisation des systèmes (EMS) chargée d'identifier et de comparer les différentes options techniques permettant de rentabiliser l'utilisation des intrants extérieurs (azotés et phosphatés), afin d'atteindre la rentabilité économique et la durabilité des systèmes de production agro-pastoraux.

Le thème « Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne : *Andropogon gayanus* », avec comme témoin le *Pennisetum pedicellatum* a pour but d'approfondir les connaissances sur le rôle de la pérennité sur la disponibilité des nutriments et de l'eau avec comme objectif principal de rehausser leur efficacité d'utilisation. Elle aura permis également de situer le potentiel productif de *Andropogon gayanus* afin de pouvoir simuler son comportement et de permettre l'extrapolation des résultats dans différentes zones agro-écologiques.

Le sujet de recherche a été traité à travers trois essais de fertilisation :

1. Analyse du taux de recouvrement de l'azote et du phosphore sans aucune restriction des autres éléments nutritifs par *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*.
2. Etude de l'origine des éléments nutritifs et des hydrates de carbone soluble et leur utilisation dans la production de la biomasse aérienne de *Andropogon gayanus*.
3. Paramétrisation du développement d'une graminée pérenne : *Andropogon gayanus*.

Les études ont été menées au niveau des Stations de Recherche Agronomique de Cinzana et de N'Tarla sur sol sableux et limoneux durant les campagnes 1993 et 1994. L'hétérogénéité spatiale du milieu de Cinzana a entraîné un arrêt des recherches au niveau de cette localité en 1994.

Les deux années d'étude ont été caractérisées par une mauvaise répartition des pluies aggravée par un déficit en 1993 (avec respectivement 580 et 700 mm pour Cinzana et N'Tarla) et une bonne répartition en 1994 (849 et 1140 mm pour Cinzana et N'Tarla).

Concernant l'étude de la biomasse racinaire, si en 1992 la technique des monolithes a été utilisée pour mieux cerner la

structure du système racinaire de différentes espèces, en 1993 et en 1994 la méthode des blocs a été employée pour mieux quantifier la biomasse des racines. Les travaux ont été exécutés de façon ininterrompue chaque mois pendant les deux années, ce qui a nécessité de gros efforts humains et financiers.

Le cadre opérationnel du projet se situe dans la zone agro-écologique Sud-Sahel et du Nord-Soudan (300-900 mm pluie an⁻¹). Le choix de cette zone est lié à l'intensité d'utilisation des ressources naturelles dans cette partie du pays. En effet, on y constate une surexploitation des terres par l'agriculture et l'élevage et l'explosion démographique y est aussi accentuée. L'utilisation des compléments azotés dans cette zone pourrait permettre une augmentation des productions végétales et animales par le maintien du niveau de fertilité des sols, qui est apparu avec les études du PPS ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) comme étant le facteur le plus limitatif pour la production végétale.

Les résultats obtenus durant ces deux années ont permis la vérification des différentes hypothèses de travail. Cependant, des actions complémentaires doivent être menées dans certains domaines pour combler les lacunes constatées. Il s'agit de la reprise de certaines analyses de sol et de fourrage, de l'étude de l'enracinement du *Pennisetum pedicellatum*, du suivi annuel ou périodique du stock des hydrates de carbone soluble, la récolte de *Andropogon gayanus* entre la période floraison-fructification, le problème de la fixation du phosphore et l'étude du coefficient d'utilisation de l'eau et de l'azote par *Andropogon gayanus*. La prise en compte de tous ces problèmes dans le cadre d'un suivi léger permettra à coup sûr d'atteindre l'ensemble des objectifs visés, à savoir obtenir une efficacité d'utilisation de N et de P et simuler la croissance et le développement de *Andropogon gayanus* dans différentes zones agro-écologiques.

*A : Aboubacar, Sidiki
Diakaridia
Ousmane
Aïssé et à leur maman Fatou
Pour toutes les privations dont ils ont été victimes quatre années
durant et en témoignage de toute mon affection.*

*mon père, ma mère ainsi que tous les frères et soeurs
pour tout l'amour à mon égard.*

Remerciements

Avant d'exposer les résultats de ce travail, qu'il me soit permis de manifester ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué ou facilité sa réalisation.

Je remercie, en tout premier lieu, le gouvernement des Pays-Bas qui a mis à notre disposition les moyens nécessaires à l'exécution du travail, notamment la possibilité de la formation au Mali, le financement et l'encadrement scientifique.

Je remercie ensuite l'Institut d'Economie Rurale (IER), notamment son Directeur Général, le Dr Oumar NIAGANDO, d'avoir accepté la formation et la recherche au sein de ses structures spécialisées.

Je remercie également l'ISFRA ainsi que toute sa direction dirigée par Dr N'Golo DIARRA de m'avoir accepté au sein de son établissement pour une formation jusqu'au troisième cycle.

Les mêmes remerciements s'adressent également à tout le corps professoral mobilisé pour la circonstance qui, malgré ses nombreuses occupations, a tenu à assurer la formation théorique des étudiants pendant l'année scolaire 1991-1992.

Je citerai ici spécialement Dr Alassane Cisse qui en plus de sa fonction de professeur chargé de la spécialisation en production fourragère s'occupait également de la coordination de la formation et veillait à ce titre à la garantie de la qualité du travail aussi bien durant la phase de DEA que pendant la phase de la thèse.

Je remercie également tous les chercheurs du PSS qui, malgré leurs multiples occupations m'ont toujours apporté leurs conseils, leur pleine et entière disponibilité pendant toute la durée du stage et plus singulièrement la direction journalière qui n'a pas lésiné avec les moyens pour bien mener à terme l'ensemble des travaux.

Mes remerciements vont à Mrs Daouda KONE, Rob GROOT et Adama COULIBALY, tous agronomes dans l'équipe production fourragère avaient la lourde responsabilité de m'encadrer et de me suivre sur le terrain. Je leur exprime toute ma profonde gratitude. Mr GROOT, malgré ses multiples occupations m'a beaucoup aidé pour l'analyse des données à l'ordinateur. Les figures présentées dans le texte sont les fruits de cette bonne collaboration. Encore une fois, qu'il en soit vivement remercié.

Je remercie aussi très chaleureusement le Dr Henk BREMAN, chercheur à l'AB-DLO, premier responsable scientifique du Projet aux Pays-Bas, dont l'amour pour le Mali a permis d'obtenir le financement de cette oeuvre grandiose et qui, malgré ses nombreuses occupations a accepté d'être le directeur de cette thèse. Les nombreuses remarques qu'il a faites ont beaucoup contribué à améliorer la qualité du document.

Je remercie également le Dr Messaoud LAHBIB, professeur de microbiologie à l'ISFRA qui, malgré ses multiples occupations, a accepté d'être le président du jury et de sacrifier une partie de son temps pour pouvoir apporter sa contribution à la qualité de ce travail.

Je remercie également le Dr Abdramane DIALLO, Ecologiste et chercheur à l'IER, d'avoir accepté d'être membre du jury et de sacrifier une partie de son temps pour l'amélioration du document.

Je remercie aussi le Dr Lassine DIARRA, Ecologiste et chercheur à l'IER qui, en sa qualité d'ancien auditeur au CPS, a été plus qu'un grand frère pour moi à travers ses multiples conseils et a aussi accepté d'être membre à part entière du jury.

Je remercie le Dr Michel VAKSMANN, Physicien du sol et chercheur à l'IER qui, malgré ses multiples tâches et un programme très chargé, a accepté d'être membre du jury, de lire et de faire des observations pour améliorer la qualité du travail.

Je remercie également tout le personnel des stations de Cinzana et de N'Tarla pour nous avoir facilité la tâche durant les études de terrain.

Je remercie aussi vivement le secrétariat du projet PSS pour sa grande disponibilité dans la dactylographie de la thèse, notamment Mlles Aminata KOITA et Mariam SAMAKE pour leur grande disponibilité durant tout le travail.

Je remercie M. Yacouba COULIBALY chercheur au PSS et sa femme Fatoumata SAMAKE pour m'avoir rendu le séjour agréable à Niono.

Je ne saurais clore cette partie sans adresser mes sincères remerciements à l'assistant de recherche, M. Nianankoro KAMISSOKO, pour sa grande disponibilité dans le travail sans laquelle tous ces résultats ne pourraient être obtenus.

Résumé

Dans le souci d'approfondir les connaissances sur la problématique de la disponibilité des nutriments et de l'eau dans les productions fourragères, une étude sur l'utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne et par une graminée annuelle a été entreprise par le Projet PSS au cours des campagnes 1993 et 1994, avec comme objectif principal de rehausser leur efficacité d'utilisation. Elle aura permis également de situer le potentiel productif de l'*Andropogon gayanus* afin de pouvoir simuler son comportement à travers un modèle (PGWA) et de permettre l'extrapolation des résultats obtenus dans différentes zones agro-écologiques. Les essais ont été conduits dans les Stations de Recherche Agronomique de Cinzana et

N°Tarla. Les espèces fourragères retenues pour l'étude étaient *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*.

Le sujet de recherche a été traité à travers trois essais de fertilisation qui sont ; i : analyse du taux de recouvrement de l'azote et du phosphore sans aucune restriction des autres éléments nutritifs par *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum* ; ii : étude de l'origine des éléments nutritifs ainsi que des hydrates de carbone soluble et leur utilisation dans la production de la biomasse aérienne de l'*Andropogon gayanus* en saison sèche ; iii : paramétrisation du développement de *Andropogon gayanus*.

Les objectifs de recherche visés et l'approche choisie portaient sur les points suivants :

- Déterminer le taux de recouvrement de l'azote et du phosphore par les deux cultures. La comparaison des résultats a porté d'une part sur le taux de recouvrement des deux cultures et d'autre part sur celui d'une population jeune par rapport à celui d'une population plus âgée. Ceci nous a permis d'expliquer le rôle des graminées pérennes dans le maintien du taux de recouvrement à travers celui de la matière organique.
- Détermination de l'origine des éléments nutritifs, de l'eau ainsi que des hydrates de carbone soluble stockés par *Andropogon gayanus* à la fin du cycle de végétation et leur réutilisation par la plante pour mieux expliquer leur rôle dans la pérennité.
- Enfin, paramétrisation de la croissance et du développement de *Andropogon gayanus*, en vue de déterminer les principales caractéristiques et propriétés de la plante au cours du cycle végétatif. Les résultats obtenus ont permis de procéder à la validation d'un modèle de simulation de la croissance et du développement pour l'extrapolation des résultats sur différentes zones agro-écologiques. Les principaux résultats obtenus montrent que :
 - *Andropogon gayanus* donne une production de biomasse aérienne plus élevée que *Pennisetum pedicellatum*. Les productions moyenne et optimale de 16 et 18 t de MS ha⁻¹ contre 14 et 16 t de MS ha⁻¹ sont obtenues respectivement pour l'un et l'autre. Par ailleurs l'étude de l'effet des doses croissantes a permis d'obtenir pour *Andropogon gayanus* des gains de 62 kg de fourrage par kg⁻¹ d'azote ajouté et 126 kg kg⁻¹ pour le phosphore. Avec le *Pennisetum pedicellatum* les gains sont de l'ordre de 42 kg kg⁻¹ pour l'azote et 112 kg kg⁻¹ pour le phosphore. Ce qui montre que les gains occasionnés par l'application du phosphore sont plus importants que ceux de l'azote et permet de dire que le premier est plus limitatif que le second. Ceci confirme la thèse de la pauvreté de nos sols en cet élément et plus singulièrement les sols tropicaux.
 - L'écart de production entre les deux cultures est de seulement 2 t de MS ha⁻¹ dans les conditions avec une disponibilité d'eau suffisante et peut atteindre 6 t de MS ha⁻¹ au cours d'année plus ou moins sèche. Ce qui montre que la disponibilité de l'eau entraîne une amélioration de l'absorption de N et de P qui à son tour améliore le niveau de production. Exceptionnellement, des productions de biomasse de 26 t de MS ha⁻¹ ont été obtenues sur la culture de *Andropogon gayanus* ce qui peut constituer une plus value de l'aspect pérennité par rapport au *Pennisetum pedicellatum*.
- La présence de la matière organique dans le sol entraîne une amélioration de l'absorption et du taux de recouvrement des engrais avec *Pennisetum pedicellatum*. La comparaison d'un sol riche en matière organique (0,58 %) et d'un sol appauvri (0,38 %) sans apport d'engrais montre une minéralisation de 60 kg de N ha⁻¹ pour le sol enrichi en matière organique et 41 kg de N ha⁻¹ pour le sol pauvre. L'absorption mesurée est de respectivement 58 kg ha⁻¹ et 30 kg ha⁻¹, ce qui montre que les estimations de minéralisation et d'absorption de l'azote se trouvent dans les mêmes ordres de grandeur. Il en résulte une amélioration du taux de recouvrement de 34 % contre 14 % et une augmentation de la biomasse aérienne qui se trouve multipliée par 2. Des résultats similaires ont été obtenus avec le phosphore avec un recouvrement de 25 % contre 8 %.
- Avec *Andropogon gayanus*, l'influence de la matière organique est fonction de l'âge de la population. On constate que le taux de recouvrement de N et P d'une population âgée est plus bas que celui d'une population plus jeune (4 % contre 18 %), avec des taux de matière organique du sol respectivement de 0,75 et 0,38 %. Cette situation est liée à une immobilisation de l'azote apportée ou produite par la matière organique du sol. En plus malgré un taux de recouvrement plus bas, la production de biomasse aérienne de la population âgée reste plus élevée que celle de la population jeune. Ceci due au fait que les éléments nutritifs stockés dans la matière organique sont progressivement libérés et mis à la disposition de la culture au fil des ans. C'est ce qui explique la situation d'équilibre observée ; par une meilleure utilisation des éléments nutritifs pour la durabilité du système de production.
- Le taux de recouvrement d'une graminée pérenne dépasse celui d'une graminée annuelle. Les résultats obtenus montrent 17 contre 19 % pour l'azote et 10 contre 27 % pour le phosphore. La correction de ces taux pour *Andropogon gayanus* donne 34 % pour l'azote et 20 % pour le phosphore (un peu plus bas que pour *Pennisetum pedicellatum*).
- Le taux de récupération de l'azote et du phosphore par rapport aux doses apportées est plus élevé avec *Pennisetum pedicellatum* qu'avec *Andropogon gayanus*. Avec *Pennisetum pedicellatum* on obtient 61 % pour l'azote et 51 % pour le

- phosphore contre 42 et 21 % pour l'*Andropogon gayanus*. ce qui semble montrer une utilisation plus efficace des éléments nutritifs par la plante annuelle. Le système racinaire (plus fine par rapport à celui d'*Andropogon gayanus*) intervient beaucoup dans ce processus.
- Par rapport au bilan de la fertilisation de l'azote et du phosphore la récupération de l'azote est inférieure au seuil minimum de 30 % avec *Andropogon gayanus* et supérieure à 30 % pour *Pennisetum pedicellatum*.
 - Avec le phosphore la récupération est supérieure à 5 % pour *Andropogon gayanus* et est de 30 % pour *Pennisetum pedicellatum*. Ces résultats montrent une fois de plus un taux de récupération plus élevé pour *Pennisetum pedicellatum* que *Andropogon gayanus*, ce qui se traduit par une meilleure absorption de la plante.
 - Aussi avec les doses croissantes de N et de P, on constate que les meilleurs taux de récupération sont obtenus avec les doses les plus faibles notamment les premières et deuxième doses.
 - La fauche répétée d'*Andropogon gayanus* entraîne une diminution de la biomasse aérienne de l'ordre de 0,5 à 2 t de MS ha⁻¹ suite à un épuisement des réserves disponibles de la végétation. Cependant, elle permet de maintenir la qualité du fourrage à un niveau élevé. Les taux de N et de P sont deux fois plus élevées que celles obtenues en fin de cycle.
 - L'époque de la coupe de régularisation après la fin du cycle de développement exerce une influence sur la production de la biomasse des repousses. Une coupe effectuée après la première pluie donne plus de biomasse aérienne qu'une coupe de fin de cycle (1550 kg ha⁻¹ contre 1070 kg ha⁻¹) suite à une mauvaise utilisation des réserves de la plante lorsque le développement des repousses s'étale sur une longue période. Une coupe trop tardive aussi retarde le démarrage de la reprise en début d'hivernage. Aussi le feu joue le même rôle que la coupe.
 - Les quantités d'éléments nutritifs stockés dans la biomasse totale pendant la saison sèche peuvent être importantes chez *Andropogon gayanus*. Le stock est de 45 kg ha⁻¹ en moyenne sans fertilisation, avec la fertilisation on atteint facilement le double soit 97 kg ha⁻¹. Pour le phosphore on obtient 3 kg ha⁻¹ contre 15 kg ha⁻¹. Enfin pour le potassium on obtient 139 kg ha⁻¹ contre 278 kg ha⁻¹. Ces résultats montrent une certaine richesse de nos sols en potassium raison pour laquelle tout apport d'élément fertilisant doit tenir compte de la correction des quantités de potassium exportées par les récoltes.
 - La comparaison des quantités de stock d'éléments nutritifs montre que celles contenues dans les parties aériennes sont plus importantes que celles dans les racines. Une bonne fraction de ces quantités retournent dans le sol. Ces quantités sont de l'ordre de 38 kg ha⁻¹ pour l'azote, 3 kg ha⁻¹ pour le phosphore et 133 kg ha⁻¹ pour le potassium et ceci sur la base qu'environ 65 et 55 % des éléments nutritifs de la biomasse aérienne et racinaire retournent dans le sol. Il ressort de cette analyse que les exportations d'éléments nutritifs sont plus élevées que les restitutions. Ceci dénotent de l'importance des apports d'engrais dans le maintien de la durabilité des systèmes de production.
 - Concernant les hydrates de carbone soluble, les plus grandes quantités se retrouvent dans les racines. La faible variation des quantités stockées pendant la première partie de la saison sèche confirme la thèse de la constitution de stock durant cette période mais qui est utilisé plus tard par la plante pour permettre un démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage jusqu'à un épuisement total du stock. Les teneurs qui sont de 130 à 175 g kg⁻¹ en Janvier ne sont plus que 20 à 30 g kg⁻¹ en fin Juin.
 - La comparaison des résultats sur l'*Andropogon gayanus* en 1993 et 1994 montre que l'apparition des repousses est surtout liée à la disponibilité de l'eau dans les couches superficielles. Par ailleurs on constate une plus grande utilisation de l'eau avec l'application de l'engrais. Aussi la comparaison entre traitement avec et sans fertilisation montre une plus grande utilisation de l'eau avec l'application de l'engrais. Les résultats ainsi obtenus ont été utilisés pour permettre la validation d'un modèle de simulation de la croissance et du développement de l'*Andropogon gayanus*. On constate que le modèle (PGWA) simule de façon adéquate la productivité de l'*Andropogon gayanus* dans les zones agro-climatiques de N'Tarla, Niono et Thiès en condition sans fertilisation. Cependant, l'utilisation de la valeur 5,8 (coefficient d'utilisation de l'eau) des plantes C₃ et le problème avec la simulation de l'influence de la fertilisation font que le modèle n'est pas encore utilisable à tous les niveaux.

Comme on peut le constater, les résultats obtenus au cours de ces deux années permettent au stade actuel de confirmer la plupart des hypothèses de travail formulées. En dehors du faible niveau d'absorption du phosphore par l'*Andropogon gayanus* ainsi que l'influence indirecte de l'âge sur le taux de recouvrement, les objectifs de l'étude ont été atteints en grande partie au cours de nos recherches. Cependant, il faut reconnaître que des efforts doivent être entrepris dans certains domaines pour combler les lacunes constatées :

- En premier lieu certaines analyses physiques et chimiques doivent être reprises pour permettre une meilleure interprétation des résultats obtenus.

- En second lieu, améliorer les connaissances sur la biomasse racinaire et la répartition des parties aériennes du *Pennisetum pedicellatum*.
- En troisième lieu, un suivi annuel du stock des réserves d'hydrates de carbone soluble aurait mieux permis de percevoir le phénomène de stockage et son utilisation ultérieure par la plante ainsi que le phénomène de résorption soupçonnée chez *Andropogon gayanus* à partir des rhizomes
- En quatrième lieu, la récolte de l'*Andropogon gayanus* en fin de cycle végétatif a plus ou moins biaisé nos résultats car cette période correspond à la perte de près de 50 % des stocks d'éléments nutritifs. Ce qui pourra être pris en compte dans le cadre de l'étude des données complémentaires prévues pour la campagne prochaine (1995-96).
- En cinquième lieu, la faible absorption du phosphore liée au problème de fixation doit être démontrée une fois pour toute pour lever toute équivoque.
- Enfin la détermination de certains paramètres propres à la culture tels le coefficient d'utilisation de l'eau et de l'azote devrait permettre une plus grande utilisation du modèle dans différentes conditions agro-écologiques.

La prise en compte de l'ensemble de ces préoccupations permettra de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus.

1. Introduction générale

Le Mali à l'instar des autres pays sahéliens a connu depuis quelques décennies une sécheresse persistante qui a gravement fragilisé l'équilibre entre les activités humaines et les diverses composantes de l'environnement (le sol, le climat et la végétation).

Avec le temps, cet équilibre déjà assez fragile a été rendu encore plus précaire à cause de la pression qu'exerce sur les terres une démographie galopante.

Le déséquilibre ainsi occasionné a exercé une influence négative sur l'efficacité d'utilisation des ressources, problème clé des pays sahéliens.

Le projet Production Primaire Sahélienne (PPS) a eu à poser par le passé un diagnostic de l'ensemble des problèmes agro-écologiques relatifs à la production primaire ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)). Les principaux goulots d'étranglements agro-écologiques identifiés comme étant à la base de la stagnation agricole sont les suivants :

- Des sols pauvres avec des taux d'azote, de phosphore et de matières organiques très bas. La faible teneur en matière organique occasionne une baisse de la capacité d'échange des cations et de rétention d'eau, favorisant du coup la perte de la structure du sol, l'acidification, l'érosion hydrique et éolienne. Les sols tropicaux étant reconnus comme chimiquement riches en acide, une reconstitution du stock de matière organique du sol faciliterait la correction de l'acidité, ce qui est indispensable pour améliorer leur productivité (Mallouhi *et al.*, 1987). Les méthodes classiques d'amélioration du taux de la matière organique (fumier, compost, jachère naturelle) rencontrent de grosses difficultés à cause de la production primaire basse, de la faible production de fumier, du coût onéreux de la fabrication du compost, du cycle court avec faible productivité de la végétation spontanée au niveau des jachères naturelles. Cette situation très préoccupante met en danger l'avenir agricole et l'économie de la plupart des pays sahéliens. La disponibilité des éléments nutritifs étant apparue aussi inquiétante, il devient indispensable d'essayer d'augmenter leur efficacité d'utilisation.
- Un climat extrêmement aride pendant la saison sèche, caractérisé par une évapotranspiration potentielle élevée ainsi que des températures très élevées pendant toute l'année. Par ailleurs, les pluies estivales sont fortement liées à l'été ([Bremner & De Ridder, 1991](#)).
- Les végétations herbacées sont dominées d'une manière générale par les espèces annuelles à cause du climat, ce qui entraîne une biomasse basse et une dynamique forte. Par ailleurs pendant la saison sèche, la protection du sol n'est pas assurée à cause de la disparition des annuelles.
- La surpopulation a engendré une nouvelle situation. L'explosion démographique a entraîné une aggravation de l'exploitation des ressources naturelles dans le domaine de l'agriculture et de l'élevage. En effet, désormais ces deux secteurs utilisent partiellement les mêmes ressources naturelles. Ceci conduit à l'instauration d'une forte compétition entre les deux activités, avec pour conséquence une surexploitation de ces ressources (Bremner, 1989). Van der Pol (1982) a signalé que dans la zone

CMDT, plus de 40 % des revenus des paysans proviennent d'une exploitation intense de la maigre fertilité du sol. Et comme la pauvreté des sols en éléments nutritifs représente le facteur le plus limitatif de la production agro-pastorale dans les pays sahéliens, un accroissement de la production ne peut être obtenu que par une utilisation des engrais chimiques surtout dans un monde où la concurrence pour le marché demande une certaine compétitivité des produits.

Comme on peut le constater, l'efficacité d'utilisation des ressources naturelles se trouve influencée négativement par les conditions physiques et chimiques du sol, ainsi que les situations climatique et démographique.

Afin de trouver une solution à chacun des problèmes, l'étude s'est assignée comme objectif d'atteindre une utilisation rentable des engrais azoté et phosphaté dans le domaine de la production fourragère.

L'un des moyens les plus efficaces pour analyser une telle situation consiste en la détermination du taux de recouvrement des engrais. Ceci permet dans un premier temps de situer le niveau de fertilité des sols et dans un second temps d'apprécier l'efficacité d'absorption des engrais azoté et phosphaté par les plantes cultivées et ou des parcours naturels. Ce qui permettrait à court ou long terme d'envisager des solutions alternatives pour l'augmentation du taux de recouvrement. L'autre aspect de l'étude consiste à mieux connaître l'*Andropogon gayanus* pour déterminer son potentiel productif afin de pouvoir simuler son comportement dans différentes zones agro-écologiques.

Deux ouvrages présentent la connaissance actuelle sur le taux de recouvrement de N et de P dans la région : [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) le font en rapport avec la production fourragère des parcours naturels en se basant sur les résultats de recherche sur le terrain ; Van Duivenbooden (1992) synthétise les données des tiers en rapport avec les cultures principales comme le sorgho et le mil. Les résultats obtenus par ces auteurs ne diffèrent pratiquement pas de ceux d'ailleurs. Ainsi pour l'azote, en absence d'un engorgement en eau, jusqu'à 80 % de l'élément utilisé pour la fertilisation des terrains de parcours peuvent être absorbés par les plantes surtout lorsque le N est limitatif. Dans les conditions où le P est limitatif le taux de recouvrement diminue jusqu'à 40 %. Le reste de l'engrais n'est pas pour autant perdu, au moins une partie est stockée dans le sol et en partie dans la matière organique du sol. Au cours d'une période d'intensification, pendant laquelle la fertilisation est optimisée, on doit s'attendre à une amélioration de la quantité et de la qualité de la matière organique du sol et du taux de recouvrement par un nouvel équilibre, une augmentation de la CEC et une diminution des pertes.

Pour le phosphore, le taux de recouvrement maximum obtenu pour les parcours est de 50 % avec le TSP selon [Penning de Vries & Djitéye, \(1982\)](#) avec le PNT comme source, le recouvrement n'est que de 3 % en première année d'application. Le taux de recouvrement moyen de N et de P trouvé par Van Duivenbooden (1992) pour le mil et le sorgho est de 37 +/- 18 % et de 16 +/- 10 % respectivement pour la biomasse aérienne totale. Il présente quelques cas où une double valeur est obtenue.

On constate qu'il n'y a pratiquement pas une différence fondamentale entre les cultures et les terrains de parcours si ce n'est le fait que la fraction qui sert pour la production de graines varie fortement avec les conditions climatiques et le rapport graines/pailles des variétés utilisées.

A partir de ces données, Breman & Traoré (1987) déduisent pour la pratique actuelle de la production fourragère de la région la conclusion suivante : une production supplémentaire de 33 kg de fourrage de graminées par kg de N ajouté et de 100 kg de fourrage de légumineuses par kg de P ajouté peuvent être obtenus. Ce qui pourrait nous faire penser que des taux de recouvrement supérieurs peuvent être obtenus par le maintien d'un taux de matière organique du sol relativement élevé et cela en incluant les graminées pérennes dans les rotations ou en cultures mixtes ou encore dans l'agroforesterie.

L'approche générale utilisée au cours de notre étude a porté sur le test de l'hypothèse selon laquelle l'efficacité de l'utilisation des engrais azotés et phosphatés est positivement liée au maintien et à l'amélioration du taux de la matière organique dans le sol. Dans cette démarche, nous allons tenter de vérifier également une autre hypothèse selon laquelle les graminées pérennes mieux que les graminées annuelles, assurent le maintien du taux de la matière organique du sol menant à un taux de recouvrement des engrais supérieur. Enfin, par rapport à l'aspect pérennité de l'*Andropogon gayanus* nous allons tenter de vérifier également si le taux de recouvrement d'une pérenne dépasse celui d'une annuelle. La philosophie derrière cette thèse

est la suivante : on pense que les pérennes arrivent à stocker les éléments nutritifs et les réserves d'énergie. Ce qui a pour conséquence de diminuer la perte de ces éléments, de permettre une production de biomasse plus élevée et d'entraîner enfin un taux de matière organique élevée qui diminue encore plus les pertes des éléments.

Des travaux effectués par certains auteurs ont montré que la présence d'un taux de matière organique élevé dans le sol entraîne une amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol (Pieri, 1989) qui du coup entraîne à son tour une amélioration du taux de recouvrement de N et de P à travers les actions suivantes :

- meilleure structure du sol, entraînant une meilleure infiltration de l'eau ce qui diminue ainsi les pertes par ruissellement
- capacité de rétention d'eau relativement élevée, ce qui diminue les pertes par lessivage.
- faible teneur des sols de la zone en argile entraînant une diminution de la capacité d'échange des cations ; en conséquence, la contribution de la matière organique à cette activité peut atteindre 50 % (Budelman, 1989).
- enfin le rôle tampon de la matière organique qui amoindrit l'acidification du sol et entraîne moins de perte de P par fixation.

Concernant les caractéristiques des plantes, la grande différence entre les graminées pérennes et les annuelles réside dans leur manière de survivre à la saison sèche. Les espèces annuelles traversent la saison sèche sous la forme de graines, alors que les graminées pérennes traversent cette période sous la forme végétative. La présence de parties végétatives résiduelles et d'un appareil radical leur permet de repousser rapidement à l'occasion des premières pluies. En effet, l'appareil radical important par rapport à la partie aérienne est en mesure d'exploiter rapidement et de manière efficace l'eau devenue disponible et les éléments nutritifs libérés. La vitesse de croissance des repousses en début de cycle suppose la mobilisation rapide des réserves nutritives contenues dans l'appareil souterrain. L'étude sur l'effet de la coupe sur la masse du système souterrain (Cissé, 1980) a montré que l'activité du système racinaire notamment le stock de réserves est profondément affecté par le fauchage répété (30 jours d'intervalle) de la biomasse aérienne. L'effet se limite aux grosses racines qui jouent vraisemblablement un rôle dans le stockage des substances de réserve. Il a été constaté que la coupe aurait pour effet de diminuer les réserves nutritives sans modifier le pouvoir d'absorption du système racinaire. Les analyses effectuées au cours de l'étude montrent effectivement que le système racinaire de *Andropogon gayanus* contient des quantités non négligeables d'éléments nutritifs et d'hydrates de carbone pendant la saison sèche. Il a été observé à ce propos que souvent à l'époque des repousses on constate une baisse de la masse racinaire (César, 1971 ; Fournier, 1982, 1987 ; Abbadie, 1985 ; Chacon et Pinango, 1988). La mobilisation des réserves suppose un stockage des éléments nutritifs dans l'appareil souterrain. La conséquence directe de cette recirculation interne des éléments nutritifs chez les pérennes se traduit par une diminution des pertes en éléments nutritifs. En effet en fin d'année, on constate que les teneurs en éléments nutritifs et en réserves se stabilisent dans les parties vertes épiquées (César, 1989) mais les stocks diminuent. Ce qui démontre qu'il y a passage d'élément du compartiment vivant vers le compartiment mort ou vers le plateau de tallage. Ce transfert contribue à diminuer les pertes de nutriment comme dans le cas des plantes annuelles. De là on peut supposer que c'est ce qui permet une production de biomasses plus élevées entraînant du coup une plus grande production de matière organique diminuant encore plus les pertes d'éléments nutritifs.

Dans les conditions naturelles, la biomasse de *Andropogon gayanus* dépasse de loin celle des annuelles. La quantité de biomasse aérienne produite à l'ha peut être élevée (5 jusqu'à 15 t de MS par ha an⁻¹). Si on ajoute à cela la quantité de biomasse souterraine (environ 2 à 6 t de MS ha⁻¹ an⁻¹) ceci doit mener à terme à une quantité de matière organique supérieure à celles des graminées et autres plantes annuelles comme *Pennisetum pedicellatum* dont la production atteint 6 à 7 t ha⁻¹. [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) ont cependant démontré qu'il ne s'agit pas d'une production exploitable bien plus élevée, mais une biomasse qui augmente au cours des années notamment en l'absence d'exploitation. Pour les pâturages naturels à *Andropogon gayanus* recevant 500 mm an⁻¹ et produisant au maximum 5000 kg ha⁻¹ on trouve une biomasse maximale exploitable de seulement 1000 kg ha⁻¹ en fin septembre. C'est ainsi qu'une circulation effective interne et externe des éléments nutritifs est maintenue. Malgré le faible niveau de la fraction exploitable, cette situation n'exclut pas le fait que la biomasse élevée produite conduit à un taux de matière organique du sol supérieur à celui des annuelles.

Cette description pourrait faire penser que les graminées pérennes sont plutôt avantagées par la nature que les annuelles. Mais sur le terrain la situation est tout autre. En effet on constate que d'une façon générale la végétation est presque dominée partout par les espèces annuelles. Cette situation est encore accentuée à cause des méfaits de la sécheresse ([Breman & de](#)

[Ridder, 1991](#)).

La prédominance des espèces annuelles peut être expliquée par la concurrence entre les deux groupes d'espèces pour obtenir les éléments nutritifs, l'eau et la lumière en prenant en compte l'effet de la sécheresse, de la pâture et des feux. D'une manière générale, on constate qu'il subsiste de l'eau après la fin du cycle végétatif des espèces annuelles, à cause du fait que leur cycle est surtout déterminé par le photopériodisme (sensibilité à la longueur du jour au cours de l'installation des annuelles). En plus la carence en éléments nutritifs restreint l'utilisation de l'eau au cours de la croissance, de sorte qu'après la saison de croissance, il existe toujours de l'eau dans le sol. En effet il a été constaté qu'à la fin de la saison de croissance on peut trouver à peu près 20 % de l'eau de pluie dans le sol à la portée de la racine des plantes annuelles, celles-ci n'utilisent que 10 à 20 % de l'eau des pluies, le reste est perdu par évaporation, ruissellement, et infiltration. Cependant, si la disponibilité des éléments nutritifs est améliorée par l'application d'engrais, il apparaît qu'elles utilisent jusqu'à 50 % de l'eau des pluies et que la production peut quintupler sous les précipitations naturelles ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)). Dans ce contexte, les graminées pérennes peuvent en principe profiter de l'eau résiduelle, en restant actives pendant une partie de la longue saison sèche. Elles évacuent alors des feuilles une partie des éléments nutritifs absorbés pendant la période des pluies et les stockent dans les racines. Ce qui réduit les pertes d'éléments nutritifs. C'est de cette façon que les pérennes renforcent petit à petit leur position de concurrence par rapport aux espèces annuelles.

Cependant au cours des années de sécheresse (année à pluviosité déficitaire), cet avantage est annulé. La disponibilité d'eau est tellement faible, que toute l'eau disponible est utilisée par les espèces annuelles en hivernage avec leur longueur de cycle relativement long pour ces années et il s'ensuit la mort des graminées pérennes, des arbres, et des arbustes.

La survie des graminées pérennes au cours de la longue saison sèche très aride exige au moins un peu d'eau. Si nos hypothèses sur la plus-value des graminées pérennes s'avèrent justes, elles ne constitueront une solution que là où les conditions hydriques sont favorables. Une autre question à laquelle il faut répondre est celle des conditions agro-écologiques aptes à faire survivre les graminées pérennes. Il est clair que le système racinaire des plantes joue un rôle dans ce mécanisme. Ainsi les résultats d'une étude sur le système racinaire de l'*Andropogon gayanus* seront inclus dans cette thèse (Traoré, 1993). Il s'agit de la comparaison du système racinaire d'une population jeune installée depuis 2 ans à celle d'une population installée depuis plus de 40 ans. Les résultats ont permis d'approfondir les connaissances sur le système racinaire de la plante, notamment sur la profondeur de l'enracinement, la distribution des racines et leur biomasse. Cependant celles-ci ne nous permettaient pas de comprendre et d'expliquer en détail le mécanisme de l'alimentation hydrique et minérale des plantes. Les observations supplémentaires ont principalement été axées sur ces derniers aspects.

Parmi les nombreuses espèces qu'on rencontre dans l'ensemble de la zone Soudano-Sahélienne, l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum* ont été choisis pour cette étude. Le choix de l'*Andropogon gayanus* a été lié aux critères suivants :

- aire d'expansion très étendue, ce qui fait de l'espèce une plante commune à la plupart des savanes tropicales de l'Afrique situées entre les isohyètes 400 et 1500mm (Dieng *et al.*, 1991 ; Boudet, 1975).
- potentialité agronomique : biomasse élevée, possibilité de donner des repousses pendant la saison sèche, utilisation comme fourrage (Dieng *et al.*, 1991)
- adaptabilité aux sols acides qui forment la quasi totalité des sols tropicaux (Jones, 1979).

Quant au *Pennisetum pedicellatum*, il a été choisi pour les raisons suivantes :

- plante annuelle et rudérale, poussant aussi bien dans les endroits avec un ensoleillement intense qu'à l'ombre des arbres.
- facilité d'avoir des semences de qualité et en quantité suffisante ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)).
- vitesse de germination élevée ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) permettant d'avoir très rapidement une densité optimale pour l'étude de la courbe de réponse.
- potentialité agronomique : biomasse relativement élevée pouvant être utilisée comme fourrage.
- enfin, parmi toutes les graminées annuelles qu'on rencontre dans la savane, la plante semble être l'une des rares espèces avec un cycle de plus de 120 jours ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) et un système racinaire très dense (Hien, 1995). Ces aptitudes confèrent à la plante la possibilité de profiter de l'apport d'eau de la pluie et des éléments nutritifs. La distinction la plus importante avec l'*Andropogon gayanus* est sa vie annuelle.

L'étude a été conduite simultanément dans deux localités appartenant à des zones agro-écologiques différentes pour mieux cerner le rôle du bilan hydrique. Quant au taux de recouvrement, il a été déterminé par l'analyse des résultats de la fertilisation avec des doses croissantes des engrais azoté et phosphaté. Au niveau du substrat, deux types de sols (sable et sablo-limoneux) ont été utilisés à Cinzana et un seul type (sablo-limoneux) a été utilisé à N'Tarla. Enfin, l'analyse des processus d'interaction entre le substrat, la pluviosité et les propriétés des espèces choisies devrait nous permettre de ne pas limiter la valeur des essais aux seuls endroits et années de recherche, mais plutôt à pouvoir envisager l'extrapolation des résultats à différentes zones agro-écologiques avec l'aide des simulations. Elle devrait nous permettre également de bien décrire l'*Andropogon gayanus* là où les connaissances manquent et cela à travers la modélisation en gardant bien en vue l'aspect de la rentabilité économique de l'apport de N et de P ainsi que les conditions socio-économiques et agro-écologiques du milieu.

Le sujet a été traité à travers les essais suivants :

1. Analyse du taux de recouvrement de l'azote et du phosphore sans aucune restriction des autres éléments nutritifs par l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum*.
2. Etude de l'origine des éléments nutritifs ainsi que des hydrates de carbone soluble et leur utilisation dans la production de la biomasse aérienne de l'*Andropogon gayanus* en saison sèche et ou début d'hivernage.
3. Paramétrisation du développement d'une graminée pérenne : *Andropogon gayanus*.

Les objectifs de recherche visés et l'approche choisie portaient sur les points suivants :

- Détermination du taux de recouvrement de l'azote et du phosphore par l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum*. Durant l'essai, il était prévu de comparer le recouvrement d'une population jeune à celui d'une population âgée d'*Andropogon gayanus* et ensuite de comparer celui de l'*Andropogon gayanus* à celui du *Pennisetum pedicellatum*. Ce qui devrait nous permettre d'une part d'explicitier le rôle des graminées pérennes dans l'amélioration et le maintien du taux de la matière organique du sol et son effet sur le taux de recouvrement et d'autre part de voir si le taux de recouvrement d'une pérenne dépasse celui d'une annuelle et quelle sera la plus-value escomptée et comment maximaliser ce profit. Pour chacune des espèces, la biomasse aérienne et sa teneur en N et P ont été déterminées pour ce but.
- Détermination de l'origine des éléments nutritifs et des hydrates de carbone stockés par l'*Andropogon gayanus* à la fin du cycle de végétation et leur utilisation en saison sèche pour la production des repousses et en début d'hivernage pour la reprise de la pleine croissance afin de mieux comprendre leur rôle dans la pérennité. Durant l'essai, différentes dates de fauche ont été initiées pour mieux apprécier l'effet de la coupe sur la production de la biomasse aérienne, le stockage des réserves et l'apparition des repousses en saison sèche. Le stock d'eau du sol a également été mesuré pour déterminer son effet sur le phénomène de l'apparition des repousses.
- Paramétrisation du développement de l'*Andropogon gayanus* par la détermination des principales caractéristiques et des propriétés de la plante. Durant l'essai, les biomasses aérienne et souterraine de la plante ont été mesurées à chaque stade de développement. Des analyses de fourrage effectuées à différentes dates ont permis également de suivre l'évolution de la teneur de la plante en différents éléments nutritifs. L'ensemble de ces données devrait permettre une meilleure connaissance de la plante afin de mieux comprendre son interaction avec les facteurs sol et climat pour être apte de procéder à l'extrapolation des résultats des essais.
- Enfin les résultats des trois essais ainsi obtenus au niveau de différentes localités à partir de différentes doses d'engrais ont été utilisés pour la validation d'un modèle de simulation de la croissance et du développement de l'*Andropogon gayanus* afin de procéder à l'extrapolation des résultats à l'ensemble de la sous région ou à d'autres régions identiques à celle-ci avec différentes combinaisons de sols et de climats.

La suite de la thèse est structurée de la façon suivante :

- Le Chapitre 2 porte sur la description des milieux d'études. Il décrit le cadre de l'étude, en l'occurrence les stations de Cinzana et de N'Tarla, les climats et les types de sols qu'on y rencontre, ainsi que leurs caractéristiques physiques et chimiques et leurs limitations pour l'agriculture.
- Le Chapitre 3 porte sur la description du matériel végétal et de la méthode d'étude utilisée. La partie sur le matériel végétal donne la description des deux espèces retenues dans le cadre de l'étude (*Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*). Quant à la partie sur la méthode d'étude, elle présente les méthodes de conduite des essais et de l'analyse des observations.
- Le Chapitre 4 porte sur la présentation et la discussion des résultats obtenus.

- Le Chapitre 5 présente les discussions et conclusions générales de l'étude.

2. Description des milieux d'étude

2.1. Caractéristiques de la zone d'étude

L'étude a été conduite au niveau des Stations de Recherches Agronomiques de Cinzana situées dans le cercle de Ségou et de N'Tarla dans le cercle de Koutiala. Le choix de ces deux Stations est lié à leur appartenance à la zone agro-écologique qui circonscrit le cadre opérationnel du projet PSS (zone de transition entre le Sahel et le Soudan).

Le climat est du type Soudano-sahélien au Nord et Soudanien au Sud.

Les précipitations annuelles normales varient également du Nord au Sud. Elles sont de l'ordre de 650 à 700 mm au niveau de la localité de Ségou et atteignent 900 à 1000 mm dans la localité de Koutiala. La saison des pluies se situe entre Juillet-Septembre à Ségou et entre Mai - Octobre à Koutiala. Le mois d'Août est le plus arrosé.

Le climat de la région se caractérise par son aridité (une seule saison de pluie) avec une évapotranspiration très élevée qui atteint au moins 2000 mm an⁻¹ à Ségou et 2400 mm an⁻¹ à Koutiala (PIRT, 1983).

2.2. Caractéristiques des milieux d'étude

2.2.1. Station de Recherche Agronomique de Cinzana

Situation géographique

Située dans l'Arrondissement de Cinzana (région de Ségou) à 8 km environ du fleuve Bani, la Station de Recherche Agronomique de Cinzana est comprise entre les villages de Sanogola au Sud, Nabougou à l'Est et Kondia au Nord. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : 5deg.55'- 8.00' longitude Ouest et 13deg.10' - 2deg. latitude Nord et l'altitude moyenne est voisine de 280 m.

Climat

Le climat est de type Soudano-sahélien avec deux saisons aux caractéristiques distinctes :

- une saison sèche froide puis chaude, qui s'étend sur presque, 9 mois, d'Octobre à Juin ;
- une saison pluvieuse, qui s'étend sur 3 mois de Juillet à Septembre.

Le mois de Juillet marque le début de la reprise des activités agricoles de la zone.

Les précipitations annuelles normales sont de l'ordre de 650 mm par an avec un maximum mensuel de 175 mm au mois d'Août. C'est ainsi que de 1992 à 1994, il est tombé respectivement 749, 580 et 849 mm an⁻¹.

Le Tableau 1 donne la pluviométrie annuelle et sa répartition entre 1981 et 1994.

Tableau 1. La pluviométrie annuelle et sa répartition à la Station de Recherche Agronomique de Cinzana de 1980 à 1994.

Edition mensuelle (Pluie - mm)

de 1980 à 1994

CINZANA SRA

SEGOU

MALI

Latitude : 13deg.10'2° N

Longitude : 5deg.55'-8,00'

Altitude : 280 m

	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	TOTAL
1980	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	0
1981	0	0	0	42	51	42	206	162	29	29	0	0	562

1982	0	0	0	13	44	74	144	182	103	18	0	0	578
1983	0	0	0	26	21	110	121	247	66	3	0	0	594
1984	0	0	0	6	6	97	189	77	98	58	24	0	553
1985	0	0	0	0	0	65	220	138	100	0	0	0	522
1986	0	4	0	8	48	144	130	102	185	11	0	0	632
1987	0	0	0	0	8	126	144	141	78	39	0	0	535
1988	0	0	0	6	4	44	297	195	162	0	0	0	707
1989	0	0	0	0	23	116	128	252	40	68	0	0	626
1990	0	0	0	3	1	57	237	165	94	28	0	0	583
1991	0	0	0	13	28	57	174	279	79	22	0	0	652
1992	27	0	0	3	14	123	259	155	164	5	0	0	749
1993	0	0	1	0	16	47	199	204	84	29	0	0	580
1994	0	0	0	3	60	138	184	273	120	71	0	0	849
MOY	2	0	0	9	23	89	188	184	100	27	2	0	623

Sol

L'étude de la texture a permis d'identifier 4 types de sol à l'intérieur de la Station de Cinzana. Il s'agit :

- des sols sur cuirasse ferrugineuse avec affleurement à la surface ;
- des sols sableux, dont l'horizon de surface contient plus de 30 % de sables grossiers (sols ferrugineux tropicaux appauvris modaux) ;
- des sols sablo-limoneux, des sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux ;
- des limons fins et limono-argileux (correspondant aux sols hydromorphes minéraux à pseudogley de profondeur et engorgement de surface et aux sols hydromorphes à redistribution de calcaire).

2.2.2. Station de Recherche Agronomique de N'Tarla

Situation géographique : Située dans l'arrondissement de M'Pessoba (cercle de Koutiala) à 11 km du village de M'Pessoba, la Station de Recherche Agronomique de N'Tarla a été créée en 1947 par l'IRCT (Institut de Recherche des Cultures Tropicales) pour entreprendre des recherches sur la culture du coton. Elle couvre une superficie totale de 164 ha. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : longitude 05°42' Ouest, latitude 12°35' Nord, et l'altitude est de 0 m.

Tableau 2. La pluviométrie annuelle et sa répartition à la Station de Recherche Agronomique de N'Tarla de 1951 à 1994

Edition mensuelle (Pluie - mm)

de 1951 à 1994

N'TARLA

SIKASSO

MALI

Latitude : 12deg.35 N

Longitude : 05deg.42 0

Altitude : 0 m

	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	TOTAL
1951	0	0	0	19	97	80	147	256	362	76	7	0	1044
1952	0	0	0	0	35	74	356	248	324	42	0	0	1078
1953	0	0	2	4	116	158	277	252	222	14	0	0	1046
1954	0	0	5	36	62	199	333	375	231	71	26	0	1339

1955	0	0	17	10	17	180	296	256	271	30	0	7	1085
1956	0	0	2	24	36	136	146	408	244	40	4	0	1040
1957	0	0	0	9	46	239	247	200	147	58	0	0	945
1958	0	0	0	28	86	123	192	487	229	64	56	0	1266
1959	0	0	0	26	58	157	124	196	154	5	0	0	721
1960	0	0	0	0	90	118	262	269	182	36	4	0	960
1961	0	0	0	37	62	118	198	516	197	2	0	0	1130
1962	0	0	0	6	75	104	116	340	195	47	5	0	887
1963	0	0	0	75	118	123	102	229	210	174	0	0	1030
1964	0	0	0	29	82	218	241	278	243	50	14	45	1199
1965	0	0	0	15	154	199	199	380	260	14	0	0	1230
1966	0	0	1	2	36	122	95	236	202	75	0	0	768
1967	0	2	4	25	47	224	206	398	200	33	0	0	1139
1968	0	5	4	102	126	82	230	162	216	18	0	5	951
1969	0	0	19	6	33	105	178	198	219	104	6	0	867
1970	0	0	0	8	67	110	166	226	121	43	1	0	742
1971	0	1	32	0	22	57	236	237	74	51	0	1	709
1972	0	0	0	43	103	121	132	266	85	103	0	0	852
1973	0	0	0	6	35	46	194	210	144	6	0	0	639
1974	0	0	0	57	29	106	139	303	185	14	0	0	832
1975	0	0	27	6	43	165	261	292	102	32	10	0	936
1976	0	0	6	16	98	116	258	163	154	126	3	0	939
1977	5	0	0	15	115	97	192	328	221	20	0	0	992
1978	0	0	2	144	56	106	284	189	112	12	0	0	903
1979	0	0	30	0	74	131	165	244	124	95	4	0	865
1980	0	0	0	152	28	104	209	178	84	39	1	0	796
1981	0	0	0	18	110	51	243	230	78	8	0	0	737
1982	0	0	2	64	78	65	157	207	73	99	0	0	745
1983	0	5	0	9	88	140	130	223	115	24	0	0	733
1984	0	0	3	24	66	29	64	139	132	24	2	0	482
1985	0	0	0	21	17	91	197	201	98	19	1	0	645
1986	0	0	0	23	81	70	176	136	261	2	1	0	749
1987	0	0	0	0	81	83	167	171	166	79	0	0	746
1988	0	0	0	5	14	139	221	437	163	20	0	0	998
1989	0	0	9	6	8	74	121	237	109	34	0	0	599
1990	0	0	0	12	89	152	173	145	135	29	0	0	734
1991	0	0	1	7	85	137	172	249	162	22	0	0	834
1992	15	0	0	2	199	131	208	224	148	54	6	0	987

1993	0	0	3	7	32	87	196	263	100	16	0	0	704
1994	0	0	0	6	101	74	236	354	258	113	1	0	1143
MOY	0	0	5	24	69	75	192	256	171	46	5	1	844

Climat

Le climat est de type Soudanien avec également deux saisons aux caractéristiques distinctes :

- une saison sèche froide puis chaude, qui s'étend sur 6 mois entre Novembre et Avril ;
- une saison pluvieuse, qui s'étend aussi sur 6 mois entre Mai et Octobre.

Le Tableau 2 donne un récapitulatif de la pluviométrie entre 1951 et 1994. On constate que de 1951 à 1967, la moyenne annuelle qui oscillait autour de 1.000 mm an⁻¹ est tombée à 903 mm an⁻¹ à l'heure actuelle. La moyenne mensuelle au mois d'Août est de 260 mm. De 1992 à 1994, il est tombé respectivement 987, 704 et 1143 mm de pluie an⁻¹.

Sols

Une étude de reconnaissance des sols a permis d'identifier les types de sols suivants :

- Sols sur cuirasse ferrique des Lithosols - Régosols qui occupent 5 % de la station ;
- sols sableux des sols ferrugineux lessivés modaux (30 %) ;
- sols limono-sableux des sols ferrugineux lessivés à tâches et concrétions (60 %) ;
- sols sablo-limoneux des sols ferrugineux lessivés fortement concrétionnés en profondeur (2 %) ;
- sols argilo-limoneux des sols hydromorphes de bas-fonds (3 %).

2.3. Caractéristiques physiques et chimiques du sol des sites étudiés

2.3.1. Echantillonnage du sol

Le prélèvement des échantillons pour la détermination des propriétés physiques et chimiques du sol au niveau des sites des essais a été effectué en deux étapes : en début hivernage juste avant l'installation des essais au mois de Juin et après la récolte à la fin du cycle de végétation des espèces (fin Décembre). Les résultats des analyses de sol effectuées après la récolte n'ont pas été pris en compte ici.

Au niveau des sites de Cinzana (Sa : sol sableux et Sa-Li : sol sablo-limoneux) où la cuirasse se trouve à 120 cm de profondeur, les prélèvements de sol ont porté sur six couches de 20 cm jusqu'à 120 cm.

Au niveau du site de N'Tarla (Sa-Li : sablo-limoneux) où la cuirasse se trouve au delà de 2 m de profondeur, les prélèvements de sol ont porté sur neuf couches de 20 cm jusqu'à 180 cm.

A l'emplacement de chaque essai, treize points de prélèvement ont été répartis sur l'axe des diagonales et des médianes au niveau de chaque bloc (comme indiqué dans le schéma 1). Les échantillons prélevés au niveau des treize points ont ensuite été mélangés par couche et un échantillon moyen de 1 kg a été pris et séché à la température ambiante, puis conservé dans les boîtes en plastiques pour les différentes analyses de laboratoire. Les trous ont été ensuite refermés.

Après la récolte des espèces à la fin du cycle de végétation, un second prélèvement d'échantillon de sol a été fait cette fois-ci au niveau des parcelles élémentaires (de la même façon que pour les blocs) en cinq points et suivant les différentes couches comme précédemment citées.

Les analyses de sol au début du cycle ont porté sur les éléments suivants :

- Matière organique ;
- Granulométrie ;
- CEC ;

- Saturation des bases échangeables ;
- pH-eau et pH-KCl ;
- Azote total ;
- Azote minéral ;
- Phosphore total ;
- Phosphore assimilable.

L'analyse de sol après la récolte a porté sur le P-total et le P-assimilable ainsi que le N- total.

Schéma 1. Méthode d'échantillonnage du sol au niveau des blocs ou des parcelles.

2.3.2. Résultats analytiques

Les Tableaux 3, 4 et 5 donnent les résultats des analyses chimiques des sols pour 1991, 92, 93 et 94 à Cinzana et 1992, 93 et 94 à N'Tarla.

Site Sa sur sol sableux à Cinzana

Le Tableau 3 donne les principales caractéristiques physiques et chimiques du site Sa pour l'*Andropogon gayanus*.

Tableau 3. Les principales caractéristiques physiques et chimiques du site Sa sur sol sableux à Cinzana durant les campagnes 1991, 1992, 1993.

ANNEE	SITE	COUCHE (cm)	pH (EAU)	pH (KCL)	C (%)	N (%)	C/N	P TOTAL (ppm)	P-ASS (ppm)	K meq/100g	CEC meq/100g	Saturation (%)	Sa. (%)	Li. (%)	Ar. (%)
1991	Sa	0- 20	5,5	4,4	0,29	0,04	7	96	2,5	0,29	2,8	50	83	12	5
		20- 40	5,3	4,2	0,23	0,03	8	87	1,6	0,19	3,2	41	80	13	7
		40- 60	5,4	4,2	0,20	0,03	7	125	1,9	0,20	3,2	43	78	12	10
		60- 80	5,4	4,1	0,14	0,03	5	128	1,8	0,18	3,5	41	74	15	11
		80-100	5,5	4,1	0,15	0,03	5	115	1,8	0,19	4,3	43	72	15	13
		100-120	5,6	4,1	0,17	0,03	6	122	1,9	0,18	4,3	43	70	16	14
1992	Sol sableux	0- 20	5,7	4,1	0,28	0,02	14	59	3,9	0,23	1,7	100			
		20- 40	5,2	3,6	0,27	0,02	14	56	1,2	0,21	2,1	70			
		40- 60	5,0	3,6	0,18	0,01	18	66	0,9	0,12	2,9	51			
		60- 80	5,0	3,6	0,16	0,01	16	59	1,0	0,12	2,7	45			
		80-100	5,1	3,5	0,30	0,01	30	61	1,1	0,11	3,2	56			
		100-120	5,1	4,5	0,41	0,01	41	63	1,5	0,12	3,2	73			
1993		0- 20	5,4	4,3	0,26	0,01	26	75	2,94	0,3	2,0	--			
		20- 40	5,2	3,9	0,27	0,01	27	92	1,76	0,16	2,39	--			
		40- 60	5,3	3,8	0,18	0,01	18	108	1,47	0,16	2,99	--			
		60- 80	5,3	3,8	0,31	0,01	31	102	1,47	0,22	3,79	--			
		80-100	5,4	3,9	0,16	0,01	16	102	2,35	0,24	5,19	--			
		100-120	5,6	4,0	0,17	0,01	17	113	2,06	0,20	4,99	--			

L'analyse granulométrique effectuée en 1991 montre que le sol est de type sableux, cependant la teneur en sable diminue légèrement avec la profondeur (83 à 70 %) et les teneurs en limon et en argile augmentent respectivement de 12 à 16 % et 5 à 14 %. Cette augmentation des teneurs en limon et en argile permet de faire la distinction entre un horizon B (en profondeur) par rapport à l'horizon A (en surface). La sous-parcelle avec l'essai *Andropogon gayanus* se trouve en bas de pente, ce qui

démontre l'origine fluviale des matériaux originaux et la présence d'un taux élevé de sable dans les couches superficielles. Compte tenu du fait que dans les conditions normales la granulométrie d'un même sol ne varie pas dans de grandes proportions, nous n'avons pas jugé utile de présenter les résultats par année.

Pour les autres caractéristiques, le tableau donne les résultats de 91, 92 et 93.

Le pH, d'une manière générale est légèrement acide (environ 5,5) dans les premières couches. La tendance montre une certaine augmentation de l'acidité avec la profondeur (environ 5,1).

Le taux de carbone montre une diminution de la teneur avec la profondeur (0,29 à 0,17) on constate que les teneurs sont plus élevées pour les couches superficielles que pour les couches profondes. Cependant, en 1992 on observe plutôt la tendance contraire à savoir que la teneur en carbone augmente avec la profondeur. La seule explication possible qu'on peut donner en dehors de la précision des résultats d'analyse est l'historique de la parcelle. En effet l'essai est installé sur une jachère de plus de 10 ans. L'élimination des arbres et arbustes effectuée en 1991 avant la mise en place de l'essai entraîne la décomposition du système racinaire de ces derniers en profondeur et qui peut constituer des nids avec un taux de matière organique pouvant occasionner des taux de carbone élevés en profondeur, la présence de grosses racines observées au moment du prélèvement des monolithes confirment bien cela. D'une manière générale le pourcentage de carbone est inférieur à 0,5, ce qui indique que le sol est pauvre en cet élément.

La teneur en azote est très basse dans les différents horizons (0,01 à 0,04). Ce qui est une caractéristique générale des sols tropicaux et dénote de leur pauvreté en cet élément. Par ailleurs, on constate une diminution générale du taux dans l'ensemble du profil avec les années : 0,04 à 0,03 en 1991 ; 0,02 à 0,01 en 1992 ; et 0,01 seulement en 1993. Ce qui peut trouver son explication dans l'utilisation de cet élément par la culture en place à cause de sa grande mobilité dans le sol.

Le rapport C/N est bon en 1991 et varie entre 5 et 8. Ce qui est normal en première année pour une nouvelle défriche. Cependant, en 1992 on enregistre une augmentation du rapport qui varie entre 14 et 41 suite à une augmentation du taux de carbone et à une diminution de celui de l'azote dans les différents horizons liée probablement à la décomposition de racines des arbres et arbustes éliminés au moment de l'installation de l'essai. En 1993, l'augmentation devient plus grande notamment dans les horizons superficiels qu'on pourrait lier à la poursuite du processus de décomposition des débris végétaux dans le sous-sol.

Avec le P-total, on constate que la quantité augmente avec la profondeur. Le faible taux de carbone du sol limite la transformation du P-total sous une forme accessible aux plantes. La faible mobilité de l'élément aussi limite l'utilisation du stock emmagasiné dans les couches profondes et fait que les quantités en profondeur restent constantes de l'ordre de 102 à 128.

Avec le P-ass (Bray 2) d'une manière générale, les quantités sont faibles. Cependant celles dans les couches superficielles sont plus élevées (2,5 à 3,9) que celles en profondeur (environ 1,5). Les quantités de P-ass élevées dans les premières couches résultent de la décomposition de la matière organique dans ces horizons et sont plus accessibles aux racines.

Le pH-KCl est très bas (4 à 3) et diminue avec la profondeur. Cela est dû surtout à la présence des polymères de Al et de Fe associé au complexe absorbant du sol, ce qui peut favoriser le durcissement du sol et perturber le développement des racines.

Quant à la CEC, elle est basse (2 à 4) et augmente légèrement avec la profondeur. On constate qu'elle diminue avec l'acidité.

La saturation des bases en 1991 est de l'ordre de 40 à 50 %. En deuxième année on enregistre une augmentation du taux qui est de 100 % en surface et diminue légèrement en profondeur.

Enfin les teneurs en K sont en général hautes et varient entre 0,29 et 0,18 en 1991 et sont de 0,3 à 0,24 en 1993. Ce qui montre également la richesse du sol en potassium avec une légère diminution avec la profondeur.

Site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à Cinzana

Le Tableau 4 donne les caractéristiques physiques et chimiques du site Sa-Li.

Tableau 4. Les principales caractéristiques physiques et chimiques du site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à Cinzana durant les campagnes 1991, 1993.

ANNEE	SITE	COUCHE (cm)	pH (EAU)	pH (KCL)	C (%)	N (%)	C/N	P TOTAL (ppm)	P-ASS (ppm)	K meq/100g	CEC meq/100g	Saturation (%)	Sa. (%)	Li. (%)	Ar. (%)
1991	Sa-Li	0- 20	5,48	4,38	0,25	0,02	13	214	2,4	0,45	3,0	49	78	16	6
		20- 40	5,13	4,15	0,21	0,03	7	175	1,5	0,25	4,4	45	72	18	10
		40- 60	5,63	4,10	0,26	0,03	9	214	1,2	0,27	6,8	43	61	18	21
		60- 80	5,72	4,10	0,33	0,03	11	263	0,6	0,32	8,5	50	53	17	30
		80-100	5,69	4,29	0,20	0,03	7	224	0,9	0,32	7,8	65	50	29	21
		100-120	5,90	4,46	0,08	0,03	3	205	0,9	0,29	7,8	67	52	25	23
1993	Sol sablo-limoneux	0- 20	5,49	4,22	0,31	0,01	31	92	3,5	0,43	2,0	--			
		20- 40	5,27	3,87	0,30	0,01	30	108	1,7	0,28	3,79	--			
		40- 60	5,42	3,81	0,28	0,01	28	125	0,8	0,24	6,19	--			
		60- 80	5,52	3,83	0,21	0,01	21	119	1,1	0,24	6,39	--			
		80-100	5,68	3,94	0,15	0,01	15	103	1,1	0,12	4,39	--			
		100-120	5,81	4,07	0,08	0,04	2	92	1,1	0,20	5,19	--			

La granulométrie montre un matériau sableux dont la teneur est plus basse que celle du site Sa à Cinzana (52 à 78 %). On constate également ici que la teneur en sable diminue avec la profondeur. Par contre les teneurs en limon et en argile augmentent en profondeur beaucoup plus que pour le site Sa respectivement entre 16 et 29 % et entre 6 et 23 %. Les teneurs en limon relativement élevées en fonction de la profondeur permettent de classer le sol dans la catégorie des sols dits sablo-limoneux.

Pour les autres caractéristiques du site, le tableau nous donne les résultats de 1991 et 1993.

Comme la plupart des sols tropicaux, le pH est légèrement acide (environ 5,5), cependant on constate que l'acidité diminue un peu plus avec la profondeur.

Les taux de carbone sont bas entre 0,30 et 0,08 et diminuent également avec la profondeur. Ceci s'explique par la faible teneur des sols en matière organique avec une grande vitesse de décomposition et de minéralisation.

Les teneurs en N sont très bas (0,01 à 0,03) et diminuent avec la profondeur. Ce qui dénote une fois de plus de la grande pauvreté du sol en cet élément.

Le rapport C/N montre la même tendance que celle observée sur site Sa. En 1991, on constate que le rapport est bon et varie entre 3 et 13. Par contre en 1993 le rapport augmente et varie entre 15 et 31 suite à une diminution du taux de N occasionnée par son utilisation par la culture en place.

Les quantités de P-total sont beaucoup plus élevées que pour le site Sa. Elles varient de 205 à 263 en 1991 et est de l'ordre de 92 à 125 en 1993. Egalement on observe une bonne répartition dans tout le profil.

Le P-ass (Bray 2) est présent en très faible quantité dans les différentes couches, 2,4 à 0,9 en 1991 et 3,5 à 1,1 en 1993 et cela malgré les quantités relativement élevées de P-total sous une forme non disponible pour les plantes. Le problème est aggravé par la faible mobilité du phosphore.

Le pH-KCl est aussi bas qu'au niveau du site sableux (4 à 3) avec une légère diminution avec la profondeur.

La CEC ici est beaucoup plus élevée qu'au niveau du site Sa (2 à 8) et on observe une augmentation avec la profondeur.

La saturation des basses a presque les mêmes valeurs qu'au niveau du site Sa (40-60). Là on observe une légère augmentation avec la profondeur ce qui est tout à fait le contraire au niveau du sol sableux.

Enfin pour ce qui concerne les teneurs en K, elles sont haut à très haut les valeurs sont légèrement supérieures à celles du sol sableux, 0,45 à 0,27 en 1991 et 0,43 à 0,12 en 1993. Ce qui dénote la richesse de ce type de sol en potassium.

Site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à N'Tarla

Le Tableau 5 donne les principales caractéristiques physiques et chimiques du sol sablo limoneux à N'Tarla en 1992, 1993 et 1994.

Tableau 5. Les principales caractéristiques physiques et chimiques du site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à N'Tarla durant les campagnes 1992, 1993 et 1994.

ANNEE	SITE	COUCHE (CM)	pH (EAU)	pH (KCL)	C (%)	N (%)	C/ N	P TOTAL (ppm)	P- ASS (ppm)	K meq/ 100g	CEC meq/ 100g	Saturation (%)	Sa. (%)	Li. (%)	AR. (%)
1992	<i>Andropogon gayanus</i>	0- 20	6,17	4,9	0,30	0,04	8	68	2,1	0,35	3,1	86	66	29	5
		20- 40	6,28	4,6	0,36	0,02	18	43	0,9	0,21	1,1	100	72	22	6
		40- 60	5,83	4,2	0,33	0,02	17	60	0,9	0,29	3,3	87	62	23	15
		60- 80	5,56	4,0	0,24	0,02	12	86	0,3	0,43	2,5	100	50	20	30
		80-100	5,38	3,7	0,10	0,02	5	73	0,3	0,25	5,7	88	48	21	31
	Sa-Li	100-120	5,35	3,7	0,14	0,01	14	71	0,3	0,41	5,7	56	49	20	31
		120-140	5,20	3,6	0,07	0,01	7	76	0,1	0,41	5,5	56	49	21	30
	Sol	140-160	5,18	3,7	0,29	0,01	29	73	0,04	0,41	5,5	52	48	23	29
		160-180	5,12	3,7	0,37	0,01	37	67	0,1	0,39	5,7	44	45	25	30
1993	Sablo-limoneux	0- 20	5,50	4,13	0,23	0,01	23	96	2,51	0,25	1,85	--			
		20- 40	5,47	3,95	0,19	0,01	19	121	2,93	0,11	2,53	--			
		40- 60	5,35	3,84	0,15	0,03	15	127	3,77	0,09	3,03	--			
		60- 80	5,17	3,78	0,04	0,01	13	132	5,03	0,11	3,03	--			
		80-100	5,20	3,78	0,08	0,01	8	137	5,87	0,05	1,52	--			
		100-120	5,21	3,79	0,02	0,01	2	142	6,29	0,14	2,36	--			
1994		0- 20	5,02	4,33	0,51	0,01	51	90	2,31	--	3,15	--			
		20- 40	5,55	4,46	0,39	0,01	39	60	--	--	3,76	--			
		40- 60	5,70	4,25	0,33	0,01	33	90	0,76	--	3,97	--			
		60- 80	5,75	4,17	0,35	0,01	35	60	--	--	5,19	--			
		80-100	5,78	4,28	0,30	0,01	30	60	--	--	7,01	--			
		100-120	5,66	4,16	0,24	0,01	24	60	--	--	6,82	--			
1994	<i>Pennisetum Pedicellatum</i>	0- 20	5,33	4,60	0,47	0,01	47	90	2,31	--	3,56	--	69	29	2
		20- 40	5,47	4,40	0,28	0,01	28	60	--	--	3,36	--	67	27	6
	Sol Sablo-limoneux	40- 60	5,86	4,32	0,31	0,01	31	90	--	--	3,36	--	59	30	11
		60- 80	6,09	4,50	0,36	0,01	36	90	--	--	5,19	--	56	24	20
		80-100	5,90	4,35	0,27	0,01	27	120	--	--	6,21	--	48	31	21
		100-120	5,88	4,24	0,29	0,01	29	60	--	--	6,82	--	52	22	26

L'analyse de la granulométrie effectuée en 1992 montre une prédominance du sable dès les 60 premiers centimètres de profondeur (62 à 72 %). Au delà de cette profondeur la teneur en sable diminue jusqu'à 45 % à 180 cm de profondeur. Les teneurs en limon restent plus ou moins constantes dans tout le profil et varient entre 20 et 29 %. Quant à l'argile, les teneurs sont faibles dans les trois premières couches (5 à 15 %). Au delà de cette profondeur, la teneur en argile augmente jusqu'à 30 % et reste uniforme dans tout le profil. Cette variation du taux d'argile entre les couches superficielles et profondes permet de différencier de nouveaux horizons.

Le pH en 1992 est presque neutre dans les trois premières couches (6,17 à 5,83 %) et diminue avec la profondeur du sol pour être acide (5,5 à 5,20). En 1993 et 1994, on constate que le pH est presque acide mais tend vers la neutralité dans les couches profondes (contraire aux résultats de 1992).

Les taux de carbone d'une manière générale sont très bas d'une année à l'autre et varient entre 0,51 et 0,02. Par ailleurs on constate que le taux de C diminue avec la profondeur.

Les teneurs en azote sont également très basses dans tout le profil d'une année à l'autre (0,04 à 0,01) et dénote la pauvreté du sol en cet élément.

Le P-total ne montre pas de grandes variations d'une année à l'autre et devient plus ou moins constant avec la profondeur.

Le P-ass reste faible. On constate que malgré les quantités de P-total élevé, la fraction assimilable par les racines varie entre 2,3 et 0,1. Cependant en 1992, les quantités obtenues sont relativement plus élevées et varient entre 2,5 à 6,3.

Le pH-KCl est bas (4 à 3) par ailleurs on observe une diminution avec la profondeur.

La CEC est basse d'une manière générale (1,1 à 6,8) cependant on observe de légères variations d'une année à l'autre.

La saturation des bases mesurées en 1992 montre des valeurs très élevées en surface (86 à 100 %). Au de là de cette profondeur on observe une diminution de ces taux (56 à 44).

Enfin les teneurs en K établies en 1993 et 1994 donnent des valeurs très haut à moyen entre 0,11 et 0,43. Ce qui dénote la richesse du sol en cet élément.

2.3.3. Description du profil pédologique

Site Sa à Cinzana

Le site Sa à Cinzana sur lequel est installé une partie des essais du projet est constitué par un versant à cuirasse profonde qui forme les sols sableux de la station. L'étude du profil pédologique (Keita, 1990) a identifié trois (3) horizons distincts :

- 0 - 20 cm = A1 ; brun foncé sans tache, très poreux, structure massive, peu cohérente ; texture très grossière, sableuse à sablo limoneux ; très faiblement humifère, nombreuses racines, transition distincte ;
- 20 - 50 cm = A2 ; 5YR, brun-rougeâtre, texture limono-sableuse sur plus de 50 cm d'épaisseur ; quelques débris organiques et de racines ;
- 50 - 100 cm = B2 ; 5YR 5/8, rouge jaunâtre, plus riche en éléments fins, texture fine avec une légère augmentation du taux d'argile ; structure assez bien développée à tendance polyédrique et qui se poursuit souvent jusqu'à 2 m de profondeur ; parfois on peut rencontrer la cuirasse à moins de 150 cm.

Ce type de sol appartient à la catégorie des sols dits ferrugineux tropicaux appauvris modaux, sur matériaux d'épandage éolinisé.

Site Sa-Li à Cinzana

Le site Sa-Li a également été utilisé pour les essais du projet. De couleur brun-jaunâtre, il est constitué de lambeau de

terrasse ancienne sur matériau induré en profondeur (altérite) kaolinitique). L'étude du profil pédologique permet de distinguer quatre (4) horizons :

0 - 10 cm = horizon humifère 10 YR. 4/4 brun-jaunâtre foncé à texture sablo-limoneuse (8 % d'argile en moyenne). La structure y est massive à polyédrique subanguleuse, transition graduelle.

15 - 50 cm = 10 YR. 5/4 brun-jaunâtre sans tâche, texture limono-sableuse ; structure massive, poreuse, transition graduelle.
50 - 80 cm = 10 YR. 5/4 brun-jaunâtre, quelques tâches, texture limono-argilo-sableuse, structure massive, poreuse, transition distincte.

80 - 100 cm = 10 YR, texture limono-argilo-sableuse, structure massive, 80 % de concrétions ferrugineuses consolidées en profondeur pour donner une plinthite.

Ce type de sol appartient à la catégorie des sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux avec tâches et concrétions de pseudogley.

Site Sa-Li à N'Tarla

Le site Sa-Li à N'Tarla, sur lequel est installé la population d'*Andropogon gayanus* est un sol sablo limoneux de bas glacis à surface plane. On y distingue quatre (4) horizons (Sissoko, 1992) qui sont :

0 - 20 cm = A1 ; 10 YR. 4/4, la couleur est gris brunâtre sans tâches ; très poreux, structure polyédrique ; la texture est sablo-limoneuse à sables grossiers, non plastique et collant, très friable et fragile ; présence de débris organiques et de nombreuses racines, transition distincte ;

20 - 40 cm = A2 ; 7,5 YR. 5/6, brun sans tache ; poreux, structure massive, texture limono-sableuse à sables grossiers, peu plastique, non collant, friable ; présence de quelques débris organiques et de racines, transition distincte ;

40 - 90 cm = B1 ; 7,5 YR. 5/8, brun, présence de très nombreuses tâches ; très peu poreux, , structure massive, texture limono-sableuse avec une légère augmentation de la teneur en argile, le sable est fin, peu plastique, non collant friable, peu fragile ; absence de débris organiques ; présence de quelques racines, transition graduelle ;

90 - 200 cm = B2 ; 10 YR. 6/6, ocre nombreuses taches, très peu poreux, texture limono-argilo - sableuse à sables fins, plastique, peu collant, peu friable, peu fragile, non organique.

Cette description du profil permet de classer ce type de sol dans la catégorie des sols sablo-limoneux dits ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux, qui représentent 30 % de l'ensemble des sols de la station.

Au vu des résultats d'analyses présentés dans les Tableaux 3, 4 et 5 on constate que les sols sableux et sablo-limoneux à Cinzana comme à N'Tarla peuvent être considérés comme des sols chimiquement pauvres en nutriments notamment en azote et phosphore.

Le pourcentage de carbone inférieur à 0,5 indique dans la classification que le sol est pauvre en matière organique (Veldkamp *et al.*, 1991).

Egalement (selon le même auteur) avec l'azote, lorsque le pourcentage est inférieur à 0,02, on est en présence d'un sol pauvre.

Enfin le P-assimilable est inférieur à 5, ce qui indique aussi que le sol est pauvre en cet élément. Par ailleurs on constate que le P-total donne des quantités élevées. Ce qui indique généralement que ces sols ont une grande capacité de fixer le phosphore en d'autre terme de transformer le P-assimilable en P-total du stock. Dans ces conditions il devient pratiquement difficile de corriger la carence en phosphore par des apports pour ces types de sol (Veldkamp *et al.*, 1991).

Cependant les anomalies constatées au niveau des résultats d'analyses de sol nécessitent la reprise de certaines. En premier lieu, il s'agit des variations de la granulométrie observées au niveau d'un même type de sol en fonction des années, ce qui n'est pas du tout normal. En second lieu on constate souvent des variations dans le taux des éléments nutritifs avec une augmentation en profondeur alors que normalement, avec l'azote et le phosphore, les teneurs doivent plutôt diminuer avec la profondeur. En troisième lieu, on constate que le taux de carbone est relativement bas au niveau des parcelles des essais de l'ordre de 0,29 % alors que ces sols étaient en jachère depuis plus de 30 ans. Dans ces conditions, on devait s'attendre à des taux de l'ordre de 0,40 à 0,50 % (Pieri, 1989). Enfin les échantillons standards envoyés pour juger de la qualité des résultats

montraient souvent des variations très élevées. Dans ces conditions il était très difficile de procéder à une analyse objective des résultats de l'étude.

2.4. Conséquence des résultats des analyses chimiques sur la valeur agricole des sols des sites d'étude

Site Sa à Cinzana

Le sol de Cinzana est chimiquement très pauvre en N et en P. L'utilisation continue de ces sols sableux pour l'agriculture nécessite un apport régulier en azote et phosphore.

Malgré les faibles proportions d'argile et de matière organique (inférieures à 1 % même dans l'horizon de surface) ces sols ont une capacité de stockage de l'eau assez importante en raison de la présence d'une cuirasse épaisse en profondeur. Ce phénomène était nettement visible sur la parcelle d'*Andropogon gayanus* à Cinzana où la cuirasse était située à 140 cm de profondeur. En effet, la présence proche de la surface de la cuirasse imperméable influe profondément sur le régime hydrique du sol créant ainsi un niveau d'arrêt du drainage et un ralentissement de l'infiltration en profondeur. Ce qui exerce par la suite une influence bénéfique sur le régime hydrique : une partie ruisselle par hypodermie et l'autre partie reste emmagasinée à la base du manteau d'épandage sableux. Cette dernière partie peut remonter vers les horizons de surface par le phénomène de remontée capillaire et contribuer ainsi à l'alimentation hydrique des plantes pendant les périodes de sécheresse. Ce phénomène était nettement visible en 1992. Mais en 1993 la mauvaise répartition des pluies n'a pas permis un stockage d'eau ce qui a entraîné un développement anormal des plantes.

Site Sa-Li à Cinzana

Les sols de ce site sont carencés en azote et en phosphore. En raison de leur capacité de stockage de l'eau, ces sols sont favorables à la culture du mil, de l'arachide et du sorgho. Etant donné le faible niveau de fertilité, l'utilisation continue pour l'agriculture nécessite l'apport régulier en azote et phosphore.

Le faible taux d'argile en surface favorise l'érosion hydrique et aussi la perte d'éléments nutritifs.

Site Sa-Li à N'Tarla

Comme le sol de Cinzana, le sol de N'Tarla est également chimiquement très pauvre, à cause de sa faible teneur en argile (4 à 30 %) et en matière organique (moins de 1 %). Les éléments nutritifs N et P sont en carences fortes.

Les analyses montrent que le sous-sol est acide et peut constituer une source de saturation en aluminium toxique.

Le faible taux d'argile dans la couche superficielle expose ce type de sol à l'érosion hydrique, ce qui favorise la perte des engrais et du fumier. La mise en place de culture permanente permettrait de lever ce goulot.

Dans le sous-sol par contre, le taux d'argile étant plus élevé, les espèces pérennes à enracinement profond peuvent utiliser les éléments nutritifs tels N, K et S. Le recyclage de ces éléments peut être important dans ces conditions.

3. Matériel végétal et méthode d'étude

3.1. Matériel végétal

La systématique, la morphologie, la distribution géographique et la biologie des espèces choisies sont présentées ci-dessous.

3.1.1. L'*Andropogon gayanus*

3.1.1.1. Caractéristiques de l'espèce

L'*Andropogon gayanus* Kunth est une graminée vivace appartenant à la tribu des Andropogonées et à la sous-famille des Panicoïdées. L'espèce très polymorphe comporte quatre variétés, dont les caractéristiques sont principalement basées sur la situation des poils au niveau des épillets, la longueur des épillets et des arrêts (Clayton, 1972). Il s'agit de la variété *gayanus* (syn var *genuinus*), la variété *tridentatus*, la variété *squamulatus* (syn var *polycladus*) et la variété *bisquamulatus*. Les quatre variétés ont déjà été largement décrites par de nombreux auteurs (Clayton, 1972 ; Naegele, 1977 ; CIAT, 1989 ; Dieng *et al.*, 1991).

Actuellement les chercheurs tentent de développer un nouveau critère de distinction basé sur la caryocytologie (nombre chromosomique) (Foster, 1962 ; Monniaux, 1978 ; Okoli *et al.*, 1983).

Concernant la morphologie de l'*Andropogon gayanus*, celle-ci a déjà été développée par différents auteurs notamment les études effectuées par Bowden (1964 a), Clayton (1972), Rose -Innes (1977) et Clayton et Renvoize (1982), puis repris par Keller Grein et Schultze -Kraft (CIAT, 1991) et par Dieng *et al.*, (1991).

L'*Andropogon gayanus* est une plante pérenne de grande taille, rugueuse et dressée avec une hauteur de 1 à 3 m et pouvant même dépasser les 4 m. La tige présente des entre-noeuds et est entièrement couverte par les gaines foliacées pendant la phase de croissance. A ce stade, la plante forme de nombreuses talles. A la montaison, chacune de ces talles peut développer une longue tige moelleuse portant plus d'une dizaine de feuilles et terminée par une inflorescence en fausse panicule long de 40 à 60 cm. Avec un court rhizome d'inter-noeuds et d'embranchement intravaginal, elle forme une touffe d'environ 1 m de diamètre grâce à un abondant tallage.

Sur le plan histologique, la feuille ne présente pas de caractères xéromorphes nets. C'est ainsi que la cuticule est mince et les stomates sont peu enfoncés et non protégés. Cependant l'épiderme est très souvent épais et la présence de pilosité montre une certaine adaptation au milieu sec chez certaines variétés. En effet Bowden (1964) n'a observé des stomates que sur la face inférieure des feuilles, il en a dénombré 200 à 250 mm⁻² de surface foliaire. Le nombre de poils par mm² est de 12 sur la face supérieure et 27 sur la face inférieure (Dieng *et al.*, 1991).

Suivant la variété, les feuilles présentent une grande diversité morphologique.

La fausse panicule est constituée en réalité par un bouquet d'inflorescences soutenues par des bractées foliacées enveloppantes : spathes et spathéoles. Chaque spathéole contient une paire de racèmes en forme de V avec 7 à 18 paires d'épillets (Bowden, 1964) ; (Dieng *et al.*, 1991).

Quant au système racinaire, Bowden (1964) distingue trois types de racines :

- Les racines cordées très vigoureuses avec un diamètre généralement supérieur à 2mm. Elles sont responsables de la bonne fixation de la plante dans le sol et restent dans l'horizon superficiel (0-50 cm).
- Les racines verticales pouvant atteindre 80 cm et même dépasser 2 m sur sol profond. Elles sont fines et peu ramifiées et ont tendance à s'enchevêtrer. Elles jouent le rôle de maintien de contact entre la plante et l'humidité du sol durant la longue période de saison sèche.
- Les racines fibreuses sont fines et très ramifiées. Elles sont également très longues et peuvent s'étendre jusqu'à plus d'un mètre du centre de la plante. Elles se situent en surface et leur axe principal ne dépasse guère 0,5 mm de diamètre. C'est grâce à elles que la plante arrive à profiter des plus faibles précipitations.

3.1.1.2. Distribution géographique

Les aires de dispersion naturelle de l'espèce s'étendent de part et d'autre de l'équateur et sont illustrées dans la Fig. 1.

Figure 1. La distribution de l'Andropogon gayanus Kunth- + var *bisquamulatus* (Hochst) Hack, *, var *gayanus* ; Û, var *squamulatus* (Hochst) stapf entre les isohyètes 400 et 1500 mm.

Source = CIAT - 1991

Andropogon gayanus est très répandu dans la plupart des savanes tropicales de l'Afrique situées entre les isohyètes 400 et 1500 mm. Elle constitue fréquemment une espèce dominante de la végétation herbacée dans les régions situées à moins de 1800 m d'altitude. Cependant, l'environnement le plus favorable à son expansion se situe à moins de 900 m d'altitude pour une pluviométrie comprise entre 750 mm et 1300 mm avec une seule saison sèche de plus de 3 mois. (Bowden, 1963). Dans les endroits où les conditions pédologiques et topographiques sont favorables tels que les dépressions, *Andropogon gayanus* peut se développer à des pluviométries plus basses. Aussi la déforestation permet son extension dans les zones à pluviométrie plus élevée où la végétation forestière domine normalement.

Des quatre variétés déjà citées plus haut, la variété *squamulatus* est la plus répandue. On le rencontre au Nord de l'équateur sur une large bande entre le Sahara et la forêt équatoriale, depuis le Sénégal jusqu'au Soudan en passant par l'Est de l'Ouganda. Au Sud de l'équateur, on le rencontre au niveau des savanes situées à l'Est et au Sud de la forêt équatoriale du Zaïre jusqu'au Mozambique et au Transval en Afrique du Sud. On le rencontre au-dessous de 2300 m d'altitude et souvent à 2600 m. La variété *bisquamulatus* se rencontre seulement au Nord de l'équateur, dans les mêmes aires de dispersion que la variété *squamulatus* mais jamais au dessus de 2000 m. Parmi les quatre variétés d'*Andropogon gayanus*, le *bisquamulatus* demeure la seule ayant fait l'objet d'une grande diffusion en dehors de sa zone de dispersion naturelle, elle est aussi la plus étudiée. La variété *gayanus* se rencontre surtout dans les zones inondées temporairement, où elle forme des plages monospécifiques. Quant à la variété *tridentatus*, elle est adaptée à un climat semi-aride et se rencontre dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest.

Les variétés *bisquamulatus*, *squamulatus* et *gayanus* ne se développent que là où la température moyenne mensuelle minimale demeure supérieure à +4 deg.C (Bowden, 1964) et la température optimum pour la floraison est de 25 deg.C (Tempsett, 1976).

L'étude taxonomique effectuée dans les deux localités a permis de déterminer les variétés d'*Andropogon gayanus* utilisées. C'est ainsi que la variété à Cinzana est constituée par le *tridentatus* et celle de N'Tarla par le *bisquamulatus*.

Au Mali on le rencontre sur trois catégories de sols : sableux avec bon drainage, limoneux à limono-argileux avec drainage moyen médiocre et argileux avec un mauvais drainage.

Malgré la grande dispersion ainsi que la grande adaptation aux diverses conditions édaphiques, *Andropogon gayanus* ne se développe pas du tout sur des sols salins. Mais l'espèce se rencontre dans des milieux très divers tels champs, jachères, friches, bordure talus, pistes et routes.

La sécheresse persistante durant les trois dernières décennies a entraîné la mortalité des peuplements dans beaucoup de zones. C'est ainsi que actuellement l'*Andropogon gayanus* a presque disparu de la zone Soudano-Sahélienne. Dans cette partie on ne le rencontre que dans les dépressions. Même dans la zone Soudanienne sa contribution ne dépasse guère actuellement les 5 à 10 % (Leloup et Traoré, 1989).

3.1.1.3. Mode de dissémination

L'*Andropogon gayanus* réussit aussi bien par semis (à la volée ou en ligne) que par bouturage. En milieu naturel le taux de germination des diaspores est très faible. Par contre, la multiplication végétative naturelle issus des éclats de souche, qu'occasionne la mortalité et l'apparition de nouvelles talles, réussit très bien. C'est de cette façon que se produit la dissémination dans la nature chaque fois que les conditions édaphiques le permettent.

Pour les opérations de repiquage, l'époque la plus indiquée au Mali se situe au mois d'Août, quand les pluies sont bien installées.

3.1.1.4. Production et utilisation

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 en quantité et en qualité selon l'époque de récolte, divers auteurs (Bowden, 1963 ; Boudet, 1975 ; Jones, 1979) lui reconnaissent des propriétés nettoyantes et améliorantes des sols cultivés et conseillent son introduction en qualité de culture fourragère temporaire dans l'assolement cultural afin de maintenir la fertilité des sols tout en intégrant mieux les activités d'élevage dans l'exploitation agricole. En outre, les forestiers utilisent l'espèce dans la protection contre l'érosion hydrique et éolienne ainsi que dans la régénération et la restauration de la fertilité des terres cultivées (anciennes jachères). La Fig. 2 montre l'illustration de la plante à divers stades de développement au cours des différentes saisons de l'année.

Figure 2. Cycle de développement de l'Andropogon gayanus au cours de l'année (Source Dieng et al., 1991)

Le cycle complet de développement saisonnier dure en moyenne 6 à 7 mois selon l'écotype et la position géographique. Il est de 4 mois pour la zone sahélienne et atteint 9 mois dans la zone guinéenne. La montaison se produit après les pluies mensuelles maximales en Septembre et coïncide avec la diminution de la longueur du jour. Quant à la floraison, elle débute en Octobre et se poursuit jusqu'en Décembre. La maturation des graines s'échelonne de Novembre à Janvier (Boudet, 1975).

Andropogon gayanus est surtout renommé pour les repousses qu'il donne pendant la saison sèche (Dieng *et al.*, 1991). En effet pendant cette période, la plante continue de fournir des feuilles vertes. En saison sèche froide l'humidité relative basse de l'air, ainsi que les réserves hydriques du sol permettent la formation des repousses assez abondantes. Toutefois les températures nocturnes inférieures à 25°C induisent une certaine dormance. C'est pour cette raison que pendant cette période l'irrigation ne permet pas une amélioration spectaculaire de la production. Par ailleurs la durée courte du jour induit une nouvelle floraison.

En saison sèche chaude, l'augmentation de la longueur du jour provoque l'arrêt de la formation des tiges florifères. Les fortes températures de 30°C et plus entraîne un dessèchement du sol et de l'air qui limite fortement le développement des repousses. Par contre pendant cette période l'irrigation de la culture permet de lever la dormance et de produire une biomasse de 2 à 3 t MS ha⁻¹ avant les premières pluies (Dieng *et al.*, 1991).

Breman *et al.* (1980) ont trouvé sur des parcours naturels à *Andropogon gayanus* au ranch de Niono une production moyenne de 6 t de MS ha⁻¹. Barrault, (1971) a obtenu 7,5 t MS ha⁻¹ toujours sans aucun apport d'engrais. Boudet, (1975) trouve jusqu'à 10 t MS ha⁻¹. Dieng *et al.*, (1991) après semis artificiel ont obtenu en première année d'installation de la culture (Thiès au Sénégal) 2 t de MS ha⁻¹. Ils ont constaté que pendant cette période, les plantules investissent dans le développement du système racinaire ainsi que dans la formation des talles. En deuxième année, la biomasse atteint 6,8 t de MS ha⁻¹ sans fertilisation. Dans les conditions de la zone soudano-sahélienne, l'apport d'éléments fertilisants (notamment N et P) permet d'atteindre et même de dépasser 15 t de MS ha⁻¹ (Traoré, 1995, 4.111 et 4.114).

3.1.2. Le Pennisetum pedicellatum

3.1.2.1. Caractéristiques de l'espèce

Le *Pennisetum pedicellatum* est une graminée annuelle très répandue dans les savanes africaines. Il préfère les sols légers, bien drainants, avec un bilan hydrique positif et relativement riche en humus (Barrault, 1971). Elle s'installe très rapidement sur les terrains de culture abandonnée, ainsi que le long des pistes et routes. On le rencontre dans les endroits avec un ensoleillement intense ainsi qu'à l'ombre, sous les arbres.

L'espèce recouvre de nombreux écotypes entre les isohyètes 600 et 1250 mm et cette grande variabilité morphologique se manifeste sur la taille, la grosseur des tiges, la foliation et la largeur des feuilles ainsi que la taille et la couleur de l'épi (Barrault, 1971).

En outre, on constate que le cycle s'allonge avec la pluviométrie. En effet, les cycles sont d'autant plus longs que la durée de la saison des pluies est moins brève. C'est ainsi qu'on rencontre des cycles de 102 à 112 jours à l'isohyète 600 mm, 120 jours à 900 mm et 130 jours à l'isohyète 1250 mm. Aux écotypes à cycle long correspond la production la plus élevée mais la plus pauvre en matière azotée digestible (Barrault, 1971).

3.1.2.2. Distribution géographique

Le *Pennisetum pedicellatum* se rencontre dans toute la savane tropicale de l'Afrique. L'espèce pousse bien sur les sols profonds et moyennement profonds. La présence de l'homme crée un environnement propice au bon développement de la plante. En effet les actions telles le déboisement, le tracé des routes, les constructions d'habitation etc... provoquent un éclaircissement intense favorable à la prolifération de l'espèce qui est une plante rudérale.

3.1.2.3. Mode de dissémination

Le *Pennisetum pedicellatum* est une espèce bien adaptée dans les zones où on le rencontre. De ce fait, la plante arrive à produire suffisamment de semence à la fin du cycle végétatif. La quantité de semence produite peut être importante de l'ordre de 400 à 700 kg ha⁻¹ (Projet CILSS/FAO, 1984). La période de récolte dépend de la zone et du cycle de la plante. Pour sa propagation, l'espèce réussit aussi bien par semis naturel que par le semis en ligne ou à la volée. Dans certaines conditions le bouturage est également possible, surtout lorsque le sol est mouillé. Quant au semis naturel, il s'effectue sous l'action du vent, et par les oiseaux et les fourmis ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)). Dans le milieu naturel, l'espèce se présente comme une plante à germination et à croissance assez rapide ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)).

3.1.2.4. Production et Utilisation

La plupart des travaux de recherche déjà menés sur les plantes fourragères en Afrique ont retenu dans leur programme de vulgarisation le *Pennisetum pedicellatum*. Tout cela pour démontrer que l'espèce peut être utilisée comme plante fourragère. Par ailleurs, les bêtes en sont très friandes au stade juvénile jusqu'à la montaison. Pour la production de fourrage pour la saison sèche, l'espèce se prête bien au fanage et à l'ensilage.

Dans le domaine de la protection du sol, le *Pennisetum pedicellatum* est utilisé comme plante de couverture. Elle est aussi utilisée pour la régénération des sols totalement dégradés et s'avère très efficace contre l'érosion hydrique et éolienne ainsi que dans le processus de restauration de la fertilité des sols.

Dans certaines zones, la sève de la plante est utilisée par les autochtones pour panser les blessures.

Sur le plan de la production, le cycle complet de développement saisonnier varie entre 3 à 4 mois selon la latitude ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)). La montaison se produit au mois d'Août et la floraison au mois de Septembre. La maturation des graines s'échelonne sur le mois d'Octobre. La production de biomasse pendant cette période peut atteindre 4 t de matière sèche (Barrault, 1971). L'apport d'éléments fertilisants (N et P) peut entraîner une multiplication du rendement par deux ou trois. La production maximale dans ces conditions peut atteindre les 12 t MS ha⁻¹ et même dépasser les 15 t MS ha⁻¹ (Traoré, 1995 paragraphe 4.114).

Les essais de fertilisation (Barrault, 1971) montrent surtout une action de l'azote, action linéaire entre 0 et 80 kg ha⁻¹ pour le rendement en matières azotées digestibles, mais la quantité d'unité fourragère (UF) produite n'augmente très fortement qu'entre 0 et 40 kg ha⁻¹ d'azote, 1 kg d'azote procurant une production supplémentaire de 15 UF (Unité Fourragère). Les trois niveaux donnent respectivement 4,5, 7 et 8,2 t MS ha⁻¹. Cependant, la même étude a montré que la réponse au phosphore est faible et n'apparaît qu'en deuxième année d'exploitation avec une production de 5,8 t MS ha⁻¹ avec une dose de 150 à 200 kg de phosphate bicalcique. L'action des fertilisants se manifeste également sur les teneurs en éléments minéraux de la matière sèche et sur la valeur fourragère de celle-ci.

En fonction des différentes doses de N et de P, les teneurs en MAD varient de 2,5 à 8,6 (en % de MS). Les teneurs en protéines brutes varient de 5,25 à 12,5 %. Les plus élevées s'observent chez les écotypes les plus précoces, et les plus basses chez les écotypes les plus tardifs.

Par ailleurs, la date de coupe a une influence sur la valeur et la production du fourrage. En effet en faisant varier l'époque de coupe et le rythme de coupe, on constate une baisse très rapide de la teneur en MAD et de la valeur UF avec l'âge, par suite d'une élévation des teneurs en cellulose et en matière minérale. C'est ainsi que lorsqu'on retarde la première coupe, la production annuelle augmente mais sa valeur alimentaire diminue. Il semble qu'un compromis puisse être trouvé en faisant trois coupes dans l'année.

La plante reste un fourrage intéressant pour exploiter au mieux une tranche d'eau répartie sur une courte période. Sa faible valeur alimentaire a pour cause le fait que les tiges sont peu feuillues et qu'elles ont tendance à se lignifier rapidement.

3.2. Méthode d'étude

Les protocoles expérimentaux sont présentés dans les grandes lignes.

3.2.1. ESSAI N°1 : Analyse du taux de recouvrement de l'azote et du phosphore sans aucune restriction des autres éléments nutritifs par une graminée pérenne (*Andropogon gayanus*) et par une graminée annuelle (*Pennisetum pedicellatum*).

3.2.1.1. Approche

L'azote et le phosphore constituent les deux éléments les plus limitatifs dans le domaine de la production primaire sous les tropiques, PPS ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#), Veldkamp Roose) L'application de ces deux éléments, à travers différentes doses d'engrais, entraîne une augmentation de la quantité totale de biomasse produite jusqu'à un optimum déterminé par la disponibilité d'eau.

De cette façon on arrive tout juste à déterminer la relation entre la quantité d'engrais appliquée et le rendement. Les « courbes de réponse » ainsi obtenues varient d'une année à l'autre en fonction des conditions environnementales et des différentes doses d'engrais apportées. L'utilisation des résultats pour la prédiction et l'extrapolation devient en ce moment très difficile.

Pour arriver à une augmentation du rendement, l'élément apporté à la culture sous forme d'engrais chimique doit en premier lieu être absorbé par la plante et en second lieu être utilisé pour la formation de certains organes souhaités. Si ces conditions ne sont pas remplies, deux alternatives possibles sont envisageables : soit l'élément n'a pas été absorbé par la culture ou soit après absorption il n'a pas été utilisé pour augmenter la production des produits recherchés.

Les courbes de réponse simples ne permettent pas de distinguer entre les deux causes laquelle est à la base de l'absence de réponse. Pour corriger cette lacune afin de mieux interpréter les résultats et d'avoir la possibilité de les utiliser pour la prédiction et l'extrapolation, on procède à la détermination de la composition chimique du matériel végétal récolté. La connaissance de ce paramètre à côté du niveau de production permet de calculer la quantité absorbée de l'élément appliqué et sa répartition dans la culture, en d'autre terme le taux de recouvrement.

La représentation quadratique telle que suggérée par Van Keulen et De Wit (1980), est un élément intermédiaire clef de cette façon d'analyser le recouvrement des engrais. La Fig. 3 en est une illustration.

Figure 3. Représentation graphique de l'analyse quantitative du rendement d'engrais azoté appliqué sur une culture.

A partir de la Fig. 3, on peut facilement décrire les trois relations qui existent entre la production et l'application d'azote ou de Phosphore.

- Le quadrant (1) montre la relation entre la production et la quantité totale de l'élément absorbée par la culture.
- Le quadrant (2) montre la relation entre la quantité d'élément appliquée et son absorption par la culture.
- Le quadrant (3) montre la relation entre la production et la dose appliquée et résulte de la combinaison des deux autres relations.

La méthode d'analyse des résultats a largement été développée par [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) et Siban *et al.* (1989).

Les résultats d'une telle analyse permettent de pouvoir se prononcer sur les quantités des éléments nutritifs disponibles dans le système Sol-Eau-Plante, de juger de l'efficacité d'utilisation des engrais chimiques et de déterminer entre l'azote et le phosphore quel élément est limitatif pour la production primaire afin de contribuer à leur applicabilité dans la pratique.

3.2.1.2. Dispositifs expérimentaux

L'essai n°1 a été conduit en 1993 au niveau de trois sites dont deux à Cinzana, Sa (sol sableux) et Sa-Li (sol sablo-limoneux) et un à N'Tarla, (Sa-Li). Pour la campagne 1994, l'essai a été reconduit uniquement à N'Tarla sur le même sol (Sa-Li), à un nouveau emplacement pour éviter les arrières effets de l'engrais.

Site Sa sur sol sableux à Cinzana

A ce niveau un essai factoriel << Split-plot >> avec arrangement de blocs randomisés incomplets et sans répétition a été mis en place pour les deux espèces selon le schéma 2. Les dimensions des parcelles élémentaires sont données dans le même schéma.

[Schéma 2.](#) Plan de l'essai recouvrement au niveau du site Sa sur sol sableux à Cinzana en 1993.

Site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à Cinzana

Un dispositif identique à celui de Sa a été mis en place au niveau de Sa-Li avec cependant une répétition en plus pour l'*Andropogon gayanus*.

Site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à N'Tarla

L'essai a été installé sur une bande longue de 300 m x 10 m. Les blocs des doses croissantes et de N et P pour les deux cultures ont été mis les uns à la suite des autres le long de la bande. Les dimensions des parcelles élémentaires sont de 8 m x 5 m soit 40 m². Le Schéma 3 montre la disposition des parcelles pour *Andropogon gayanus*. Le *Pennisetum pedicellatum* a été installé de la même façon.

NB : Le même essai avec *Pennisetum pedicellatum* a été installé à un autre endroit, cette fois-ci sur sol sablo-limoneux appauvri. Un des blocs en plus des doses croissantes de N et de P a reçu la chaux en fumure de fond. C'est le site Sa-Li nommé H₁. Il présente les mêmes caractéristiques que Sa-Li à N'Tarla décrit ci-dessus.

[Schéma 3.](#) Plan de l'essai recouvrement de l'*Andropogon gayanus* au niveau du site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à N'Tarla en 1993.

3.2.1.3. Travaux préliminaires

Les travaux préliminaires ont concerné :

- une coupe de régularisation de l'*Andropogon gayanus* à 50 cm au dessus du sol ;
- l'implantation de l'essai et le cloisonnement des sous parcelles ;
- semis du *Pennisetum pedicellatum* à la volée, après l'installation des pluies.

3.2.1.4. Fertilisation

Doses appliquées : La fertilisation minérale a été faite à partir de l'apport de différentes doses d'urée (46 % N) et de Super Phosphate Triple (TSP, 46 % P₂O₅). L'azote et le phosphore ont été apportés chacun avec 5 niveaux, avec comme unité de dose pour l'azote 75 kg ha⁻¹ et pour le phosphore 45 kg ha⁻¹.

Les traitements témoins absolus et doses maximales (N4P4) sont communs dans tous les cas aux deux blocs d'une même répétition pour les doses croissantes de N et de P₂O₅. Pour l'interprétation des résultats, le P₂O₅ a été converti en P pur.

En 1994, en plus des doses de N et de P₂O₅ égales à celles de 1993, il a été procédé à l'application d'une dose forte de K (300 kg ha⁻¹) et d'oligo-éléments (100 kg de ferro ha⁻¹) pour corriger d'éventuelles restrictions pouvant être lié au manque de ces éléments.

Fractionnement : Pour l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum* l'azote a été apporté dans chaque cas en trois fractions de la façon suivante :

- les premières fractions, deux semaines après la reprise des repousses d'*Andropogon gayanus* et deux semaines après la germination du *Pennisetum pedicellatum* ;
- les deuxième fractions, deux semaines après application des premières fractions et cela après une pluie ;
- les troisième fractions, trois semaines après application des deuxième fractions après une pluie.

Quant au Phosphore, il a été apporté en deux fractions sur les deux cultures :

- les premières fractions, deux semaines après la reprise des repousses d'*Andropogon gayanus* et au moment du semis pour le *Pennisetum pedicellatum* ;
- les deuxième fractions, au moment de la montaison des deux cultures après une pluie.

Cette façon d'adopter les différentes doses d'engrais a été déterminé en fonction de l'importance des éléments nutritifs à différent stade de développement par les plantes C4.

3.2.1.5. Observations

Deux types d'observations ont été effectuées au niveau de cet essai :

L'échantillonnage des plantes

Pour chaque traitement, la biomasse aérienne a été récoltée sur l'ensemble de la parcelle utile juste (2 lignes de bordure ont été épargné dans chaque parcelle) avant la fin du cycle de l'espèce afin de déterminer la production en fonction des différentes doses d'engrais et le recouvrement des éléments nutritifs.

Analyses chimiques

Les analyses bromatologiques pour la détermination du taux de recouvrement ont porté sur le N-total, le P-total et le K-échangeable.

3.2.2. Essai n° 4 : Etude de l'origine des éléments nutritifs ainsi que des hydrates de carbone et leur utilisation dans la production de la biomasse aérienne de l'*Andropogon gayanus* en saison sèche et en début d'hivernage.

3.2.2.1. Approche

L'hypothèse de travail est que l'*Andropogon gayanus* est une espèce pérenne qui, dans les conditions d'humidité suffisante,

produit du fourrage d'excellente qualité pendant la saison sèche. La quantité de repousses formée pendant cette période peut atteindre 100 kg de MS ha⁻¹ (Penning de Vries & Djitéye, 1982) voire atteindre 3 t de MS ha⁻¹ (Breman & Ridder, 1991) ; une autre caractéristique de la plante est qu'elle redémarre sa croissance dès les premières pluies à la fin de la saison sèche. On pense que le recyclage des réserves d'éléments nutritifs et d'hydrates de carbone joue un rôle important dans ces processus.

Dans le chapitre I sur l'introduction générale, une analyse de l'aspect pérennité et son impact sur le taux de la matière organique du sol, les pertes d'éléments nutritifs et la structure du sol par rapport à une annuelle a déjà été faite.

Les repousses plus les réserves ainsi constituées par la plante peuvent être considérées comme une plus-value. Durant l'essai, il a été procédé à une analyse de l'effet de la fauche sur la production de la biomasse aérienne et le stock des réserves d'éléments nutritifs et d'hydrate de carbone pour mieux comprendre le mécanisme de la plus-value afin d'élaborer la meilleure façon d'en profiter.

La première question à résoudre porte d'une part sur la liaison entre le niveau et la qualité des repousses en relation avec la production de la biomasse aérienne au cours de la saison des pluies et d'autre part sur la production en liaison avec la formation des réserves de N et de P et de l'énergie. La seconde question porte sur l'origine de N, de P et de l'énergie contenue dans les repousses et également celle des réserves et ou de la couche superficielle du sol à travers le phénomène de l'hydrolic-lift et ou encore des couches profondes du sol.

Pour atteindre ce but, l'essai n°2 sur l'*Andropogon gayanus* a été mis en place uniquement à Cinzana sur sol sableux (site Sa) durant la campagne 1993. Mais le niveau de la mauvaise répartition des pluies en 1993 (Tableau 1) n'a pas permis à la plante de produire des repousses pendant la saison sèche 1994. L'apparition des repousses à N'Tarla au cours de la même période a conduit l'équipe à effectuer la plupart des observations prévues dans cette localité. Il s'agit des mesures de repousses et celles relatives au stockage des éléments N et P et des hydrates de carbone soluble.

3.2.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de deux blocs subdivisés en deux parcelles. Chaque parcelle mesurait 10,5 x 7,8 m soit 81 m².

Le bloc 1 constitue les témoins absolus sans apport d'engrais avec deux parcelles de différentes dates de fauche :

- Fauche régulière : après huit semaines de végétation, une première récolte a été effectuée. Les autres récoltes sont intervenues après chaque quatre semaines à 50 cm au dessus du sol.
- Fauche fin de cycle : une seule récolte a été effectuée sur cette parcelle à la fin du cycle de végétation de l'*Andropogon gayanus* à 50 cm au dessus du sol.

Le bloc 2 constitue les traitements avec les doses maximales de N et de P. Il est également subdivisé en deux parcelles avec différentes dates de fauche.

Les fauches régulières et de fin de cycle ont été effectués de la même façon que pour le bloc 1.

3.2.2.3. Travaux préliminaires

Les travaux ont porté sur les mêmes opérations qu'au niveau de l'essai n°1. par rapport à l'*Andropogon gayanus*.

3.2.2.4. Fertilisation

La fertilisation minérale a été faite à partir de l'apport d'une dose maximale d'azote et de phosphore (N4P4) 300 kg de N ha⁻¹

(652,2 kg Urée) + 180 kg de P₂O₅ (391,3 kg TSP).

Pour la dose maximale de l'azote, l'application s'est faite en trois fractions égales comme pour l'essai n°1.

Pour la dose maximale de phosphore également, l'application a été faite en deux fractions égales comme pour l'essai n°1.

Les témoins absolus n'ont reçu aucune fertilisation.

3.2.2.5. Observations

Les observations prévues ont porté sur l'échantillonnage de la biomasse aérienne. La recherche de l'origine des nutriments et le stockage des réserves pendant la saison sèche, ainsi que l'évolution du stock hydrique à différentes profondeurs.

Echantillonnage des plantes

Pour chacun des deux blocs il a été effectué une fauche régulière et une fauche de fin de cycle pour suivre la croissance et le développement des repousses en relation avec l'évolution des taux de N et P dans la plante pendant la saison de croissance.

Analyses chimiques

Les analyses bromatologiques ont porté sur la détermination des mêmes éléments qu'au cours de l'essai n°1. Les hydrates de carbone soluble ont également été déterminés sur les échantillons récoltés pendant la saison sèche.

Recherche de l'origine des nutriments en saison sèche

Des prélèvements d'échantillons racinaires pendant toute la période de la saison sèche 1994 à N'Tarla ont permis de suivre l'évolution du stock des éléments nutritifs N, P, K et des hydrates de carbone soluble. La biomasse aérienne des repousses a également fait l'objet de mesure à la fin de la saison sèche. Enfin pour établir un lien entre le stock d'eau du sol et l'apparition des repousses, l'humidité du sol a été mesurée par la méthode gravimétrique. Dans le même but une mesure de l'humidité du sol à Cinzana a été effectuée pour expliquer l'absence quasi totale des repousses en 1994.

Des prélèvements d'échantillon racinaire ont également été effectués en début d'hivernage à Cinzana pour quantifier le stock des réserves d'éléments nutritifs et d'hydrates de carbone soluble.

Les résultats de l'analyse proposés dans le temps ont permis d'obtenir des indications sur l'utilisation du stock propre de la plante ou encore sur l'utilisation du sous-sol comme source d'éléments nutritifs en saison sèche.

3.2.3. Essai n°3 : Paramétrisation du développement d'une graminée pérenne : *Andropogon gayanus*

3.2.3.1. Approche

L'*Andropogon gayanus* est une graminée fourragère largement répandue dans les savanes Ouest africaines. L'aptitude de la plante à produire du fourrage pendant toute l'année fait qu'un intérêt croissant lui est accordé par de nombreux auteurs depuis un certain temps. L'objectif principal de l'essai étant d'arriver à établir dans le temps l'interaction sol-eau-plante dans la croissance et le développement des cultures et des pâturages naturels. Un autre objectif non moins important porte sur l'identification des contraintes de production et d'évaluation des potentiels de production au niveau de la plante. Le but visé étant d'approfondir les connaissances sur la plante ainsi que sa réponse à la fertilisation pour être en mesure d'extrapoler les résultats des essais de Cinzana et de N'Tarla à des années futures et à l'ensemble des zones Soudano-Sahélienne et Soudanienne au Mali et dans d'autres régions similaires en Afrique. L'application des modèles de simulation de la croissance et du développement de la plante (Bonachela, 1995) est appelé à jouer un rôle clef dans ce cadre. Les observations prévues pourront contribuer au perfectionnement de tel modèle.

Un travail d'une telle ampleur ne pouvait se faire qu'à travers la modélisation. Ce qui a permis de procéder à la généralisation

des conclusions de l'étude et de prendre en compte également les conditions socio-économique et/ou agro-écologique, c'est à dire dans quel système de production on pourrait introduire ou favoriser l'introduction de l'*Andropogon gayanus* ou autre plante pérenne afin d'intensifier l'ensemble du système de production avec l'apport des engrais azotés et phosphatés.

Pour répondre à toutes ces questions un essai parallèle pour la détermination des paramètres sur l' *Andropogon gayanus* a été mis en place à Cinzana et à N'Tarla durant la campagne 1993 et uniquement à N'Tarla au cours de 1994. L'objectif visé était de suivre la phénologie de la plante pendant la saison de croissance et de mesurer certains paramètres à chaque stade de développement. Ce suivi intensif de la plante devrait nous permettre d'obtenir suffisamment de données de base en vue de faire valider le modèle de simulation de Bonachela (1995).

3.2.3.2. Dispositifs expérimentaux

Site Sa sur sol sableux à Cinzana

Le dispositif expérimental était constitué de deux blocs non randomisé sans répétition. Les dimensions des parcelles individuelles étaient de 4,8 x 4,8 m soient 23,04 m².

Le bloc 1 avec la dose maximale de N et de P était divisé en cinq parcelles élémentaires correspondant aux cinq stades d'étude et de récolte prévus. Il s'agit des stades suivants :

- Début croissance ;
- Début montaison ;
- Floraison (50 %) ;
- Fructification (50 %) ;
- Fin de cycle.

Le bloc 2 constitue le témoin absolu sans aucun apport d'engrais. Il était divisé également en cinq parcelles élémentaires.

A chaque stade de développement il a été procédé à la récolte d'une parcelle élémentaire.

Site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à N'Tarla

Le dispositif expérimental était constitué également de deux blocs non randomisés et sans répétition. Les dimensions des parcelles individuelles étaient de 5 x 5 m soient 25 m².

La même répartition des blocs a été adoptée comme à Cinzana.

3.2.3.3. Travaux préliminaires

Ces travaux ont porté sur les mêmes opérations qu'au niveau de l'essai n°1 par rapport à l'*Andropogon gayanus*.

3.2.3.4. Fertilisation

La fertilisation minérale a été faite à partir de l'apport d'une dose maximale d'azote et de phosphore soit 300 kg de N ha⁻¹ (652,2 kg Urée) + 180 kg de P₂O₅ (391,3 kg TSP). Le fractionnement des doses a été effectué de la même façon que pour l'essai n°1.

3.2.3.5. Observations

Les observations ont porté sur l'échantillonnage du sol et des plantes.

Echantillonnage des plantes

Biomasse aérienne

- détermination du nombre de touffe par parcelle utile ;
- mesure de la circonférence à la base de chaque touffe ;
- détermination du nombre de talle pour chaque touffe ;
- mesure de la dimension exacte de la parcelle utile ;
- récolte de toute la biomasse par le fauchage au ras du sol ;
- pesage au champ de la biomasse totale.

Après la pesée de la biomasse totale on procédait à un échantillonnage au hasard de 400 tiges de la plante qui ont ensuite été réparties en deux lots, chaque lot étant constitué de 200 tiges.

LOT 1 : a subi les traitements suivants :

- pesée du poids frais au champ ;
- séchage de la biomasse totale à 70deg.C pendant 24 h ;
- Pesée du poids sec ;
- broyage et détermination des teneurs en N, P, K.

LOT 2 : a subi les traitements suivants :

- choix au hasard de 100 tiges de la plante qui ont ensuite été réparties en deux sous-échantillons de 50 tiges chacun.

Sous échantillon N°1

Le premier sous-échantillon constitué de 50 tiges a été traité comme suit :

- séparation des différentes parties de la plante en :
 - Feuilles vertes ;
 - Feuilles sèches ;
 - Tiges vertes ;
 - Tiges sèches ;
 - Epis ;
 - Gaines ;
- pesée du poids frais des différentes fractions ;
- séchage à part des différentes fractions à 70deg.C pendant 24 heures ;
- pesée du poids sec des fractions ;
- broyage des différentes fractions et détermination des teneurs en N, P, K.

Sous échantillon N°2

Le second sous échantillon constitué de 50 tiges également a été traité comme suit :

- enlèvement des feuilles vertes en évitant de les froisser ou de les découper ;
- détermination de la surface foliaire de l'ensemble des feuilles vertes ainsi récoltées à l'aide d'un *Licor-fish-eye* (modèle américain) ;
- séchage de l'échantillon pour la détermination du poids sec.

La récolte de la cinquième parcelle du témoin absolu et de la dose maximale est intervenue à la fin du cycle de végétation de l'*Andropogon gayanus*. A cette date, la récolte de la biomasse s'est faite en deux étapes. La première a consisté en la fauche de la biomasse à une hauteur de 50 cm puis à déterminer son poids. La deuxième étape a consisté en la fauche des 50 cm restants sur l'ensemble de la parcelle utile puis à déterminer également le poids. Le but visé étant de pouvoir déterminer la quantité totale de biomasse aérienne restante au niveau de l'essai n°1 et n°2, qui ont tous été fauchés à 50 cm du sol pour empêcher la mortalité des touffes. Les échantillons ainsi récoltés ont subi le même traitement que pour les autres dates de récolte.

Analyses chimiques

Les analyses bromatologiques ont porté sur les éléments suivants :

- Azote-total ;
- Phosphore-total ;
- Potassium ;
- Carbone.

Biomasse souterraine : Le système racinaire a également été suivi pour l'estimation de la biomasse racinaire jusqu'à une profondeur de 60 cm au cours de l'hivernage, et jusqu'à 1 m à la fin de l'hivernage. Les études effectuées en 1992 sur le système racinaire de l' *Andropogon gayanus* (Traoré, 1993) ont montré que près de 98 % des racines sont localisées à la profondeur de 1 m.

Technique de prélèvement des racines

Il existe différentes méthodes d'étude de l'enracinement (Noordwijk, 1992). Les résultats intéressants obtenus en 1992 avec la planche à clous ont aussi permis de montrer les limites de cette technique (Traoré, 1993). C'est pour cette raison qu'en 1993 et 1994, eu égard aux nouveaux objectifs de l'étude, la méthode de prélèvement des blocs, appelée prélèvements globaux par horizons, a été utilisée.

Méthode de prélèvements globaux par horizons

La technique de prélèvements globaux par horizons consiste à l'isolement d'un pied choisi au hasard dans la parcelle. Les différentes étapes à suivre sont les suivantes :

Creusement de la tranchée et délimitation du monolithe : On commence l'opération par le creusement d'une tranchée pour délimiter un monolithe parallélépipède de sol de 0,80 x 0,80 m soit 0,64 m² de surface de base contenant en son centre le pied d'*Andropogon gayanus* (Schéma 4).

Prélèvements globaux des blocs par horizons : Les prélèvements globaux des blocs par horizons constituent la deuxième opération. Ils consistent au découpage de l'ensemble du monolithe en petits blocs de 20 x 20 x 20 cm de sol. A l'aide d'un couteau tranchant, on découpe le monolithe en tranche de 20 cm jusqu'à une profondeur de 1 m (schéma 4). Après avoir découpé et mis en sachet tout le monolithe de cette façon, chaque prélèvement de 20 x 20 x 20 cm de sol est transporté sous le hangar de lavage pour l'extraction des racines.

Extraction des racines : L'extraction des racines constitue la troisième opération et consiste au lavage des blocs de 0,2 m³ pour obtenir la biomasse totale des racines en superposant deux tamis à mailles carrés de 1,1 mm et 0,3 mm et en utilisant un jet d'eau assez puissant pour faciliter le départ de la terre. Les procédés de lavage et les techniques de conservation et de traitements des racines ont largement été décrites (Van Noordwijk, 1992) ; (Traoré, 1993).

Evaluation de la biomasse racinaire : L'évaluation de la biomasse racinaire constitue la quatrième opération. Après le lavage, les racines de chaque bloc sont débarrassées des débris de matières organiques et mis en sachet. Ensuite on procède à la pesée du poids frais et après séchage à celle du poids sec.

Les données ainsi obtenues ont permis de déterminer de façon beaucoup plus précise la biomasse totale du système racinaire de l'espèce.

Dans un premier temps il était prévu d'étudier le système racinaire de deux pieds d'*Andropogon gayanus* comme indiqué par le schéma 4.

Schéma 4 : *Echantillonnage du système racinaire à partir de la méthode de prélèvement des blocs (20 x 20 cm) de profondeur (vue de profil)*

A partir des résultats obtenus sur la répartition symétrique du système racinaire : il a été procédé au prélèvement d'une fraction de 1/4 de quatre pieds d'*Andropogon gayanus* pris ensemble selon le schéma 5.

[Schéma 5.](#) Situation d'une parcelle d'Andropogon et la méthode de prélèvement de quatre fractions de 1/4 de quatre pieds pris ensemble.

[Chapitre 4 et 5](#)

[Annexes](#)

Rapports PPS N° 19 (Chapitre 4 et 5)

Utilisation des éléments nutritifs par une graminée pérenne : *Andropogon gayanus*

[Table des matières.](#)

[Chapitre 1-3.](#)

[Annexes](#)

4. Résultats obtenus et discussions

4.1. Taux de recouvrement des éléments nutritifs : analyse de l'application des engrais

4.1.1. La production de matière sèche et la distribution des éléments nutritifs

4.1.1.1. Courbe de croissance de la biomasse aérienne et racinaire au cours du cycle de développement

Les résultats présentés ici traitent les données de l'essai n°3 sur la détermination des paramètres de développement de *Andropogon gayanus*.

Biomasse aérienne en 1993

Tableau 6. Evolution de la biomasse aérienne totale ($t\ ha^{-1}$) et sa répartition entre organes (%) de l'*Andropogon gayanus* au cours de la saison de pluies 1993 à Cinzana et N'Tarla pour le témoin et la dose maximale N4P4

Localité Traitement	Stade	Production totale $t\ ha^{-1}$	Feuilles vertes %	Feuilles sèches %	Tiges vertes %	Epis %
CINZANA Témoin	21/08	2,8	54	--	46	--
	16/09	5,8	40	--	60	--
	22/10	6,6	20	4	75	1
	23/11	7,3	4	9	85	3
	20/12	4,7	--	12	87	0
N ₄ P ₄	20/08	1,1	56	--	43	--
	15/09	5,2	47	--	53	--
	21/10	4,8	21	6	73	--
	22/11	4,0	8	7	86	--
	20/12	4,7	15	--	84	0
	05/08	2,5	52	1	47	--

N'TARLA	07/09	8,3	30	2	68	--
Témoin	13/10	11,9	14	4	77	5
	11/11	12,2	5	7	81	6
	10/12	10,1	3	8	84	5
	06/08	1,8	54	0	45	--
N ₄ P ₄	08/09	10,0	27	1	73	--
	14/10	16,6	17	4	75	4
	12/11	16,7	3	9	84	4
	11/12	17,7	2	13	81	3

L'illustration de ces données est montrée dans [Fig. 4](#) et [Fig. 5](#).

La position géographique des deux stations montre un décalage de presque deux semaines de végétation entre les peuplements de N'Tarla (plus au Sud) et de Cinzana (Nord-Est).

L'analyse du Tableau 6 montre qu'à Cinzana la quantité de biomasse aérienne produite à différentes dates de récolte est plus élevée chez le témoin que chez le traitement avec la dose maximale (N₄P₄) surtout aux stades floraison et fructification, même si en fin de cycle on obtient les mêmes quantités. L'écart de production observé entre le témoin et la dose maximale n'est pas normal et démontre une absence quasi totale de réponse de l'application de N et de P à des doses si fortes, comme montré par la [Fig. 4](#) (7 contre 4,7 t de MS).

Concernant la répartition de la biomasse entre les différents organes, on constate que la fraction constituée par les feuilles vertes diminue au cours du cycle. Par contre celle des tiges et des feuilles sèches augmente. La fraction constituée par les épis a été très basse, 3 % pour le témoin et 0 % pour la dose maximale, ce qui pourrait être imputé au déficit pluviométrique enregistré en 1993 ainsi que sa mauvaise répartition (580 mm contre une moyenne de 620 mm). Cependant contrairement aux résultats enregistrés par le PPS ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)), on constate que la production obtenue est en deçà des quantités obtenues (9 à 10 t de MS ha⁻¹). Quatre raisons peuvent être évoquées pour expliquer les résultats ainsi obtenus.

La première concerne l'hétérogénéité de la parcelle qui se trouve en bas de pente avec présence de cuirasse dont la profondeur (120 à 140 cm) varie d'un endroit à un autre. Ceci a pour conséquence de modifier l'infiltration d'eau et le bilan hydrique suite au ruissellement en surface et au drainage en profondeur qui se produisent. Cette situation a probablement entraîné une diminution du stock d'eau du sol qui a beaucoup joué sur la croissance et le développement de la plante. L'*Andropogon gayanus* n'étant pas dans de bonnes conditions pour extérioriser ses potentialités de production, il est clair que l'application de l'engrais quelque soit la dose n'aurait pas un effet escompté. Ce qui peut expliquer en partie les résultats aberrants obtenus.

La seconde raison porte sur l'historique de la parcelle qui révèle d'une part qu'elle était en jachère depuis plus de 10 ans. Tout juste avant la mise en place de l'essai, il a été procédé à une défriche puis au brûlis des résidus. Les cendres ont ensuite été dispersés à travers le champs, ce qui constituait déjà une source non négligeable de phosphore et de potassium. Durant cette action, l'azote perdu par volatilisation (avec le feu) a été compensé par le processus de décomposition et de minéralisation de la matière organique du sol, notamment les nombreuses racines des ligneux et herbacées éliminées. Dans ces conductions il y a production de l'azote et du phosphore dans les conditions d'humidité suffisante, produit du fourrage d'excellente qualité pendant la saison sèche. La quantité de rept leur rôle. Par ailleurs la présence de la matière organique fraîche dans le sol entraîne l'immobilisation d'une partie de l'azote et du phosphore apporté lors de la fertilisation ce qui contribue à diminuer leur efficacité d'utilisation. Ceci expliquerait une absence de réponse de l'engrais appliqué. Malheureusement cette conclusion se trouve être en contradiction avec

les résultats d'analyse de sol qui montrent une certaine pauvreté du sol en azote, phosphore et en matière organique (Tableau 3). Mais suite aux arguments avancés sur la qualité de ces résultats il est difficile de ne pas pouvoir prendre en compte ce second raisonnement.

La troisième raison qu'on pourrait avancer sur le manque de réponse de la plante à l'application d'azote et de phosphore porte sur l'analyse de la répartition de la pluviosité en 1993. Ceci nous révèle que les quantités de pluies tombées ont été très mal réparties dans le temps et dans l'espace (cf [Annexe 1](#)), le phénomène a été aggravé par un arrêt brutal des pluies dès la deuxième décennie de Septembre. L'absence d'épis sur les plantes en Décembre en est une illustration flagrante et montre qu'il y a eu arrêt de la croissance et du développement de l'*Andropogon gayanus* suite au déficit hydrique. Ce qui pourrait expliquer en partie les résultats obtenus notamment la légère dominance du témoin sur la dose maximale. Les résultats montrent que l'engrais appliqué n'a pas été utilisé par les plantes pour la production des organes souhaités et il est connu également qu'en absence d'une humidité suffisante, une fraction importante de l'engrais peut se perdre. Si cela n'est pas possible avec le phosphore (non mobile) il n'en est pas de même avec l'azote. On enregistre souvent des pertes pouvant atteindre 20 % en moyenne ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) dans les conditions normales. Et au cours des années avec des périodes sèches comme en 1993, il est clair que les pertes peuvent être beaucoup plus importantes.

Enfin la quatrième et dernière raison pouvant expliquer le manque de réponse serait liée à la technique d'application de l'engrais notamment l'apport à la volée de l'azote suivi d'un enfouissement rapide. Ceci peut engendrer souvent des pertes assez importantes de l'ordre de 30 % et toute perte d'éléments nutritifs peut être interprétée comme défavorable à une réponse des engrais apportés. Les conditions dans lesquelles l'essai a été mené ainsi que la mauvaise répartition pluviométrique font qu'il est très difficile de privilégier un facteur par rapport à un autre. Nous pensons que c'est plutôt la conjugaison des facteurs qui ont engendré cette situation.

Figure 4. Comparaison des courbes de croissance de l'Andropogon gayanus à différents stades de développement à Cinzana en 1993 entre le témoin et la dose maximale N₄P₄.

A N'Tarla malgré des dates de récolte plus précoces, les résultats obtenus (Tableau 6 et [Fig. 5](#)) montrent le contraire de ce qui a été observé à Cinzana avec un effet net de l'application de N et P par rapport au témoin. En effet, pour chaque date de récolte retenue, on constate qu'en dehors de la première date (début de croissance) la quantité de biomasse produite avec N₄P₄ aux autres dates dépasse largement celle obtenue avec le témoin. L'accroissement de la production se poursuit jusqu'à la fin du cycle de développement de la plante pour atteindre une production maximale de 17,6 t de MS ha⁻¹. Avec le témoin la production maximale est atteinte pendant la période de fructification et est de 12 t de MS ha⁻¹. Après cette date, on observe une diminution réelle de la quantité de biomasse produite. Ce qui permet de conclure que l'application de N et de P permet d'allonger un peu plus le cycle de développement de la plante et de produire 5,6 t de MS ha⁻¹ de plus que le témoin.

Concernant la répartition de la biomasse entre les différents organes, on constate la même tendance observée à Cinzana avec cependant une date d'apparition de feuilles sèches plus précocement. Par ailleurs la fraction constituée par les épis est un peu plus importante à N'Tarla. On constate que la fraction d'épis du témoin comme à Cinzana est légèrement plus importante que celle de la dose maximale. Ce qui est lié à l'effet de l'application de l'engrais qui comme nous l'avons vu, permet d'allonger le cycle de développement. Le même phénomène est observé sur les plantes cultivées comme le mil et le sorgho. On constate qu'en condition de déficit pluviométrique le champ non fertilisé donne plus de graines que le champ fertilisé car l'utilisation du stock d'eau est plus intense avec la plante fertilisée à cause d'une biomasse végétale importante avec des besoins importants en eau, ce qui entraîne un épuisement rapide du stock d'eau.

Donc au cours d'une année à pluviométrie déficitaire comme c'était le cas en 1993 à N'Tarla (700 mm contre une moyenne de 900 à 1000 mm) il était tout à fait normale que la production de graines diminue fortement. Par ailleurs avec une pluviosité de 700 mm on devrait s'attendre à une production de plus ou moins 14 t de MS ha⁻¹ ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)). Le témoin est bien au dessous de ce niveau et N₄P₄ au dessus. Comme à Cinzana, c'est surtout la mauvaise répartition des pluies qui a beaucoup joué sur la production de l'épi. L'essai à N'Tarla était installé sur un sol sablo-limoneux. Cependant, à la différence de Cinzana, le terrain semblait plus ou moins homogène avec une surface plate sans pente. Le sol y est également très profond et la cuirasse se trouve au delà de 3m. Enfin, la présence de *Andropogon gayanus* sur la même parcelle pendant plus de 40 ans, à amener une situation d'équilibre due à une recirculation interne des éléments nutritifs entre la graminée pérenne et le sol.

Egalement la présence de nombreuses racines superficielles denses entraîne une meilleure utilisation des éléments nutritifs à N'Tarla. Ceci est confirmé par les travaux de L. Cissé, (1989) qui montrent que la densité élevée des racines superficielles entraîne une diminution des pertes d'éléments nutritifs par lessivage et cela bien avant qu'on obtient un taux de matière organique suffisamment élevé pour influencer la capacité de rétention d'eau du sol.

On constate que la quantité de biomasse aérienne de la dose maximale N,P,K est plus élevée que celle du témoin à presque toutes les dates. En outre, l'augmentation de la biomasse est plus rapide en début de croissance chez le NPK maximale que le témoin et cela jusqu'à la date de 50 % de floraison. Après cette date on observe que l'écart de production se réduit entre les deux traitements : 24 contre 23 t pour respectivement le témoin et le traitement avec la dose maximale à la date 50 % fructification et 20 et 23 respectivement pour témoin et NPK maximale à la date de fin de cycle. L'ensemble de ces observations suggère que la biomasse maximale est atteinte au cours de la période entre 50 % floraison et 50 % fructification. Des résultats identiques ont été obtenus avec beaucoup d'autres espèces de la région ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)).

Le grand écart entre la date T2 et les autres est surtout lié à une certaine hétérogénéité au sein du peuplement qui est en place depuis plus de 40 ans. Autrement de telle différence ne s'explique pas surtout si l'on sait que la méthode d'échantillonnage n'a pas été adéquate (blocs randomisés incomplets).

Biomasse aérienne en 1994

[Figure 5](#). Comparaison des courbes de croissance de *Andropogon gayanus* à différents stades de développement à N'Tarla en 1993 entre le témoin et la dose maximale N₄P₄.

Tableau 7. Evolution de la biomasse aérienne totale (t ha⁻¹) et sa répartition entre les organes (%) de *Andropogon gayanus* au cours de la saison de pluies 1994 à N'Tarla pour le témoin et la dose maximale N₄P₄K₄.

Localité Traitement	Stade	Production totale t ha ⁻¹	Feuilles vertes %	Feuilles sèches %	Tige verte %	Gaine %	Epis %
N'Tarla	12/07	0,9	57	3	40	--	--
	08/08	5,7	87	10	3	--	--
Témoin	22/08	4,8	72	1	3	24	0
	10/10	10,9	16	3	58	19	4
	07/11	24,0	13	4	62	14	7
	07/12	20,1	2	9	65	16	8

N'Tarla	12/07	0,9	57	3	40	--	--
	10/08	22,3	45	1	20	34	0
N ₄ P ₄ K ₄	23/08	10,3	42	0	17	41	0
	11/10	26,4	16	2	63	17	2
	08/11	23,0	7	4	69	10	10
	08/12	22,9	0	4	73	18	5

L'illustration de ces données (Tableau 7) est montrée dans la Fig. 6.

La production moyenne des trois dernières dates donne 18 t de MS pour le témoin et 24 t de MS pour NPK max soit un écart de 6 t de MS ha⁻¹.

Concernant la répartition de la biomasse entre les différents organes, on constate qu'en dehors des feuilles vertes qui diminuent au cours de l'évolution du cycle de développement, la fraction des autres organes augmente pendant la même période.

Comme en 1993, on constate que l'application de l'engrais accélère la croissance et le développement générale de la plante tout en prolongeant un peu plus le cycle de développement.

Figure 6. Comparaison des courbes de croissance de l'Andropogon gayanus à différents stades de développement à N'Tarla en 1994, entre le témoin et les doses maximales N4P4K4.

Biomasse racinaire en saison pluvieuse 1993

Les quantités présentées ici sont corrigées pour 35 % de pertes pendant le lavage au cours des différentes manipulations (Grzebisz *et al.*, 1989).

L'évolution de la biomasse racinaire (t ha⁻¹) à Cinzana comme à N'Tarla ne montre pas une tendance claire, ce qui rend la comparaison très difficile dans le temps et entre les traitements. En effet, le cumul des quantités de biomasse racinaire (t ha⁻¹) ne montre pas une augmentation dans le temps même si souvent à la fin du cycle on observe des quantités relativement élevées qui du reste sont très variables (Figs 7, 8, 9, 10).

Par ailleurs la comparaison du témoin à la dose maximale ne montre pas également une tendance claire due à l'application de N et P à Cinzana, comme à N'Tarla . [Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#) ont trouvé que la densité des racines, le poids par couche, ainsi que leur distribution ne changent pas d'une façon significative avec l'application des engrais sur les sols sablonneux et argileux au ranch de Niono. Ce qui montre qu'avec l'application de l'engrais la biomasse racinaire varie peu et est donc indépendante de la fertilité du sol au dessus d'un certain seuil. L'explication physiologique du phénomène n'est pas connue. Par contre on observe une différence entre les quantités de biomasse racinaire produite dans les deux localités. En effet de façon générale le témoin et la dose maximale à Cinzana donnent des quantités de biomasse racinaire plus élevées qu'à N'Tarla et cela à presque toutes les dates, ce qui serait due à l'âge du peuplement. Il est fort probable que l'*Andropogon gayanus* durant les premières années d'installation investirait beaucoup plus dans la formation du système racinaire qu'un peuplement plus âgé. Ceci a été confirmé par les travaux de Dieng *et al.* (1991) qui ont constaté qu'en première année de culture, les plantules d'*Andropogon gayanus* investissent plus dans le développement du système racinaire ainsi que dans la formation des talles.

Des résultats similaires ont été obtenus en 1992 et en 1993 à Cinzana et à N'Tarla à partir de deux techniques de prélèvements différents (Traoré, 1993, 1995 paragraphe 4.111).

Tableau 8. Evolution de la biomasse racinaire totale (t ha⁻¹) et sa répartition en fonction de la profondeur (%) de l'Andropogon gayanus au cours du cycle de développement à Cinzana et à N'Tarla en 1993.

Localité traitement Sol	Profondeur (cm)	Stade de développement				
		T1 %	T2 %	T3 %	T4 %	T5 %
Cinzana Sa Témoin	0-20	50	52	54	54	51
	20-40	14	18	14	14	16
	40-60	17	11	13	12	15
	60-80	11*	11*	11*	11	10
	80-100	8*	8*	8*	9	8
	Cumul(t ha ⁻¹)	4,4	4,2	5,4	5,6	6,4
Cinzana N ₄ P ₄	0-20	66	61	57	53	68
	20-40	11	17	17	17	13
	40-60	8	7	11	12	8
	60-80	7*	7*	7*	9	5
	80-100	8*	8*	8*	9	6
	Cumul(t ha ⁻¹)	6,2	4,5	3,7	3,5	5,2
N'Tarla Sa-Li Témoin	0-20	67	64	67	74	69
	20-40	17	19	17	13	14
	40-60	8	9	8	5	8
	60-80	5*	5*	5*	5	6
	80-100	3*	3*	3*	3	3
	Cumul(t ha ⁻¹)	1,5	2,8	3,6	4,1	2,4
N'Tarla N ₄ P ₄	0-20	78	69	71	69	75
	20-40	8	16	13	14	11
	40-60	4	5	6	7	6
	60-80	6*	6*	6*	6	5
	80-100	4*	4*	4*	4	3
	Cumul(t ha ⁻¹)	0,9	3,3	1,7	2,6	4,3

N.B. :* Les chiffres avec le signe astéris ont été calculés par estimation à partir des quantités mesurées aux dates T4 et T5. Ainsi pour la correction de la biomasse racinaire de la 4ème couche à la date T1, il a été procédé à la détermination du pourcentage de la biomasse racinaire de la couche correspondante pour la date T4. Ensuite, ce pourcentage a été multiplié par la biomasse racinaire totale mesurée à la date T1.

Concernant la répartition (%) du système racinaire, on constate que l'évolution avec la profondeur est très régulière et conséquente. Les pourcentages enregistrés aux différents stades montrent la même tendance que ce soit à Cinzana comme à N'Tarla, à savoir une diminution de la biomasse racinaire, avec la profondeur. On constate que entre 70 et 80 % des racines à Cinzana sont dans la couche 0-40 cm et près de 85 % pour N'Tarla (Figs 7a à 7e ; 8a à 8e ; 9a à 9e et 10a à 10e).

Figure 7. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement à Cinzana en 1993, Témoin.

Figure 8. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement, Cinzana 1993, N4P4

Figure 9. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement à N'Tarla en 1993, Témoin.

Figure 10. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement à N'Tarla en 1993, N4P4. Biomasse racinaire en saison sèche 1993 et 1994.

L'étude du système racinaire pendant la saison sèche a été effectuée en 1993 et en 1994 uniquement à N'Tarla à partir de deux techniques de prélèvement différent. En 1992 - 1993, la technique de prélèvement de monolithe a été utilisée (Traoré, 1993) par contre en 1994, la méthode des blocs a été adoptée.

Tableau 9. Evolution de la biomasse racinaire vivante (kg ha^{-1}) de l'Andropogon gayanus et sa répartition par classe de diamètre pendant la saison sèche 1993 à N'Tarla pour le témoin (méthode monolithe).

Couche (cm)	Diamètre (mm)	Stade de developpement				
		10/10/92	15/01/93	15/03/93	15/04/93	15/05/93
00- 60	>2	1734	412	109	184	36
00- 60	<2	5005	4232	2927	3095	2021
60-120	<2	131	242	383	325	335
120-180	<2	74	203	223	117	311
Cumul	-	6943	5089	3643	3722	2703

Ces données sont illustrées dans la Fig. 11.

Figure 11. Evolution de la biomasse racinaire vivante (kg ha^{-1}) de l'Andropogon gayanus pendant la saison sèche à N'Tarla en 1993, Témoin.

A la fin du mois d'Octobre dès l'arrêt des pluies, on observe une diminution de la biomasse des racines vivantes. Cette diminution continue se poursuit et s'accroît pendant toute la période de saison sèche comme cela est montrée dans la Fig. 11. Si nous prenons la biomasse en Octobre comme le pic de la courbe de croissance du système racinaire la fraction qui meurt au cours de la saison sèche est de 27 % en Janvier, 47 % en Mars, 46 % en Avril et 61 % au mois de Mai. Comme on peut le constater plus de la moitié des racines meurent à la fin de la saison sèche soit à peu près une quantité équivalente à $4,2 \text{ t de MS ha}^{-1}$.

Les quantités de biomasse racinaire obtenues à partir de cette méthode (technique monolithe) surestime la production totale des racines de près de 50 % (Groot & Traoré, 1995).

C'est pour cette raison que durant la saison sèche 1994, l'utilisation de la méthode des blocs donne des quantités de biomasse racinaire totalement différentes de celles obtenues en 1993 comme nous allons le voir par la suite. Mais l'utilisation du facteur de correction de 50 % (Groot & Traoré, 1995) avec les résultats de 1993 donne des quantités de biomasse racinaire presque identiques à celles de 1994.

Tableau 10. Evolution de la biomasse racinaire vivante et morte (kg ha^{-1}) de l'Andropogon gayanus pendant la

saison sèche 1994 à N'Tarla pour le témoin (méthode de blocs).

RACINE VIVANTE (kg ha ⁻¹)							
Profondeur (cm)	21/01	14/02	29/03	27/04	24/05	17/06	04/07
00-20	4024	750	3312	698	246	587	1386
20-40	411	207	154	208	108	81	153
40-60	351	150	94	217	95	67	48
60-80	245	140	72	122	76	42	70
80-100	150	100	73	89	63	24	32
Cumul	5180	1346	3706	1333	588	800	1690
RACINE MORTE (kg ha ⁻¹)							
00-20	333	969	2718	1158	567	226	159
20-40	113	61	151	70	88	13	38
40-60	65	27	63	50	59	10	7
60-80	67	37	53	42	22	4	8
80-100	88	27	29	25	4	2	3
Cumul	666	1122	3014	1345	740	254	215
Total (t ha ⁻¹)	5,8	2,4	6,7	2,6	1,3	1,0	1,9

Comme en 1993, en 1994 on observe une diminution de la biomasse racinaire pendant toute la période de saison sèche jusqu'en fin Mai, (Fig. 12).

En considérant la biomasse totale du système racinaire (racines vivantes et mortes) pendant la saison sèche, la fraction qui meurt en Janvier est de 11 %, 45 % en Février, 44 % en Mars, 50 % en Avril et 55 % en Mai. Après cette période avec l'arrivée des premières pluies la biomasse des racines mortes commence à diminuer tandis que celle des racines vivantes augmente. C'est ainsi qu'en Juin la fraction morte tombe jusqu'à 24 %, 11 % en Juillet et 6 % en Août, (Fig. 12).

Là également, on constate qu'un peu plus que la moitié des racines meurent à la fin de la saison sèche soit une quantité équivalente à 0,74 t de MS ha⁻¹.

Par ailleurs on constate qu'une importante fraction des racines mortes n'est pas récupérée quelque soit la méthode de prélèvement utilisée. Ceci suggérerait un « turn over » rapide qui exigerait un sol relativement humide. La présence de nombreuses repousses à N'Tarla pendant les saisons sèches 93 et 94 montre que le sous sol contiendrait un stock d'eau suffisant que expliquerait ce phénomène de « turn over » (décomposition permanente des racines).

On peut conclure que quelque soit la méthode de prélèvement utilisée plus de 50 % des racines meurent et contribuent à la formation du stock de matière organique du sol.

Biomasse racinaire en saison pluvieuse 1994

Le Tableau 11 donne la répartition de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur au cours du cycle de développement à N'Tarla (essai n°3). Les quantités présentées sont corrigées pour 35 % de pertes au cours du lavage.

Tableau 11. Evolution de la biomasse racinaire ($t\ ha^{-1}$) de l'*Andropogon gayanus* et sa répartition (%) en fonction de la profondeur et du stade de développement à N'Tarla en 1994.

Localité traitement	Profondeur (cm)	Stade de développement					
		T1 %	T2 %	T3 %	T4 %	T5 %	T6 %
N'Tarla	0- 20	72	69	70	74	73	71
	20- 40	13	10	8	8	8	9
Témoin	40- 60	6	10	8	9	7	8
	60- 80	6	7	8	5	6	6
	80-100	3	4	6	4	6	6
	Cumul ($t\ ha^{-1}$)	2,1	1,8	1,9	2,9	3,4	2,3
N'Tarla	0- 20	*72	75	76	78	79	70
	20- 40	13	10	8	9	8	12
NPKmax	40- 60	6	6	5	6	5	7
	60- 80	6	5	6	4	4	6
	80-100	3	4	5	3	3	5
	Cumul ($t\ ha^{-1}$)	2,1	2,5	2,5	2,3	3,6	3,9

L'illustration des données (des Tableaux 10 et 11) est montrée dans la Fig. 12.

N.B. :* T1 NPKmax est en fait le témoin (sans fertilisation). Il a été choisit comme de point de départ des observations (essai n°3) pour les deux traitements.

Comme en 1993, en 1994, l'évolution de la biomasse racinaire à N'Tarla ne montre pas une tendance claire. En effet on constate que les quantités de biomasse racinaire sont très variables au cours du cycle de développement et ne montrent pas une augmentation conséquente. Par ailleurs la comparaison du témoin et de la dose maximale NPK ne montre pas un effet lié à l'application de l'engrais même si les quantités obtenues sont légèrement plus élevées avec la fertilisation (Fig. 12). Ce qui démontre une fois de plus que l'application de N, P et K n'entraîne pas obligatoirement une augmentation de la biomasse racinaire et qui confirme une fois de plus notre première conclusion sur le manque d'effet lié à l'utilisation des engrais sur la production de la biomasse racinaire.

Quant à la répartition de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur, les pourcentages obtenus sont presque identiques à ceux de 1993 à N'Tarla avec la même méthodologie de prélèvement (blocs). On observe une diminution régulière avec la profondeur. Aussi les pourcentages dans la couche 0-40 sont dans l'ordre de 85 % pour les deux traitements.

*Figure 12. Evolution de la quantité de biomasse racinaire vivante et morte ($kg\ ha^{-1}$) de l'*Andropogon gayanus* au cours de l'année (pendant la saison sèche et l'hivernage) à différents stades de développement à N'Tarla en 1994 pour le témoin et de NPKmax.*

4.1.1.2. Evolution de la biomasse totale ($t\ ha^{-1}$) et sa répartition entre les différents organes (%) en fonction de la date, de la pluviométrie ($mm\ an^{-1}$) et de la dose d'engrais à Cinzana et à N'Tarla en 1993 et 1994 (Essai n°3)

Le cumul de la biomasse aérienne plus racinaire ($t\ ha^{-1}$), contrairement aux deux fractions prises séparément, montre une augmentation de la biomasse totale jusqu'à la période de fructification pour tous les traitements à Cinzana et à N'Tarla en 1993 et 1994 (Tableaux 12 et 13).

En 1993, la durée de la croissance entre le début des observations et la période de production optimale a été de 95 jours pour le témoin à Cinzana avec 5,7 t de MS ha⁻¹ produite (12,9 -7,2) soit 60 kg MS j⁻¹. Pour la dose maximale, la durée de croissance est de 122 jours avec 2,6 t de MS ha⁻¹ produite soit 21 kg de MS par jour. Ce résultat semble être une grande aberration et ne peut trouver une explication que dans la mauvaise répartition de la pluviométrie en 1993 avec des périodes sèches souvent assez longues. La répartition de la biomasse totale entre les différents organes est presque identique avec et sans engrais hormis qu'on observe encore à la fin du cycle de développement de la plante quelques feuilles vertes sur la parcelle fertilisée. Enfin la fraction constituée par les épis est insignifiante (1 à 2 %), ce qui montre clairement qu'il y a eu un arrêt de la croissance à Cinzana à l'époque de la floraison. Ce qui pourrait expliquer les chiffres trop bas obtenus. Le rapport moyen entre la biomasse aérienne et racinaire varie entre 1,04 et 1,80.

La même année à N'Tarla, la durée de la croissance observée sur le témoin est de 98 jours avec 12,3 t de MS produite, soit 125 kg de MS j⁻¹. Pour la dose maximale, la durée de croissance est de 126 jours avec 19,3 t de MS ha⁻¹ produite, soit 153 kg de MS par jour. On observe un écart important entre les deux traitements due à l'application d'azote et de phosphore. L'application d'azote et de phosphore a entraîné un allongement de la durée de la croissance, ce qui a permis de produire 5,7 t de MS de plus par rapport au témoin. Quant à la répartition entre les différents organes, elle est presque identique pour les deux traitements. Là également on constate que les épis ne constituent que 4 %, ce qui est un chiffre bas dans les conditions normales (10 à 15 %) selon [Penning de Vries & Djitéye, \(1982\)](#). La faible production de l'épi est liée d'une part à un ralentissement de la croissance suite à une mauvaise répartition des pluies dans le temps et d'autre part au déficit pluviométrique observé (704 contre une moyenne de 900 à 1 000 mm an⁻¹). Le rapport BR/BA est en moyenne 0,30.

Tableau 12. Evolution de la biomasse totale (t ha⁻¹) et sa répartition entre les différents organes (%) en fonction des dates et de la pluviométrie (mm an⁻¹) pour le témoin et la dose maximale à Cinzana et à N'Tarla en 1993.

Localité traitement	Année	Pluie mm an ⁻¹	Stade	Production totale t ha ⁻¹ BA + BR	Feuille verte %	Feuille sèche %	Tige verte %	Epis %	Racine %	BR BA
Cinzana Témoin	1993	580	21/08	7,2	21	-	18	-	61	1,57
			16/09	10,0	23	-	35	-	42	0,72
			22/10	12,0	11	2	41	1	45	0,81
			23/11	12,9	2	5	47	2	44	0,76
			20/12	11,1	-	5	36	1	58	1,36
										Moyenne	1,04
Cinzana N ₄ P ₄	1993	580	20/08	7,3	9	-	6	-	85	5,63
			15/09	9,7	25	-	28	-	47	0,86
			21/10	8,5	11	4	41	-	44	0,77
			22/11	7,5	4	4	45	-	47	0,87
			20/12	9,9	7	-	40	1	52	1,10
										Moyenne	1,84

N'Tarla Témoin	1993	704	05/08	4,0	33	1	28	-	38	0,60
			07/09	11,1	23	1	51	-	25	0,33
			13/10	15,5	11	3	59	4	23	0,30
			11/11	16,3	4	6	61	4	25	0,33
			10/12	12,5	2	7	68	4	19	0,23
			Moyenne							
N'Tarla N ₄ P ₄	1993	704	06/08	2,7	37	-	30	-	33	0,50
			08/09	13,3	20	1	54	-	25	0,33
			14/10	18,3	15	4	68	4	9	0,10
			12/11	19,3	3	8	72	4	13	0,15
			11/12	22,0	2	10	65	3	20	0,24
			Moyenne							

*BR = Biomasse Racinaire

* BA = Biomasse Aérienne

En effet la bonne pluviométrie de 1994 (1140 mm an⁻¹) a permis une nouvelle amélioration du niveau de production à N'Tarla. D'une manière générale, on constate que la durée de la croissance a augmenté pour les deux traitements. Le témoin avec 119 jours donne 24,4 t de MS ha⁻¹ soit 205 kg de MS par jour. Avec la dose maximale de N, P, K plus oligo-éléments, la durée de la croissance est de 147 jours avec une production moyenne de 27 t de MS ha⁻¹ (pour les trois dernières dates) soit 186 kg de MS par jour. Malgré les légères variations de part et d'autre (témoin et dose maximale), on constate que les productions optimales obtenues sont presque égales. Le seul avantage lié à l'application de l'engrais est qu'il prolonge le cycle, ce qui a été observé également en 1993. La répartition entre les organes donne des pourcentages identiques avec les deux traitements. Le rapport entre la biomasse hypogée et épigée est en moyenne de 0,50 pour les deux. Par ailleurs la fraction constituée par les épis a encore augmenté et varie entre 8 et 9 %.

Tableau 13. Evolution de la biomasse totale (t ha⁻¹) et sa répartition entre les différents organes (%) en fonction des dates et de la pluviométrie (mm an⁻¹) pour le témoin et la dose maximale à N'Tarla en 1994.

Localité traitement	Année	Pluie mm an ⁻¹	Stade	Production totale t ha ⁻¹ BA + BR	Feuille verte %	Feuille sèche %	Tige verte %	Gaine verte %	Epis %	Racine %	BR BA
N'Tarla Témoin	1994	1 143	12/07	3,0	17	1	12	-	-	70	2,30
			08/08	7,5	66	8	2	-	-	24	0,31
			22/08	6,7	52	1	2	17	-	28	0,39
			10/10	13,8	13	2	46	15	3	21	0,26
			07/11	27,4	11	4	54	12	7	12	0,14
			07/12	22,4	2	8	58	14	8	10	0,11
			Moyenne								
N'Tarla NPKmax	1994	1 143	12/07	3,0	17	1	12	-	-	70	2,30
			10/08	24,8	40	1	18	31	-	10	0,11
			23/08	12,8	34	-	14	33	-	19	0,24
			11/10	28,7	15	2	58	15	1	9	0,08
			08/11	26,6	6	3	60	9	9	13	0,15
			08/12	26,8	-	4	63	15	4	14	0,17
			Moyenne								

N.B * BR = Biomasse Racinaire

* BA = Biomasse Aérienne

Pour conclure, on constate qu'en 1993, le déficit pluviométrique et la mauvaise répartition ont beaucoup influencé les résultats obtenus à Cinzana et à N'Tarla. S'il est difficile de parler de déficit à Cinzana avec une variation de seulement 10 %, l'absence quasi totale d'épis (1 %) montre qu'il y a bien eu un ralentissement sinon un arrêt de la croissance à l'époque de la floraison. Les biomasses obtenues à N'Tarla incitent à tirer les mêmes conclusions, en effet, le déficit pluviométrique est de l'ordre de 42 % et la fraction basse de l'épi de 4 % observée montre qu'il y a eu une mauvaise répartition des pluies provoquant un arrêt de la croissance. Le faible écart observé entre le témoin et la dose maximale serait lié à la fois au déficit pluviométrique et à sa mauvaise répartition. La conséquence directe de cette situation sur l'application des engrais, est une diminution sinon un arrêt de l'absorption des éléments nutritifs concernés pendant la dite période. Dans ces conditions il est clair qu'on ne devrait point s'attendre à de grandes différences entre le témoin et la dose maximale.

Cette argumentation est confirmée par les résultats de 1994 obtenus dans des conditions de bonne pluviométrie dans l'espace et dans le temps. Les quantités de biomasses obtenues ainsi que celle des épis ont toutes augmentées au niveau des deux traitements même si l'écart entre le témoin et la dose maximale n'est pas assez grande (près de 2 t de MS de différence). On pourrait lier ce phénomène à l'hétérogénéité de la distribution des pieds dans les parcelles (problème de peuplement naturel). La grande variabilité constatée dans le rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne serait également liée à cette situation.

4.1.1.3. Evolution de la surface foliaire au cours du cycle de développement en 1993 et 1994 (Essai n°3)

Tableau 14. Surface foliaire de l'*Andropogon gayanus* au niveau du témoin et de NP et ou Kmax à Cinzana et à N'Tarla en 1993 et 1994.

Localité traitement	Observations biomasse	Stade de développement				
		T1	T2	T3	T4	T5
1993 Cinzana Témoin	SLA (cm ² g ⁻¹)	140	128	125	164	99
	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	1320	2491	1686	594	263
	LAI	1,8	3,2	2,1	1,0	0,3
	* Biomasse feuilles/LAI	733	778	802	594	877
Cinzana N ₄ P ₄	SLA (cm ² g ⁻¹)	200	185	132	123	122
	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	1001	2634	2835	571	416
	LAI	2,0	4,9	3,8	0,7	0,5
	* Biomasse feuilles/LAI	501	537	746	816	832
1993 N'Tarla Témoin	SLA (cm ² g ⁻¹)	199	167	141	101	-
	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	1507	2328	1291	295	-
	LAI	3,0	3,9	1,8	0,3	-
	* Biomasse feuilles/LAI	502	597	717	983	-
N'Tarla N ₄ P ₄	SLA (cm ² g ⁻¹)	174	154	131	113	112
	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	606	2463	985	303	732
	LAI	1,1	3,8	1,3	0,3	0,8
	* Biomasse feuilles/LAI	551	648	758	1010	915

1994 N'Tarla Témoin	SLA (cm ² g ⁻¹)	-	136	123	115	95
	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	527	4996	3499	1776	3089
	LAI	-	6,8	4,3	2,0	2,9
	* Biomasse feuilles/LAI	-	735	814	888	1065
N'Tarla N ₄ P ₄ K ₄	SLA (cm ² g ⁻¹)	-	168	131	134	106
	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	527	10027	4362	4284	1551
	LAI	-	16,8	5,7	5,7	1,6
	* Biomasse feuilles/LAI	-	597	765	752	969

L'illustration de ces données est montrée dans la Fig. 13 pour Cinzana 1993 et les Figs 14 et 15 à N'Tarla pour respectivement 1993 et 1994.

[Figure 13.](#) Evolution de la surface foliaire (LAI) de l'*Andropogon gayanus* à Cinzana en 1993.

[Figure 14.](#) Evolution de la surface foliaire (LAI) de l'*Andropogon gayanus* à N'Tarla en 1993.

[Figure 15.](#) Evolution de la surface foliaire (LAI) de l'*Andropogon gayanus* à N'Tarla en 1994.

L'évolution du LAI en 1993 (Tableau 14) à Cinzana (Fig. 13) montre une surface foliaire plus grande pour N₄P₄ que pour le témoin et cela malgré une production de biomasse aérienne moins importante (Tableau 6). L'explication serait due au fait qu'après la période du début de la croissance l'azote et le phosphore apportés ont pu être absorbé en partie par la plante suite à l'humidité provoquée par les pluies de Juillet-Août. Il en ait résulté un bon développement de la plante pendant les périodes (montaison-floraison) mais qui sera perturbé plus tard par un arrêt brutal des pluies en Septembre.

A N'Tarla la même année, on observe le phénomène contraire, ce qui n'est pas du tout normale (Fig. 14).

Cette contradiction serait probablement liée aux erreurs de manipulation qu'occasionne la méthode d'échantillonnage et la représentativité des échantillons choisis. En effet, l'échantillon initial de 400 tiges est divisé en deux lots de 200, puis l'un des lots est divisé aussi en deux parties de 100, puis en deux sous échantillons de 50 tiges. L'un a été utilisé pour déterminer la répartition de la biomasse entre les organes et l'autre pour la mesure du LAI après défoliation des tiges. Il est souvent difficile au cours d'un processus aussi long d'éviter certaines erreurs surtout si le travail est exécuté par plusieurs personnes. Egalement il faut noter le problème d'hétérogénéité constaté au niveau des parcelles (peuplement naturel). Enfin il y a le problème de représentativité du sous-échantillon constitué par 50 tiges car le nombre de feuilles varie en fonction de l'âge de la tige (ou talle). Une tige jeune n'a pas forcément le même nombre de feuille qu'une tige âgée et nous avons compté jusqu'à cinq vagues de tiges chez la plante. A côté d'une telle réalité, il est clair également que les moyens humains et matériels étaient aussi insuffisant pour effectuer un échantillonnage beaucoup plus important.

En 1994, à N'Tarla on observe un LAI plus élevé pour les doses maximales de N,P,K que le témoin ce qui est tout a fait normale (Fig. 15).

La comparaison des résultats dans les deux localités montre un effet de l'application de N et de P sur l'augmentation du LAI. La contradiction observée en 1993 à N'Tarla est liée aux problèmes que nous avons évoqués. Cependant le grand écart entre les localités serait lié d'une part à la différence variétale. La systématique des deux espèces montre

que les feuilles de *bisquamulatus* à N'Tarla sont plus développées que celle du *Tridentatus* à Cinzana à cause du problème d'adaptation à la sécheresse. D'autre part, la mauvaise répartition des pluies en 1993 a également beaucoup influencé les résultats obtenus par une diminution et même un arrêt de la croissance au cours du cycle de développement. C'est pourquoi en 1994 la bonne répartition des pluies dans le temps et dans l'espace a permis d'obtenir des résultats plus intéressants. Les anomalies constatées sont à mettre surtout au compte de l'échantillonnage.

4.1.1.4. Effet de l'utilisation de l'azote et du phosphore sur la production de la biomasse aérienne

Les résultats présentés ici traitent les données de l'essai n°1 sur l'analyse et la détermination du taux de recouvrement des engrais appliqués sur *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*

Les biomasses aériennes obtenues à la fin du cycle des plantes ont été fauchées et mesurées. Les résultats sont présentés dans les Tableaux 15 et 16 respectivement pour l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum*.

Tableau 15. Effet des doses croissantes d'azote et de phosphore sur la production de la biomasse aérienne ($t\ ha^{-1}$) de l'*Andropogon gayanus* en 1993 et 1994 à Cinzana et à N'Tarla.

Traitement	Quantité ($t\ ha^{-1}$) biomasse aérienne				
	1993				1994
	Cinzana Sa	Cinzana Sa-Li BI	Cinzana Sa-Li BII	N'Tarla Sa-Li D ₂	N'Tarla Sa-Li D ₂
TEMOIN	10,6	8,5	8,5	14,2	11,5
N0-P4	6,7	6,9	12,0	15,2	13,4
N1-P4	10,3	8,3	7,2	16,2	16,2
N2-P4	8,5	9,7	10,1	13,1	16,3
N3-P4	11,8	10,9	6,7	13,7	16,6
N4-P4	10,2	6,4	7,7	17,0	18,3
TEMOIN	8,5	9,9	8,1	13,9	11,5
N4-P0	11,7	8,7	7,2	22,4	14,0
N4-P1	7,5	9,5	8,0	15,3	16,1
N4-P2	9,2	8,9	7,3	12,9	16,8
N4-P3	10,7	9,1	10,1	18,2	17,5
N4-P4	8,2	7,4	7,3	16,6	18,3

Les données des Tableaux 15 et 16 sont illustrées dans les Figs [16](#) et [17](#).

Andropogon gayanus en 1993

Sur sol sableux à Cinzana (Fig. 16a), on constate que l'azote n'apparaît pas limitatif. La production moyenne (+ P4) est égale à $9,5\ t\ ha^{-1}$. ce qui est même plus basse que le témoin. Le phosphore se comporte de la même manière, (Fig. 17a). la production moyenne (+ N4) est égale à $9,4\ t\ ha^{-1}$. Ce qui correspond sensiblement à la dose P2 égale à $9,2\ t\ ha^{-1}$. L'écart par rapport au témoin est de $0,9\ t\ ha^{-1}$ avec $22\ kg\ kg^{-1}$ de phosphore apporté.

Tableau 16. Effet des doses croissantes d'azote et de phosphore sur la production de la biomasse aérienne ($t\ ha^{-1}$) du *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994 à Cinzana et à N'Tarla.

Traitement	Quantité (t ha ⁻¹) biomasse aérienne					
	1993				1994	
	Cinzana Sa	Cinzana Sa-Li	N'Tarla Sa-Li D ₂	N'Tarla Sa-Li H ₁	N'Tarla Sa-Li BI	N'Tarla Sa-Li BII
TEMOIN	6,2	2,6	8,7	4,4	9,5	9,2
N0-P4	8,8	8,3	5,5	7,6	11,7	13,0
N1-P4	7,2	6,7	9,4	9,6	13,2	13,4
N2-P4	8,0	9,2	9,8	7,8	14,0	14,1
N3-P4	7,8	6,6	9,7	9,0	14,4	14,7
N4-P4	7,4	8,7	11,9	8,2	15,9	15,7
TEMOIN	6,2	2,6	8,7	4,4	9,5	9,2
N4-P0	7,2	5,1	8,4	10,3	11,7	12,3
N4-P1	7,7	7,0	11,4	9,8	13,8	13,5
N4-P2	8,9	6,7	10,2	9,0	14,1	13,6
N4-P3	8,7	8,1	9,4	10,2	14,6	14,4
N4-P4	7,4	8,7	11,9	8,2	15,9	15,7

Sur sol sablo-limoneux BI, (Fig. 16b) l'azote n'est pas limitatif. la production moyenne (+ P4) est égale à 8,4 t ha⁻¹. Ce qui est presque identique à la dose N1 (8,3 t ha⁻¹) et au témoin absolu (8,5 t ha⁻¹) et montre que l'apport d'azote n'engendre pas de gain par rapport au témoin. Avec le phosphore, on observe la même tendance. La production moyenne (+N4) (Fig. 17b) est de 8,7 t ha⁻¹. Ceci correspond à la dose P0 inférieure au témoin absolu. Ceci signifie que l'application du phosphore n'a pas pu engendrer de gains.

Sur sol sablo-limoneux BII, (Fig. 16b) l'azote n'apparaît pas limitatif. La production moyenne (+ P4) est de 8,7 t ha⁻¹, ce qui n'est pas très différent du témoin absolu et montre qu'on n'obtient aucun gain. Le phosphore montre la même chose. La production moyenne (+ N4) Fig. (17b) est égale à 7,9 t ha⁻¹, ce qui est même plus basse que le témoin absolu et montre qu'il n'y a pas de gain.

L'analyse des résultats au niveau des blocs I et II montre que des productions de biomasse qui diffèrent, ce qui confirme le problème d'hétérogénéité des parcelles déjà évoqué.

A N'Tarla (Fig. 16c) les résultats obtenus sur sol sablo-limoneux montrent des quantités relativement élevées au niveau de tous les traitements. Mais même là également on observe pas une augmentation en fonction des doses croissantes. On constate que l'azote n'apparaît pas limitatif. La production moyenne (+ P4) (Fig. 17c) est égale à 15 t ha⁻¹, ce qui correspond à peu près au niveau N0 avec une production plus élevée que le témoin. Dans ces conditions il est difficile de parler de gain dû à l'apport de l'azote. Avec le phosphore on observe le même phénomène et il est possible de tirer la même conclusion.

[Figure 16.](#)Dose de N (kg/ha): Cinzana/N'Tarla sol sablo-limoneux 1993/1994

[Figure 17.](#)Dose de P (kg/ha): Cinzana/N'Tarla sol sablo-limoneux 1993/1994

Andropogon gayanus en 1994

Les résultats obtenus montrent des quantités de biomasses aériennes élevées avec toutes les doses. Par ailleurs, on observe une légère augmentation de la production de biomasse aérienne en fonction des doses croissantes. L'azote apparaît légèrement limitatif, la production moyenne (+ P4) (Fig. 16d) est égale à 16,2 qui correspond à la dose N1. L'écart par rapport au témoin est de 4,7 t ha⁻¹ soit 62 kg kg⁻¹ d'azote apporté. Le phosphore également montre la même tendance. Avec une production moyenne (+ N4) (Fig. 17d) de 16,6 t ha⁻¹ qui est presque identique à la dose P2 (16,8), l'écart avec le témoin est de 5 t ha⁻¹ soit près de 126 kg kg⁻¹ de phosphore apporté.

Les conclusions qui ressortent de cette analyse montre qu'en 1993, l'application des doses croissantes d'azote et de phosphore sur *Andropogon gayanus* n'a pas montré une limitation quelconque des doses à Cinzana et à N'Tarla. Par contre en 1994, les deux éléments apparaissent limitatifs même si la limitation reste légère.

En 1993, une seule fois sur sable à Cinzana le phosphore donne un gain de 22 kg kg⁻¹ apporté. Par contre en 1994, on constate que les deux éléments ont permis d'obtenir des gains substantiels avec respectivement 62 kg kg⁻¹ pour l'azote et 126 kg kg⁻¹ pour le phosphore. Ce qui montre qu'en 1993, il y a un facteur qui a empêché l'utilisation efficace des éléments nutritifs par la plante. Les raisons évoquées comme étant à la base des résultats obtenus au niveau de l'essai n°3 restent valables ici également. Il s'agit notamment du facteur climatique en l'occurrence la mauvaise répartition des pluies en 1993. En effet de façon générale à Cinzana nous avons assisté à un dessèchement précoce de la plante au niveau de tous les sols et cela avant la fin du cycle végétatif. L'absence de formation des épis montre qu'il y a eu un arrêt de la croissance avant floraison. Dans ces conditions il apparaît clairement que la plante n'a pas pu absorber les éléments azote et phosphore suite au déficit hydrique. D'autres arguments secondaires déjà cités dans 4.1.1.1 ont également pu jouer aussi. Par contre en 1994, on peut dire que l'azote et le phosphore ont été utilisés par la culture même si cette utilisation n'a pas répondu à toutes nos attentes. Nous pensons que c'est surtout le système racinaire qui est en partie responsable de cette situation. Les paragraphes 4.1.2.1 et 4.1.2.2 portant sur la comparaison du bilan et des taux de recouvrement d'azote et de phosphore sur l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum* devraient fournir une réponse à cette question.

Pennisetum pedicellatum en 1993

En 1993 les résultats obtenus à Cinzana et à N'Tarla sont presque les mêmes que ceux de l'*Andropogon gayanus*.

Sur sol sableux à Cinzana (Fig. 16a), l'azote n'apparaît pas limitatif. La production moyenne (+ P4) est égale à 7,8 t ha⁻¹, ce qui correspond à N3. L'écart par rapport au témoin est de 1,6 t ha⁻¹ soit 7 kg kg⁻¹ d'azote apporté. Avec le phosphore, c'est la même tendance. La moyenne de production (+ N4) (Fig. 17a) est de 7,9 t ha⁻¹, ce qui est très voisine de 7,7 à savoir le P1. L'écart par rapport au témoin est de 1,5 t ha⁻¹ soit à peu près 75 kg kg⁻¹ de phosphore apporté.

Sur sol sablo-limoneux à Cinzana (Fig. 16b), l'azote n'apparaît pas limitatif, la production moyenne (+ P4) est égale à 7,9 t ha⁻¹. Ce chiffre est supérieur au niveau N3 qui est de 6,6 t ha⁻¹. L'écart de ce dernier par rapport au témoin est de 4 t ha⁻¹ soit 18 kg kg⁻¹ d'azote apporté. En réalité le bénéfice obtenu est un peu plus élevé que ce chiffre (à peu près 22 kg kg⁻¹). Avec le phosphore aussi la limitation n'apparaît pas. La production moyenne (+N4) (Fig. 17b) est de 7 t ha⁻¹, cela correspond au P1. L'écart avec le témoin est de 4,4 t ha⁻¹ soit 220 kg kg⁻¹ de phosphore apporté.

Sur sol sablo-limoneux (avec débris racinaire) à N'Tarla (Fig. 16c), l'azote apparaît légèrement limitatif. La production moyenne (+ P4) est de 9,3 t ha⁻¹, cette quantité est presque égale au N1 (9,4 t ha⁻¹). L'écart avec le témoin est égal à 0,7 t ha⁻¹ soit 9 kg kg⁻¹ d'azote apporté. Le phosphore ne montre pas de limitation. La production moyenne (+ N4) (Fig. 17c) est de 10,2 t ha⁻¹. Cette quantité correspond à la dose P2 soit 10,2 t ha⁻¹. L'écart avec le témoin est de 1,5 t ha⁻¹ soit 38 kg kg⁻¹ de phosphore apporté.

Enfin sur sol sablo-limoneux appauvri (jachère récente de 3 ans) à N'Tarla (Fig. 16c), l'azote n'apparaît pas limitatif, la production moyenne est égale à $8,4 \text{ t ha}^{-1}$. Ce niveau est déjà dépassé par le N1 qui est de $9,6 \text{ t ha}^{-1}$. L'écart de ce dernier avec le témoin est de $5,2 \text{ t ha}^{-1}$ soit 69 kg kg^{-1} d'azote apporté. Avec le phosphore (Fig. 17c), la production moyenne est de $9,5 \text{ t ha}^{-1}$ qui est proche du niveau de la dose P1. L'écart avec le témoin est de $5,4 \text{ t ha}^{-1}$ soit 270 kg kg^{-1} de phosphore apporté.

Pennisetum pedicellatum en 1994

De façon générale, les résultats obtenus montrent que l'azote et le phosphore sont tous limitatifs. On observe une augmentation de la production avec toutes les doses. Pour le BI avec l'azote (Fig. 16d), la production moyenne est de $13,8 \text{ t ha}^{-1}$, ce qui dépasse légèrement le niveau N1 ($13,2 \text{ t ha}^{-1}$). L'écart de ce dernier avec le témoin est de $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ soit 49 kg kg^{-1} d'azote apporté. Mais vu le fait que la moyenne est plus élevée que cette valeur on doit s'attendre à une quantité un peu plus élevée de l'ordre de 51 kg kg^{-1} au maximum. Avec le phosphore (Fig. 17d), la production moyenne est de 14 t ha^{-1} , ce qui est très proche de P2 ($14,1 \text{ t ha}^{-1}$). L'écart avec le témoin est de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ soit 112 kg kg^{-1} de phosphore apporté.

Pour le BII, la production moyenne avec azote (Fig. 16d) est de $14,1 \text{ t ha}^{-1}$, ce qui correspond à N2. L'écart avec le témoin est de $4,9 \text{ t ha}^{-1}$ soit 32 kg kg^{-1} d'azote apporté. Avec le phosphore (Fig. 17d), la production moyenne est de $13,9 \text{ t ha}^{-1}$, ce qui est proche de $13,6 \text{ t ha}^{-1}$ de la dose de P2. L'écart avec le témoin est de $4,4 \text{ t ha}^{-1}$ soit 110 kg kg^{-1} de phosphore apporté. la quantité réellement obtenue est de 112 kg kg^{-1} de phosphore apporté.

En conclusion, on constate que d'une manière générale, les résultats obtenus en 1993 ne montrent pas une limitation de l'azote et du phosphore même si souvent la tendance d'une légère limitation apparaît. Par contre en 1994, il apparaît clairement une certaine limitation des deux éléments même si elle est très légère.

L'analyse des quantités de biomasse absolue montre que celles-ci augmentent selon le gradient Nord-Sud en fonction de la disponibilité de l'eau ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) comme le montrent les résultats obtenus à Cinzana et à N'Tarla.

La comparaison des types de sol à Cinzana en 1993 ne montre pas une grande différence entre le potentiel de production sur sol sableux et sablo-limoneux, ($8,4$ contre $8,9 \text{ t ha}^{-1}$). La même année à N'Tarla sur sol sablo-limoneux, l'un avec débris racinaires importants et l'autre sur jachère récente (3 ans) les résultats obtenus montrent une légère dominance du premier sur le second ($11,9$ contre 10 t ha^{-1}). Cette différence serait due à l'effet de la matière organique constitué par la densité des racines superficielles, grâce à l'engrais organique formé. Ceci a été démontré par L. Cissé, (1987) qui a trouvé que même avec les cultures annuelles, la présence des racines superficielles entraîne une diminution de la perte d'éléments nutritifs par lessivage bien avant que le taux de matière organique ne soit suffisamment élevé pour influencer la capacité de rétention. En outre on observe une diminution des pertes d'eau de pluies par drainage de l'ordre de 60 % (Cissé, 1987). En 1994, on constate que l'azote et le phosphore sont tous limitatifs, une production maximale de $15,8 \text{ t ha}^{-1}$ est obtenue avec les doses maximales des deux éléments.

Quant aux gains obtenus par type de sol et par localité, ils sont très variables. En 1993 et 1994 les sols sablo-limoneux donnent des gains de fourrage kg^{-1} d'azote et de phosphore plus élevés que le sol sableux. En outre on constate également que les gains occasionnés par le phosphore sont plus substantiels que ceux d'azote, ce qui montre que le phosphore est plus limitatif que l'azote. Ce qui n'est pas étonnant et confirme l'hypothèse selon laquelle les sols tropicaux sont généralement déficients en phosphore (Pieri, 1989). Par ailleurs on sait que l'absorption de phosphore

augmente plus fortement avec la fertilisation que celle d'azote ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)). Breman & Traoré (1987) ont trouvé pour la pratique actuelle de la production fourragère une production supplémentaire de 33 kg de fourrage de graminées par kg d'azote ajouté de 100 kg de fourrage de légumineuse par kg de phosphore ajouté. Ce qui se trouve dans les mêmes ordres de grandeur que les gains obtenus et donne la preuve que des taux de recouvrement supérieur peuvent être obtenus.

La comparaison des résultats obtenus au cours des deux années montre une amélioration des résultats d'une année à l'autre. Les bons résultats de 1994 sont liés nul doute à une bonne répartition des pluies pendant tout le cycle de développement.

Si en 1993 il n'a pas été possible d'observer le phénomène d'arrêt de la croissance au cours du cycle de développement chez *Pennisetum pedicellatum*, il faut noter qu'en début d'hivernage un resemis des essais a été rendu nécessaire suite à l'irrégularité des pluies. Ce qui a probablement dû jouer sur la production de la biomasse aérienne en 1993 malgré un cycle moins long qu'avec *Andropogon gayanus*.

La comparaison des biomasses aériennes produites par les deux cultures montre une production maximale de près de 18 t ha⁻¹ pour *Andropogon gayanus* en 1993 et en 1994. Avec le *Pennisetum pedicellatum* la mauvaise répartition et le déficit pluviométrique ont permis d'atteindre une production maximale de 9 à 12 t ha⁻¹ respectivement à Cinzana et à N'Tarla en 1993. En 1994 celle-ci a été de 16 t ha⁻¹. L'écart entre les deux cultures est de 2 t ha⁻¹ dans les conditions avec l'eau non limitative et au cours des années sèches, l'écart devient beaucoup plus grand jusqu'à 6 t ha⁻¹. Ce qui permet de conclure que dans les conditions de production limitée par l'eau, les pérennes ont moins de problèmes que les annuelles et arrivent à mieux supporter un déficit hydrique temporaire. Cet avantage est lié aux caractéristiques même des graminées pérennes. En effet, grâce à la présence d'une biomasse racinaire initiale élevée de l'ordre de 1 à 2 t ha⁻¹ d'après Traoré (1995, paragraphe 4.111), les graminées pérennes présentent en début d'hivernage une superficie d'absorption d'azote et de phosphore ainsi que de l'eau plus étendue que les graminées annuelles. Aussi, la longue période de croissance fait également qu'elles arrivent à mieux profiter des ressources limitées plus que les annuelles ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)). La raison en cela est qu'on assiste à une accélération de la croissance due aux réserves. Ceci est confirmé par [Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#) qui ont trouvé que la différence entre un pâturage à graminées pérennes et un pâturage à annuelles est fonction de la première phase de croissance induite par les réserves en hydrate de carbone (4.2.3.3 et 4.2.3.4). C'est l'utilisation de ces réserves qui contribuent beaucoup à une croissance initiale très rapide. Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les graminées pérennes de part leur production de biomasse beaucoup plus élevée produisent plus de matière organique que les annuelles. Dans le paragraphe sur le bilan et le taux il sera procédé à la vérification de la suite de cette hypothèse à savoir si l'augmentation du taux de matière organique entraîne une amélioration du taux de recouvrement.

4.1.1.5. Effet de l'azote et du phosphore sur la qualité du fourrage produit (Essais n°1 et 3)

Les quantités de biomasse aérienne produites en fonction des doses croissantes de N et P (4.1.1.1 et 4.1.1.4) ne permettent pas de se prononcer sur l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs par les cultures et qui est en même temps responsable du niveau de production et de la qualité du fourrage. Pour atteindre ce but, des échantillons de biomasse aérienne (Essai N°1 et N°3) ont été analysés pour déterminer leur teneur en N, P et K, ce qui a permis de déterminer le niveau des éléments nutritifs dans le fourrage produit.

Evolution de la quantité (kg ha⁻¹) des éléments N, P et K. dans la biomasse totale (aérienne et racinaire) de l'Andropogon gayanus au cours du cycle de développement en 1993 et en 1994 (Essai n°3 paragraphe 3.2.3).

Les Figs 18 à 23 présentent l'évolution des quantités des différents éléments nutritifs dans la biomasse totale de

l'Andropogon gayanus à Cinzana et à N'Tarla.

La Fig. 18 montre un effet positif de l'application des engrais sur la quantité totale de l'azote absorbé par la plante aussi bien à Cinzana qu'à N'Tarla . On constate que le stock de N augmente très rapidement en début d'hivernage. Cette augmentation se poursuit jusqu'à la floraison. C'est après ce stade qu'on assiste à une diminution du stock et cela jusqu'à la fin du cycle en Décembre. Même à ce stade le stock reste plus élevé que celui enregistré en début d'hivernage. Ce qui veut dire que c'est en pleine saison sèche que le stock tombe à son niveau le plus bas.

Figure 18. Evolution de la quantité de N dans la biomasse totale de Andropogon gayanus en 1993

Concernant l'effet de l'application des engrais en 1993, on constate que la quantité de N dans les témoins absolus à Cinzana en 93 comme à N'Tarla évolue de la même façon. On observe un petit décalage entre les deux courbes. Le stock maximal à Cinzana (78 kg ha^{-1}) est atteint déjà à la montaison, ce qui n'est pas normal, puis diminue tout de suite après. Cette anomalie doit être mise au compte de la mauvaise répartition des pluies qui a provoqué un stress hydrique freinant ou ralentissant du coup l'absorption des éléments nutritifs ainsi que la croissance et le développement de la plante. A N'Tarla, le maxima du témoin est atteint à la floraison (82 kg ha^{-1}) et diminue après. Ceci est confirmé par les résultats du PPS ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) qui ont montré qu'après la floraison, les plantes n'absorbent plus de N ou encore même si la croissance continue, l'absorption est négligeable, le contenu de la biomasse à ce moment devient dilué pendant la phase de reproduction. Un stock maximal de près de $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$ a été retrouvé dans la biomasse totale des témoins. [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) ont trouvé que près de $70 \text{ kg de N ha}^{-1}$ sont absorbés par la végétation des espèces des parcours naturels ; Abbadie (1984) trouve également la même quantité ainsi que V. Duivenbooden (1989). Ces chiffres sont légèrement inférieurs aux résultats de l'étude et cette différence peut être mis au compte du travail du sol et l'historique des parcelles déjà évoquée.

Avec les doses maximales d'engrais, l'écart devient beaucoup plus important entre Cinzana et N'Tarla. A Cinzana la quantité de N a été multiplié par 1,28 et à N'Tarla par 2. Dans les deux cas, le stock maximal est atteint au cours de la floraison. L'écart entre les deux localités est surtout lié à la mauvaise répartition des pluies qui est plus accentuée à Cinzana et à N'Tarla, ce qui veut dire en d'autres termes qu'on pourrait obtenir des quantités plus élevées avec une pluviométrie meilleure et en 1994, un tel résultat a été obtenu.

La Fig. 19 montre les quantités de N pour le témoin et les doses maximales de N P K à N'Tarla en 1994. Avec le témoin, le stock de N augmente lentement pour atteindre son maximum au moment de la fructification (près de 140 kg ha^{-1}), puis chute rapidement après cette date. Avec les doses maximales on observe une augmentation très rapide du stock d'azote dès le démarrage de la pleine croissance et qui atteint $360 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Ce qui semble trop exagéré pour cette période. L'hétérogénéité de la parcelle serait en partie responsable de cette situation avec une production de biomasse aérienne excessivement élevée (22 t ha^{-1}). C'est pourquoi on assiste après à une chute du stock à la montaison puis qui remonte pour atteindre les 240 kg ha^{-1} . C'est ce stock qui peut être considéré comme le pic du taux de N. Après cette période, le stock diminue jusqu'en fin de cycle.

Figure 19. Evolution de la quantité de N dans la biomasse totale de Andropogon gayanus en 1994

La comparaison des résultats des deux années montre une nette amélioration du stock de N par rapport à 1993. La différence entre les doses maximales des deux années est de 80 kg N ha^{-1} de plus pour 1993.

La comparaison des témoins aussi montre un écart de près de $60 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en plus par rapport à 1993. Ce qui confirme la thèse que c'est surtout la disponibilité de l'eau qui a entraîné cette situation. César (1989) a trouvé que la

biomasse maximale obtenue au moment de l'épiaison des graminées est indépendante de la pluviométrie moyenne, mais plutôt qu'elle varie chaque année en fonction de la répartition des pluies qui à son tour est liée en climat soudanien à la longueur de la saison des pluies. Dans ces conditions, on peut conclure que c'est la durée de la saison de croissance qui détermine la production de biomasse et son contenu en azote.

Les Figs 20 et 21 montrent le stock de P dans la biomasse totale au cours des deux années. L'allure de la courbe de P diffère de celle de N. On constate que le pic de l'absorption de P atteint son maximum dès le stade montaison et ensuite on observe une diminution du stock avec l'âge.

La Fig. 20 montre les mêmes quantités de P absorbées par le témoin à Cinzana et à N'Tarla et cela à presque tous les stades de développement. La quantité maximal de 9 kg ha^{-1} se maintient jusqu'au moment de la floraison et diminue à cause de l'arrêt de l'absorption après ce stade. Ce qui n'est pas surprenant quand on sait que l'absorption de P est surtout liée au développement du système racinaire (notamment la densité des racines) et montre aussi que l'absorption de cet élément est plus ou moins influencée par l'humidité du sol. Cette quantité reste cependant inférieure à celle obtenue ailleurs dans d'autres conditions. Ainsi sur les parcours naturels, [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) trouve une absorption maximale de 10 à 21 kg ha^{-1} ; Abbadie (1984) trouvent entre 12 à 15 kg ha^{-1} pour la culture du mil ; Van Duivenbooden (1989) trouve 15 kg ha^{-1} pour le mélange mil-*Schoenfeldia* et *Pennisetum* sans fertilisation. Ces résultats supposent qu'il y a eu une limitation de l'absorption de P probablement liée au stress hydrique constaté en 1993 dans les deux localités.

Figure 20. Evolution de la quantité de P dans la biomasse totale de Andropogon gayanus en 1993

Avec les doses maximales de N et P, on assiste à une augmentation rapide des quantités stocks. A Cinzana, le stock de P a été multiplié par 1,55 soit 14 kg ha^{-1} et à N'Tarla par 2,78 soit 25 kg ha^{-1} . Dans les deux cas le stock maximum est atteint au stade montaison. Comme avec l'azote, l'écart entre les deux localités serait dû à la pluviométrie et sa répartition. Les résultats obtenus en 1994 montrent cette tendance (Fig. 21). Avec le témoin, le stock de P atteint près de 20 kg ha^{-1} , plus du double de 1993 et avec les doses maximales on obtient les 43 kg ha^{-1} , la quantité de 1993 multipliée par 1,72.

L'analyse des résultats des deux années montre un effet net de l'application de N et P sur l'amélioration du stock de P et cette amélioration est d'autant plus importante que les conditions pluviométriques sont meilleures (bonne répartition des pluies dans le temps et dans l'espace). (Figs 20 et 21). Par ailleurs le rapport P/N varie entre 0,11 et 0,15, ce qui est très limité et montre une interaction entre le N et le P dans la plante.

Figure 21. Evolution de la quantité de P dans la biomasse totale de Andropogon gayanus en 1994

De tels résultats ont été trouvés par [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#). On constate aussi que le rapport augmente avec la fertilisation de P. Ce qui confirme la thèse selon laquelle l'augmentation de la quantité de P dans la biomasse augmente la capacité d'absorption de N. La fertilisation de P s'exprime en ce moment comme une fertilisation cachée de N. Les mêmes auteurs ont trouvé des taux de récupération du TSP de l'ordre de 50 %, ce qui représente près de 40 kg ha^{-1} . Si les résultats obtenus en 1993 sous-estiment ce chiffre, on constate qu'en 1994, la quantité obtenue (43 kg ha^{-1}) est dans les mêmes ordres de grandeur que les résultats obtenus. Aussi, l'observation des écarts entre le stock des témoins des doses maximales pour les deux éléments montre que l'absorption de N et de P augmente plus fortement par fertilisation ce qui permet de dire que ces deux éléments sont tous limitatifs dans le sol.

Enfin les Figs 22 et 23 montrent les quantités de stock de K dans la biomasse totale. On constate que d'une manière

générale, les stocks de K sont très élevés au niveau de tous les traitements. A Cinzana la mauvaise répartition des pluies a beaucoup perturbé l'absorption du K. Avec le témoin, le stock maximal est atteint à la floraison et est de 220 kg ha⁻¹, cependant, avec les doses maximales on observe une absorption plus faible dont le pic est atteint déjà à la montaison avec 180 kg ha⁻¹. A N'Tarla, avec le témoin le pic du stock est atteint à la floraison et est de 280 kg ha⁻¹. Quant aux doses maximales le stock maximal est atteint à la montaison comme à Cinzana et est de 250 kg ha⁻¹. Il apparaît que l'application de N et de P entraîne en début de croissance une accélération de l'absorption du K. La différence entre les deux localités pourrait être mise au compte de la mauvaise répartition des pluies en 1993 plus grave à Cinzana qu'à N'Tarla.

Figure 22. Evolution de la quantité de K dans la biomasse totale de Andropogon gayanus en 1993

Figure 23. Evolution de la quantité de K dans la biomasse totale de Andropogon gayanus en 1994

En 1994 avec une pluviométrie plus abondante on constate une nette amélioration de l'absorption. Avec le témoin, le stock atteint près de 500 kg ha⁻¹ avec un écart de plus de 200 kg ha⁻¹ par rapport au témoin en 1993. Quant aux doses maximales le niveau du stock atteint 700 kg ha⁻¹ et dépasse celui de 1993 de près de 450 kg ha⁻¹ soit la quantité de 1993 multipliée par 2,8. Comme on peut le constater les stocks de K sont très importants dans la biomasse totale même sans fertilisation. Avec la fertilisation les quantités absorbées peuvent être multipliées par 3. Ce qui montre que le sol est bien pourvu de cet élément même sans apport. Les études du PPS ont montré que l'application des éléments tels le K et autres oligo-éléments restait sans effet sur la récolte contrairement aux éléments N ou P ou les deux ensemble ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)). Cependant, vu le fait que les quantités exportées par les cultures sont très élevées, en présence d'une quelconque forme d'exploitation de la biomasse aérienne, l'apport de N et P sans apport de K devrait entraîner très rapidement à long terme un épuisement du stock et un manque de cet élément au bout de quelques années.

En conclusion, on constate que l'*Andropogon gayanus* est une plante qui absorbe de grandes quantités des différents éléments nutritifs. L'absorption est améliorée par la fertilisation avec une disponibilité suffisante en eau. Le stock atteint son maximum en général au moment de la floraison et diminue après avec le vieillissement et la fin de cycle. Au niveau des quantités absorbées, le K reste le plus important, il est suivi par le N puis par le P.

Evolution de la quantité (kg ha⁻¹) des éléments azote et phosphore dans la biomasse aérienne de l'Andropogon gayanus et du Pennisetum pedicellatum à la fin du cycle de développement en 1993 et 1994 (Essai n°1).

Les Tableaux 17 et 18 montrent les quantités d'azote et de phosphore (kg ha⁻¹) dans la biomasse aérienne de l'*Andropogon gayanus* et du *Pennisetum pedicellatum* et cela en fonction des doses croissantes des deux éléments. Les figures 24 à 33 montrent la récupération de l'azote et du phosphore par les deux cultures

A Cinzana sur sol sablo-limoneux dans le bloc I sur sol sableux à Cinzana, les Figs 24 et 25 montrent les quantités (kg ha⁻¹) de l'azote et du phosphore contenues dans les biomasses aériennes récoltées en fin de cycle de développement chez l'*Andropogon gayanus* et le *Pennisetum pedicellatum*. Aussi bien avec l'azote que le phosphore, on constate que le *Pennisetum pedicellatum* présente une meilleure récupération que

Tableau 17. Quantité d'azote et de Phosphate (kg ha⁻¹) et son pourcentage par rapport aux quantités dans la biomasse aérienne de l'Andropogon gayanus en 1993 et 1994.

Localité	Sa-Cinzana (kg ha ⁻¹)		Sa-Li Cinzana BLOC I (kg ha ⁻¹)		Sa-Li Cinzana BLOC II (kg ha ⁻¹)		Sa-Li N'Tarla D ₂ Qté (kg ha ⁻¹)		Sa-Li N'Tarla D ₂ Qté (kg ha ⁻¹)	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Traitement	1993								1994	
Témoin	73,4	-	31,5	-	60,7	-	41,2	-	32,7	-
0 kg N	45,3	-	30,4	-	71,3	-	28,9	-	33,9	-
75	66,2	88	64,8	85	63,8	85	27,7	37	48,8	65
150	70,8	47	81,0	54	80,8	54	34,1	23	55,5	37
225	104,1	46	96,6	43	40,0	18	35,7	16	64,2	28
300	97,2	32	62,8	21	67,8	23	61,3	20	82,2	27
										39
	P		P		P		P		P	
Témoin	7,9	-	3,0	-	6,8	-	3,7	-	8,6	-
0 kg N	6,2	-	5,0	-	4,8	-	5,9	-	5,6	-
20	7,3	36	6,7	34	5,7	28	6,0	30	9,9	49
40	8,5	21	10,7	27	6,8	17	3,9	10	11,6	29
59	11,8	20	10,8	18	7,1	12	14,4	24	10,8	18
79	12,3	15	8,2	10	6,7	8	9,5	12	10,8	14

Tableau 18. Quantité d'azote et de Phosphore (kg ha⁻¹) et son pourcentage par rapport aux quantités appliquées dans la biomasse aérienne du *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

Traitement	Sa Cinzana (kg ha ⁻¹)		Sa-Li Cinzana (kg ha ⁻¹)		Sa-Li N'Tarla D ₂ (kg ha ⁻¹)		Sa-Li N'Tarla H ₁ Quantité (kg ha ⁻¹)		Sa-Li N'Tarla D ₃ BI (kg ha ⁻¹)		Sa-Li N'Tarla D ₃ BII (kg ha ⁻¹)	
	1993								1994			
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Témoin	45,5	-	17,8	-	58,3	-	30,0	-	78,9	-	66,7	-
0 kg N	79,2	-	69,2	-	44,8	-	64,9	-	83,2	-	65,0	-
75	66,9	89	59,1	79	71,7	96	69,6	93	90,8	121	76,5	102
150	99,7	66	107,7	72	95,6	64	85,4	57	109,9	73	111,4	74
225	103,9	49	100,9	45	121,7	54	95,6	42	131,8	58	92,8	41
300	120,1	40	115,7	38	149,6	50	130,3	43	139,3	46	146,8	49
	P		P		P		P		P		P	
Témoin	12,6	-	1,8	-	13,0	-	4,9	-	16,0	-	11,0	-
0 kg P	11,8	-	4,0	-	8,6	-	11,4	-	14,6	-	10,8	-
20	19,9	39	8,4	42	16,0	80	13,8	69	27,4	137	17,9	89
40	22,7	57	12,4	31	19,3	48	14,3	36	27,1	68	26,3	66
59	21,5	36	16,4	28	19,6	33	16,2	27	26,1	44	26,6	45
79	21,3	27	19,3	24	21,6	27	16,3	21	31,4	40	43,0	54

Andropogon gayanus. Par ailleurs le taux de récupération diminue avec l'augmentation de la dose. Pour l'azote, le taux moyen de récupération est de 53 % pour *Andropogon gayanus* et 61 % pour le *Pennisetum pedicellatum*. Avec le phosphore celui-ci est de 23 % et 55 % pour respectivement *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*. Néanmoins, on constate que les quantités absolues augmentent avec la dose de façon générale comme le montre les [Figs 24 et 25](#).

Sur sol sablo-limoneux bloc I à Cinzana, on observe la même tendance, les [Figs 26 et 27](#) montrent un taux de récupération moyen d'azote et de phosphore plus bas pour *Andropogon gayanus* que *Pennisetum pedicellatum* avec respectivement 51 et 22 % et 58 et 31 %.

Sur sol sablo-limoneux bloc II à Cinzana, ([Figs 28 et 29](#)), on constate que les quantités de N et P n'évoluent pas dans le même sens que l'augmentation de la dose avec *Andropogon gayanus* pour l'azote et le phosphore. Avec le *Pennisetum pedicellatum*, la tendance se dessine. Cette perturbation peut être mise au compte de l'hétérogénéité du milieu. Les taux moyens de récupération d'azote et de phosphore sont de 45 et 16 % pour *Andropogon gayanus* et 58 et 31 % pour *Pennisetum pedicellatum*.

Sur sol sablo-limoneux à N'Tarla, [Figs 30 et 31](#), les mêmes observations restent valables. On constate que c'est le *Pennisetum pedicellatum* sur sol riche en débris racinaires qui montre les taux de récupération les plus élevés avec l'azote et le phosphore ; viennent ensuite la jeune jachère avec *Pennisetum pedicellatum* et l'*Andropogon gayanus* qui montre les taux les plus bas vient en dernière position.

En 1994 sur sol sablo-limoneux à N'Tarla, même si les taux de récupération d'azote et de phosphore restent bas, on observe une augmentation des quantités d'azote en fonction de la dose ([Fig. 32](#)). Avec le phosphore, la récupération reste limitée comme cela est montré par la [Fig. 33](#). Cependant le *Pennisetum pedicellatum* se comporte de la même façon que les autres années, on observe même à ce niveau des taux de récupération de plus 100 % avec l'azote et même pour le phosphore, les taux atteignent sinon dépassent les 60 %.

La conclusion qui se dégage de cette analyse montre en premier lieu que le *Pennisetum pedicellatum* présente un taux de récupération d'azote et de phosphore plus élevé que celui de *Andropogon gayanus* quelque soit le type de sol. Ce qui est lié aux caractéristiques morphologiques et physiologiques des deux espèces. Ainsi malgré un démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage chez les pérennes, le *Pennisetum pedicellatum* de part sa précocité atteint une couverture végétale totale identique à celle de *Andropogon gayanus* à la même période à cause d'un cycle végétatif plus court. La structure du système racinaire intervient beaucoup dans ce processus.

L'étude du système racinaire entreprise en 1992 sur *Andropogon gayanus* (Traoré, 1993) a identifié deux principales classes de diamètre ($\geq 2 \text{ mm}$ et $< 2 \text{ mm}$). Il a été constaté que les grosses racines ($\geq 2 \text{ mm}$) sont localisés à 100 % dans la couche 0 - 20 cm avec comme fonction de permettre une bonne fixation de la plante dans le sol, et aussi de profiter des plus faibles précipitations qui humidifient la couche superficielle, mais elles ne sont pas actives dans l'absorption des éléments nutritifs. Par contre, les racines d'un diamètre inférieur à 2 mm et qui sont très denses vont jusqu'au delà de 2 m de profondeur même si on rencontre près de 80 % dans l'horizon 0-40 cm. Ce sont ces fines racines qui sont très efficaces dans l'absorption de l'eau dans tout le profil du sol ainsi que de celle des éléments nutritifs. Or on sait que les techniques habituelles d'application des engrais consiste à un épandage à la volée suivi d'un léger enfouissement dans la couche 0-2 cm au maximum, zone de prédilection des grosses racinaires. La conséquence de cette situation est que l'engrais appliqué se trouve localiser dans une zone où il lui est très difficile d'être absorbé par les plantes. Dans ces conditions une bonne partie de l'azote est perdue par volatilisation et par ruissellement. Avec le phosphore, en plus des pertes par ruissellement une autre fraction peut se perdre par lessivage en profondeur même si celle-ci peut toujours être récupérer par les racines dans les couches profondes du sol.

Avec le *Pennisetum pedicellatum*, la situation est tout autre. Malgré qu'il n'y a pas eu d'étude appropriée sur l'enracinement de cette plante, les études effectuées par le PPS ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)) ainsi que certaines observations personnelles sur l'enracinement de la plante n'ont pas permis de déceler la présence des racines de gros diamètre notamment celles supérieures à 2 mm. On constate que la plupart de celles-ci ont un diamètre inférieur à 2 mm, en plus les rameaux sont plus souples et creux à l'intérieur et même en fin de cycle, on n'observe pas de lignification comme c'est le cas avec *Andropogon gayanus*, ce qui semble plus propice à l'absorption des éléments nutritifs. Néanmoins, cela reste à prouver par une étude sur l'enracinement de cette plante

La proportion des fines racines beaucoup importante en surface pour le *Pennisetum pedicellatum* que *Andropogon gayanus* est un avantage certain pour l'absorption de l'azote et du phosphore. Ceci est confirmé par [Penning de Vries & Djitéye, \(1982\)](#) qui ont montré que les plantes avec beaucoup de fines racines absorbent beaucoup plus de P que celle avec de grosses racines et il est apparu également au cours de nos analyses que l'augmentation de la quantité de P dans la biomasse augmente la capacité d'absorber de l'azote. Dans les conditions où il y a suffisamment d'azote disponible pour les plantes comme on peut le voir avec les différentes doses, il résulte de la fertilisation de P une augmentation de la quantité de N absorbée ; la fertilisation avec P s'exprime ainsi donc comme une fertilisation cachée par N. Les résultats obtenus s'expliquent en partie par cette logique.

En second lieu, on constate que le taux de récupération de N est plus élevé que celui de P, ceci peut être mis au compte de la mobilité de l'azote qui est tout de suite mis à la disposition des plantes dès le début de la croissance ou de la germination. Avec le phosphore, c'est plutôt le développement du système racinaire qui met progressivement cet élément à la disposition de la plante.

En troisième lieu, on constate que la présence des débris racinaires et ou de la matière organique en quantité suffisante entraîne une augmentation du taux de récupération des engrais comme le montre les résultats des Figs 30 et 31. Ce résultat est confirmé par les études de L. Cissé (1989) qui a trouvé que la densité du système racinaire grâce à l'engrais organique formé (même pour les cultures annuelles) diminue fortement les pertes d'éléments nutritifs par lessivage, et ceci bien avant que le taux de matière organique ne soit suffisamment élevé pour influencer la capacité de rétention d'eau du sol. La diminution des pertes d'éléments nutritifs ainsi constatés entraîne à son tour une augmentation du taux de récupération des engrais.

En quatrième lieu, on constate que l'âge du peuplement de *Andropogon gayanus* a une influence sur le taux de récupération des engrais N et P. En effet le peuplement jeune aussi bien sur sol sableux que sur sol sablo-limoneux à Cinzana récupère mieux l'azote et le phosphore que celui de N'Tarla. Ceci serait due à une activité racinaire plus intense chez l'*Andropogon gayanus* jeune que l'*Andropogon gayanus* âgé. La densité racinaire y est plus élevée ainsi que la proportion de fines racines qui contribuent toutes à l'amélioration de l'absorption des éléments nutritifs comme déjà dit.

Enfin en cinquième lieu, on constate qu'une disponibilité suffisante en eau aussi améliore le taux de récupération et ceci par une plus grande mobilité de l'azote dont la disponibilité augmente rapidement. Quant au phosphore, le développement rapide de la plante par son système racinaire contribue à une augmentation rapide des quantités de cet élément dans la plante.

4.1.2. Bilan des éléments nutritifs à la fin du cycle de développement des plantes

Les résultats de l'essai n°1 (3.2.1) sur l'analyse et la détermination du taux de recouvrement des engrais sont présentés ici.

Dans cette étude, le bilan de la fertilisation a été établi à partir de la comparaison de l'effet des doses croissantes de N ou de P au témoin sur les cultures de l' *Andropogon gayanus* et du *Pennisetum pedicellatum* (Essai n°1) pour la détermination du taux de recouvrement.

A partir des quantités de biomasse aérienne et souterraine plus leurs teneurs respectives en N et P, il a été procédé au calcul de la quantité de l'élément absorbée par la plante au niveau de chaque traitement pour respectivement l'azote et le phosphore.

Ensuite, la quantité de l'élément absorbée a été comparée à celle du témoin pour l'azote et pour le phosphore. La différence entre la quantité de l'élément absorbée par dose et son témoin permet de déterminer la fraction de la dose appliquée et retrouvée dans la plante.

La détermination du bilan se fait à travers la comparaison de la dose appliquée à la quantité retrouvée dans la plante. La différence représente la fraction manquante perdue et/ou stockée dans le sol mais qui peut être ré-utilisée au cours des années à venir.

Les quantités qui représentent la part des processus de volatilisation, de lessivage (percolation), de dénitrification et d'immobilisation n'ont pas été pris en compte dans cette étude. Dans cette situation, il est difficile de parler de l'établissement d'un bilan complet des éléments nutritifs.

4.1.2.1. Détermination des quantités de N et de P utilisées par les cultures

Andropogon gayanus en 1993

Le Tableau 19 montre le bilan de la fertilisation de N et de P pour la culture de l'*Andropogon gayanus* en 1993.

Doses croissantes de l'azote : Sur sol sableux à Cinzana, on constate que la fraction qui se perd est beaucoup plus importante que celle absorbée par la culture. Selon le type de sol et la végétation, la récupération de l'azote varie entre 0,3 et 0,8 notamment en première année ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)). Les quantités absorbées sont mêmes en dessous du seuil minimum prévu de 30 %. La troisième dose qui présente l'absorption la plus élevée n'est que de 19 %.

Sur sol sablo-limoneux bloc I à Cinzana, le seuil minimum de récupération est atteint et même dépassé avec la plupart des doses (34 à 60 %). Seul le traitement avec les doses maximales d'azote et de phosphore n'a pas atteint le niveau minimum.

Sur sol sablo-limoneux, bloc II à Cinzana, le seuil minimum est atteint uniquement avec la deuxième dose. Les fractions absorbées ici sont très variables, ce qui montre une grande hétérogénéité du milieu surtout si on compare les résultats des deux blocs.

Sur sol sablo-limoneux à N'Tarla, les quantités absorbées sont plus basses et sont largement au dessous du seuil de 30 % (entre 4 et 6 %). Cependant les quantités de biomasse aérienne produites restent les plus élevées.

Tableau 19. Bilan de la fertilisation de l'azote et du phosphore dans la biomasse totale de la culture de l'Andropogon gayanus en 1993 et 1994.

Localité et sol	N Appliqué (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (%)	P Appliqué (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (%)
1993 Cinzana Sol sableux	0 75 150 225 300	0 4 9 42 35	- 6 6 19 12	0 20 40 59 79	0 0 1 4 4	- 0 2 7 6
Sol Sablo- limoneux I	0 75 150 225 300	10 45 61 77 43	- 60 41 34 14	0 20 40 59 79	2 4 8 8 5	- 19 19 13 7
Sol Sablo- limoneux II	0 75 150 225 300	22 15 32 0 19	- 19 21 0 6	0 20 40 59 79	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
Sol Sablo- limoneux N'Tarla	0 75 150 225 300	1 0 6 8 19	- 0 4 4 6	0 20 40 59 79	5 5 3 13 8	- 24 7 22 10
1994 Sol Sablo- limoneux N'Tarla	0 75 150 225 300	15 29 36 45 63	- 39 24 20 21	0 20 40 59 79	0 4 5 4 4	- 18 13 6 7

A Sotuba (Bamako) sur sol sablo-limoneux, avec une pluviométrie presque identique à celle de N'Tarla, [Penning de Vries & Djitéye, \(1982\)](#) ont obtenu des absorptions semblables de près de 35 kg d'azote ha⁻¹ au niveau de la biomasse aérienne. Des quantités équivalentes de 37 kg ont été obtenus au niveau des racines. Ce qui fait au total une absorption de 72 kg d'azote ha⁻¹ pour une biomasse aérienne et racinaire respectivement de 6,5 et 6 t de MS ha⁻¹. De telle quantité ont également été obtenues sur le sol sablo-limoneux bloc I. Les faibles quantités enregistrées ailleurs s'expliquent par les nombreuses raisons évoquées à la page 58.

L'analyse des résultats obtenus sur les différents types de sol montre que l'absorption est meilleure sur sol sablo-limoneux que sur sol sableux. La variation constatée sur sol sablo-limoneux entre BI et BII est liée à l'hétérogénéité des parcelles qui a déjà été mentionnée. Par ailleurs on n'observe pas une augmentation de l'absorption en fonction de la dose. Différents arguments peuvent être avancés pour expliquer cette situation. Il s'agit de la carence des autres éléments ; d'un manque d'eau ; d'une action des mauvaises herbes et des maladies. L'apport de doses non limitatives de P ainsi que l'exécution des travaux d'entretien et phytosanitaire à temps au niveau des essais permet déjà d'exclure ces facteurs comme étant à la base d'une absorption limitée de l'azote.

Cependant concernant le problème de manque d'eau, pendant l'hivernage il a été enregistré à Cinzana et à N'Tarla une mauvaise répartition des pluies qui en plus étaient déficitaires surtout à N'Tarla (de près de 42 %). L'arrêt de la croissance de l'*Andropogon gayanus* à Cinzana au moment de la floraison ainsi que la faible fraction de l'épis observée à N'Tarla démontrent que les plantes ont souffert à cause du manque d'eau. Cette situation a fortement limité l'absorption d'azote dont la mobilité est liée à l'humidité du sol.

Concernant l'absorption trop basse à N'Tarla, ceci pourrait être mise au compte de l'âge du peuplement. En effet, la présence de nombreuses grosses racines (diamètre > 2 mm) dans la couche superficielle limite beaucoup plus l'absorption des éléments nutritifs par rapport à un peuplement plus jeune. Aussi, la présence de la matière organique limite l'efficacité d'utilisation de l'azote appliqué dont une partie se trouve immobilisée dans le sol pour l'alimentation des micro-organismes. Il faut ajouter à cela le constat que la longue présence de *Andropogon gayanus* pendant plus de 40 ans au même emplacement (D2), a engendré une situation d'équilibre. Ce qui a pour conséquence de favoriser une recirculation interne des éléments nutritifs au sein du système sol-plante. Enfin les résultats ne montrent pas de lien entre l'absorption et la quantité de biomasse aérienne produite.

. *Doses croissantes de Phosphore* : Sur sol sableux à Cinzana, on constate que les fractions absorbées sont plus faibles que celles de l'azote (entre 2 à 7 %). L'absorption du P varie d'une manière générale entre 0,05 et 0,3, cependant avec les engrais comme le TSP, la récupération est de l'ordre de 50 % ce qui est très élevée ([Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)).

Sur sol sablo-limoneux bloc I à Cinzana, l'absorption varie entre 7 et 19 %. Avec le bloc II, elle est même nulle avec toutes les doses. Ce qui est pratiquement impossible vu les résultats obtenus avec le bloc I. Cette situation peut être mise au compte de l'hétérogénéité des parcelles et de la précision des résultats d'analyse chimique qui comme nous avons vus présentent souvent certaines erreurs.

Sur sol sablo-limoneux à N'Tarla, les fractions absorbées sont relativement élevées mais très variables et se situent entre 7 et 24 %. Cette situation serait probablement liée à la présence de la matière organique qui comme déjà dit améliore la capacité de rétention d'eau du sol et qui à son tour joue sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par une diminution des pertes.

L'analyse des résultats à Cinzana comme à N'Tarla, montre des taux d'absorption très faibles de phosphore. Ce qui n'est pas du tout normal. [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) ont trouvé que l'absorption du phosphore augmente plus fortement par fertilisation que celle de l'azote. L'efficacité d'absorption est d'autant plus grande que la dose est faible et peut atteindre dans certaines conditions 50 % ; ceci pouvant dépasser même 70 %. En plus de la mauvaise répartition des pluies qu'on pourrait évoquer ici pour expliquer les résultats obtenus, les analyses chimiques montrent des quantités de P-total élevé avec celles d'un P-assimilable faible (d'un même sol). Dans la pratique, l'interprétation de tel résultat signifie tout simplement que le sol a une capacité de fixation du phosphore. Cela veut dire en d'autre terme qu'une carence en phosphore pour ce sol est difficile à résoudre même avec un apport d'engrais, ce qui peut expliquer en partie les résultats obtenus. Comme avec l'azote il n'y a pas de relation entre l'absorption et la quantité de biomasse produite.

Andropogon gayanus en 1994

En 1994, l'essai a été reconduit uniquement au niveau de la Station de N'Tarla sur sol sablo-limoneux. Des doses complémentaires de potassium (300 kg ha^{-1}) et d'oligo-éléments ferro (100 kg ha^{-1}) ont été apportés comme engrais de fond.

. *Doses croissantes d'azote* : On observe une nette amélioration de l'absorption en 1994 qui est passé de 4 à 6 % à 20 % à 39 %. Par ailleurs on observe une légère augmentation de la biomasse en fonction de l'augmentation de la dose.

Cette situation est due surtout à la bonne répartition de la pluviométrie qui a permis une plus grande mobilisation de l'azote pour l'absorption. L'application du potassium et du bore ne semblent pas avoir un effet net car sur un autre essai nous n'avons pas remarqué cet effet par rapport aux résultats sur le témoins (essai n°3, en 1993 et 1994).

. Doses croissantes de phosphore : On constate que les quantités absorbées varient entre 7 et 18 %, ce qui semble assez élevées mais ces pourcentages sont un peu plus bas que ceux de 1993 même si les quantités de biomasse sont beaucoup plus élevées. Par ailleurs on observe une légère augmentation de la biomasse aérienne en fonction des doses croissantes. La bonne répartition des pluies a beaucoup influencé l'efficacité d'utilisation du phosphore.

Pennisetum pedicellatum en 1993

Le Tableau 20 montre le bilan de N et de P pour la culture du *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

. Doses croissantes d'azote : Sur tous les types de sol, on constate que le *Pennisetum pedicellatum* absorbe des quantités d'azote beaucoup plus élevées que *Andropogon gayanus*, ce qui est lié aux propriétés mêmes des espèces, notamment la fonction de la densité des fines racines qui influence l'utilisation efficace de l'eau et des éléments nutritifs. Le seuil minimum est presque dépassé avec toutes les doses et les taux varient entre 29 et 71 %, ce qui est vraiment élevé. Là également il n'apparaît pas de relation entre l'absorption et la quantité de biomasse produite en fonction des doses. Il apparaît de façon claire que malgré une absorption plus élevée, les plantes n'en ont pas tellement profité. La mauvaise répartition des pluies est responsable de cette situation.

. Doses croissantes de phosphore : Comme pour l'azote, on constate qu'avec le phosphore, le *Pennisetum pedicellatum* présente des quantités d'absorption élevées et cela sur tous les types de sol. Cependant on n'observe pas de lien entre la quantité de l'élément absorbé et celle de la biomasse aérienne produite. Les quantités absorbées varie entre 11 et 57 % alors que l'absorption de phosphore varie en moyenne entre 5 et 30 %. Ce qui signifie que dans notre cas, les quantités absorbées sont élevées. Cependant il a été démontré que la fertilisation avec du TSP peut même atteindre les 70 %. Donc à ce niveau on pense également que la mauvaise répartition des pluies, la fixation de P et l'hétérogénéité du sol ont limité l'absorption du phosphore.

Pennisetum pedicellatum en 1994

. Doses croissantes d'azote : On constate que les quantités absorbées varient entre 25 et 34 % pour le bloc I et entre 18 et 39 % pour le bloc II. Ce qui montre une certaine similitude entre les résultats des deux blocs. Le seuil de l'absorption minimum de 5 % est largement dépassé et le maximum est presque atteint avec la plupart des doses. Les conclusions tirées sur *Andropogon gayanus* en 1994 restent valables.

. Doses croissantes de phosphore : Le phosphore montre la même tendance que celle observée avec l'azote. On observe même une nette amélioration de l'absorption par rapport à 1993. Les pourcentages varient entre 22 et 69 % pour le bloc I et 30 et 46 % pour le bloc II, ce qui montre une certaine similitude dans les résultats et qui est visible sur les quantités de biomasse aérienne produite. les mêmes conclusions restent toujours valables.

Tableau 20. Bilan de la fertilisation de l'azote et du phosphore dans la biomasse totale de la culture du *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

Localité et sol	N Appliqué (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (%)	P Appliqué (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (kg ha ⁻¹)	Quantité retrouvée (%)
1993						
Cinzana	0	45	-	0	0	-
Sol sableux	75	33	44	20	7	37
	150	66	44	40	10	26
	225	70	31	59	9	15
	300	86	29	79	9	11

Sol Sablo-limoneux	0	63	-	0	2	-
	75	53	70	20	7	33
	150	101	68	40	11	27
	225	95	42	59	15	25
	300	109	36	79	19	24
N°Tarla Sol Sablo-limoneux avec matière organique	0	0	-	0	0	-
	75	27	36	20	5	27
	150	51	34	40	9	22
	225	77	34	59	9	15
	300	105	34	79	11	14
Sol Sablo-limoneux appauvrie	0	48	-	0	9	-
	75	53	71	20	11	57
	150	69	46	40	12	29
	225	79	35	59	13	23
	300	114	38	79	14	17
1994						
N°Tarla Sol sablo-limoneux I avec matière organique	0	18	-	0	1	-
	75	25	34	20	14	69
	150	44	30	40	14	34
	225	66	29	59	12	21
	300	74	25	79	17	22
Sol sablo-limoneux II avec matière organique	0	12	-	0	2	-
	75	23	31	20	9	46
	150	58	39	40	18	45
	225	40	18	59	18	30
	300	94	31	79	34	43

Les résultats obtenus en 1993 et en 1994 sur le bilan de l'azote et du phosphore au niveau de la biomasse totale permettent de faire le constat suivant :

Concernant le bilan de la fertilisation de l'azote, on constate que les quantités absorbées par *Andropogon gayanus* en 1993 sont faibles (moins de 30 % de façon générale). Cependant des quantités relativement élevées ont été obtenues au niveau du sol sablo-limoneux bloc I (61 à 77 kg) soit 41 et 34 %. Des quantités presque identiques ont été obtenues par [Penning de Vries & Djitèye, \(1982\)](#), ce qui dépasse le seuil minimal d'absorption qui est de 30 %. Sur les autres types de sol ce seuil n'est pas atteint. En 1994 on constate que le seuil de 30 % est dépassé avec toutes les doses. Ce qui est liée à une plus grande disponibilité en eau.

La comparaison avec le *Pennisetum pedicellatum* montre une absorption plus élevée. Le seuil de 30 % est dépassé sur tous les types de sol et avec la plupart des doses aussi bien en 1993 qu'en 1994.

Cette meilleure disposition du *Pennisetum pedicellatum* est due d'une part à la nature du système racinaire (racines fines) et en 1994 à une meilleure répartition des pluies. Des quantités de plus de 100 kg d'azote ha⁻¹ absorbées ont été trouvées avec des doses de 300 kg d'azote apporté.

Avec le bilan du phosphore, que ce soit avec *Andropogon gayanus* ou *Pennisetum pedicellatum*, les quantités

absorbées sont faibles en 1993 surtout avec la graminée pérenne. Cependant en 1994 on constate une légère amélioration avec les deux graminées. Les conclusions tirées sur le bilan de l'azote restent également valables ici.

Enfin, l'analyse de la courbe de croissance en 1993 (Figs 4 et 5) et en 1994 (Fig. 6) de *Andropogon gayanus* ainsi que celle de l'évolution de la quantité des principaux éléments nutritifs au cours du cycle de développement des mêmes années (Figs 18, 19, 20, 21, 22 et 23) montre que la récolte de fin de cycle correspond à une période de diminution de la biomasse aérienne et du taux de N, P et K dans le fourrage. Les résultats obtenus attestent que le meilleur moment de récolte pour avoir une biomasse aérienne avec une teneur maximale des différents éléments correspond à la période entre floraison et fructification. Avec *P. pedicellatum*, la récolte de la biomasse aérienne est intervenue à la période de pleine floraison, ceci étant le meilleur moment pour obtenir les valeurs maximales en quantité et en qualité.

Avec *Pennisetum pedicellatum*, la récolte de la biomasse aérienne est intervenue à la période à la pleine floraison, ceci étant le meilleur moment pour obtenir les valeurs maximales en quantité et en qualité.

En conclusion on se rend compte que la récolte de *Andropogon gayanus* a été effectué en retard, ce qui pourrait expliquer pourquoi le *Pennisetum pedicellatum* présente une meilleure absorption que *Andropogon gayanus*. En supposant qu'au moment de la récolte, *Andropogon gayanus* a déjà perdue près de 50 % de sa valeur en teneur maximale comme cela est montré par les Figs 18 à 23 on pourrait conclure que *Andropogon gayanus* absorbe plus que *Pennisetum pedicellatum*, ce qui confirme la thèse que la pérennité entraîne une meilleure absorption par rapport à une plante annuelle.

4.1.2.2. Analyse quantitative de l'application des engrais azotés et phosphaté sur les cultures (Essai n°1)

Les taux de recouvrement des doses croissantes de N et de P ont été déterminés à partir de la comparaison de l'absorption des doses appliquées à celle du niveau zéro (0) et pour les deux cultures dans les Stations de Cinzana et de N'Tarla (Essai n°1).

A partir de la quantité de biomasse aérienne produite en fonction des différentes doses de N et P et leur teneur respective, on détermine la quantité de l'élément absorbée par la culture au niveau de chaque traitement suivant la relation biomasse aérienne multipliée par la teneur en N ou P donne respectivement la quantité d'azote et de phosphore absorbée par la culture.

Le taux de recouvrement est déterminé à partir de la relation quantité de N ou de P absorbé moins quantité de l'élément absorbée au niveau du traitement zéro (0) le tout divisé par la dose appliquée.

De cette façon, on détermine ainsi le taux de recouvrement de chacune des doses appliquées sur la culture. Le meilleur taux de recouvrement obtenu est donné par la dose avec le plus grand pourcentage.

La représentation graphique donne une ligne droite ou courbe suivant la disposition des taux de recouvrement obtenus à partir des différentes doses. Le meilleur taux de recouvrement correspond au point ayant la ligne qui forme avec le niveau zéro le plus grand angle (Fig. 3).

Les résultats sont présentés en fonction des doses croissantes de N et de P pour *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

Andropogon gayanus en 1993 et 1994

Le Tableau 21 montre les taux de recouvrement calculés pour l'azote et le phosphore pour la culture de l'*Andropogon gayanus* en 1993 et en 1994.

Tableau 21. Taux de recouvrement de l'azote et du phosphore sur la culture de l'*Andropogon gayanus* en 1993 et 1994

Localité et sol	N Appliqué (kg ha ⁻¹)	N Absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de recouvrement (%)	Production (1000 kg ha ⁻¹)	P Appliqué (kg ha ⁻¹)	P Absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de recouvrement (%)	Production (1000 kg ha ⁻¹)
1993								
Cinzana Sol sableux	Témoin	73,42	-	10,64	Témoin	7,92	-	8,58
	0	45,33	-	6,76	0	6,18	-	11,70
	75	66,24	28	10,35	20	7,32	6	7,56
	150	70,83	17	8,53	40	8,54	6	9,25
	225	104,13	26	11,83	59	11,83	10	10,76
	300	97,17	17	10,22	79	12,33	8	8,24
Sol Sablo- limoneux I	Témoin	31,51	-	8,51	Témoin	3,06	-	9,93
	0	30,39	-	6,90	0	5,03	-	8,79
	75	64,82	46	8,31	20	6,72	9	9,54
	150	81,04	34	9,76	40	10,68	14	8,99
	225	96,66	29	10,98	59	10,82	10	9,12
	300	62,85	11	6,41	79	8,23	4	7,48
Sol Sablo- limoneux II	Témoin	60,69	-	8,54	Témoin	6,78	-	8,11
	0	71,30	-	12,08	0	4,76	-	7,22
	75	63,85	-10	7,25	20	5,67	5	8,05
	150	80,86	6	10,10	40	6,81	5	7,37
	225	40,00	-14	6,78	59	7,14	4	10,15
	300	67,86	-1	7,71	79	6,76	3	7,32
N°Tarla Sol Sablo- limoneux	Témoin	41,18	-	14,20	Témoin	3,66	-	13,90
	0	28,90	-	15,20	0	5,91	-	22,40
	75	27,76	-2	16,28	20	6,09	1	15,39
	150	34,14	3	13,13	40	3,99	-5	12,97
	225	35,67	3	13,72	59	14,42	14	18,21
	300	46,88	6	17,02	79	9,53	5	16,66
1994								
N°Tarla Sol Sablo- limoneux	Témoin	32,75	-	11,51	Témoin	8,64	-	11,51
	0	33,94	-	13,45	0	5,59	-	14,02
	75	48,79	20	16,26	20	9,92	22	16,10
	150	55,54	14	16,38	40	11,60	15	16,81
	225	64,17	13	16,65	59	10,85	9	17,54
	300	82,24	16	18,38	79	10,80	7	18,38

- *Andropogon gayanus* en 1993

. Doses croissantes d'azote : Sur sol sableux à Cinzana, le recouvrement calculé varie entre 17 et 28 %. On constate que le taux le plus élevé est obtenu avec la première dose. Ce qui signifie qu'avec les doses de plus en plus croissantes, il est apparu un autre facteur limitant. Dans le paragraphe 4.1.1.1, il a été démontré à travers l'état

physiologique de la culture de *Andropogon gayanus* que c'est l'eau qui a été le facteur limitant. L'absence totale d'épis en ait une illustration.

Sur le sol sablo-limoneux du bloc I à Cinzana, le recouvrement varie entre 11 et 46 %. Là également le meilleur taux est obtenu avec la première dose. Sur le bloc II du même sol, les recouvrements mesurés sont trop bas et même négatifs, ce qui n'est pas normal. Le plus élevé est obtenu avec la troisième dose (6 %).

La conclusion précédente peut être tirée ici. Cependant les différences observées entre le bloc I et II montrent l'hétérogénéité spatiale déjà signalée à propos des parcelles.

Sur sol sablo-limoneux à N'Tarla, malgré des productions de biomasse aérienne plus élevées, les recouvrements mesurés sont très bas (3 à 6 %).

En conclusion, on constate que les taux de recouvrement obtenus avec *A. gayanus* n'atteignent pas les 50 %. Par ailleurs dans la plupart des cas, les recouvrements maximums sont obtenus avec les premières doses sur les différents sols. Ce qui confirme la thèse qu'avec des doses de plus en plus croissantes, il est apparu d'autres facteurs limitants notamment la mauvaise répartition des pluies qui a profondément perturbé la croissance et le développement de l'*Andropogon gayanus*.

. *Doses croissantes de phosphore* : Sur sol sableux à Cinzana, les recouvrements mesurés varient entre 6 et 10 %. Le meilleur recouvrement est obtenu avec la troisième dose. On n'observe pas du tout une augmentation de la biomasse en fonction de la dose.

Sur sol sablo-limoneux bloc I à Cinzana, les recouvrements varient entre 9 et 14 %. La deuxième dose donne le meilleur recouvrement. Sur bloc II, les recouvrements varient entre 3 et 5 %, ce qui semble très bas.

Enfin sur sol sablo-limoneux à N'Tarla, les recouvrements varient entre 5 et 14 %.

D'une manière générale, on constate que les taux de recouvrement obtenus avec le phosphore sont très bas et varient entre 1 et 14 %. On n'observe pas une augmentation du taux de recouvrement ni de la biomasse aérienne en fonction de la dose appliquée.

Ces résultats obtenus sont très difficiles à expliquer surtout quand on sait que les sols tropicaux sont généralement carencés en phosphore. Cela est confirmé par les résultats d'analyse de sol effectuée au niveau des essais. Nous pensons que la mauvaise répartition des pluies en 1993 est responsable de cette situation ; sans oublier le problème de fixation déjà évoqué.

Andropogon gayanus en 1994

. *Doses croissantes d'azote* : A N'Tarla, les recouvrements obtenus avec l'azote varient entre 13 et 20 %, le maximum est observé avec la première dose comme en 1993 ([Fig. 34](#)).

. *Doses croissantes de phosphore* : Les recouvrements obtenus varient entre 9 et 22 %. C'est toujours la première dose qui donne le maximum de recouvrement ([Fig. 35](#)).

On constate que les recouvrements maximaux sont obtenus avec l'azote et le phosphore dès les premières doses apportées et varient entre 13 et 20 % pour le N et entre 7 et 22 % pour le P. Si en 1993, la mauvaise répartition des pluies a empêché une meilleure absorption de N et P et un meilleur recouvrement. En 1994, on pense que c'est plutôt la période de récolte ainsi que la répartition du système racinaire qui ont entraîné cette situation. Dans l'analyse du

bilan, nous avons essayé d'expliquer comment la période de récolte a pu jouer sur l'absorption totale des éléments nutritifs. Sur la base de ce raisonnement (à savoir la récolte est intervenue après la perte de 50 % des teneurs en N et P) on pourrait dire que les recouvrements obtenus ne représentent en fait que la moitié de ce qui sont présentés dans le Tableau 21. Ce qui représenterait des recouvrements variant entre 26 et 40 % pour l'azote et entre 14 et 44 % pour le phosphore. Ces résultats semblent beaucoup plus conformes à ceux obtenus par d'autres auteurs. Des recouvrements presque identiques ont été obtenus par [Penning de Vries & Djitèye, \(1982\)](#) et par van Duivenbooden *et al.* (1993) respectivement sur les parcours naturels et sur une culture céréalière de mil-sorgho. Ces derniers mêmes ont pu atteindre des recouvrements exceptionnels de 80 % pour le N et 50 % pour le P. Ce qui montre que le maximum n'a pas été atteint au cours de notre étude.

Il est fort possible que la répartition du système racinaire de *Andropogon gayanus* a pu beaucoup jouer ici. En effet, les études effectuées par [Penning de Vries & Djitèye, \(1982\)](#) puis par César (1989) et Dieng *et al.*, (1991) ont montré que ce sont surtout les fines racines qui sont très efficaces dans l'absorption de l'eau en profondeur ainsi que des éléments nutritifs. Or il se trouve qu'avec *Andropogon gayanus* ce sont plutôt les grosses racines qui sont abondantes dans la couche superficielle riche en nutriments naturels et apportés. Ce qui limite beaucoup leur absorption par la plante. Ceci pourrait expliquer aussi les résultats obtenus sur les recouvrements de N et P.

Pennisetum pedicellatum en 1993 et 1994

Le Tableau 22 montre les taux de recouvrement calculés pour l'azote et le phosphore pour la culture du *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

Tableau 22. Taux de recouvrement de l'azote et du phosphore sur la culture du *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

Localité et sol	N appliqué (kg ha ⁻¹)	N absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de recouvrement (%)	Production (1000 kg ha ⁻¹)	P appliqué (kg ha ⁻¹)	P absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de recouvrement (%)	Production (1000 kg ha ⁻¹)
1993								
Cinzana	Témoin	45,51	-	6,23	Témoin	12,61	-	6,23
	0	79,22	-	8,80	0	11,80	-	7,24
Sol sableux	75	66,92	-16	7,19	20	19,87	41	7,78
	150	99,74	14	8,04	40	22,73	28	8,91
	225	103,87	11	7,86	59	21,48	16	8,71
	300	120,10	14	7,46	79	21,33	12	7,46
	Témoin	17,78	-	2,61	Témoin	1,83	-	2,61
Sol Sablo-limoneux	0	69,23	-	8,34	0	4,04	-	5,10
	75	59,10	-13	6,71	20	8,41	22	7,08
	150	107,68	26	9,20	40	12,39	21	6,70
	225	100,95	14	6,68	59	16,41	21	8,10
	300	115,73	16	8,76	79	20,44	21	8,76
	Témoin	17,78	-	2,61	Témoin	1,83	-	2,61

N'Tarla	Témoin	58,35	-	8,70	Témoin	13,02	-	8,71
	0	44,79	-	5,59	0	8,58	-	8,47
	75	71,74	36	9,44	20	16,08	38	11,42
	150	95,57	34	9,85	40	19,27	27	10,18
	225	121,72	34	9,73	59	19,56	18	9,46
	300	149,62	35	11,97	79	21,59	16	11,97
Sol Sablo- limoneux avec matière organique	Témoin	30,00	-	4,47	Témoin	4,93	-	4,47
	0	64,97	-	7,64	0	11,43	-	10,39
	75	69,56	6	9,58	20	13,84	12	9,83
	150	85,45	14	7,76	40	14,29	7	9,01
	225	95,58	14	9,01	59	16,16	8	10,20
	300	130,28	22	8,24	79	16,32	6	8,24
1994								
N'Tarla	Témoin	78,90	-	9,86	Témoin	16,05	-	9,86
	0	83,25	-	10,53	0	14,65	-	11,10
	75	90,82	10	12,97	20	27,36	64	14,13
	150	109,91	18	13,91	40	27,16	32	14,70
	225	131,82	22	14,17	59	26,13	19	14,85
	300	139,32	19	16,20	79	31,36	21	16,20
Sol Sablo- limoneux I	Témoin	66,69	-	9,26	Témoin	11,00	-	9,26
	0	65,06	-	13,01	0	10,82	-	12,30
	75	76,52	15	13,42	20	17,92	36	13,57
	150	111,39	31	14,10	40	26,35	39	13,61
	225	92,84	12	14,73	59	26,61	27	14,40
	300	146,82	27	15,78	79	43,06	41	15,78
Sol Sablo- limoneux II	Témoin	66,69	-	9,26	Témoin	11,00	-	9,26
	0	65,06	-	13,01	0	10,82	-	12,30
	75	76,52	15	13,42	20	17,92	36	13,57
	150	111,39	31	14,10	40	26,35	39	13,61
	225	92,84	12	14,73	59	26,61	27	14,40
	300	146,82	27	15,78	79	43,06	41	15,78

- *Pennisetum pedicellatum* en 1993

. *Doses croissantes d'azote* : Sur sol sableux à Cinzana, les recouvrements varient entre 11 et 14 %. La deuxième dose permet déjà d'obtenir le meilleur recouvrement.

Sur sol sablo-limoneux à Cinzana, les recouvrements calculés varient entre 14 et 26 %, le plus élevé est obtenu avec la deuxième dose.

A N'Tarla, sur le même type on obtient entre 34 et 36 % sur un sol riche en débris racinaires. Sur le même sol appauvri, on enregistre des recouvrements plus bas entre 6 et 22 %. D'une manière générale, on constate que les recouvrements obtenus avec le *Pennisetum pedicellatum* sont aussi bas avec un maximum de 36 % et prouve que ici également les engrais appliqués n'ont pas été absorbés par la plante à cause de la limitation occasionnée par d'autres facteurs tels que l'eau.

. *Doses croissantes de phosphore* : Sur sol sableux à Cinzana, les recouvrements mesurés varient entre 12 et 41 %, le maximum est obtenu avec la première dose ce qui montre que la mauvaise répartition des pluies a limité l'absorption des doses croissantes de phosphore.

Sur sol sablo-limoneux à Cinzana, on obtient des recouvrements variant entre 21 et 22 %. Ce qui est un peu plus bas

que ceux obtenus sur sol sableux. Le maximum est obtenu aussi avec la première dose, ce qui permet de tirer la même conclusion précédemment citée.

A N'Tarla, sur le même type de sol, on obtient entre 16 et 38 % sur sol riche en débris racinaires, le maximum est obtenu avec la première dose. Sur le même sol, mais appauvrie, on observe un recouvrement plus bas entre 6 et 12 %. Le maximum est obtenu avec la première dose.

Comme on peut le constater, les recouvrements obtenus varient entre 6 et 41 %. Par ailleurs on constate que partout le maximum est atteint déjà avec la première dose, ce qui montre de façon claire s'il en était besoin que l'absorption des doses croissantes de phosphore a été limitée par un autre facteur. Et de plus en plus on pense que c'est la mauvaise répartition des pluies et le déficit enregistré qui sont à la base de cette situation ainsi que le problème de fixation de l'élément.

- *Pennisetum pedicellatum* 1994

. *Doses croissantes d'azote* : Les recouvrements mesurés sur le bloc I à N'Tarla varient entre 10 et 22 %. Le maximum est atteint avec la troisième dose (Fig. 36). Avec le bloc II, les recouvrements varient entre 12 et 31 %. Le maximum est atteint avec la deuxième dose. Ce qui montre une absorption limitée pour l'azote (Fig. 37). Car nous avons vu que le double de ces valeurs a été obtenu au cours de certaines études.

. *Doses croissantes de phosphore* : Avec le phosphore, on obtient des recouvrements variant entre 19 et 64 % pour le bloc I, ce qui semble élevé (Fig. 38). Avec le bloc II les recouvrements varient entre 27 et 39 % (Fig. 39). On constate que les recouvrements obtenus ici sont tous élevés et varient entre 19 et 64 %. Aussi, les quantités de biomasse obtenues sont élevées pour toutes les doses, ce qui montre une certaine réponse à l'application des différentes doses. La différence entre le bloc I et le bloc II est surtout liée à l'hétérogénéité spatiale du milieu.

Le Tableau 23 montre l'absorption de N et de P par la biomasse aérienne au niveau du témoin et de la dose N0 pour l'*Andropogon gayanus*. On constate que les quantités tout comme les teneurs sont plus élevées pour le témoin que le niveau zéro avec apport de phosphore. Ce qui signifie que l'application de dose non limitative de P n'a pas joué ici, ce qui serait liée à l'immobilisation d'une partie de ce dernier par les micro-organismes du sol pour leur alimentation. Après la mort des micro-organismes, on assiste à la libération du P mis en stock et qui devient disponible pour la plante. L'autre partie se trouve fixée dans le sol par les oxydes de fer et d'alumine. La conjugaison de ces deux processus explique le manque d'effet de P au niveau de N0.

Tableau 23. Absorption de l'azote et du phosphore avec les traitements témoin et niveau zéro chez *Andropogon gayanus* en 1993 et 1994.

Localité et sol	N appliqué (kg ha ⁻¹)	N absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de N (%)	Production (t ha ⁻¹)	P appliqué (kg ha ⁻¹)	P absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de P (%)	Production (t ha ⁻¹)
1993								
Cinzana Sol sableux	Témoin	73,42	0,69	10,60	Témoin	7,92	0,09	8,60
	N0 P ₄	45,33	0,67	6,80	P0 N ₄	6,18	0,05	11,70
Sol Sablo- limoneux I	Témoin	31,51	0,37	8,50	Témoin	3,06	0,03	9,90
	N0	30,39	0,44	6,90	P0 N ₄	5,03	0,05	8,70

Sol Sablo- limoneux II	Témoin N0 P ₄	60,69	0,71	8,50	Témoin P0 N ₄	6,78	0,08	8,10
		71,30	0,59	12,10		4,76	0,06	7,20
N ^o Tarla Sol Sablo- limoneux	Témoin N0 P ₄	41,18	0,29	14,20	Témoin P0 N ₄	3,66	0,02	13,90
		28,90	0,19	15,20		5,91	0,02	22,40
1994								
N ^o Tarla Sol Sablo- limoneux	Témoin N0 P ₄ K	32,75	0,27	11,50	Témoin P0 N ₄ K	8,64	0,07	11,50
		33,94	0,23	13,40		5,59	0,03	14,00

Pour le P0 avec dose non limitative de N, on observe exactement le même phénomène et les mêmes conclusions peuvent être tirées.

Comme on peut le constater, la présence de la matière organique permet une meilleure utilisation de N et P suite à une meilleure gestion des stocks dans le sol.

Pour le N0 avec dose non limitative de P, on constate que les quantités tout comme les teneurs sont plus élevées au niveau de N0 que le témoin. Ce qui signifie que l'immobilisation de P est moindre avec les annuelles suite à une diminution du taux de matière organique. Avec le P0 les quantités et les teneurs sont dans les mêmes ordres de grandeur. Ce qui montre une fois de plus que l'immobilisation de N et de P sont moindres avec les annuelles que les pérennes. La production continue de matière organique par les pérennes serait à la base de ce phénomène et expliquerait également une immobilisation continue des engrais apportés.

La comparaison des deux cultures montre une situation d'équilibre au niveau de *Andropogon gayanus* suite à une grande immobilisation des éléments N et P. Avec le *Pennisetum pedicellatum* si l'immobilisation est faible, on constate que le phénomène de fixation peut être important et explique les résultats obtenus. Contrairement à *Andropogon gayanus*, on constate que la disponibilité en eau augmente l'utilisation de N et P. Cependant cette différence peut être imputée à la récolte tardive de *Andropogon gayanus* comme déjà démontré. C'est pourquoi une vérification de cet aspect devient une nécessité désormais.

Tableau 24. Absorption de l'azote et du phosphore avec les traitements témoin et niveau zéro chez *Pennisetum pedicellatum* en 1993 et 1994.

Localité et sol	N appliqué (kg ha ⁻¹)	N absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de N (%)	Production (t ha ⁻¹)	P appliqué (kg ha ⁻¹)	P absorbé (kg ha ⁻¹)	Taux de P (%)	Production (t ha ⁻¹)
1993								
Cinzana Sol sableux	Témoin N0 P ₄	45,51	0,73	6,20	Témoin P0 N ₄	12,61	0,20	6,20
		79,22	0,90	8,80		11,80	0,16	7,20
Sol Sablo- limoneux I	Témoin N0 P ₄	17,78	0,68	2,60	Témoin P0 N ₄	1,83	0,07	2,60
		69,23	0,83	8,30		4,04	0,07	5,10

N'Tarla Sol Sablo- limoneux (+ MO)	Témoin N0 P ₄	58,35	0,67	8,70	Témoin P0 N ₄	13,02	0,14	8,70
		44,79	0,80	5,60		8,58	0,10	8,40
N'Tarla Sol Sablo- limoneux (-MO)	Témoin N0 P ₄	30,00	0,67	4,40	Témoin P0 N ₄	4,93	0,11	4,40
		64,97	0,85	7,60		11,43	0,11	10,30
1994								
N'Tarla Sol Sablo- limoneux I	Témoin N0 P ₄ K ₄	78,90	0,80	9,80	Témoin P0 N ₄ K ₄	16,05	0,16	9,80
		83,25	0,79	10,50		14,65	0,28	11,10
Sol Sablo- limoneux II	Témoin N0 P ₄ K ₄	66,69	0,72	9,26	Témoin P0 N ₄ K ₄	11,00	0,27	9,20
		65,06	0,50	13,00		10,82	0,11	12,30

- Recouvrement de l'azote sur l'*Andropogon gayanus*

L'utilisation des doses croissantes de N sur l'*Andropogon gayanus* en 1993 n'a pas permis une augmentation des quantités de biomasse aérienne produite à l'hectare comme prévue. On constate qu'il n'y a pas de différences dans les productions de biomasse aérienne liées aux types de sol. Des différences apparaissent quand on compare les localités. En effet, tout traitement confondu, la biomasse aérienne maximale obtenue à Cinzana varie entre 10 et 12 t de MS ha⁻¹ et celle de N'Tarla entre 13 et 17 t de MS ha⁻¹ soit un écart de plus de 5 t de MS ha⁻¹. En 1994, cette production a augmenté d'une tonne soit 18 t de MS ha⁻¹ avec en plus une légère réponse des doses croissantes de N sur la culture. Nous pensons que la bonne répartition des pluies en 1994 a beaucoup favorisé cette situation, car on obtient une biomasse aérienne totale de plus de 16 t de MS ha⁻¹ avec toutes les doses et l'apport des doses complémentaires de Potassium et d'oligo-élément ne semble pas tellement jouées ici surtout si l'on compare les productions du témoin et du niveau zéro en 1993 (respectivement 14 et 15 t de MS ha⁻¹) aux mêmes traitements en 1994 à N'Tarla (respectivement 11 et 13 t de MS ha⁻¹). Quant aux taux de recouvrement mesurés ils sont bas et varient entre 3 et 46 % en 1993. En 1994 on observe une diminution entre 13 et 20 % soit près de 50 % si l'on compare les meilleurs taux obtenus au cours des deux années. Aussi de façon générale, on constate que l'augmentation de la dose n'entraîne pas obligatoirement une augmentation du taux de recouvrement, on enregistre plutôt une diminution.

Les recouvrements de l'azote obtenus avec *Andropogon gayanus* durant ces deux années sont en général faibles surtout si l'on se réfère aux doses apportées. En effet des études effectuées par d'autres auteurs montrent des taux de recouvrement plus élevés que ceux observés durant nos expériences. La conclusion logique et simple tirée par ces auteurs est celle d'un comportement des engrais dans la région, qui ne diffère pas de leur comportement ailleurs. Aussi jusqu'à 80 % de l'azote utilisé pour la fertilisation des cultures peut être utilisés par les plantes. [Penning de Vries & Djitèye, \(1982\)](#) ont trouvé pour l'azote des recouvrements de 40 % avec les espèces des parcours naturels dont fait partie l'*Andropogon gayanus*. La même valeur est obtenue avec le sorgho et le petit mil (Van Duivenbooden, 1992). Ce qui montre qu'en la matière, il n'existe pas de grande différence entre les observations sur terrain de parcours et les cultures. De Ridder & van Keulen (1990) ont trouvé pour le mil des recouvrements de 21 à 28 % pouvant atteindre les 51 et 56 %. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles observées avec les doses croissantes de N utilisées comme montré dans le Tableau 21. Une fois seulement on observe un recouvrement de 46 % et cela avec la première dose, ce qui permet de conclure que la culture n'a pas répondu à l'application des doses croissantes de N, d'où la différence entre nos observations et celles des autres et montre par ailleurs que d'autres facteurs

limitants ont dû jouer ici. Il s'agit notamment de la récolte tardive de *Andropogon gayanus* bien après la période floraison-fructification correspondant à celle de la biomasse et des teneurs maximales en différents éléments nutritifs (Tableaux 6 et 7 et les Figs 18 à 23) et de la structure du système racinaire en l'occurrence l'efficacité moindre des racines fines dans l'absorption des nutriments chez la plante bien pourvue surtout en grosses racines dans la couche superficielle qui reçoit les apports d'éléments nutritifs. La correction à partir de la période de récolte devrait permettre d'aboutir à un recouvrement supérieur à celui du *Pennisetum pedicellatum*.

- Recouvrement de l'azote sur le *Pennisetum pedicellatum*

Quant à la culture du *Pennisetum pedicellatum*, l'utilisation des doses croissantes de N en 1993 n'a pas permis une augmentation de la production de biomasse aérienne à l'hectare. Par ailleurs, on n'observe pas de différences liées aux types de sol ou à la localité, les productions obtenues étant presque identiques partout. Les productions maximales de biomasse aérienne obtenues sont respectivement 9 t de MS à Cinzana et 12 t de MS ha⁻¹ à N'Tarla soit un écart de 3 t de MS ha⁻¹ entre les deux localités, ce qui n'est pas assez grand si l'on compare les potentiels de production. En 1994, on observe à N'Tarla une nette amélioration du niveau de production avec toutes les doses apportées, même les témoins n'échappent pas à la règle (9 t de MS ha⁻¹ contre 2 à 8 t de MS ha⁻¹ en 1993). La production maximale obtenue atteint 16 t de MS ha⁻¹ soit un écart de près de 4 t de MS ha⁻¹ par rapport à 1993. Une fois de plus nous pensons que c'est surtout la bonne répartition de la pluviométrie qui a joué ici. La comparaison des productions de biomasse du témoin en 1993 au même traitement en 1994 à N'Tarla ne donne que 8,7 contre 9,5 t de MS soit un écart de seulement 0,8 t de MS ha⁻¹ et montre que l'apport complémentaire de Potassium et des oligo-éléments n'a pas joué ici. Aussi, on n'observe pas de réponse due à l'application des doses croissantes en 1993, mais en 1994, on observe une réponse même si la différence entre les niveaux de production n'est pas élevée avec moins d'une tonne de MS par ha entre les doses (Tableau 22). Cependant cette limitation liée à la disponibilité en eau est nettement plus visible avec *Andropogon gayanus* que *Pennisetum pedicellatum*.

Les recouvrements mesurés varient entre 14 et 36 %. Les valeurs maximales sont un peu plus basses que celles observées sur *Andropogon gayanus* surtout après correction des pertes ainsi que celles obtenues par les auteurs cités plus haut. En 1993 comme en 1994 à N'Tarla sur sol sablo-limoneux bien pourvu en matière organique constituée par les débris racinaires de l'*Andropogon gayanus*, il a été enregistré des recouvrements se situant entre 31 et 36 % (Tableaux 21 et 22). Ces valeurs sont légèrement supérieures à celles observées à Cinzana sur sol sableux. Ce qui montre que le type de sol et la présence de la matière organique dans le sol entraîne une amélioration du taux de recouvrement de l'azote par la culture. Les faibles recouvrements observés sont difficiles à expliquer étant donné la pauvreté des sols étudiés en azote (cf résultats analyse de sol, Tableaux 3, 4 et 5).

Conclusion partielle

La comparaison des recouvrements obtenus sur les deux cultures ne montre pas de grande différence entre l'*Andropogon gayanus* (3 à 46 %) contre (6 à 36 %) pour le *Pennisetum pedicellatum*. Les recouvrements obtenus en 1993 sont très variables avec souvent des taux négatifs. Aussi on constate que les cultures n'ont pas favorablement répondu à l'apport des doses croissantes de N. Cependant en 1994, les recouvrements obtenus avec les deux cultures sont groupés et plus constants avec une certaine réponse à l'application des doses croissantes de N.

De façon générale, les résultats des deux années montrent que le *Pennisetum pedicellatum* utilise plus efficacement l'azote que *Andropogon gayanus*. Comme déjà démontré nous pensons que ceci peut être mis au compte de l'activité du système racinaires des deux cultures. Le *Pennisetum pedicellatum* avec beaucoup plus de fines racines que *Andropogon gayanus* dans les horizons superficiels arrivent à absorber des quantités plus élevées d'azote. Quant à *Andropogon gayanus*, la présence de nombreuses grosses racines dans cet horizon limite l'absorption de N. Les

résultats plus encourageants obtenus en 1994 sont à mettre au compte de la bonne répartition des pluies, en permettant une bonne dilution de l'azote, a favorisé l'absorption des éléments nutritifs ainsi que de l'eau par les racines fines très efficaces dans ce domaine. L'autre argumentation serait liée à la récolte tardive de *Andropogon gayanus* et la correction de cette situation devrait aboutir à un recouvrement de *Andropogon gayanus* supérieur à celui de *Pennisetum pedicellatum*.

- Recouvrement du phosphore avec l'*Andropogon gayanus*

Quant aux résultats présentés sur les doses croissantes de phosphore, on constate qu'avec l'*Andropogon gayanus* l'utilisation des différentes doses n'a pas permis une augmentation conséquente de la production de biomasse aérienne à l'ha en 1993. On n'observe pas de différence entre type de sol mais plutôt entre localité 7 à 10 t de MS ha⁻¹ à Cinzana contre 13 à 16 t à N'Tarla avec un écart de près de 6 t de MS ha⁻¹. En 1994, malgré une production maximale de 18 t de MS ha⁻¹ on observe une réponse de la culture à l'application des doses croissantes de P (Tableau 21).

Nous pensons que la pluviométrie, la présence de la matière organique la structure du système racinaire ainsi que l'hétérogénéité spatiale du milieu explique en partie ces résultats.

Les recouvrements de phosphore mesurés sur *Andropogon gayanus* varient entre 1 à 14 % en 1993 et 1994 entre 7 et 22 %. Ce qui montre une nette amélioration d'une année à l'autre (Tableau 21). Ces valeurs observées durant les deux années sont plus basses que celles obtenues par certains auteurs. Van Duivenbooden (1992) trouve des recouvrements de P variant entre 15 et 25 % pour le sorgho et le mil. [Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#) ont trouvé un recouvrement maximal de 50 % en première année.

- Recouvrement du phosphore avec le *Pennisetum pedicellatum*

Avec le *Pennisetum pedicellatum*, l'utilisation des doses croissantes de P comme avec *Andropogon gayanus* n'a pas permis une augmentation conséquente de la production de biomasse aérienne en 1993. On observe pas de différence entre le type de sol mais entre localité : 2 à 8 t de MS ha⁻¹ à Cinzana contre 4 à 12 t de MS ha⁻¹ à N'Tarla. En 1994, on obtient des productions beaucoup plus élevées avec toutes les doses (9 à 16 t de MS ha⁻¹). Les mêmes conclusions citées pour l'*Andropogon gayanus* restent valables ici.

Les recouvrements mesurés varient entre 6 et 41 % en 1993 et en 1994 entre 19 et 64 %, ce qui montre une nette amélioration d'une année à l'autre (Tableau 22). Les valeurs obtenues durant les deux années sont en moyennes un peu plus élevées que celles trouvées par Van Duivenbooden (1992) et [Penning de Vries & Djitèye](#) soient respectivement 15 à 25 % et 50 % comme maximum. La situation des témoins incite à penser que la pluie tout en permettant une plus grande dilution des éléments nutritifs a pu jouer ici, ainsi le mécanisme de fonctionnement des fines racines. En outre, on sait également qu'au début de l'hivernage, les graminées sont plutôt défavorisées par la nature que les pérennes avec une biomasse initiale importante qui marque le point de départ de leur cycle végétatif, alors que celle des annuelles commence avec une nouvelle germination. Cependant au moment de la période de croissance rapide, cet avantage se trouve complètement annulé et les deux groupes de plantes ne diffèrent plus. A cause d'un cycle de croissance plus court, les annuelles auront même une croissance plus rapide. La conséquence de cette situation est un développement rapide du système racinaire en surface et en profondeur des fines racines qui arrivent à mieux profiter de l'humidité du sol et des éléments nutritifs. Par ailleurs, les études du PPS ([Penning de Vries & Djitèye, 1982](#)) ont montré que l'absorption de P, est fonction de la densité du système racinaire et l'humidité du sol favorise beaucoup cette situation.

Conclusion partielle

La comparaison des recouvrements mesurés sur les deux cultures montre des taux plus élevés avec le *Pennisetum pedicellatum* qu'avec l'*Andropogon gayanus* notamment en deuxième année. On peut conclure que le *Pennisetum pedicellatum* utilise beaucoup plus efficacement le phosphore que l'*Andropogon gayanus* à cause des raisons évoquées ci-dessus. Mais avec l'azote, la correction des pertes occasionnées par la récolte tardive de *Andropogon gayanus* mène à des recouvrements plus élevés que pour *Pennisetum pedicellatum*.

Comme on peut le constater, cette nouvelle donnée permet de démontrer que *Andropogon gayanus* donne un taux de recouvrement plus élevé que *Pennisetum pedicellatum* avec respectivement 26 à 40 % pour l'azote et 14 à 44 % pour le phosphore avec la pérenne et 6 à 36 % pour l'azote et 6 à 64 % avec l'annuelle. Ce qui confirmerait l'hypothèse selon laquelle les graminées pérennes présentent un recouvrement plus élevé que les annuelles.

Concernant la biomasse aérienne, les résultats obtenus au niveau de l'essai n°1 sur le recouvrement donnent une production maximale de 18 t pour *Andropogon gayanus* et 16 t de MS ha⁻¹ pour le *Pennisetum pedicellatum* soit un écart de seulement 2 t de MS ha⁻¹. Sur un autre essai (n°3) portant sur la paramétrisation du développement de *Andropogon gayanus*, une production optimale de 23 t de MS ha⁻¹ a été obtenue soit un écart de près de 7 t de MS ha⁻¹ par rapport au *Pennisetum pedicellatum*. Cette différence de 2 à 7 t de MS ha⁻¹ n'est pas du tout négligeable et pourrait constituer une plus-value de l'aspect pérennité de *Andropogon gayanus* par rapport au *Pennisetum pedicellatum*. Par ailleurs, il a été établi également qu'une plus grande production de biomasse totale entraîne une plus grande production de matière organique en faveur de *Andropogon gayanus*. La comparaison des recouvrements obtenus à N'Tarla d'un côté sur sol riche en débris végétaux et de l'autre côté sur sol appauvri (jachère récente) montre un effet améliorateur lié à la présence de la matière organique dans le sol pendant une courte période. Avec *Pennisetum pedicellatum*, on constate que le recouvrement moyen sur sol appauvri est de 14 % alors que sur sol riche en débris végétaux, il est de 34 % (plus du double). Par contre avec *Andropogon gayanus* en place depuis plus de 40 ans avec accumulation continue de la matière organique dans le sol, on observe le phénomène contraire avec un recouvrement moyen très bas de l'ordre de 4 %. On pense que ceci serait l'oeuvre des micro-organismes de la matière organique qui en raison de leur abondance dans le sol utiliseraient une partie de l'engrais apporté pour leur propre alimentation. Ce qui a pour conséquence de diminuer la fraction de l'azote disponible pour les plantes même s'il y a une disponibilité permanente de l'élément dans le sol à long terme. D'où la conclusion que si la présence de la matière organique dans le sol à long terme améliore le taux de recouvrement des engrais apportés, à court terme on observe le phénomène contraire. L'amélioration du taux de recouvrement des engrais peut être considérée comme une plus-value de la pérennité et confirme la thèse selon laquelle la pérennité conduit au maintien du taux de la matière organique qui à son tour améliore le taux de recouvrement à court et long terme.

Enfin la comparaison du peuplement jeune de *Andropogon gayanus* au peuplement âgé montre un meilleur recouvrement des engrais pour le jeune. Ceci est imputable à l'utilisation de l'engrais par les micro-organismes et à son immobilisation dans la matière organique. Un tel système peut être considéré comme étant en équilibre car les importations sont entièrement couvertes par les exportations. Comme on peut le constater, l'apport d'éléments nutritifs n'est pas nécessaire dans un tel système en absence de toute forme d'exploitation. L'exploitation par la coupe, la pâture ou le feu entraîne un déséquilibre à l'intérieur du système. La valorisation de la plus-value de l'aspect pérennité devrait se faire en deux étapes. Avec un peuplement âgé, la production fourragère peut s'effectuer sans apport d'engrais et l'exploitation à long terme doit conduire à un épuisement suite à une utilisation intense de la fertilité naturelle du sol qui n'est plus renouvelée. C'est ainsi qu'avec l'essai n°3 sur la paramétrisation du développement de *Andropogon gayanus* on constate qu'en présence d'une disponibilité suffisante en eau en 1994, le témoin donne sensiblement la même production de biomasse aérienne et racinaire que les doses maximales montrées (Tableaux 7 et 11, Figs [16a](#) à [17d](#)).

Avec un peuplement jeune, l'apport d'éléments nutritifs est indispensable pour une production optimale. La pauvreté du sol en matière organique entraîne une plus grande utilisation de l'élément apporté par la culture. Dans un cas comme dans l'autre la biomasse aérienne produite reste supérieure à celle du *Pennisetum pedicellatum*.

4.2. Stockage des éléments nutritifs et des hydrates de carbone par *Andropogon gayanus*

Cette partie porte sur les résultats obtenus au niveau de l'essai n° 2, à savoir l'effet de la coupe sur la production de la biomasse aérienne et le stock des éléments nutritifs et des hydrates de carbone. Par ailleurs au cours de ce travail nous nous sommes intéressés également à l'évolution du stock d'eau dans le sol et de celui des réserves (éléments nutritifs et hydrates de carbone) sur le phénomène de l'apparition des repousses et le démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage.

4.2.1. Effet de la fauche sur la production de la biomasse aérienne

La coupe proprement dite n'était pas l'objectif de cette étude mais plutôt son influence sur l'apparition des repousses à travers la diminution du stockage des carbohydrates et des éléments nutritifs N et P.

Tableau 25. Biomasse aérienne totale (kg ha^{-1}) de l'*Andropogon gayanus* en fonction de la date de fauche à Cinzana en 1993.

Traitement	Nature de fauche	Biomasse aérienne (kg ha^{-1})						
		Date de Fauche	02/09	30/09	28/10	25/11	20/12	Total
Témoin	Fauche régulière		1642	3077	2323	93	0	7135
	Fauche fin de cycle (20/12)		-	-	-	-	9249	9249
300kg N	Fauche régulière		1530	3142	1541	50	0	6263
79 kg P	Fauche fin de cycle (20/12)		-	-	-	-	6792	6792

Le cumul de la biomasse aérienne des repousses (fauche régulière) du témoin tout comme du traitement avec N et P donne dans chacun des cas une production moins importante que celle de fin de cycle. Avec le témoin l'écart entre les deux est de $2,1 \text{ t de MS ha}^{-1}$. Avec le traitement fertilisé, l'écart se réduit et n'est que de $0,5 \text{ t de MS ha}^{-1}$. On peut en conclure que la fauche répétée entraîne une diminution de la biomasse aérienne totale. Les résultats des travaux effectués par différents auteurs confirment bien cela. César (1989) trouve qu'un rythme d'exploitation intense de 30 j par exemple comme dans notre cas entraîne une baisse important de la biomasse aérienne par rapport à celle de fin de cycle. Cette baisse se répercute également au niveau de la biomasse racinaire. Il se produit le phénomène d'épuisement de la végétation par une diminution de la vitesse de croissance au niveau de la plante suite à une diminution de la photosynthèse occasionnée par une réduction du LAI. L'explication du phénomène résulte d'une diminution de la photosynthèse après chaque fauche au moins temporairement affectant du coup la biomasse racinaire qui diminue également. Ce qui se traduit par une mauvaise alimentation hydrique et minérale de la plante.

Par ailleurs, on constate que les quantités de biomasse aérienne obtenues avec le témoin dépassent celles du traitement fertilisé, ce qui n'est pas normal. Mais cela n'est pas étonnant car des résultats aussi semblables ont été enregistrés au niveau de l'essai n°3 installé sur la même parcelle. Les conclusions tirées à ce propos restent valables

(cf paragraphe 4.1.1.1).

On constate que les quantités de N et de P sont plus élevées avec la fertilisation qu'avec le témoin.

Que ce soit le N ou le P, les cumuls des quantités obtenues aux différentes dates sont plus élevés que ceux obtenus en fin de cycle. Ce qui montre que quand on fertilise, il faut faucher pour mieux profiter de la qualité du fourrage produite.

Aussi on constate que la fauche tout en entraînant une diminution de la quantité de biomasse maintient la qualité du fourrage. On voit également que la fertilisation n'a pas influencée la production de biomasse mais a bien pu faire monter la qualité du fourrage par rapport au témoin.

4.2.2. Effet de la fauche sur l'évolution des taux de N et de P dans la biomasse aérienne

Tableau 26. Quantité de N et de P (kg ha⁻¹) dans la biomasse aérienne de l'*Andropogon gayanus* en fonction de la date et de la fréquence de coupe à Cinzana en 1993, avec et sans fertilisation.

Traitement	Date de Fauche	Taux N	Quantité N (kg ha ⁻¹)	Taux P	Quantité P (kg ha ⁻¹)
Témoin fauche régulière	2 Septembre	1,8	30	0,4	3
	30 Septembre	1,4	45	0,4	5
	28 Octobre	1,2	28	0,3	3
	25 Novembre	1,1	1	0,3	0,1
	20 Décembre	-	0	-	0
Total			103		11
Témoin fauche de fin de cycle	20 Décembre	0,7	49	0,2	6
Fertilisation fauche régulière	2 Septembre	2,1	32	0,5	3
	30 Septembre	2,0	65	0,5	7
	28 Octobre	1,3	20	0,4	3
	25 Novembre	1,3	0,6	0,3	0,1
	20 Décembre	-	0	-	0
Total			118		13
Fertilisation fauche de fin de cycle	20 Décembre	0,9	58	0,4	10

Par ailleurs on voit également que la fauche répétée induit une différence par rapport à celle de fin de cycle pour ce qui concerne les quantités de N et P produites. Le cumul des quantités de N et P est deux fois plus élevé pour la fauche régulière que la fauche de fin de cycle. Ce qui confirme l'hypothèse de l'utilisation des réserves avec pour conséquence un affaiblissement de la plante avancée par César, (1989). Avec le taux de N et P, on constate que la fauche répétée permet de maintenir les valeurs à un niveau plus élevé que la fauche de fin de cycle. Ce qui permet de conclure que l'exploitation de la biomasse au cours du cycle de croissance conduit à un épuisement des réserves qui empêcherait la constitution de stock. La mortalité d'un grand nombre de pieds observé pendant la saison sèche en est une belle illustration. Des expériences de fauche (Cissé & Breman, 1980) ont permis d'obtenir des résultats identiques. Ils ont trouvé que l'espèce est sensible à l'exploitation : la productivité diminue fortement et ceci tant que le rythme des fauches augmente. Il en résulte finalement une forte mortalité des touffes. Le même phénomène a été observé au niveau de notre essai.

4.2.3. Evolution de la biomasse des repousses et de leur stock en éléments nutritifs et en hydrate de carbone en 1994

4.2.3.1. Biomasse aérienne des repousses pendant la saison sèche et en début d'hivernage

Les repousses de l'*Andropogon gayanus* ont été suivies au cours de la saison sèche 1994 à N'Tarla et en début d'hivernage à Cinzana et N'Tarla. Les quantités de biomasse obtenues figurent dans le Tableau 27.

Tableau 27. Biomasse aérienne des repousses (kg ha^{-1}) de l'*Andropogon gayanus* en 1994.

Localité / traitement	Age des repousses	Biomasse aérienne (kg ha^{-1})						
	(j)	Feuille verte	Feuille sèche	Tige verte	Tige sèche	Noeud vert	Rhizome vert	**Total MS
N'Tarla	150	480	690	390	1700	200	1130	1070
N'Tarla	15	440	490	930	1990	180	1200	1550
N'Tarla	7	120	980	280	2550	160	1660	560
Cinzana Témoin fauche régulière	56	130	--	--	--	--	--	
Cinzana Témoin fauche de fin de cycle	56	180	--	--	--	--	--	
Cinzana 300N + 180P fauche régulière	56	86	--	--	--	--	--	
Cinzana 300N + 180P fauche de fin de cycle	56	86	--	--	--	--	--	

*l'âge des repousses est fonction de la date de coupe de régularisation et de la date d'apparition des premières pousses

150 jours = Décembre au 31 Mai

15 jours = Du 16 Mai au 31 Mai

7 jours = Du 26 Mai au 31 Mai

56 jours = Du 19 Mai au 07 Juillet

** Total MS = correspond au total des organes aériens verts

feuille verte + tige verte + noeud vert

Noeud = correspond au dernier segment de la tige

Rhizome = correspond à l'organe à partir de laquelle se développe l'ensemble du système racinaire.

A N'Tarla les quantités de biomasse aérienne obtenues montrent que l'époque de la coupe de régularisation exerce une influence sur la production des repousses. La comparaison des trois dates montre qu'une coupe effectuée tout de suite après les premières pluies donne plus de biomasse qu'une coupe effectuée depuis la fin de cycle de la plante. Ce qui signifie qu'il y a une mauvaise utilisation des réserves de la plante lorsque le développement des repousses s'étale sur une longue période. L'écart entre les deux dates est de $0,5 \text{ t de MS ha}^{-1}$. La supposition que l'on peut faire sur ce point est que pendant une bonne partie de la saison sèche, les conditions climatiques défavorables telles que la faible

réserve en eau du sol diminue fortement la mobilisation des réserves nutritives du sol et limitent beaucoup la croissance en provoquant la mortalité des touffes.

La troisième date à N'Tarla montre cependant qu'une coupe trop tardive aussi retarde le démarrage de la croissance végétative en début d'hivernage, le feu pouvant jouer le même rôle que la coupe. La coupe tout comme le feu par leur action nettoyante en mettant à nu les points de croissance (bourgeons) favorisent sans doute la croissance liée à la première pluie (Abbadie, 1984) et lorsque ce n'est pas le cas celle-ci est retardée. Ceci est confirmé par les résultats obtenus à N'Tarla.

A Cinzana, malgré une coupe effectuée dès la période de fin de cycle, la mauvaise répartition pluviométrique enregistrée en 1993 n'a pas permis à la plante de fournir des repousses pendant la saison sèche. Il a fallu attendre les premières pluies à la fin de la deuxième décennie de Mai pour voir apparaître les premières pousses. Comme en hivernage, les témoins ont gardé leur avantage par rapport aux traitements fertilisés. Le rapport témoin fertilisation varie entre 1,5 et 2. Il est bon de signaler que la mortalité des talles était plus importante au niveau des parcelles fertilisées que les témoins ce qui aurait probablement joué sur la production des pousses.

4.2.3.2. Stock des éléments nutritifs dans les parties aériennes et souterraines à la fin du cycle de développement en 1993 (Essai n°3)

Tableau 28. Quantité de N, P, K (kg ha^{-1}) dans la biomasse aérienne et racinaire de *Andropogon gayanus* en fin de cycle en 1993 et 1994.

Localité Traitement	Azote			Phosphore			Potassium		
	Aérienne	Racinaire	Total	Aérienne	Racinaire	Total	Aérienne	Racinaire	Total
Cinzana 1993 Témoin	15	29	44	2	3	5	100	69	169
NP	32	52	84	6	4	9	92	48	139
N'Tarla 1993 Témoin	21	13	34	2	1	3	173	22	195
NP	58	39	97	8	5	13	235	50	285
N'Tarla 1994 Témoin	48	10	59	5	1	7	260	18	278
NPK	64	24	88	11	4	15	229	41	270

On constate qu'en 1993 et 1994 l'absorption des différents éléments est améliorée avec l'application des doses d'engrais.

Concernant la biomasse aérienne, les quantités de K sont très élevées et varient entre 92 et 260 kg ha^{-1} . Ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle nos sols sont riches en cet élément. Ensuite viennent le N avec des quantités variant entre 15 et 64 kg ha^{-1} . Le P présente les plus faibles quantités variant entre 2 et 11 kg ha^{-1} . Les valeurs moyennes de N obtenues avec les témoins (15 et 34 kg de N ha^{-1}) sont presque identiques à celles obtenues par d'autres auteurs.

[Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#) ont trouvé des quantités de N variant entre 10 et 35 kg ha^{-1} pour la végétation

naturelle. Luc Abbadie (1984) trouve pour le mil des quantités de 35 et 47 kg ha⁻¹ pour *Andropogon Schirensis*. César (1989) trouve 24 à 38 kg ha⁻¹ pour la végétation naturelle et van Duivenbooden & Cissé (1989) ont trouvé pour un mélange de mil, *Schoenefeldia gracilis* et *Pennisetum pedicellatum*, 34 kg ha⁻¹. Les quantités élevées que nous avons obtenues trouvent leur explication à travers les doses appliquées.

Avec le P, les valeurs moyennes des témoins sont comprises entre (2 et 4 kg ha⁻¹), [Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#) ont trouvé entre 10 et 21 kg ha⁻¹ ; Abbadie (1984) trouve chez le mil entre 12 à 15 kg ha⁻¹ et pour *Andropogon Schirensis* jusqu'à 75 kg ha⁻¹ ; Van Duivenbooden & Cissé (1989) ont trouvé 12 kg ha⁻¹. On constate que ces quantités sont un peu plus élevées que celles obtenues durant nos études et confirment l'hypothèse selon laquelle nos sols et d'une manière générale les sols tropicaux sont pauvres en phosphore. La teneur de P < 5 (résultats analyse sol) le démontre également.

Quant au potassium, [Penning de Vries & Djitèye, \(1982\)](#) ; Abbadie, (1984) trouvent sur parcours naturels 50 kg ha⁻¹. Ce chiffre est largement inférieur aux résultats que nous avons obtenus. Ce qui montre clairement une certaine richesse du sol en potassium et confirme l'hypothèse selon laquelle les sols des essais sont riches en cet élément. Mais il faut noter que la récolte et/ou l'exploitation du fourrage conduit à une exportation massive de cet élément qu'il faudra corriger, sans quoi on risque d'être confronté à un manque de cet élément après quelques années.

Avec la biomasse racinaire, on constate la même tendance à savoir que le K présente les quantités les plus élevées (22 à 69 kg ha⁻¹) suivi par le N (12 à 52 kg ha⁻¹) et du P (1,06 à 5 kg ha⁻¹).

Les quantités de N, P, K absorbées par le système racinaire sont moins importantes chez le témoin que chez le traitement fertilisé. A cet effet, Robbins (1984) a enregistré pour l'azote un accroissement du stock de N des racines de 11,5 kg ha⁻¹ à 21 kg ha⁻¹ avec *Panicum maximum* après fertilisation.

[Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#) ont trouvé une absorption de 37 kg ha⁻¹ de N chez *Andropogon gayanus* ; Abbadie (1984) trouve entre 24 à 38 kg ha⁻¹ avec le mil. Il a trouvé également que la minéralisation des racines mortes fournis jusqu'à 40 kg de N ha⁻¹. Enfin Robertson *et al.* (1993) ont trouvé pour le sorgho 22 kg ha⁻¹ en 1985 et 8 kg ha⁻¹ en 1986 et pour le *Panicum maximum* 49 kg et 86 kg de N ha⁻¹. Ces quantités sont dans les mêmes ordres de grandeur que celles obtenues durant nos études (Tableau 28) et montre que les racines constituent une source potentielle d'approvisionnement du sol en azote.

Les quantités de P sont faibles et montrent que le sol est pauvre en cet élément et même l'apport de P n'améliore pas la situation. On suppose que la fixation du P-ass est responsable de cet état de fait.

Enfin quand au K les quantités sont moyennement élevées et face aux exportations élevées de cet élément au niveau des parties aériennes il est bon de maintenir le niveau du stock par des apports complémentaires de Potassium.

De cette analyse, il ressort que *Andropogon gayanus* peut absorber des quantités totales non négligeables de N. Celles-ci étant de l'ordre de 33 jusqu'à 58 kg ha⁻¹ sans apport d'intrants chimiques. Avec la fertilisation on atteint facilement presque le double allant jusqu'à 97 kg ha⁻¹.

Avec le phosphore, les quantités totales sont beaucoup plus faibles entre 2 et 5 kg et même l'apport des doses allant jusqu'à 79 kg de P n'entraîne pas une amélioration de l'absorption par la plante qui ne dépasse pas les 15 kg ha⁻¹.

Avec le potassium, les quantités totales sont très élevées entre 139 et 278 kg ha⁻¹ et signifie qu'on doit penser à corriger chaque fois le déficit exporté par la culture.

Si les quantités absorbées par les plantes ne sont pas négligeables, il faut cependant noter que les quantités de biomasse aérienne et racinaire qui retournent au sol contribuent à une nette amélioration du niveau de la fertilité.

Concernant le taux d'exploitation de la biomasse aérienne des herbacées, on sait que jusqu'à 35 % de la biomasse sont utilisés par les animaux en pâture au cours de l'année. Ce qui signifie que le reste, près de 65 % retournent au sol, Boudet (1975) ; [Penning de Vries & Djitéye \(1982\)](#) .

Avec la biomasse racinaire, Coleman (1977) et Clark (1977) ont trouvé respectivement des proportions de racines mortes de 38 et 64 % pour certaines espèces pérennes. Les observations effectuées durant les saisons sèches 1993 et 1994 ont donné des taux de mortalités de 61 et de 55 % (Traoré, 4.1.1.1).

Sur la base de ces informations, nous avons calculé les quantités de N, P, K de la biomasse totale qui sont restituées au sol avec 65 % pour la biomasse aérienne et 55 % pour les racines.

Les résultats obtenus en 1993 et 1994 au niveau de l'essai n°3 sur la paramétrisation du développement de *Andropogon gayanus* sont montrés dans le Tableau 29.

Les quantités des différents éléments nutritifs ont été calculées sur la base des quantités de biomasse aérienne et racinaire obtenues au cours des deux années d'expérience.

Tableau 29. Quantités de N, P, K (kg ha⁻¹) restituées par la biomasse aérienne et souterraine.

Localité année	Traitement	Quantité N (kg ha ⁻¹)	Quantité P (kg ha ⁻¹)	Quantité K (kg ha ⁻¹)
Cinzana 1993	Témoin	26	3	103
	Fertilisation	49	6	86
N°Tarla 1993	Témoin	21	2	125
	Fertilisation	59	8	180
N°Tarla 1994	Témoin	37	4	179
	Fertilisation	55	9	171

On constate que les quantités d'éléments nutritifs restituées au sol sont moins importantes que celles absorbées par la biomasse totale. La comparaison des résultats des Tableaux 28 et 29 montrent que entre 55 et 65 % des quantités de nutriments absorbées par la culture retournent au sol. Ce qui permet de conclure que les exportations sont plus élevées que les restitutions et dénote de l'importance des apports d'engrais pour le maintien de la durabilité des systèmes de production. En effet, les résultats du Tableau 28 montrent clairement que les plantes absorbent des quantités élevées de N et de K. Pour remplacer ces exportations et maintenir la production à un niveau acceptable, il est nécessaire de procéder à un amendement des terres exploitables. Quant au P, les quantités absorbées restent faibles malgré l'apport des doses complémentaires élevées ; ce qui signifie que le P n'est pas efficacement absorbé par la culture à cause du problème de fixation.

La résolution du problème de fixation du P-ass pourrait constituer un début de solution face à cette situation.

4.2.3.3. Stock d'hydrate de carbone soluble dans la biomasse aérienne pendant la saison sèche et en début d'hivernage en 1994 (Essai n°2)

Tableau 30. Stock d'hydrate de carbone soluble dans la biomasse aérienne et les rhizomes de l'*Andropogon gayanus* à la fin de la saison sèche à Cinzana et N'Tarla, 1994.

Localité	Âges des Repousses (j)	Feuille verte (kg ha ⁻¹)	Feuille sèche (kg ha ⁻¹)	Tige verte (kg ha ⁻¹)	Tige sèche (kg ha ⁻¹)	1er Noeud (kg ha ⁻¹)	Rhizome (kg ha ⁻¹)	Total (kg ha ⁻¹)
N'Tarla Témoin	150	11,15	6,13	4,6	12,96	3,56	20,97	59,37
	15	6,02	2,91	10,36	10,36	4,61	18,74	53,00
	7	1,85	7,43	6,77	11,99	1,63	37,59	67,26
Cinzana	56 (1)	5,29	-	-	-	-	-	5,29
	56 (2)	8,07	-	-	-	-	-	8,07
	56 (3)	2,79	-	-	-	-	-	2,79
	56 (4)	3,01	-	-	-	-	-	3,01

(1)= Témoin avec fauche régulière

(2) = Témoin avec fauche fin de cycle

(3) = Fertilisation avec fauche régulière

(4) = Fertilisation avec fauche fin de cycle

La détermination du stock d'hydrate de carbone dans la biomasse aérienne a été faite. Le Tableau 30 montre les résultats obtenus pour les différentes parties de la plante en fonction de l'âge des repousses. A N'Tarla on observe les plus grandes quantités d'hydrate de carbone dans les rhizomes, puis viennent les tiges mortes et les feuilles vertes. Par ailleurs, on constate que l'âge des repousses n'a pas une grande influence sur la quantité totale d'hydrate de carbone formée dans les différentes parties de la plante (Tableau 30). Ce qui signifie que ce sont vraiment des quantités mises en stock et que quelque soit l'âge des repousses, le stock d'hydrate de carbone est présent, car l'utilisation est moindre pendant une bonne partie de la saison sèche à cause de la faible quantité de biomasse produite.

La légère variation des quantités d'hydrate de carbone soluble permet de conclure que l'élément est stocké pendant la saison sèche et confirme l'hypothèse que la plante constitue des réserves pendant cette période.

4.2.3.4. Stock d'hydrate de carbone soluble dans la biomasse racinaire pendant la saison sèche et en début d'hivernage (Essai n°2)

Tableau 31. Stock d'hydrate de carbone soluble (kg ha⁻¹) dans la biomasse racinaire de l'*Andropogon gayanus* à N'Tarla en 1994.

	Date de Prélèvement							
	21/01	14/02	28/03	26/04	23/05	17/06	04/07	12/07
Hydrate de carbone soluble	890	202	631	176	54	15	54	75

On constate que le stock d'hydrate de carbone soluble est important pendant la période de saison sèche. En Mai avec l'arrivée des premières pluies, le stock est 16 fois moins élevée que celui du mois de Janvier. Cette diminution se

poursuite jusqu'au mois de Juin. Après cette période, la reconstitution du nouveau stock commence par une nouvelle augmentation de la quantité totale. On peut en conclure que les hydrates de carbone stockés pendant toute la période de saison sèche sont utilisés par les jeunes pousses à la fin de la saison sèche et au moment de la reprise de la végétation après les premières pluies.

Les résultats présentés dans la Fig. 56 sur l'évolution de la teneur en hydrate de carbone (g kg^{-1}) dans la biomasse racinaire en fonction de la profondeur pendant la saison sèche 1994 permettent d'appuyer notre hypothèse.

Figure 40. Teneur en hydrates de carbone dans les racines.

L'analyse des résultats présentés dans la Fig. 40 montre des quantités (g kg^{-1}) d'hydrate de carbone très élevées au niveau de toutes les couches (entre 130 à 175 g kg^{-1}). Le stock se maintient jusqu'en fin Mars. Après cette date, on observe une diminution du stock qui se poursuit jusqu'en fin Juin, à cette date le stock n'est que de 20 à 30 g kg^{-1} . Cette diminution est consécutive à une utilisation des réserves d'hydrate de carbone par les repousses qui commencent à apparaître vers la fin du mois de Mars et dont le nombre augmente progressivement. Dès la fin du mois de Mai avec les premières pluies, on assiste à une chute brutale du stock, ceci représente le début de la reprise de la grande croissance en début d'hivernage. Le reste du stock est tout de suite utilisé pour cette activité intense. Une fois que la croissance démarre, on assiste au début de la constitution d'un nouveau stock pour l'année prochaine, ce qui suppose une utilisation du stock de réserve constitué pendant l'année pour le démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage.

Comme on peut le constater, la plus grande partie des hydrates de carbones sont stockés au niveau des racines. La grande accélération de la croissance en début d'hivernage liée à l'utilisation des réserves a également été observé par [Penning de Vries & Djitèye \(1982\)](#). C'est ce qui fait que la situation d'un pâturage avec des graminées pérennes diffère surtout dans la première phase de croissance de celle d'un pâturage à graminées annuelles. Les réserves en hydrate de carbone dans le système racinaire contribuent beaucoup à la croissance initiale, qui est très rapide. Mais comme déjà vu, une fois que la période de croissance végétative et rapide a commencé et la couverture végétale totale, les graminées pérennes ne diffèrent plus tellement des annuelles. Ceci permet de démontrer en partie l'hypothèse selon laquelle les graminées pérennes arrivent à constituer des stocks d'éléments nutritifs et d'hydrate de carbone, ce qui est de nature à diminuer les pertes de ces éléments pendant la longue saison sèche. L'utilisation des réserves au début de la prochaine saison entraîne un démarrage rapide de la croissance en permettant une production de biomasse plus élevée qui à son tour devrait entraîner une augmentation du taux de matière organique en diminuant encore plus les pertes. Cependant, il faut noter qu'à l'heure actuelle les résultats d'analyse chimique ne permettent pas de démontrer cela.

Par ailleurs il est prouvé que l'accumulation de matière organique pouvant entraîner une amélioration du taux de recouvrement uniquement à partir des graminées pérennes peut prendre beaucoup d'année. De Ridder & Van Keulen (1975) puis [Breman & Kessler \(1995\)](#) ont trouvé que vu les quantités excessivement élevées de matière organique qu'il faut pour une augmentation significative du recouvrement, il est pratiquement impossible d'atteindre ce résultat avec la seule production de biomasse totale de *Andropogon gayanus*.

La comparaison des résultats des Tableaux 30, 31 montre que le stockage des hydrates de carbone dans les racines est plus important que celui dans la biomasse aérienne.

L'observation de la Fig. 40 montre un épuisement total du stock de réserve d'hydrate de carbone soluble en début d'hivernage suite à l'activité intense induite par la reprise de la croissance. Nous avons également constaté que les stocks se répartissent entre les parties aérienne et souterraine. Les quantités élevées dans les rhizomes et le système

racinaire à la fin du cycle de développement laisse supposer une translocation des stocks d'hydrate de carbone et des éléments nutritifs des parties aériennes vers les parties souterraines. Des résultats identiques ont été obtenus par [Penning de Vries & Djitèye, \(1982\)](#).

La grande diminution des réserves dans les racines en début d'hivernage suppose une utilisation de celles-ci par les jeunes pousses pour leur croissance et leur développement.

4.2.4. Effet du niveau du stock d'eau sur l'apparition des repousses pendant la saison sèche (Essai n°2)

L'évolution du stock d'eau sous la culture de l' *Andropogon gayanus* a été étudiée au cours de la saison sèche 1994 à Cinzana et à N'Tarla pour apprécier son effet sur le phénomène de l'apparition des repousses pendant cette période.

Les mesures ce sont poursuivis pendant la saison pluvieuse sur deux traitements : le témoin et la parcelle fertilisée à N'Tarla dans le cadre de l'étude des paramètres sur le développement de *Andropogon gayanus*.

Les Figs 41, 42 et 43 montrent le profil d'humectation sous la culture au niveau des deux localités (Cinzana et N'Tarla) et pour le témoin et la fertilisation à N'Tarla.

[Figure 41.](#) Profil d'humectation sous *Andropogon gayanus* à Cinzana.

[Figure 42.](#) Profil d'humectation sous *Andropogon gayanus* sans fertilisation.

[Figure 43.](#) Profil d'humectation sous *Andropogon gayanus* avec fertilisation.

Les premières mesures effectuées en Avril 1994 montrent un profil superficiel très sec à Cinzana avec moins de 1 % d'humidité dans l'horizon 0-10 cm. Dans le même temps à N'Tarla, on constate que pour la même profondeur, l'humidité est de 2 %. A 100 cm de profondeur, on constate qu'il n'y a pas une grande différence entre les taux d'humidité dans les deux localités ; on trouve respectivement 10 et 11 % pour Cinzana et N'Tarla. Cette situation a fait que l'*Andropogon gayanus* n'a pas put fournir de repousses cette année à Cinzana par contre à N'Tarla, nous avons observé des repousses pendant presque toute la période de saison sèche sur les parcelles déjà fauchées. Ce qui montre qu'à Cinzana comme à N'Tarla les plantes ont à leur disposition de l'eau dans les couches profondes, mais que cela n'est pas suffisant pour la formation des repousses en saison sèche. Il faut plutôt un certain stock d'eau dans la couche superficielle pour cette activité. Cette situation est due tout simplement à une mauvaise alimentation hydrique par le système racinaire dans les couches profondes. En effet, les études effectuées sur la structure des racines (Traoré, 1993) ont montré que 2 % seulement des racines se trouvent au delà d'un mètre de profondeur et les 98 % se trouvent dans l'horizon superficiel sans eau. Dans ces conditions, les 2 % de racines permettent tout juste d'assurer la pérennité de la plante et sont incapables de simuler l'apparition des repousses. C'est pour cette raison que toute l'humidification de la couche superficielle en début d'hivernage entraîne l'apparition instantanée des repousses.

A N'Tarla, l'observation du front d'humectation sous le témoin et le traitement fertilisé (Fig. 42 et 43) montre qu'avec les premières pluies du mois de Juin et l'installation définitive de l'hivernage (Juillet-Août), l'ensemble des parcelles ont pu constituer leur stock d'eau de 5 à 20 % d'humidité. Le front d'humectation atteint les 2 m à la date du 28/8 au niveau de toutes les parcelles, ce qui s'explique par une bonne répartition de l'eau dans les couches du sol.

La fertilisation à la date du 10/8 a tout de suite entraîné une différence dans le niveau du stock d'eau par rapport au témoin. On constate que le stock d'eau à différentes dates est plus important chez le témoin que la fertilisation (Figs

42 et 43).

A la fin du cycle de développement (Fig. 44), le stock d'eau tombe de 560 à 480 mm d'eau pour le témoin (sans fertilisation) et de 500 à 300 mm pour la parcelle fertilisée. Ce qui permet de conclure que la fertilisation entraîne une plus grande utilisation de l'eau du sol par l'*Andropogon gayanus*. Les quantités de biomasse plus élevées pour la fertilisation que le témoin confirme ces résultats (23 t de MS ha⁻¹ contre 20 t de MS ha⁻¹).

Figure 44. Evolution du stock hydrique sous Andropogon gayanus avec et sans fertilisation de N, P.

4.3. Production et rôle de la matière organique dans l'utilisation des éléments nutritifs

4.3.1. Rôle de la matière organique dans le sol

La productivité des sols est en partie déterminée par la présence de la matière organique. Dans les zones agro-écologiques les plus arrosées où le coton (culture de rente) intervient dans la rotation, la productivité des sols peut être maintenue par une bonne combinaison des engrais chimiques et de la matière organique. De Ridder & Van Keulen (1990) et Pieri (1989) ont montré qu'avec un apport de matière organique (résidus végétaux, fumier) en combinaison avec l'apport d'engrais chimiques des possibilités existent pour développer des systèmes de production intensive et durable. *Andropogon gayanus* est une graminée pérenne pouvant produire entre 16 à 24 t de MS ha⁻¹ (sans et avec fertilisation) avec une biomasse racinaire de près de 4 t soit une biomasse totale de 20 à 28 t. Une bonne fraction de cette biomasse (plus de 50 %) est transformée en matière organique, ce qui a pour conséquence immédiat d'augmenter le taux de la matière organique du sol. La philosophie derrière une telle hypothèse est qu'on obtient une plus grande efficacité d'utilisation des engrais azotés et phosphatés grâce au maintien du taux de matière organique du sol comme déjà démontré par les auteurs cités plus haut.

Cependant pour les terres sous conditions écologiques moins favorables, les difficultés socio-économiques limitent les possibilités d'investissement au niveau des exploitations. Dans de telles situations, la productivité des terres ne peut être maintenue que par l'utilisation optimale des ressources naturelles disponibles. Dans tous les cas, le maintien du niveau de la matière organique est une condition essentielle à la conservation du potentiel physique et chimique du sol. Bien que ces aspects soient souvent pris en compte dans les systèmes de production traditionnels, il s'avère de plus en plus indispensable de gérer les ressources locales de manière à assurer une productivité durable des sols. Par conséquent, il est indispensable d'améliorer et de maintenir le niveau de la productivité des sols par une meilleure gestion des ressources naturelles.

4.3.2. Dynamique de la matière organique dans le sol

La matière organique du sol peut être répartie en deux fractions (Fig. 45). La première fraction qu'on << appelle matière organique stable, (indication relative, MOS) >>, constitue la plus grande fraction. Elle provient de la décomposition des apports en matière organique (racines, résidus de récolte, fumier, arrière effet des jachères). Au laboratoire la teneur de la matière organique déterminée peut être considéré comme MOS et la quantité est calculée sur la base de la teneur en carbone du sol et peut être caractérisé par le rapport C/N. La teneur en matière organique (calculé comme teneur en carbone / 0,58) des sols des essais varie entre 0,29 et 1,59 et le rapport C/N varie entre 9 et 18 avec une moyenne de 13 (ces nouveaux résultats sont issus des analyses effectués aux Pays-Bas et qui diffèrent des résultats présentés dans les Tableaux 3, 4 et 5).

Figure 45. Représentation schématique du bilan de la matière organique dans le sol.

Le deuxième type de matière organique est composé des résidus de récolte, les racines, la litière et les apports en fumier. Cette matière organique se décompose relativement vite (au cours d'une année) et durant ce processus, la plupart du carbone est dégagé sous forme de CO₂. Par conséquent, le rapport C/N diminue au cours de la décomposition. Avec de la matière organique ayant une teneur élevée en azote, au cours de la décomposition, il se dégage de l'azote minéral. Par contre avec de la matière organique pauvre en azote, on observe généralement son immobilisation.

Pour arriver à quantifier les productions de CO₂ et d'azote minéral, deux séries d'incubation de la matière organique ont été exécutées. La méthodologie d'étude a largement été développée par Groot & Houba (1995) puis par [Groot et al. \(1995\)](#).

4.3.3. Décomposition de la matière organique stable

Le [Tableau 1 \(Annexe 2\)](#) montre la quantité de carbone (C) dégagée au cours de l'incubation de la matière organique contenue dans différents types de sol. Quand à la [Fig. 46](#), elle présente la décomposition de la matière organique stable pour les sols D₂ et H₁ à N'Tarla. Sur le D₂, *Andropogon gayanus* a été mis en place depuis 1951, le sol H₁ est considéré comme épuisé après plusieurs années de culture en mil. On remarque que la décomposition du carbone et la minéralisation de l'azote sont deux fois plus élevés sur sol D₂ (riche en matière organique) par rapport au sol H₁ (jachère appauvrie) et cela malgré le fait que la teneur en matière organique est seulement 60 % plus élevé sur D₂.

On constate également que le rapport entre le carbone et l'azote dégagé est le même que le rapport C/N du même sol. Ce qui implique que le N et le C dans la matière organique se décomposent avec la même vitesse et qui permet de calculer la décomposition de la MOS et la minéralisation de N en utilisant le même pourcentage.

Figure 46. Production de C et de N pour les sols D2 et H1 à N'Tarla.

L'exemple suivant concerne les sols D2 et H1 à N'Tarla. Il est supposé que la décomposition de la MOS est de 2,5 % par année. Les recherches sur les systèmes racinaires (Traoré *et al.*, 1995 parag 4111) ont montré que près de 90 % de la biomasse racinaire sont concentrées dans la couche du sol de 0-60 cm, ce qui a été pris en compte pour les calculs avec un poids spécifique de 1,5 kg l⁻¹.

Tableau 32. Quantité d'azote minéralisé lors de la décomposition de la matière organique du sol.

Sol D2	%C	%N	C-total (kg ha ⁻¹)	N-total (kg ha ⁻¹)	C-min (kg ha ⁻¹)	N-min (kg ha ⁻¹)
00-20	0,39	0,030	11700	900	293	22,5
20-40	0,35	0,027	10500	810	262	20,3
40-60	0,30	0,023	9000	690	225	17,2
00-60			31200	2400	780	60,0
Sol H1						
00-20	0,24	0,020	7200	600	180	15,0

20-40	0,22	0,018	6600	540	165	13,5
40-60	0,20	0,017	6000	510	150	12,8
00-60			19800	1650	495	41,3

Le Tableau 32 montre que la quantité d'azote minéralisé pour le sol D2 est de 60 kg ha⁻¹ et pour le sol H1 de 41 kg ha⁻¹. Sur ces deux sols l'absorption de l'azote par le graminée annuelle *Pennisetum pedicellatum* était de 73 kg ha⁻¹ et de 30 kg ha⁻¹ (Traoré, 1995 ; 4.1.2.2), ce qui montre que les estimations de minéralisation et d'absorption se trouvent dans les mêmes ordres de grandeur.

4.3.4. Décomposition de la matière organique apportée

Afin de déterminer leur vitesse de décomposition, différentes matières organiques ont été incubé dans le même type de sol. Le sol sans apport de matière organique est présenté comme témoin, la différence entre les quantités de Carbone mesurés avec celles des témoins donne la décomposition nette. Le [Tableau 2 \(Annexe 2\)](#) montre la quantité nette de C dégagé au cours de l'incubation des différentes matières organiques. Quand au [Tableau 3 \(Annexe 2\)](#) il montre la quantité de l'azote dégagé. La Fig. 47 montre la décomposition des racines fines et grosses d'*Andropogon gayanus* en termes de Carbon-net (a) et de l'azote (b). La quantité des racines apporté était de 6 g (matière sèche) par kg de sol. La composition chimique des différents apports est donnée dans le [Tableau 2 à l'Annexe 2](#).

Figure 47. Production de C et de N au cours de l'incubation des racines fines et grosses d'Andropogon gayanus.

On constate qu'après 12 semaines d'incubation presque la moitié des racines se sont décomposées. Il n'y a pratiquement pas de différences entre la décomposition des racines fines et grosses. En considérant que la décomposition en milieu réel se fait pendant tout l'hivernage, on peut supposer que 55 % de la biomasse racinaire sont décomposées au cours de l'hivernage. Les 45 % qui restent sont considérées comme apport à la matière organique stable. Les études de Traoré (1995 ; 4.1.1.1) ont montré que entre 55 et 60 % des racines meurent au cours de la saison sèche. Il est connu qu'au cours de la période de croissance il y a déjà une décomposition des racines (<< root-turnover >>), et sur la base des données de Traoré (1995) on estime que 25 % de biomasses racinaires se trouvent déjà décomposées au cours de la croissance. Ce qui fait que l'apport en biomasse fraîche se trouve dans l'ordre de 85 % de biomasse racinaire à la fin de l'hivernage. En supposant que la production annuelle de la biomasse racinaire est de 5 tonnes à l'hectare ([Fig. 48](#)), on peut calculer que l'apport à la matière organique stable est égale à : $5000 \times 0,85 \times 0,45 = 1913$ kg de matière organique, ce qui correspond à : $0,42 \times 1913 = 803$ kg de Carbone. La décomposition de matière organique stable a été estimé à 780 kg C ha⁻¹ an⁻¹, ce qui montre que les deux sont dans le même ordre de grandeur.

La Fig. 46 montre qu'au début de l'incubation il y a d'abord une augmentation de la teneur en azote dans le sol, suivi par une diminution. La quantité d'azote apportée avec les racines était 30 mg N kg⁻¹ (sol) pour les racines grosses et 42 mg N kg⁻¹ (sol) pour les racines fines. Au cours de la décomposition des racines on constate que l'azote disparaît, ce qui veut dire que l'azote est immobilisé par la matière organique. Au cours de la transformation de la matière organique frais vers la matière organique stable, la teneur en N augmente. Dans l'exemple de décomposition des racines d'*Andropogon gayanus* au champ, il a été calculé que l'apport en matière organique stable est dans l'ordre de 800 kg C ha⁻¹. Afin d'aboutir a un rapport C/N de 13 (la valeur observée pour la parcelle D2), $800/13 = 62$ kg N qui doit être incorporé dans la matière organique. Cependant, la quantité de N dans la biomasse racinaire qui se décompose est seulement 20 kg ha⁻¹ ; par conséquent l'azote minéral dans le sol est incorporé dans la matière organique stable. Il est fort possible qu'avec un apport de N sous forme d'engrais, une partie risque de ne pas être

disponible pour l'absorption par la culture, parce que l'élément est immobilisé dans la matière organique du sol au cours de la décomposition des racines ou des résidus de récolte.

Figure 48. Dynamique de la biomasse racinaire d'Andropogon gayanus en 1993 et 1994.

4.3.5. Biomasse racinaire et matière organique dans le sol

Les biomasses racinaires mesurées peuvent être considérées comme des apports en matière organique au sol. Pour l'*Andropogon gayanus* à N'Tarla, la production de biomasse racinaire est dans l'ordre de 4 t ha⁻¹ par année, et la plupart des racines sont concentrées dans les couches superficielles. C'est dans les premières 60 cm du sol qu'on trouve aussi une teneur en matière organique relativement élevée de 0,57 % (% C/0,58). En ce qui concerne la matière organique à N'Tarla, on peut dire que le sol se trouve dans une situation d'équilibre après 45 ans de présence d'*Andropogon gayanus* ; la minéralisation de la matière organique par les racines est équilibrée par l'apport de la matière organique des racines. Concernant le bilan d'azote on peut constater un déséquilibre, l'apport de l'azote par la biomasse racinaire est dans l'ordre de 25 kg ha⁻¹ pour une culture non fertilisée (Traoré, 1995 ; 4.2.3.2) et 50 kg ha⁻¹ pour une culture fertilisée. La quantité de l'azote absorbé par la biomasse aérienne pour les traitements non-fertilisés et fertilisés sont dans l'ordre de 59 et 105 kg (N) ha⁻¹, (Traore,1995, parag 4122) respectivement. Cela signifie que sans apport d'engrais, n'importe quelle forme d'exploitation diminue le stock en azote à long terme. En utilisant les teneurs en azote du sol du [Tableau 1 de l'Annexe 2](#), on trouve que le stock d'azote dans la couche 0-180 cm est dans l'ordre de 4800 kg ha⁻¹, ce qui implique que l'exploitation sans apport d'engrais risque d'épuiser le stock en azote dans le sol et à la longue de diminuer la teneur en matière organique et la productivité du sol. Le même raisonnement est valable pour les autres éléments nutritifs : sans intrants la fertilité du sol sous une culture pérenne exploitée est vite épuisée.

4.4. Résultats de simulation du modèle PGWA

4.4.1. Utilisation du modèle PGWA

Dans le cadre de l'étude de l'optimisation de l'utilisation de N et de P dans les productions végétales, une meilleure connaissance des plantes cultivées est nécessaire. Pour atteindre ce but, l'Equipe Production Fourragère du projet PSS a mis en place à N'Tarla en 1993 et 1994 des essais en vue d'étudier un certain nombre de paramètres sur l'*Andropogon gayanus*.

Les données de base ainsi obtenues plus celles trouvées ailleurs dans des conditions similaires ont été utilisées pour l'élaboration et la paramétrisation d'un modèle de simulation de la culture de l'*Andropogon gayanus*. Ceci constitue un précieux outil, permettant l'extrapolation des résultats à l'ensemble de la zone soudano-sahélienne en fonction de la pluviométrie et du type de sol. L'étude a été exécutée sous la supervision de Coulibaly, modéliste au sein de l'EPF.

Le modèle PGWA (<< Perennial Grass for West African conditions >>, Bonachela, 1995) simule la croissance et le développement de l'*Andropogon gayanus* avec ou sans limitation d'eau et d'azote dans les régions soudano-sahélienne. L'accumulation quotidienne de la biomasse est calculée à partir de la radiation journalière, de la disponibilité en eau (pluie et dynamique de l'eau du sol) et de la concentration d'azote de la biomasse aérienne. Ce faisant le modèle simule le développement phénologique et le régime pérenne de la plante à travers les saisons. Les réserves d'hydrates de carbone qui constituent les ressources de la culture en saison sèche sont estimées à partir de la biomasse racinaire. Le modèle tient compte des effets réducteurs de la croissance dûs aux différents stress (hydriques, thermiques, azotés) du système. L'utilisation des différentes concentrations d'azote dans la biomasse aérienne permet de simuler les performances de la culture selon les niveaux de fertilité du système.

La présente version du PGWA n'a fait l'objet d'aucun test de sa capacité de représenter la réalité de la croissance et du développement phénologique de la culture. Dans ces conditions il était tout à fait normal de procéder à une évaluation du modèle par une étude :

- de son comportement dans différentes zones agro-écologiques ;
- de la sensibilité du modèle à quelques paramètres clés ;
- de la validité des données simulées par rapport aux observations effectuées sur différents sites, et
- enfin de son importance pratique comme outil d'estimation du potentiel productif de la culture.

4.4.2. Le comportement du modèle

Le modèle PGWA utilise les données sur les caractéristiques de la plante (paramètres et variables mesurées), les variables météorologiques (radiation, température pluie, humidité de l'air et vitesse du vent) et les caractéristiques physiques du sol (pF, profondeur du profil, vitesse d'infiltration etc.) de trois sites de la zone soudano-sahélienne : N'Tarla et Niono au Mali et Thiès au Sénégal. Les sols limoneux ont été utilisés sur les trois sites. Les données climatiques des années suivantes : 1992-1993 pour N'Tarla, 1982-1983 pour Niono et 1988-1989 pour Thiès, ainsi que les coordonnées géographiques de chaque site ont été insérées dans le modèle.

L'évaluation du comportement du modèle a porté sur les valeurs maximales des variables simulées : la biomasse aérienne, la biomasse racinaire, la transpiration, l'évaporation et le drainage. Ces valeurs simulées ont été appréciées selon les performances maximales observées de l' *Andropogon gayanus* sur les différents sites (Breman, 1982 ; Dieng *et al.*, 1991 ; Traoré, 1995).

Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau 33. On constate que les biomasses totales et aériennes sont plus élevées à N'Tarla et à Thiès et basses à Niono, situation liée à la différence pluviométrique entre les années et les sites. Quant au niveau élevé des réserves d'hydrates de carbone à Thiès comparativement aux autres sites, il est attribuable à une production de biomasse racinaire plus importante. La quantité de réserves correspond à celle existant dans la racine au stade 50 % floraison et l'accroissement de la transpiration est lié aux niveaux de rendements des quantités de biomasse. Quant à l'évaporation de l'eau, elle est liée à la quantité de biomasse produite et aux conditions climatiques des sites.

L'augmentation des quantités de biomasse totale, aérienne et racinaire en fonction du temps est décrite par les courbes de croissance (Fig. 49). Le modèle décrit l'évolution de la croissance à travers ses différentes variables. Les rendements maximums sont atteints à la floraison et diminuent avec la sénescence de la biomasse et la formation des réserves. La croissance en saison sèche dépend du niveau des réserves d'hydrate de carbone et de l'humidité résiduelle montré par les résultats de N'Tarla d'une part et Thiès et Niono d'autre part. On constate que les résultats obtenus par Breman *et al.* (1982) à Niono ; Dieng *et al.* (1991) à Thiès et Traoré (1995) à N'Tarla sont comparables aux données simulées de la croissance et du développement de l'*Andropogon gayanus* dans la région sous condition sans fertilisant.

Figure 49. Evolution des biomasses totales et aériennes ainsi que de la quantité des réserves à Niono (a), à N'Tarla (b) et à Thiès (c).

Tableau 33. Valeurs maximales simulées des variables biotiques et abiotiques de la croissance de l'A.gayanus sur sol sablonneux à N'Tarla, Niono (Mali) et à Thiès (Sénégal).

	N'Tarla	Niono	Thies
--	---------	-------	-------

Variables	1992	1993	1982	1983	1988	1989
Biotique (kg ha⁻¹)						
Biomasse totale	17695 ^a	15071 ^a	7942 ^a	5302 ^a	13071 ^a	15149 ^a
Biomasse aérienne	11840	11633	6221	4254	9739	10557
Biomasse racinaire	5860	4070	3130	1427	4484	6283
Réserves	704	469	169	330	1035	1450
Abiotique (mm)						
Transpiration	435	390	165	124	313	363
Evaporation	161	110	81	75	99	99
Pluviométrie*	848	576	321	304	405	528

^a valeur maximale simulée.

* cumul de la période de croissance de la culture.

Tableau 34. Récapitulatif des valeurs des paramètres utilisés dans l'analyse de sensibilité : le coefficient d'utilisation d'azote p (g ms g N⁻¹ j⁻¹), la date de 50 % de floraison FDRS (j) et le coefficient d'utilisation d'eau WUEC (Pa).

p	-20 %	-10 %	Initiale	+10 %	+20 %
valeur	5,0	5,62	6,25 ¹	6,87	7,5

¹ Valeur actuelle incluse dans le modèle,

² Adapté de Tanner et Sinclair (1983).

FDRS	-10j	-5j	Initiale	+5j	+10j
valeur	275	280	285 ¹	290	295

Tableau 35. Sensibilité du modèle PGWA à différentes valeurs du coefficient d'utilisation de l'azote par la biomasse aérienne p (g MS g N⁻¹ j⁻¹), pour les conditions de production avec et sans fertilisation azotée à N'Tarla, 1993.

WUEC²	-20 %	-10 %	Initiale	+10 %	+20 %
valeur	5,8 ¹	8,8	11,8	-	-

p	Sans fertilisation					Avec fertilisation				
	-20 %	-10 %	6,25	+10 %	+20 %	-20 %	-10 %	6,25	+10 %	+20 %
BT	0,91	0,96	15703	1,03	1,05	0,94	0,97	19730	1,02	1,03
BA	0,96	0,98	11633	1,01	1,01	0,95	0,98	16042	1,01	1,01
BR	0,76	0,88	4070	1,08	1,08	0,96	0,99	4307	1,04	1,07
RES	0,78	0,88	469	1,08	1,08	0,96	0,99	994	1,04	1,07
TRAN	0,93	0,97	390	1,01	1,01	0,96	0,99	509	1,01	1,01
EVAPO	1,08	1,04	110	0,97	0,93	1,11	1,05	86	0,97	0,95
DRAIN	1,27	1,13	75	0,92	0,83	0	0	0	0	0

BT=biomasse totale, BA= b. aérienne, BR= b. racinaire, Res= réserves, Trans= transpiration, Evap= Evaporation Drain= Drainage.

4.4.3. Sensibilité du modèle

Cette analyse permet de définir le poids relatif des paramètres sur les résultats de simulation. Elle a porté sur les valeurs croissantes et décroissantes de trois paramètres clés du modèle à savoir le coefficient d'utilisation de l'azote par la biomasse aérienne, P ; le paramètre date de 50 % floraison, (FDRS) et les changements du coefficient d'utilisation de l'eau (WUEC). Les équations et les variables et paramètres utilisés pour cette analyse ont déjà été décrites (Coulibaly et al., 1995 ; Tableau 34).

La croissance et le développement de l'*Andropogon gayanus* ont été simulé dans des conditions de production avec et sans fertilisation azotée à N'Tarla en 1993. La sensibilité relative du modèle a été calculée à partir des résultats de simulation. Celle-ci constitue le pourcentage de changement par rapport à la condition initiale de simulation, lorsque aucun autre paramètre ne varie.

Effet du coefficient d'utilisation de l'azote par la biomasse aérienne : En condition de production limitée par l'azote, les résultats de simulations des variables biotiques et abiotiques montrent une sensibilité consistante du modèle à travers les valeurs décroissantes et croissantes du coefficient P, (Tableau 35). Au niveau des variations décroissantes, - 10 % on enregistre une diminution quantitative de 4 à 12 % des variables biotiques, 3 % pour la transpiration, 4 % pour l'évaporation de l'eau et 13 % pour le drainage de l'eau. Avec l'effet de -20 % on enregistre une baisse de 9 à 24 % de variables biotiques et un accroissement de 8 à 7 % des variables abiotiques. Ces changements sont liées à une baisse dans la production de biomasse qui affecte le couvert végétal et le développement des racines vers les couches profondes.

Par contre, au niveau des variations croissantes (+ 10 % et + 20 %), la tendance contraire se dégage. Les niveaux du rendement des variables biotiques et la transpiration accusent un accroissement de plus de 100 % de ceux de la condition initiale suite à une diminution de l'évaporation et du drainage.

En condition de production avec fertilisation azotée, on obtient jusqu'à 19 t de biomasse ha⁻¹ avec la valeur initiale. Mais la sensibilité du modèle à différentes valeurs du coefficient P présente les mêmes allures que celle sans fertilisation azotée.

Effet de la date de floraison : En condition de production sans fertilisation azotée, les rendements des variables biotiques et la quantité d'eau transpirée diminuent quand le nombre de jour entre le début de la croissance et la floraison décroît. Cette diminution de la biomasse entraîne une augmentation de la quantité d'eau évaporée et drainée des racines. Avec un nombre croissant de jour à la floraison, on obtient 2 % de plus pour la production de biomasse totale, plus 8 % pour la biomasse racinaire et plus 10 % pour la biomasse aérienne et la transpiration. Aussi l'évaporation et le drainage ont diminué par rapport aux conditions de départ (Tableau 36).

En condition de production avec fertilisation azotée, la biomasse aérienne produite augmente avec l'accroissement du nombre de jour à la floraison. On observe le contraire avec la biomasse racinaire et les réserves d'hydrate de carbone ce qui n'est pas normale dans le modèle. En effet, on constate que les quantités de ces variables augmentent lorsque la durée de la période végétative diminue. Ce qui est en contradiction avec les principes physiologiques relatifs au rapport entre rendement et le cycle de croissance.

Effet du coefficient d'utilisation de l'eau : En condition de production limitée par l'azote, le modèle ne montre aucune sensibilité vis à vis des variables biotiques (Tableau 36). les différentes valeurs de WUEC présentent presque des effets similaires. Ce qui est nettement visible au niveau de l'évaporation. Aussi les tendances dégagées par la transpiration et le drainage ne semblent pas logiques.

En condition de production avec fertilisation azotée, les variables biotiques augmentent avec l'accroissement de la

valeur de WUEC. Avec les valeurs des variables abiotiques, la simulation du drainage n'est pas consistante (Tableau 37), car dans pareille situation on devrait constater de faibles quantités d'eau drainées face à un accroissement de la biomasse racinaire.

Tableau 36. Sensibilité du modèle PGWA à différentes dates de floraisons de l'*Andropogon gayanus*, condition de production avec et sans fertilisation azotée à N'Tarla, 1993.

	Sans fertilisation					Avec fertilisation				
	-20 j	-5 j	285 j	+5 j	+20 j	-20 j	-5 j	285 j	+5 j	+20 j
BT	0,94	0,95	15703	1,02	1,02	0,98	0,99	19730	1,00	1,01
BA	0,94	0,98	11633	1,00	0,99	0,95	0,98	16042	1,01	1,02
BR	0,93	0,88	4070	1,08	1,12	1,21	1,09	4307	0,94	0,97
RES	1,85	0,87	469	1,10	1,15	1,21	1,09	994	0,87	0,65
TRANS	0,92	0,94	390	1,03	1,05	0,98	0,99	509	1,01	1,01
EVAPO	1,08	1,05	110	0,97	0,94	1,08	1,05	86	0,98	0,95
DRAIN	1,42	1,12	75	0,96	0,96	0	0	0	0	0

BT=biomasse totale, BA= b. aérienne, BR= b. racinaire, Res= réserves, Trans= transpiration, Evapo= évaporation Drain= Drainage.

Tableau 37. Sensibilité du modèle à différentes valeurs du coefficient d'utilisation de l'eau WUEC en condition de production avec et sans fertilisation azotée à N'Tarla, 1993.

	Sans fertilisation			Avec fertilisation		
	5,8	8,8	11,8	5,8	8,8	11,8
WUEC	5,8	8,8	11,8	5,8	8,8	11,8
BT*	15703	15610	15610	19730	23208	24992
BA	11633	11690	11690	16042	17792	17823
BR	4070	3921	3921	4307	7040	10712
RES	469	448	448	994	1523	2046
TRANS	390	259	194	509	423	348
EVAP	110	110	110	86	80	74
DRAIN	75	190	251	0	68	137

* BT=biomasse totale, BA= b. aérienne, BR= b. racinaire, Res= réserves, Trans= transpiration, Evap= Evaporation Drain= Drainage

4.4.4. Validation du modèle : Comparaison de données observées et simulées

Pour la validation, les résultats de la saison 1993 provenant des travaux d'expérimentation à la Station de N'Tarla (Traoré, 1995) ont été comparés aux données simulées. La comparaison a porté sur les performances de la culture en condition de production avec et sans fertilisation azotée sur sol limoneux. La comparaison a porté d'une part sur les écarts arithmétiques entre les données observées et simulées et d'autre part sur l'analyse de régression linéaire entre les variables simulées et celles observées.

Ces analyses permettent de se prononcer sur la signification de la relation entre les variables à comparer (Retta *et al.*, 1991 ; Dent & Blackie, 1979).

Les résultats de la comparaison des données simulées et observées en condition de production avec et sans apport d'azote à N'Tarla sont illustrés dans la Fig. 50. En condition de production sans application d'azote, les rendements des variables (biomasse totale, aérienne et racinaire) observées et simulées apparaissent en harmonie au cours du développement phénologique de la culture (Fig. 50).

[Figure 50.](#) Comparaison des données simulées et celles observées sans (a) et avec (b) fertilisation à N'Tarla en 1993.

Par contre en condition de production avec engrais azotés sur sol sablonneux et limoneux, l'harmonie est perturbée après la floraison (Fig. 50).

Cette perturbation est due d'une part à l'apport fractionné tardif de l'azote en condition réelle que le modèle ne perçoit pas et d'autre part à la valeur de 11,8 Pa du coefficient d'utilisation de l'eau qui ne semble pas adéquat quand à la description de ce sous système et augmente les niveaux des rendements biotiques simulés après la floraison par rapport à ceux des rendements observés. Egalement les données observées obtenues à Niono (Breman 1982) et à Thiès (Dieng *et al.*, 1991) sont adéquatement représentées par le modèle PGWA (Fig. 51). Ceci permet d'entrevoir une capacité accrue du modèle à simuler le potentiel productif de l'*Andropogon gayanus* dans la sous-région.

[Figure 51.](#) Comparaison des données mesurées et simulées de la production de *gayanus* à Niono (a) et à Thiès (b).

4.4.5. Test d'application du modèle : estimation pluriannuelle du potentiel productif de l'*Andropogon gayanus*

Le test d'application du modèle a porté sur une estimation pluriannuelle du potentiel productif de l'*Andropogon gayanus* dans la zone soudano-sahélienne de Ségou. Les données du climat, de la plante et du sol étudié (sol sablo-limoneux) afférentes au site ont été incorporées dans le modèle pour la simulation du potentiel productif de la culture. Les données climatiques de 1961 à 1983 ont été utilisées. Les variables biotiques (biomasses totale, aérienne, racinaire et les réserves d'hydrates de carbone) et abiotiques (transpiration, évaporation et drainage) ont été utilisés pour le test.

Les résultats des tests de comportement et de la validation du modèle PGWA permettent d'entreprendre un sondage de sa capacité de reconstituer l'historique de la productivité de la culture à travers les ans (aérienne plus racinaire) de 1961 à 1983 signale une évolution en dents de scie du potentiel productif de l'*Andropogon gayanus* à Ségou. Le modèle estime une production totale de biomasse variant de 13500 à 17500 kg ha⁻¹ en saison humide et de 1000 à plus de 2000 kg ha⁻¹ en saison sèche (Figure 52).

Ces variations témoignent historiquement l'existence d'années avec ou sans contraintes climatiques à la culture de l'*Andropogon gayanus* dans la région de Ségou.

En conclusion, on constate que le comportement du modèle PGWA à travers la zone agro-climatique de N'Tarla, de Niono et de Thiès est assez similaire par rapport aux résultats de recherche obtenus en milieu réel. Les tests de sensibilité en condition de production avec et sans fertilisation azotée ont permis de déceler l'inconsistance du modèle dans la simulation de la biomasse racinaire et des réserves d'hydrates de carbone lorsque la durée de la période végétative diminue ou augmente. Au niveau de la validation, il est remarqué une bonne performance du modèle en

condition de production sans apport d'azote : les variables biotiques simulées avant et après la floraison de l'*Andropogon gayanus* sont comparables à celles observées. Cependant, en condition de production avec apport d'azote, des écarts se dégagent entre les variables simulées et observées après la floraison.

L'utilisation de la valeur 5,8 des plantes C3 pour le coefficient d'utilisation de l'azote, et les problèmes avec la simulation de l'influence de la fertilisation font que le modèle n'est pas encore utilisable.

Le modèle ne pourra simuler la croissance et le développement de l'*Andropogon gayanus* et de surcroît estimer le potentiel productif de la culture dans la sous région que lorsque tous ces problèmes seront résolus. L'implication pratique d'une telle évaluation met en évidence l'importance du rôle fondamental d'un modèle de simulation : la représentation simplifiée d'un système.

Figure 52. Potentiel productif de Andropogon gayanus de 1961 à 1983 à Ségou.

NB * Production maximale de *A. gayanus*.

5. Discussions et conclusions générales

L'étude de l'utilisation des éléments nutritifs par les graminées fourragères *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum* a permis d'approfondir les connaissances sur la problématique de la disponibilité des nutriments et de l'eau avec comme objectif principal de rehausser leur efficacité d'utilisation. Elle aura permis également de situer le potentiel productif de *Andropogon gayanus* afin de pouvoir simuler son comportement et de permettre l'extrapolation des résultats dans différentes zones agro-écologiques.

L'étude a porté sur la vérification des points suivants :

1. Détermination de la production de biomasse aérienne des deux cultures pour voir dans un premier temps si les graminées pérennes mieux que les graminées annuelles, assurent le maintien du taux de la matière organique du sol. En second lieu, de voir si l'efficacité de l'utilisation des engrais azotés et phosphatés est positivement influencé par ce taux de matière organique et quel est son effet sur le taux de recouvrement. Enfin en troisième lieu, par rapport à l'aspect pérennité de l'*Andropogon gayanus*, de voir si le taux de recouvrement d'une graminée pérenne dépasse celui d'une annuelle et si l'âge de l'*Andropogon gayanus* intervient dans ce processus.
2. Le second point portait sur la philosophie générale derrière la thèse précédente à savoir les causes fondamentales qui sont à la base de cette situation. Il s'agit de la détermination du stockage des éléments nutritifs et des réserves d'hydrate de carbone par les pérennes au niveau des racines des rhizomes et du plateau de tallage. Ce qui a pour conséquence de diminuer les pertes d'éléments nutritifs, de permettre une production de biomasse plus élevées et d'entraîner enfin un taux de matière organique élevé dans le sol qui diminue encore plus les pertes d'éléments. Ainsi la présence de parties végétatives résiduelles et d'un appareil radical important par rapport à la partie aérienne pourrait exploiter rapidement et de manière efficace l'eau devenue disponible et les éléments nutritifs libérés pour la nouvelle croissance.
3. Le troisième et dernier point de l'étude a porté sur le test de la validation du modèle de simulation PGWA (Bonachela, 1995) à partir des données ainsi obtenues.

Après deux années de recherche (1993 et 1994) les résultats auxquels nous avons aboutis permettent de tirer un certain nombre de conclusions.

5.1. Production de biomasse et son influence sur le maintien du taux de matière organique et du taux de recouvrement des engrais azotés et phosphatés

L'effet des doses croissantes de l'azote et du phosphore (sous condition non limitative de l'autre élément) sur la production de la biomasse aérienne de l'*Andropogon gayanus* et du *Pennisetum pedicellatum* a été étudié au cours des campagnes 1993 et 1994.

En 1993, à cause du déficit pluviométrique et de la mauvaise répartition des pluies à Cinzana et à N'Tarla, les résultats montrent que le facteur limitant à l'utilisation des engrais est l'eau. En effet dans les 2 stations nous n'avons pas enregistré de différence entre le témoin et les doses croissantes de l'azote et de phosphore.

Avec *Andropogon gayanus* on obtient pratiquement pas de gain dû à l'application d'azote et de phosphore tant le témoin se comporte comme l'un des meilleurs traitements avec 8 à 14 t de matière sèche ha⁻¹ pour Cinzana et N'Tarla contre 6 à 17 t de matière sèche ha⁻¹ pour les doses maximales dans les mêmes localités.

Avec le *Pennisetum pedicellatum*, les gains obtenus ont été très faibles pour les mêmes raisons (pluviométrie). Les gains dûs à l'apport d'azote varient entre 7 et 18 kg kg⁻¹ et ceux du phosphore varient entre 38 et 270 kg kg⁻¹ pour une production moyenne et optimale de 7,8 et 9 t de matière sèche à Cinzana contre 11 et 12 t de matière sèche ha⁻¹ à N'Tarla.

En 1994 à N'Tarla, chacun des deux éléments apparaît limitatif suite à une bonne répartition des pluies. Avec *Andropogon gayanus*, les deux éléments ont permis d'obtenir des gains substantiels avec un maximum de 62 kg de fourrage par kg-1 d'azote ajouté et 126 kg kg⁻¹ pour le phosphore et cela pour une production moyenne et optimale de 16 et 18 t de MS ha⁻¹.

Avec *Pennisetum pedicellatum* on obtient un gain de 42 kg kg⁻¹ pour l'azote et 112 kg kg⁻¹ pour le phosphore avec une production moyenne et maximale de 14 et 16 t de MS ha⁻¹.

Si en 1993, les gains ont été très faibles, en 1994, ils ont été beaucoup plus substantiels. Les gains occasionnées par le phosphore sont beaucoup plus élevés que pour l'azote. Ce qui montre que le premier est plus limitatif que le second et confirme la thèse selon laquelle nos sols et d'une manière générale les sols tropicaux sont déficients en phosphore. Aussi, ces gains obtenus avec *Andropogon gayanus* sont plus importants que ceux de *Pennisetum pedicellatum*. Les gains sont mêmes plus élevés que ceux obtenus par Breman & Traoré (1987) qui ont trouvé une production supplémentaire de 33 kg de fourrage de graminées par kg de N ajouté et de 100 kg de fourrage légumineuse par kg de P ajouté.

En conclusion, on constate que *Andropogon gayanus* donne une production de biomasse plus élevée que *Pennisetum pedicellatum*. L'écart est de seulement 2 t de MS ha⁻¹ dans les conditions avec disponibilité suffisante en eau, mais au cours d'une année sèche comme en 1993, l'écart devient important et atteint 6 t de MS ha⁻¹. En d'autre terme on peut dire que la disponibilité de l'eau entraîne une amélioration de l'absorption des éléments nutritifs qui à son tour améliore le niveau de production.

A la fin de la fin de la saison de croissance des plantes cultivées, une importante fraction de biomasse totale produite (aérienne et racinaire) participe à l'élaboration de la matière organique du sol. Pour mieux cerner ce processus, il a été procédé à l'étude du rôle de la matière organique dans l'utilisation des éléments nutritifs. La comparaison a porté sur l'effet des doses croissantes de l'azote et du phosphore sur la culture du *Pennisetum pedicellatum* installée sur deux parcelles : l'une riche en débris racinaire de *Andropogon gayanus* (plus de 40 ans) et l'autre sur une parcelle appauvrie par la culture continue du mil. Les résultats obtenus après décomposition de la matière organique stable donnent les quantités d'azote minéralisé pour les 2 sols. Sur le sol riche en débris racinaire cette quantité est de 60 kg

ha⁻¹ et sur le sol appauvri 41 kg ha⁻¹. Sur ces mêmes sols, l'absorption de l'azote mesurée sur les deux témoins de *Pennisetum pedicellatum* donnait 58 kg ha⁻¹ et 30 kg ha⁻¹, ce qui montre que les estimations de minéralisation et d'absorption se trouvent presque dans les mêmes ordres de grandeur.

Par ailleurs, on constate que la présence d'un taux de matière organique relativement élevé (0,58 % pour le sol riche en débris racinaire contre 0,38 % pour le sol appauvri) entraîne une production d'azote plus élevée. Il en résulte une nette amélioration du taux de recouvrement de N (34 % contre 14 % de recouvrement). La production de biomasse aérienne aussi se trouve multiplier par 2 avec 4,4 t de MS ha⁻¹ pour sol appauvri contre 8,7 t de MS ha⁻¹ pour sol riche en débris racinaire. Des résultats similaires ont été obtenus également avec le phosphore avec un recouvrement moyen de 25 contre 8 % pour les deux témoins.

En outre, par rapport à l'âge du peuplement de la graminée pérenne, on constate que malgré la présence d'un taux de matière organique élevé le taux de recouvrement d'une population âgée est plus bas que celui d'une population jeune (4 % contre 18 %) et cela malgré la présence d'un taux de matière organique plus élevé de respectivement 0,75 et 0,38 %. Cette situation est due tout simplement au fait qu'au cours de la décomposition des racines et débris végétaux, l'azote disparaît et se trouve immobilisé par la matière organique du sol. Etant donné le déficit chromatique de cet élément dans le sol, il est fort possible qu'avec l'apport de l'azote sous forme d'engrais, on assiste au même phénomène à savoir l'immobilisation d'une partie dans la matière organique. Ce qui ne doit pas nous faire oublier que malgré un taux de recouvrement plus élevé sur population jeune, la production de biomasse aérienne reste faible par rapport à celle de la population âgée. Cela est dû à la situation d'équilibre après 45 années de présence sur le même site. Le taux matière organique élevé limite l'absorption de l'azote suite à son incorporation, mais l'élément est progressivement libéré et mis à la disposition de la culture au fil des ans. D'où la situation d'équilibre observée. Ce qui permet de conclure que la présence de la matière organique permet une meilleure utilisation et une meilleure gestion des éléments nutritifs pour la durabilité des systèmes de production.

Enfin, la comparaison du taux de recouvrement de l'azote d'une graminée pérenne à celle d'une annuelle ne montre pratiquement pas de différence et les deux sont dans les mêmes ordres de grandeur soit 18 contre 19 % en 1993 pour respectivement *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum*. En 1994, on obtient 16 % contre 19 %. Néanmoins, on observe une biomasse plus élevée avec *Andropogon gayanus* que chez *Pennisetum pedicellatum*. Avec le phosphore, le *Pennisetum pedicellatum* présente un taux de recouvrement plus élevé avec 20 contre 7 % en 1993 et 35 contre 13 % en 1994, mais la production de biomasse reste toujours en faveur de *Andropogon gayanus* qui a une durée de croissance plus longue que *Pennisetum pedicellatum*.

Cependant, ces résultats encourageants ne doivent pas nous faire oublier qu'en réalité ces sols sont pauvres en matière organique, les teneurs sont généralement en deçà de 0,6 %. Sur ce plan les études de Pieri (1989) ont démontré qu'au deçà de ce seuil, la fertilité est telle qu'il devient pratiquement impossible d'utiliser ce sol pour l'agriculture sans l'apport d'engrais. Mais on sait également que la seule présence de la matière organique, même en faible quantité entraîne une amélioration de la structure du sol selon nos conclusions. C'est ainsi que de Ridder & Van Keulen ont trouvé qu'il faut une grande augmentation du taux de matière organique pour obtenir une augmentation significative de la capacité de rétention d'eau, que la chance de l'atteindre est quasi nulle avec une graminée pérenne. [Breman & Kessler \(1995\)](#) montrent dans leur étude le recouvrement ligneux << énorme >> qu'il faut pour atteindre des taux de matière organique minimum indiqué par Pieri. A travers ces résultats, nous pensons qu'il faudrait voir l'effet pluriannuel de la matière organique dans le sol et qui peut être très important avec une graminée pérenne en place depuis 40 ans. Ceci est confirmé par les travaux de Cissé (1989) qui montrent que la densité des racines superficielles, grâce à l'engrais organique même pour les cultures annuelles, diminue fortement les pertes d'éléments nutritifs par lessivage et cela bien avant d'obtenir un taux de matière organique suffisamment élevé pour influencer la capacité de rétention d'eau du sol. On observe également une diminution des pertes d'eau par drainage de l'ordre de

60 %. La conséquence d'une telle situation se traduit par une augmentation du taux de recouvrement des engrais.

A partir de cette analyse, on peut conclure en disant que *Andropogon gayanus* donne une biomasse plus élevée que *Pennisetum pedicellatum*, ce qui entraîne une plus grande production de matière organique qui agit positivement sur l'efficacité d'utilisation de l'azote par une amélioration du taux de recouvrement. C'est uniquement avec le phosphore que le *Pennisetum pedicellatum* obtient un recouvrement plus élevé. Enfin, l'âge de *Andropogon gayanus* aussi influence positivement de façon générale l'ensemble de ces processus. D'où la conclusion que notre première hypothèse de travail se trouve vérifiée.

5.2. Le stockage des éléments nutritifs et des hydrates de carbone et son influence sur la diminution des pertes ainsi que le démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage

Concernant le stockage des éléments nutritifs et des hydrates de carbone par *Andropogon gayanus*, les observations effectuées pendant la saison sèche et en début d'hivernage montrent que la fauche répétée effectuée au cours du cycle de végétation, entraîne une diminution de la biomasse aérienne de l'ordre de 0,5 à 2 t de MS ha⁻¹ par suite d'épuisement de la végétation. Cette perte se répercute également au niveau de la biomasse racinaire. Il en résulte une diminution de la vitesse de la croissance au niveau de la plante. Des résultats similaires ont été obtenus par César (1989). L'explication du phénomène résulte d'une diminution de la photosynthèse après chaque fauche au moins temporairement, affectant du coup la biomasse racinaire qui diminue également. Ce qui se traduit par une mauvaise alimentation hydrique et minérale de la plante.

Pendant, on constate que la fauche répétée permet de maintenir la qualité du fourrage (taux de N et de P) à un niveau plus élevé. Le cumul des quantités de N et de P est 2 fois plus élevé que celui obtenu en fin de cycle. Ceci est valable pour le traitement avec et sans N et P. Ce qui montre que lorsque l'on fertilise, il faut faucher pour mieux profiter de la qualité du fourrage.

La quantité de la biomasse aérienne en saison sèche montre que l'époque de la coupe de régularisation exerce une influence sur la production des repousses. Ainsi une coupe effectuée après la première grande pluie (en Mai) donne plus de biomasse qu'une coupe de fin de cycle (1550 contre 1070 kg ha⁻¹). Ceci est probablement dû à une mauvaise utilisation des réserves de la plante lorsque le développement des repousses s'étale sur une longue période. Mais, une coupe trop tardive aussi retarde le démarrage de la croissance végétative au début de l'hivernage (560 kg ha⁻¹), le feu pouvant jouer le même rôle que la coupe. En conclusion, la coupe tout comme le feu, par leur action nettoyante, en mettant à nue les points de croissance (bourgeons) favoriserait sans doute la croissance liée à la première pluie (Breman *et al.*, 1976 ; Abbadie, 1984) et lorsque c'est pas le cas celle-ci est retardée. Ce qui est confirmé par les résultats à N'Tarla.

Le suivi de la biomasse racinaire en saison sèche et de celle des repousses à la fin de la saison sèche et en début de l'hivernage a permis de déterminer les stocks d'éléments nutritifs et d'hydrate de carbone contenu dans la biomasse totale.

Avec la biomasse totale, l'application des engrais azotés et phosphatés entraîne une nette amélioration du stock des différents éléments nutritifs. Ainsi pour l'azote, les quantités de stock des témoins varient entre 33 et 58 kg ha⁻¹, avec la fertilisation on atteint facilement le double, soit 97 kg ha⁻¹.

Avec le phosphore, malgré que les stocks restent faibles de 2 à 5 kg ha⁻¹, la fertilisation entraîne également une nette

augmentation du stock qui se trouve multiplié par près de 3 (15 kg ha⁻¹). Enfin, avec le potassium, les quantités de stock sont importantes avec et sans fertilisation (139 à 278 kg ha⁻¹). Ceci montre que le sol est déjà riche en cet élément et que son apport est sans effet sur la culture. Cependant, vu que les quantités exportées sont très élevées, il faudra penser à corriger cette situation par des apports complémentaires en cet élément.

La comparaison des stocks entre la biomasse aérienne et racinaire (Tableau 28) montre que les quantités stockées par les parties aériennes sont plus importantes que celles des parties souterraines. Comme déjà vu ces résultats confirment ceux obtenus par d'autres auteurs. Les chiffres élevés sont surtout dus à l'application des doses maximales de N, P et K. Ces résultats montrent que les quantités des éléments nutritifs absorbés par *Andropogon gayanus* ne sont pas négligeables. Il faut rappeler qu'une bonne fraction de ces quantités retournent au sol et contribuent à l'amélioration du niveau de la fertilité. Pour la biomasse aérienne avec l'exploitation, on sait que jusqu'à 35 % sont utilisables par le bétail, ce qui signifie que le reste près de 65 % retourne au sol (Boudet, 1975 ; [Penning de Vries & Djitéye, 1982](#)). Avec la biomasse racinaire, Coleman (1977) et Clark (1977) ont trouvé respectivement des proportions des racines mortes de 38 et 64 % pour certaines espèces pérennes.

Les observations effectuées durant les saisons sèches 1993 et 1994 ont donné des taux de mortalité respectivement 61 et 55 % (Traoré, 1995 ; 4.2.3.2). Sur la base de ces informations, il a été retenu que 65 % de la biomasse aérienne et son contenu en NPK et 55 % pour les racines sont restitués au sol. De cette façon on trouve que chaque année entre 21 à 55 kg pour l'azote, 2 à 9 kg pour le phosphore et 86 à 180 kg pour le potassium retournent au sol. Ce qui n'est pas négligeable quand on sait que les fractions contenues dans la matière organique peuvent s'ajouter à cela. Ces résultats montrent aussi que les exportations d'éléments nutritifs sont plus élevées que les restitutions et dénotent de l'importance des apports d'engrais pour le maintien de la durabilité des systèmes de production. Dans ces conditions, il est nécessaire de procéder à un amendement des terres exploitables.

Avec le phosphore, les quantités absorbées restent faibles même avec l'apport des doses élevées, ce qui signifie que l'absorption de cet élément est limitée. La résolution du problème de fixation de P-ass pourrait constituer un début de solution à ce problème.

Pour ce qui concerne le stockage des hydrates de carbone, il a été constaté que la plus grande partie se trouve en stock dans le système racinaire. Au niveau des parties aériennes (Tableau 30), les plus grandes quantités sont stockées dans les rhizomes, puis viennent les tiges mortes et quelques feuilles vertes issus des repousses. Les quantités enregistrées sur les repousses d'âges différents ne montrent pas de grands écarts. Ce qui signifie que les éléments stockés ne sont pas utilisés pendant une bonne partie de la saison sèche. Ce qui confirme en partie la thèse de la constitution de réserve pendant la saison sèche, mais qui est utilisée plus tard par la plante pour permettre un démarrage rapide de la croissance en début d'hivernage. Les résultats obtenus sur l'évolution de la quantité et de la teneur en hydrate de carbone dans la biomasse racinaire permettent d'appuyer cela.

On constate que les quantités des stocks restent pratiquement inchangées jusqu'en fin Mars (Tableau 31). C'est après cette date qu'on observe l'amorce d'une diminution du stock qui se poursuit jusqu'au mois de Juillet. Ce qui montre une utilisation intensive des réserves avec la reprise de la croissance et l'augmentation du nombre de repousses. L'évolution des teneurs en hydrate de carbone dans les racines montre la même tendance qu'avec les quantités absolues. Au début de la saison sèche (Janvier) les teneurs sont à leurs niveaux le plus élevés (entre 130 à 175 g kg⁻¹). Ce stock se maintient jusqu'en fin Mars. Après cette date, on observe une diminution des teneurs qui se poursuit jusqu'en fin Juin, à cette date, la teneur n'est que de 20 à 30 g kg⁻¹. Cette diminution est consécutive à une utilisation des réserves d'hydrate de carbone par les repousses qui apparaissent vers la fin du mois de Mars et dont le nombre augmente progressivement. En Mai, avec les premières pluies, on assiste à une utilisation très intense des réserves pour assurer la reprise de la grande croissance. C'est de cette façon que *Andropogon gayanus* arrive à minimiser ces

perles en éléments nutritifs et en hydrate de carbone et à constituer des réserves pour le démarrage rapide de la croissance la saison prochaine, ce qui confirme notre hypothèse sur le stockage. La conséquence directe est une production de biomasse plus élevée qui entraîne une augmentation du taux de matière organique.

Cependant, on constate que cette amélioration du taux matière organique ne signifie pas obligatoirement une amélioration du taux de recouvrement de N et P. Cela a été démontré par de Ridder & Van Keulen (1975), Pieri (1989) qui ont trouvé que vu les quantités excessivement élevées de matière organique qu'il faut pour une augmentation significative du recouvrement, il est pratiquement impossible d'atteindre ce résultat avec la seule production de biomasse totale de *Andropogon gayanus*.

La comparaison des résultats de 1993 à ceux de 1994 montre que la disponibilité de l'eau exerce une grande influence sur l'ensemble des processus d'assimilation des éléments nutritifs et de la matière organique. L'apparition des repousses pendant la saison sèche mieux que tout autre aspect n'échappe pas à cette règle. C'est ainsi que le suivi de l'évolution du stock d'eau sous la culture de *Andropogon gayanus* dans les deux stations au cours de la saison sèche 1994 montre un profil superficiel très sec à Cinzana avec moins de 1 % d'humidité dans la couche 0-10 cm. A N'Tarla, ce taux était de 2 %. Au-delà d'un mètre de profondeur on constate que les stocks d'eau sont assez élevés dans les deux localités (plus de 10 %). Cette situation a fait qu'on a pas observé de repousse à Cinzana, mais plutôt à N'Tarla. Ce qui montre que le pompage de l'eau par les fines racines pendant la saison sèche reste une hypothèse à vérifier et permet tout simplement d'assurer la pérennité et la survie de la plante.

La présence d'un stock d'eau minimum dans la couche superficielle est nécessaire pour la formation et l'apparition des repousses.

En hivernage, la poursuite des mesures sur le témoin et le traitement fertilisé montre un stock d'eau plus important chez le premier que chez le second tout au long du cycle de développement. A la fin du cycle, le stock d'eau du témoin chute de 560 à 480 mm d'eau, par contre celui du traitement fertilisé de 500 à 300 mm. Ce qui permet de tirer la conclusion que la fertilisation entraîne une plus grande utilisation de l'eau du sol par la plante. Les quantités de biomasse plus élevées avec la fertilisation confirme ces résultats (23 contre 20 t ha⁻¹).

5.3. Test de validation du modèle de simulation PGWA

Les données de base obtenues au cours de l'étude ainsi que celles trouvées ailleurs dans des conditions similaires ont été utilisées pour la paramétrisation du modèle de simulation de *Andropogon gayanus* (PGWA) en vue de permettre l'extrapolation des résultats à l'ensemble de la zone soudano-sahélienne en fonction de la pluviométrie, du type de sol et des apports d'engrais. Cette évaluation du modèle a donné les résultats suivants :

Concernant le comportement du modèle, la simulation de la production de la biomasse aérienne à N'Tarla, Thiès et Niono donne les quantités élevées pour les deux premières zones et faibles pour la troisième, ce qui est liée à la différence pluviométrique. Egalement, on constate que le niveau des réserves d'hydrate de carbone est plus élevé pour Thiès que pour ailleurs, ce qui est liée à une production de biomasse racinaire plus importante. La comparaison des résultats obtenus par Breman *et al.* (1982) à Niono, Dieng *et al.* (1991) à Thiès & Traoré (1995) à N'Tarla sont comparables aux données simulées de la croissance et du développement de *Andropogon gayanus* dans la région. Quant aux tests sur la sensibilité du modèle, on constate qu'en condition de production limitée par l'azote, les résultats de simulations des variables biotiques et abiotiques montrent une sensibilité consistante du modèle à travers les valeurs décroissantes et croissantes du coefficient d'utilisation de l'azote. En condition de production avec fertilisation azotée, les niveaux de production sont beaucoup élevés (plus de 19 t pour la biomasse aérienne). Là également la sensibilité du modèle à différentes valeurs (décroissantes et croissantes) du coefficient d'utilisation de N (p) présente

les mêmes allures que celle de la condition sans fertilisation azotée. Par contre, avec la biomasse racinaire et les réserves d'hydrate de carbone, on observe une inconsistance du modèle dans la simulation surtout lorsque la durée de la période végétative diminue ou augmente.

Au niveau de la validation, on observe une bonne performance du modèle en condition de production sans apport d'azote : les variables biotiques simulées avant et après la floraison de *Andropogon gayanus* sont comparables à celles observées. Cependant, en condition de production avec apport d'azote, des écarts se dégagent entre les variables simulées et observées après la floraison (Figs 64 et 65). Enfin, l'application du modèle pour une estimation pluriannuelle du potentiel productif de *Andropogon gayanus* (biomasse totale) de 1961 à 1983, donne une production totale variant entre 13,5 à 17,5 t en saison pluvieuse et de 1 à 2 t en saison sèche (Fig. 66). Ces variations témoignent historiquement l'existence d'années avec ou sans contraintes climatiques à la culture de *Andropogon gayanus* dans la région de Ségou.

L'utilisation de la valeur 5,8 des plantes C3 pour le coefficient d'utilisation de l'azote et les difficultés de simuler l'influence de la fertilisation font que le modèle n'est pas totalement fonctionnel. D'où la nécessité de recherches sur certaines données complémentaires. Le modèle ne pourra simuler la croissance et le développement de l'*Andropogon gayanus* et de surcroît estimer le potentiel productif de la culture dans la sous-région que lorsque tous ces problèmes seront résolus. L'implication pratique de cette évaluation met en évidence l'importance du rôle fondamental d'un modèle de simulation à savoir la représentation simplifiée d'un système.

Bibliographie

Abbadie, L. 1984. Evolution saisonnière du stock d'azote dans la strate herbacée d'une savane soumise au feu en Côte d'Ivoire. *Acta oecologica, Oecologia Plantarum* 5, 321-334.

Abbadie, Mariotti, Menaut, 1992. Indépendance of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen. *Supply Ecology* 73, 608-613.

Barrault, J. 1971. Production et valeur alimentaire de quelques fourrages locaux. IRAT. Cameroun.

Bonachela, S., 1995. A model of perennial grasses under water limited conditions (PGWAL-FSE), Rapport PSS, IER, Bamako, et AB-DLO, Wageningen.

Boudet, G. 1975. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères (France). Ministère de la coopération IEMVT, 260 p.

Bowden, B. N. 1964. Studies on *Andropogon gayanus*. Kunth III. An outline of its biology. *J. of Ecology*, 52, 255-271.

Bowden, B. N. 1964. Maps showing the first and last months of the dry seasons of intertropical Africa and Madagascar. *Journal Tropical Geographical*. Kampala, Uganda.

Bowden, B. N. 1963. The root distribution of *Andropogon gayanus* var *bisquamulatus*. *East African Agricultural and Forestry Journal* 29, 157-159.

Breman, H. 1982. De Acacia en de geit sparen (Report from a workshop on ecology and development cooperation,

The Hague, 18 Sept. 1981). The Hague, Steering committee on world conservation strategy. p. 40-51.

Breman, H. & N. Traoré, 1987. Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes. Mali, Sahel D (87) 302. Club du Sahel/CILSS, OCDE, Paris.

Breman, H., J.J.M.H. Ketelaars & N. Traoré, 1990. Un remède contre le manque de terre ? Bilan des éléments nutritifs, Production Primaire et Elevage au Sahel, Sécheresse 2, 109-117.

Breman, H. & N. de Ridder, 1991. [Manuel sur les pâturages des pays sahéliens](#). Paris, Karthala.

Breman, H. & J.J. Kessler, 1995. [Role of woody plants in Agro-ecosystems of semi-arid regions](#). Paris Karthala.

Budelman, A., 1989. The performance of selected leaf mulches in temperature reduction and moisture conservation in the upper soil stratum. Agrofor. Syst. 8, 53-66.

César, J., 1971. Etude quantitative de la strate herbacée de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire), Thèse, Université de Paris. 95 p.

César, J., 1981. Cycle de la biomasse et des repousses après coupe en savane de Côte d'Ivoire. Rev. Elev. Med. vét. Pays tropicaux 34, 73-81.

César, J., 1989. Influence de l'exploitation sur la pérennité des pâturages de savane I. Effet de la coupe sur la masse du système souterrain. Fourrages 118, 115-125.

César, J., 1989. Influence de l'exploitation sur la pérennité des pâturages de savane II. Rôle du système racinaire dans la dégradation du pâturage. Fourrages 120, 383-392.

Chacon Pinango, P.A., 1988. Dynamique de la matière organique et de l'azote dans une savane à Trachypogon du Venezuela, Thèse, Université Paris 6, 173 p.

C.I.A.T. (Centre International d'Agriculture Tropicale), 1990. *Andropogon gayanus*. Kunth : A grass for tropical acid soils. J. M. Toledo. et al. Cali, Colombia. 382 p.

Cissé, L. & G. Vachaud, 1987. Effet d'un amendement organique sur l'infiltration, les coefficients de transferts hydriques et l'évapotranspiration d'un sol sableux dégradé du nord Sénégal. Hydro. continent 2, 15-28.

Cissé, M.I. & H. Breman, 1980. Influence de l'exploitation sur un pâturage à *Andropogon gayanus*. Kunth var *tridentatus*. Rev. d'Elev. Méd. Vét. trop. 33, 407-416.

Clayton, W.D., 1972. Gramineae In : F.N. Hepper (ed.). Flora of west tropical Africa, vol. III, part 2, 2nd ed. Grown Agents for Overseas governments and Administrations, London. p 349-512.

Clayton, W.D. & S.A. Renvoize, 1982. Gramineae, part 3. In : R.M. Polhill (ed.). Flora tropical East Africa. Ballema, Rotterdam. p. 451-898.

Clark, F.E., 1977. Internal cycling of nitrogen in short grass prairie. Ecology 58, 1322-1333.

- Coleman, D.C., Oades & G. Uehara (eds), 1989. Dynamics of soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. Proceedings of a seminar held at Hawaii, October 7-15, Niftal Project, Univ. of Hawaii, 249 p.
- Coulibaly, A., M. Traoré, & P.W.J. Uithol, 1995. Evaluation du modèle de simulation de la croissance et du développement de l'*Andropogon gayanus* en zone soudano-sahélienne. Rapport PSS, IER, Bamako, MALI et AB/DLO, Wageningen.
- Dent, J.B. & M.J. Blackie, 1979. System simulation in agriculture. Applied science Publishers, Ltd. London. p. 99-108.
- Diallo, A., 1976. Vérification de l'utilisation de l'azote par *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*. Mémoire du D.E. A. au CPS/EN Sup., Bamako.
- Dieng, A., Buldgen & R. Compère, 1991. La culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus*. Kunth var, *bisquamulatus* en zone soudano-sahélienne sénégalaise : 1- Systématique, morphologie, dispersion et biologie de la variété cultivée. Bull. Rech. Agron. Gembloux 26, 279-296.
- Duivenbooden. N. van & L. Cissé, 1989. L'amélioration de l'alimentation hydrique par les techniques culturales liées à l'interaction eau/fertilisation azoté. Rapport Ndeg. 117, CABO-DLO. Wageningen.
- Duivenbooden, N. van, 1992. Sustainability in term of nutrient elements with special reference to West Africa. Report 160, CABO-DLO, Wageningen.
- Duivenbooden, N. van, 1993. Impact of organic fertilizer availability on land use and agricultural production in the fifth region of Mali II. Scenario definition and results. Fert. Res. 35, 205-216.
- Foster, W.H., 1962. Investigations preliminary to the production of cultivars of *Andropogon gayanus*. Euphytica 11, 47-52.
- Fournier, A. 1982. Cycle saisonnier de la biomasse herbacée dans les savanes de Ouango-fitini. Ann. Univ. Abidjan, serie E. 15, 63-94.
- Groot, R., M. Traoré, & D. Koné, 1995. [Description du système racinaire de trois espèces fourragères en zone soudano-sahélienne : *Andropogon gayanus*, *Vigna unguiculata* et *Stylosanthes hamata*](#). Rapport PSS, IER, Bamako et AB/DLO, Wageningen.
- Grzebisz, W., J. Floris & M. van Noordwijk, 1989. Loss of dry matter and cell contents from fibrous roots of sugar beet due to sampling, storage and washing. Kluwer Academic Publishers.
- Hien, D.G., 1995. La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel. Une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Thèse Univ. Agro., Wageningen.
- Houba, V.J.G. & J.J.R. Groot, 1995. A comparaison of different indices for nitrogen mineralisation. Biology and fertility of soils 19, 1-9.
- Jones, C.A., 1979. The Potential of *Andropogon gayanus* Kunth in the Oxisol and Ultisol Savanna of Tropical

America. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crop. Vol 49, Ndeg. 1.

Keita, B., D. Diallo & L. Dioni, 1981. Etude pédologique de la Station de Recherche Agronomique de Cinzana. SRCVO.

Keita, B., 1990. Reconnaissance des sols et Représentativité de quelques stations de Recherche A Mali-Sud, Langorola, N'Tarla et Cinzana. DRA-SRCVO.

Leloup, S. & M. Traoré, 1989. La situation fourragère dans le Sud-Est du Mali. Une étude agro-écologique, DRSPR/VF, Sikasso.

Mallouhi, N. & P. Jutras, 1987. Influence des amendements calcaire et organique sur le rendement de l'arachide en sol acide dégradé du Sénégal. Tropicultura 5, 147-152.

Monniaux, G., 1978. Structure génétique des populations naturelles d'*Andropogon gayanus* Kunth au Sénégal. ORSTOM, 103 p.

Naegele, A.F.G., 1977. Plantes fourragères spontanées de l'Afrique tropicale sèche. Données techniques. EMASAR. Phase II. Vol. 3. FAO, Rome, 510 p.

Noordwijk, N. van, 1992. Biologie et Fertilité des sols tropicaux. Un recueil des méthodes, revue sur les racines.

Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitèye, 1982. [La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle](#). Agric. Research Report. 918, Pudoc, Wageningen.

Pieri, C., 1989. Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. CIRAD/IRAT, Montpellier.

PIRT (Projet Inventaire des Ressources Terrestres), 1983. Volume III. Annexes. G, Mali/USAID. TAMS. New York, USA.

Pol, F. van der, 1992. L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans au Mali-Sud. In : Anonymous, Savanes d'Afrique, terre fertiles ? Comment produire plus et de façon durable en zone de savanes au sud du Sahara. (Actes des Rencontres internationales. Montpellier 10-14 Déc.). CIRAD, Coopération française, Agropolis, p. 403-418.

Okoli, B.E., & O. Olorode, 1983. Cytogenetic studies in the *Andropogon gayanus*. A. tinctorium complex. (Graminea) Bot. J. Lin. Soc. 87, 263-271.

Ridder, N. de & H. van Keulen, 1990. Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid tropics (SAT), Fertilizer Research 26, 299-310.

Robertson, F.A., R.J.K. Myers & P.G. Saffigna. Distribution of carbon and nitrogen in a long-term cropping system and permanent pasture system. J. Agric. Res. 44, 1323-36.

Robbins, G.B., 1984. Relationship between productivity and age since establishment of pastures of *Panicum*

maximum var. trichoglume. PhD. Thesis, Univ. of Queensland.

Rose-Innes, R., 1977. A manuel of Ghana grasses. Land Resources Division, Ministry of Overseas Development, Surbiton, Surrey, 216 p.

Siban, P., H. van Keulen & N. van Duivenbooden, 1989. Suivi des dynamiques minérales, recommandations pour le plan et les modalités d'échantillonnage. CIRAD/IRAT. Rapport Ndeg. P53, CABO/DLO. Rapport Ndeg.118. CABO-DLO, Wageningen.

Traoré, M., 1993. Recherche sur le système racinaire de quelques espèces fourragères en zone soudano-sahélienne. Mémoire de DEA, ISFRA, Mali.

Veldkamp, W.J., A. Traoré & M.K. N'Diaye. 1991. Fertilité des sols du Mali, Mali-Sud/Office du Niger, interprétation des données analytiques des sols et des plantes. Laboratoire des sols, IER-DRA-SRCVO, Sotuba, Bamako, 149 p.

Abréviations

AB/DLO : Institut de Recherche de la Biologie Agronomique et la Fertilité des sols (Pays-Bas)

CILSS : Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CPS : Centre Pédagogique Supérieur

DAN/UAW : Département d'Aménagement de la Nature (Pays-Bas)

PSS : Production Soudano Sahélienne (Mali)

EEF : Equipe Exploitation Fourragère du PSS (Mali)

EMS : Equipe Modélisation des Systèmes du PSS (Mali)

EPF : Equipe Production Fourragère du PSS (Mali)

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

IER : Institut d'Economie Rurale (Mali)

IRCT : Institut de Recherche des Cultures Tropicales (France)

ISFRA : Institut Supérieur de Formation et de Recherche en Afrique

LAI : Indice de la surface foliaire

MAD : Matière azotée digestible

MOS : Matière organique stable

MS : Matière sèche

PGWA : Graminées pérennes en Afrique de l'Ouest

PIRT : Projet Inventaire des Ressources Terrestres

PNT : Phosphate Naturel de Tilemsi

PPS : Production Primaire au Sahel

Sa : Sol sableux

Sa-li : Sol sablo-limoneux

TSP : Triple Superphosphate

UF : Unité fourragère

Rapports PSS N°19 (Annexes)

Liste des annexes

- [Annexe 1](#)
 - [Tableau 1. Répartition journalière des pluies à Cinzana en 1993](#)
 - [Tableau 2. Repartition mensuelle des pluies à N'Tarla en 1993](#)
 - [Annexe 2](#)
 - [Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques des différents sols de l'étude](#)
 - [Tableau 2. Caractéristiques chimiques des différentes matières organiques étudiées lors des incubations](#)
 - [Tableau 3a. Quantité de Carbone dégagé \(en mg\(C\)/kg\)\(sol\) au cours de l'incubation des différents sols](#)
 - [Tableau 3b. Quantité d'Azote \(en mg\(N\)/kg\)\(sol\) au cours de l'incubation des différents sols](#)
 - [Tableau 4a. Quantité net de Carbone dégagé \(en mg\(C\)/kg\)\(sol\) au cours de l'incubation des différents apports en matière organique](#)
 - [Tableau 4b. Quantité d'Azote \(en mg\(N\)/kg\)\(sol\) au cours d'incubation des différentes apports en matière organique](#)
-

Annexe 1

Tableau 1. Répartition journalière des pluies à Cinzana en 1993

Tableau 1. Répartition journalière des pluies à Cinzana en 1993.

Année : 1993 CINZ SABLIM. segou mali

Latitude : . N Longitude : . O Altitude : m

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	De
1	17.4	14.2	.	.	.
2	0.5	15.1	.	11.0	.	.	.
3	12.7	.	19.9	.	.	.	.
4
5	8.1	.	7.6	.	.	.	.
6	26.0	.	.	.	.	.
7	37.4	.	.	.	.
8	0.7	.	23.7	.	.	9.2	.	.
9	1.4	.	.	.	.	.	.
10	31.0	4.9	.	.	.
11	2.5	.	.	2.6	.	.	.
12	0.7	9.7	.	.
13	30.1	25.3	.	.	.	.
14	13.0	.	36.1	2.3	.	.	.	.
15
16	0.9	.	.	13.5	15.5	.	.	.
17	5.5	.	.	.	.	.
18	4.0	.	12.7	15.5	.	.	.
19
20	7.0	.	.	.	10.7	.	.	.
21	3.0	.	.	.	.	.	.
22	6.2	.	.	.	.	.
23	3.7	.	.	.	.
24	0.3	13.9	1.0	.	.	.	.
25	2.1	.	.	.	.
26	7.9	.	10.6	.	.	.
27	13.9	.	.	.	.	.	.
28	0.6	.	.	.	.
29
30	0.5	28.0	.	.	.	.
31	9.5	2.4	.	.	.	.
D1	0.7	22.7	64.8	112.2	30.1	9.2	.	.
D2	20.9	6.5	71.7	53.8	45.0	8.7	.	.
D3	17.2	38.0	37.8	10.6	.	.	.
M	21.6	46.4	174.5	203.8	85.7	17.9	.	.
Nb	0	0	0	0	4	9	11	15	9	2	0	.

TOTAL ANNUEL : 549.9 mm Nombre de jours de pluies : 50

Tableau 2. Répartition mensuelle des pluies à N'Tarla en 1993

Tableau 2. Répartition mensuelle des pluies à N'Tarla en 1993.

	Moy. sur 10 ans	1992	1993
JANVIER	0.00	0.00	0.00
FEVRIER	2.02	14.70	0.00
MARS	1.31	0.00	3.00
AVRIL	10.87	2.10	7.00
MAI	72.72	198.60	31.70
JUIN	104.58	131.30	86.80
JUILLET	162.90	207.80	195.90
AOUT	216.16	224.30	263.20
SEPTENBRE	136.83	148.50	100.00
OCTOBRE	30.79	53.50	16.60
NOVEMBRE	0.92	6.30	0.00
DECEMBRE	0.00	0.00	0.00

Moyenne des totaux annuels sur 10 ans = 738.89 mm
 Total annuel 1992 = 987.10 mm
 Total annuel 1993 = 704.20 mm

Annexe 2

Tableau 1. Caracteristiques physiques et chimiques des différents sols de l'étude.

Sol	<2 μ (%)	<16 μ (%)	<50 μ (%)	>210 μ (%)	C- tot (%)	N- tot (%)	C/ N	P.tot mg (P ₂ O ₅) /100g	pH- H ₂ O	pH- KCl	CEC meq/ kg	K meq/ kg	Na meq/ kg	Ca meq/ kg	Mg meq/ kg
Sable ranch	5.4	6.7	23.3	7.9	0.18	0.02	9.0	27.9	5.67	5.98	2.1	0.28	0.00	1.02	0.46
N'Tarla D ₂	6.1	9.8	38.5	34.1	0.39	0.03	13.0	20.4	5.67	5.77	1.9	0.18	0.00	1.17	0.40
N'Tarla H ₁	7.4	13.0	40.0	37.0	0.24	0.02	12.0	19.1	5.36	5.43	1.6	0.12	0.00	0.83	0.26
N'Tarla A ₂ E	5.9	9.5	32.1	42.3	0.18	0.01	18.0	19.5	5.39	5.55	1.6	0.16	0.00	0.61	0.21

N'Tarla B ₁ (A ₂)	5.5	9.6	54.3	41.9	0.25	0.02	12.5	25.3	5.54	5.82	1.6	0.22	0.00	0.90	0.32
N'Tarla A ₂ T	5.3	9.0	45.2	44.4	0.17	0.01	17.0	14.6	5.38	5.49	0.8	0.16	0.00	0.48	0.18
N'Tarla A ₂ T	5.1	8.1	41.8	44.4	0.20	0.02	10.0	14.7	5.78	6.28	1.2	0.19	0.00	0.83	0.35
Cinzana A ₉	5.8	7.6	23.0	36.9	0.21	0.02	10.5	17.8	5.02	4.54	1.2	0.08	0.00	0.48	0.17
Cinzana J ₁₈	38.4	49.6	63.5	17.5	0.92	0.06	15.3	35.8	5.41	5.03	12.0	0.51	0.00	8.56	2.48
Cinzana limon1	34.6	44.3	64.4	14.8	0.79	0.06	13.2	38.1	5.23	4.70	8.1	0.41	0.00	4.66	1.90
Cinzana limon2	31.7	41.5	78.1	16.3	0.76	0.06	12.7	40.1	5.53	4.96	8.0	0.43	0.00	4.92	1.84

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des différentes matières organiques étudiées lors des incubations.

Type de matière organique	Carbone (g/kg ⁻¹)	Azote (g/kg ⁻¹)	C/N	Phosphore (g/kg ⁻¹)	Potassium (g/kg ⁻¹)
Racines fines <i>Niébé</i>	480	28.70	17	2.69	8.40
Racines grosses <i>Niébé</i>	458	15.70	29	1.63	14.50
Modules <i>Niébé</i>	439	77.40	5.7	3.78	10.30
Racines fines <i>Stylosanthes</i>	509	15.30	33	1.34	1.65
Racines grosses <i>Stylosanthes</i>	496	9.44	53	0.43	1.57
Racines fines <i>Andropogon</i>	415	7.05	59	0.64	3.40
Racines grosses <i>Andropogon</i>	448	4.94	91	0.37	3.33
Fumier NS*	375	11.00	34	1.70	9.20
Fumier S**	378	20.50	18	7.88	8.11
Paille de mil	458	7.87	58	0.71	30.80
Racines fines <i>Acacia seyal</i>	527	16.00	33	0.35	6.49
Racines grosses <i>Acacia seyal</i>	519	13.10	40	0.27	3.58
Racines fines <i>Sclerocarya birrea</i>	494	10.90	45	0.66	14.30
Racines grosses <i>Sclerocarya birrea</i>	489	7.98	61	0.32	8.64

* NS : Fumier originaux des boeufs non supplémentés

**S : Fumier originaux des boeufs supplémentés avec du tourteau de coton.

Tableau 3a. *Quantité de Carbone dégagé (en mg(C)/kg)(sol) au cours de l'incubation des différents sols.*

	durée d'incubation						
	0	3	6	13	34	55	83
Sable Ranch Niono	0	30	50	85	126	158	181
N'Tarla D2	0	72	100	148	212	259	310
N'Tarla H1	0	44	62	87	119	145	167
N'Tarla A2E	0	45	58	79	103	121	128
N'Tarla B1(a2)	0	55	78	109	144	169	179
N'Tarla A2T	0	44	61	88	130	162	173
N'Tarla A2F	0	49	70	99	128	150	159
Cinzana A9	0	28	36	47	59	67	77
Cinzana J18	0	41	54	83	134	167	201
Cinzana N'Kondia	0	44	57	78	99	111	123

Tableau 3b : *Quantité d'Azote (en mg(N)/kg)(sol) au cours de l'incubation des différents sols.*

	durée d'incubation					
	0	6	13	34	55	83
Sable Ranch Niono	8.5	7.3	13.3	17.0	17.0	23.7
N'Tarla D2	14.3	22.7	25.7	28.3	32.0	47.0
N'Tarla H1	22.7	25.3	26.7	30.0	31.0	37.7
N'Tarla A2E	11.7	14.0	12.7	16.0	15.0	18.7
N'Tarla B1(a2)	14.0	15.3	16.7	20.3	23.7	27.3
N'Tarla A2T	11.0	13.0	12.0	14.0	16.3	21.0
N'Tarla A2F	10.0	11.7	13.7	17.0	18.0	26.7
Cinzana A9	4.3	12.7	7.0	8.0	7.3	9.0
Cinzana J18	30.7	31.7	32.0	33.3	35.7	37.7
Cinzana N'Kondia	17.0	20.0	21.3	25.7	24.0	28.7

Tableau 4a. *Quantité net de Carbone dégagé (en mg(C)/kg)(sol) au cours de l'incubation des différents apports en matière organique*

Substrat	Matière organique	Quantité apporté (gr/kg)	Durée d'incubation						
			0	3	6	13	34	55	83
Sable Ranch	Racines fines niébé	6	0	232	398	612	822	960	1078
Sable Ranch	Racines grosses niébé	6	0	278	511	773	986	1067	1131
Sable Ranch	Modules niébé	6	0	659	971	1242	1550	1652	1733
Sable Ranch	Racines fines Stylosanthes	6	0	659	774	962	1199	1341	1457
Sable Ranch	Racines grosses Stylosanthes	6	0	659	788	978	1244	1432	1619
Sable Ranch	Racines fines Andropogon	6	0	659	712	811	1016	1136	1280
Sable Ranch	Racines grosses Andropogon	6	0	659	715	823	1013	1174	1357
Limon Cinzana	Racines fines Andropogon	6	0	79	122	204	309	369	411
Limon Cinzana	Racines grosses Andropogon	6	0	104	176	235	326	370	396
Sable Ranch	Fumier NS	6	0	41	117	212	414	557	732
Sable Ranch	Fumier NS + paille de mil	6+12	0	455	986	1506	2155	2313	2505
Sable Ranch	Fumier NS + paille de mil	6+24	0	602	1292	1738	2406	2826	3119
Sable Ranch	Fumier S	6	0	50	147	236	460	553	583
Sable Ranch	Fumier S + paille de mil	6+12	0	476	1094	1361	1824	2038	2174
Sable Ranch	Fumier S + paille de mil	6+24	0	654	1338	1712	2374	2946	3192
Sable Ranch	Racines fines A.seyal	6	0	70	130	200	421	499	553
Sable Ranch	Racines grosses A.seyal	6	0	45	109	181	416	525	617
Sable Ranch	Racines fines S.birrea	6	0	106	193	276	530	605	652
Sable Ranch	Racines grosses S.birrea	6	0	102	190	285	563	664	733

Tableau 4b. Quantité d'Azote (en mg (N)/kg)(sol) au cours d'incubation des différentes apports en matière organique.

Substrat	Matière organique	Quantité apporté (gr/kg)	durée d'incubation					
			0	6	13	34	55	83
Sable Ranch	Racines fines niébé	6	3.7	2.0	19.7	25.3	35.0	26.3
Sable Ranch	Racines grosses niébé	6	3.7	3.0	6.7	6.7	13.0	14.0
Sable Ranch	Modules niébé	6	3.7	6	69	81	124	190
Sable Ranch	Racines fines Stylosanthes	6	3.7	9	5	3	4	4

Sable Ranch	Racines grosses Stylosanthes	6	3.7	4	4	3	3	5
Sable Ranch	Racines Andropogon	6	3.7	6.7	3.7	1.3	1.0	3.0
Sable Ranch	Racines grosses Andropogon	6	3.7	7.7	3.3	1.0	1.0	3.0
Limon Cinzana	Racines fines Andropogon	6	3.3	10.0	3.3	1.3	1.7	2.0
Limon Cinzana	Racines grosses Andropogon	6	3.3	11.0	3.7	1.3	1.0	2.0
Sable Ranch	Fumier NS	6	3.7	14.7	2.7	1.0	1.3	4.0
Sable Ranch	Fumier NS + paille de mil	6+12	3.7	13.3	1.3	1.0	2.3	11.0
Sable Ranch	Fumier NS + paille de mil	6+24	3.7	29.0	3.0	1.7	2.0	3.5
Sable Ranch	Fumier S	6	3.7	23.3	11.7	10.3	15.3	26.7
Sable Ranch	Fumier S + paille de mil	6+12	3.7	3.0	2.7	2.7	3.7	14.7
Sable Ranch	Fumier S + paille de mil	6+24	3.7	2.7	2.0	3.3	2.7	2.3
Sable Ranch	Racines fines A.seyal	6	8.5	10.0	5.0	6.0	5.0	4.3
Sable Ranch	Racines grosses A.seyal	6	8.5	13.3	6.0	7.3	5.0	3.7
Sable Ranch	Racines fines S.birrea	6	8.5	14.3	9.0	9.7	6.7	8.3
Sable Ranch	Racines grosses S.birrea	6	8.5	12.7	7.7	5.7	3.0	5.0

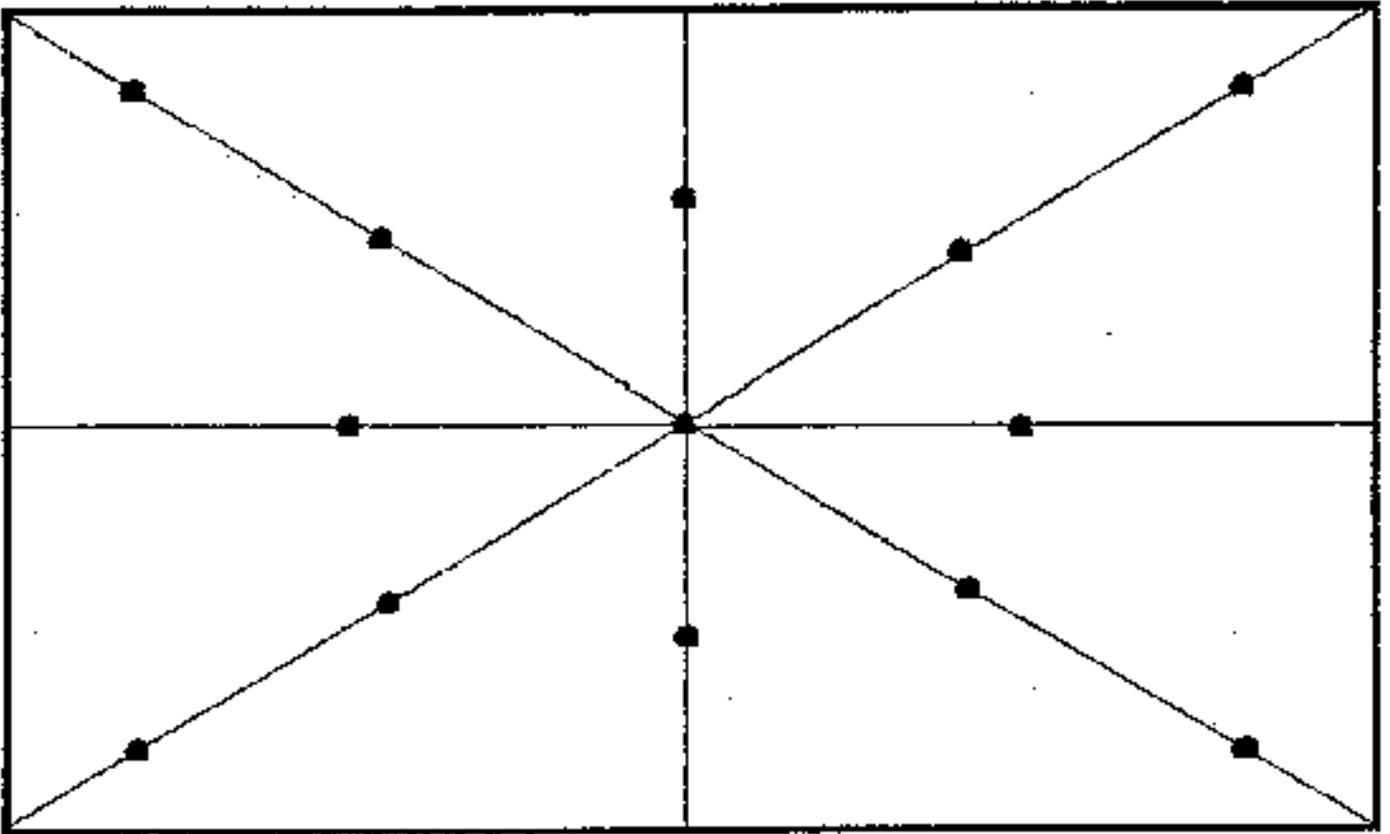


Schéma 1. Méthode d'échantillonnage du sol au niveau des blocs ou des parcelles.

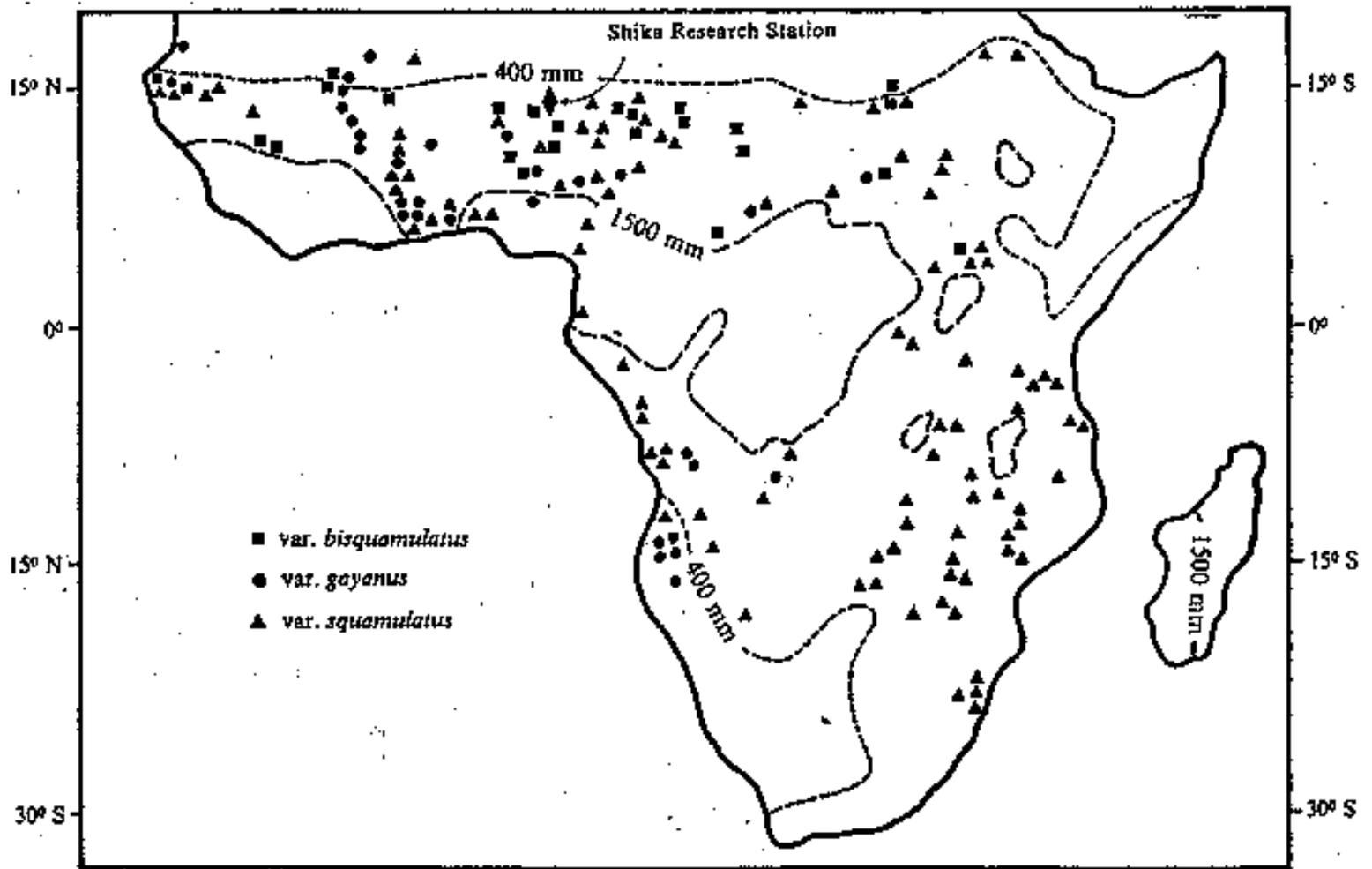


Figure 1. La distribution de l'*Andropogon gayanus* Kunth- + var *bisquamulatus* (Hochst) Hack, ◻, var *gayanus* ; ◉, var *squamulatus* (Hochst) stapf entre les isohyètes 400 et 1500 mm.
Source = CIAT - 1991

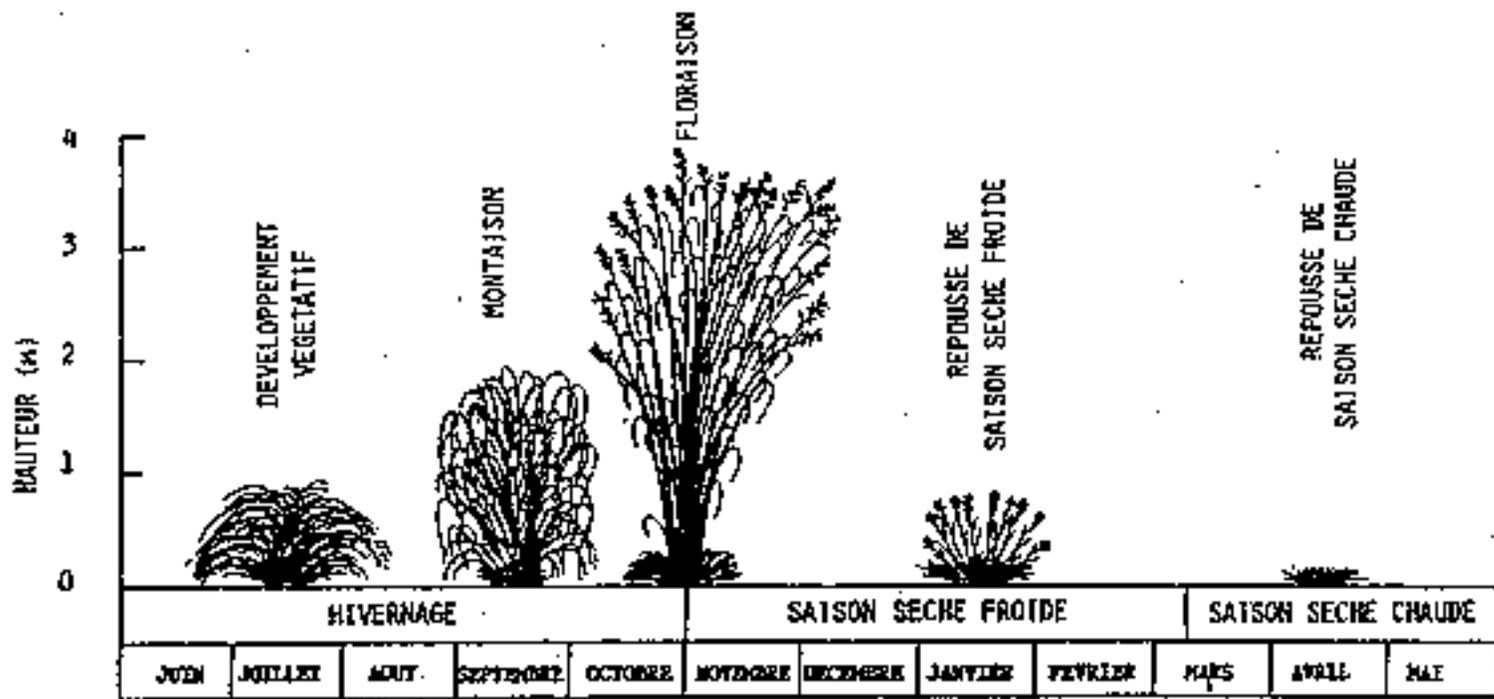


Figure 2. Cycle de développement de l'*Andropogon gayanus* au cours de l'année (Source Dieng et al., 1991)

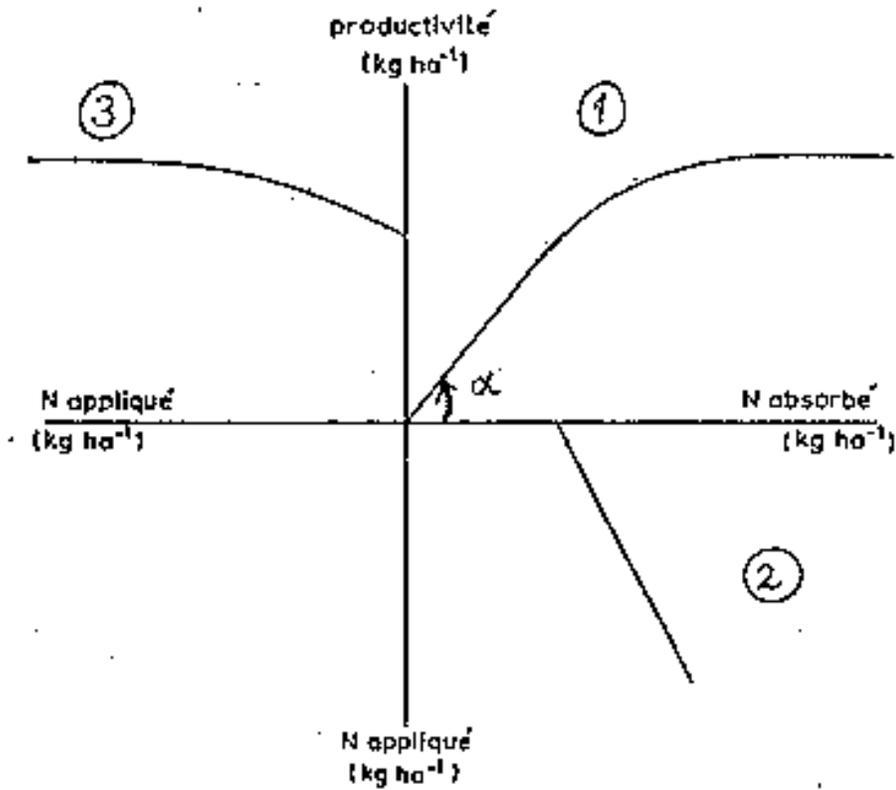


Figure 3. Représentation graphique de l'analyse quantitative du rendement d'engrais azoté appliqué sur une culture.

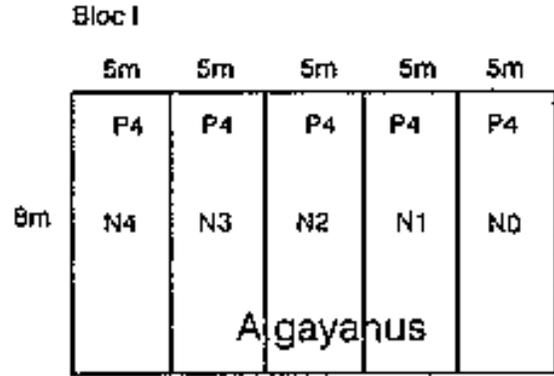
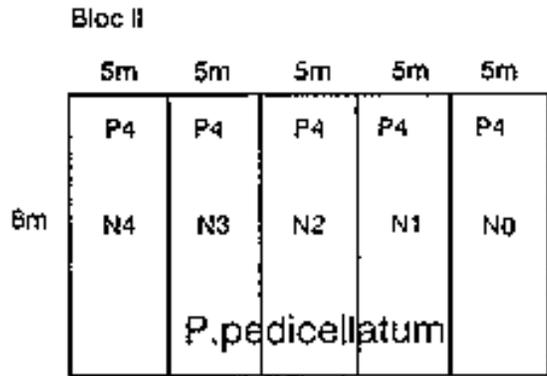
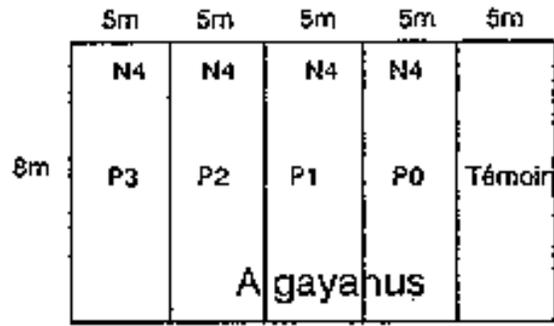
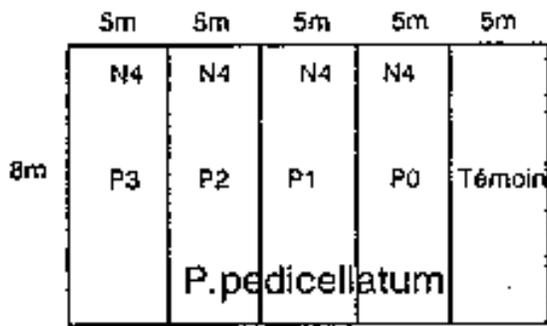
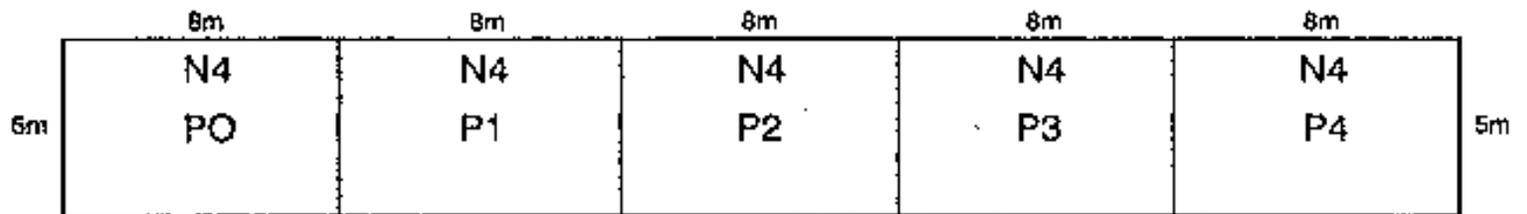
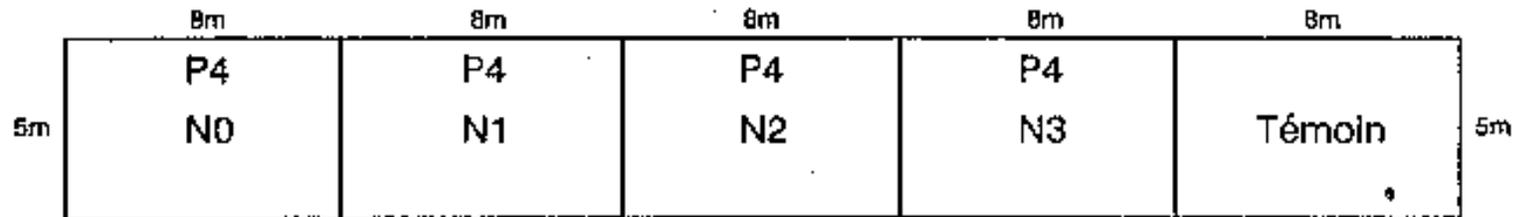


Schéma 2. Plan de l'essai recouvrement au niveau du site Sa sur sol sableux à Cinzana en 1993.



A. gayanus



A. gayanus

Schéma 3. Plan de l'essai recouvrement de l'Andropogon gayanus au niveau du site Sa-Li sur sol sablo-limoneux à N'Tarla en 1993.

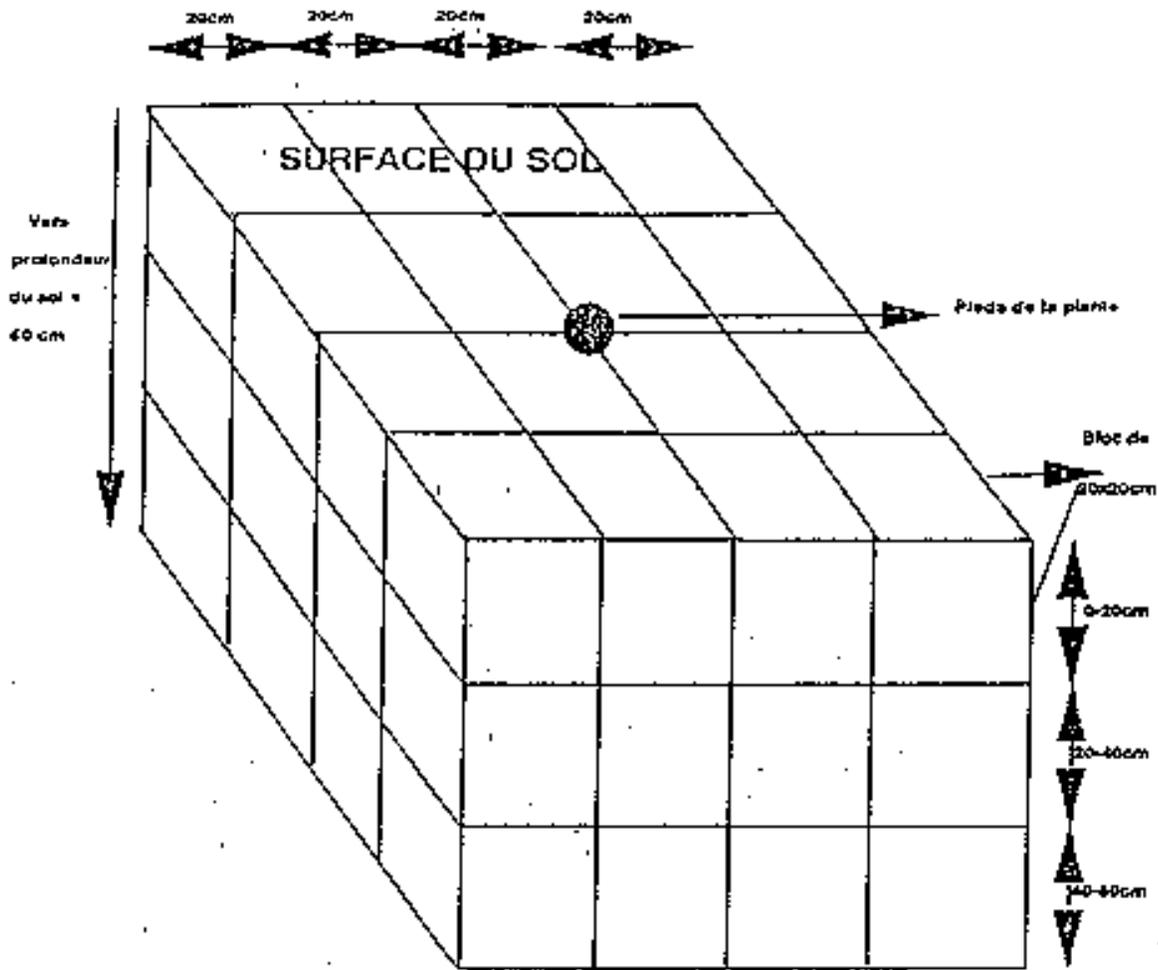


Schéma 4 : Echantillonnage du système racinaire à partir de la méthode de prélèvement des blocs (20 × 20 cm) de profondeur (vue de profil)

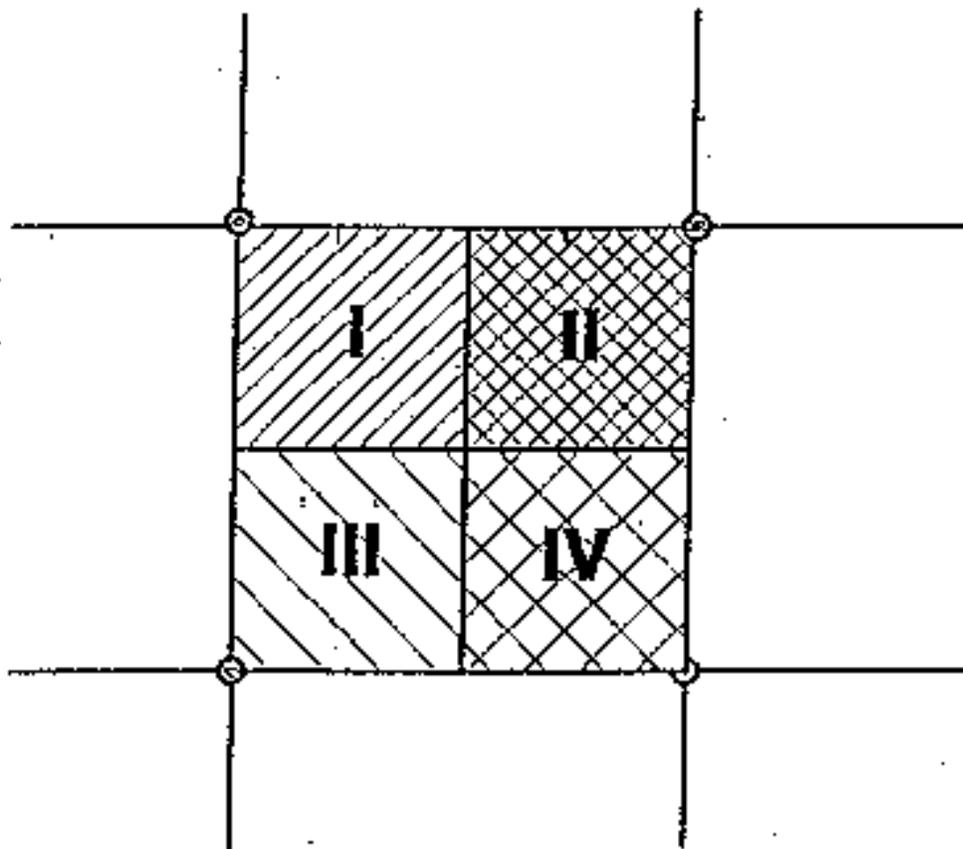


Schéma 5. Situation d'une parcelle d'Andropogon et la méthode de prélèvement de quatre fractions de 1/4 de quatre pieds pris ensemble.

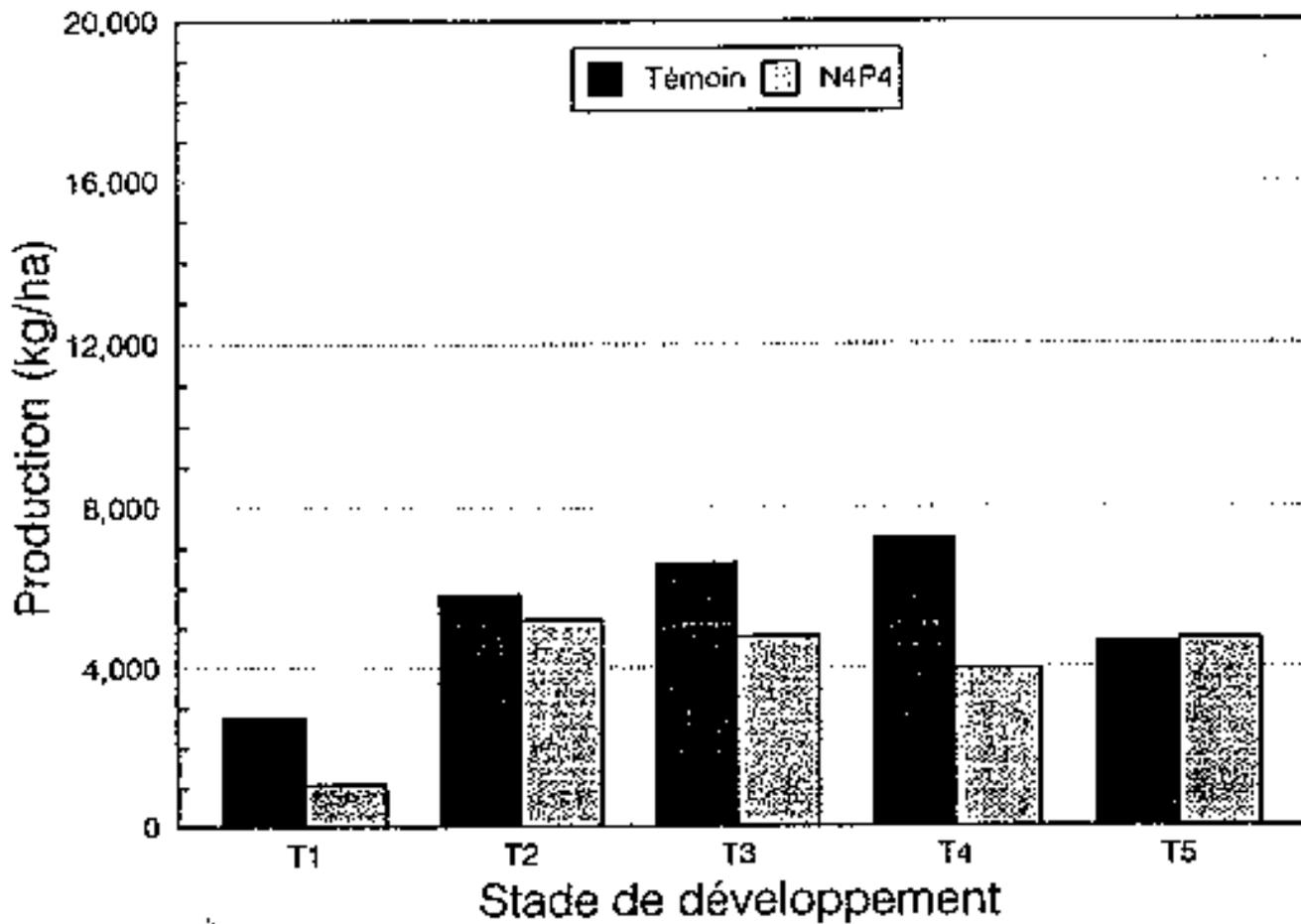


Figure 4. Comparaison des courbes de croissance de l'Andropogon gayanus à différents stades de développement à Cinzana en 1993 entre le témoin et la dose maximale N₄P₄.

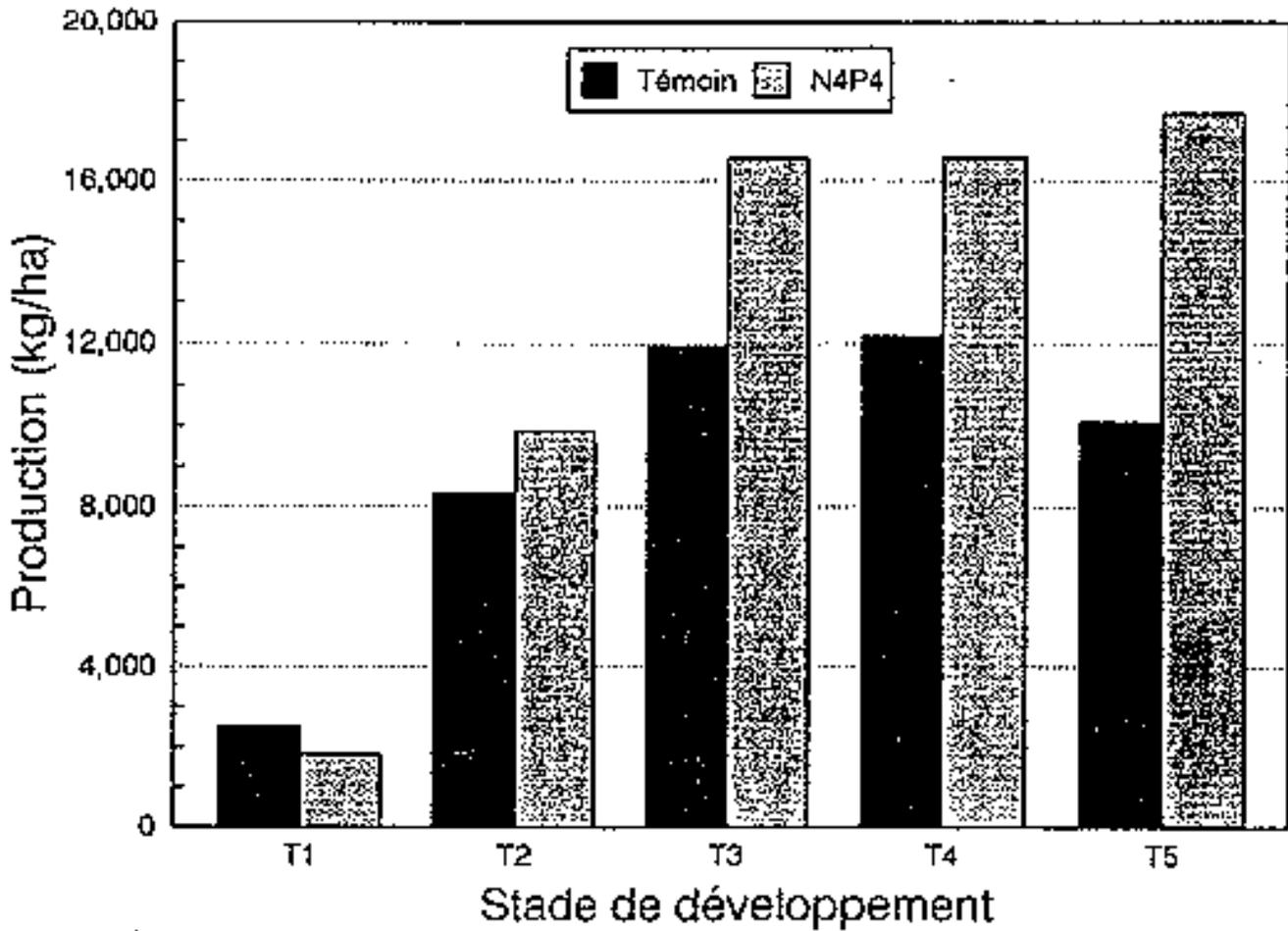


Figure 5. *Comparaison des courbes de croissance de l'Andropogon gayanus à différents stades de développement à N'Tarla en 1993 entre le témoin et la dose maximale N₄P₄.*

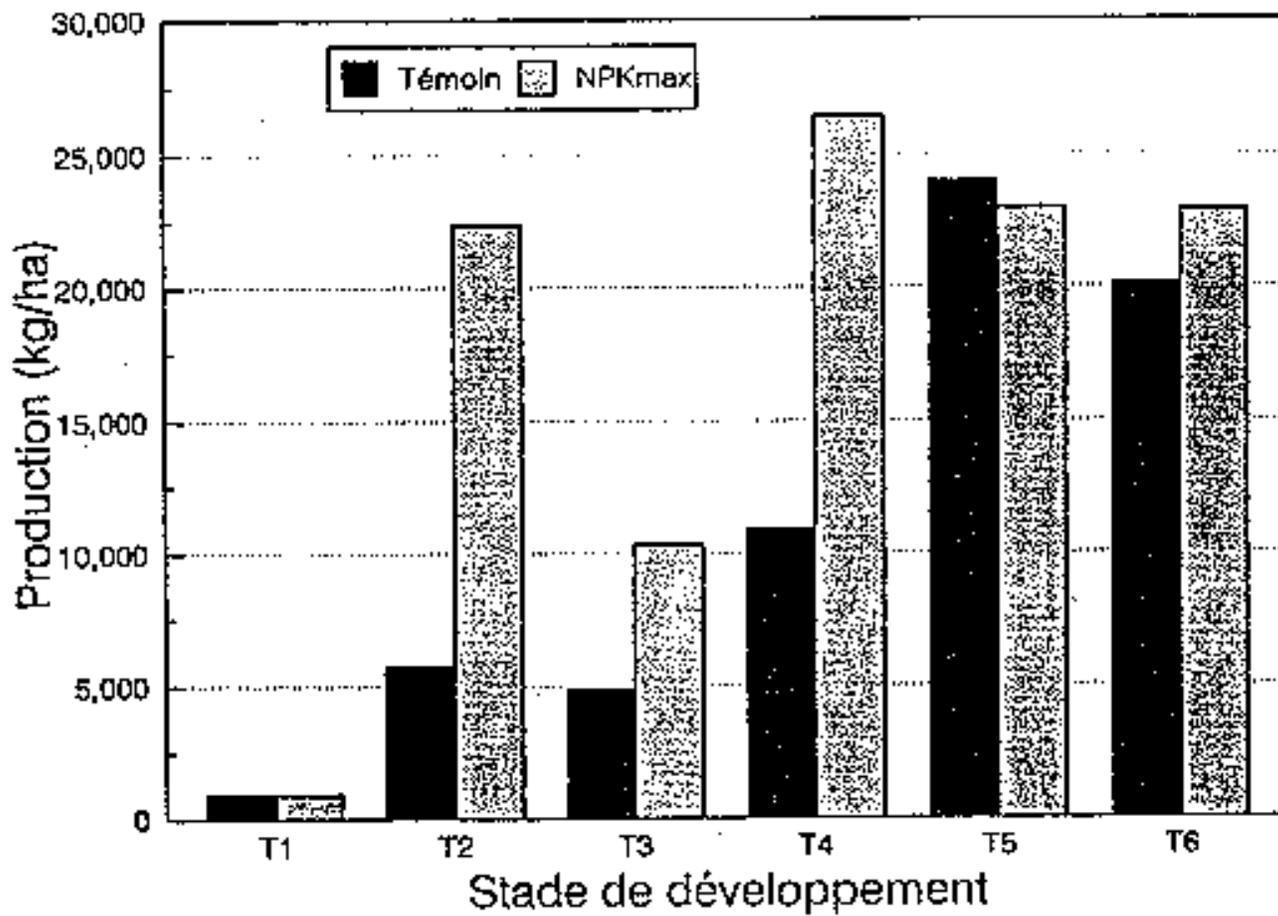
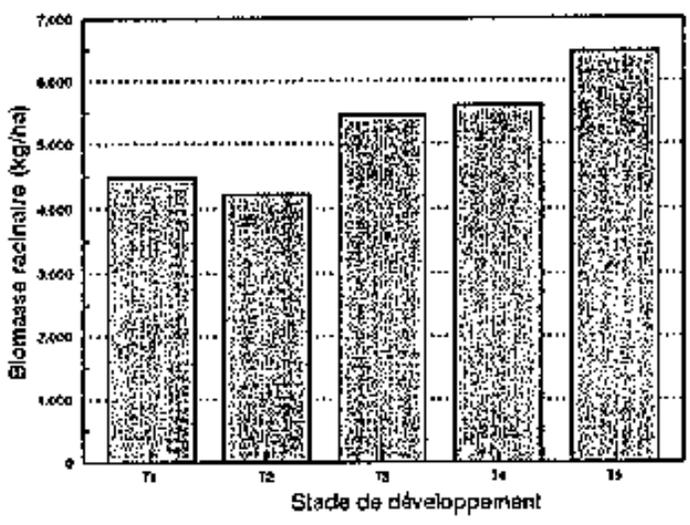


Figure 6. Comparaison des courbes de croissance de l'*Andropogon gayanus* à différents stades de développement à N'Tarla en 1994, entre le témoin et les doses maximales N4P4K4.



Distribution de la biomasse racinaire dans les différentes couches

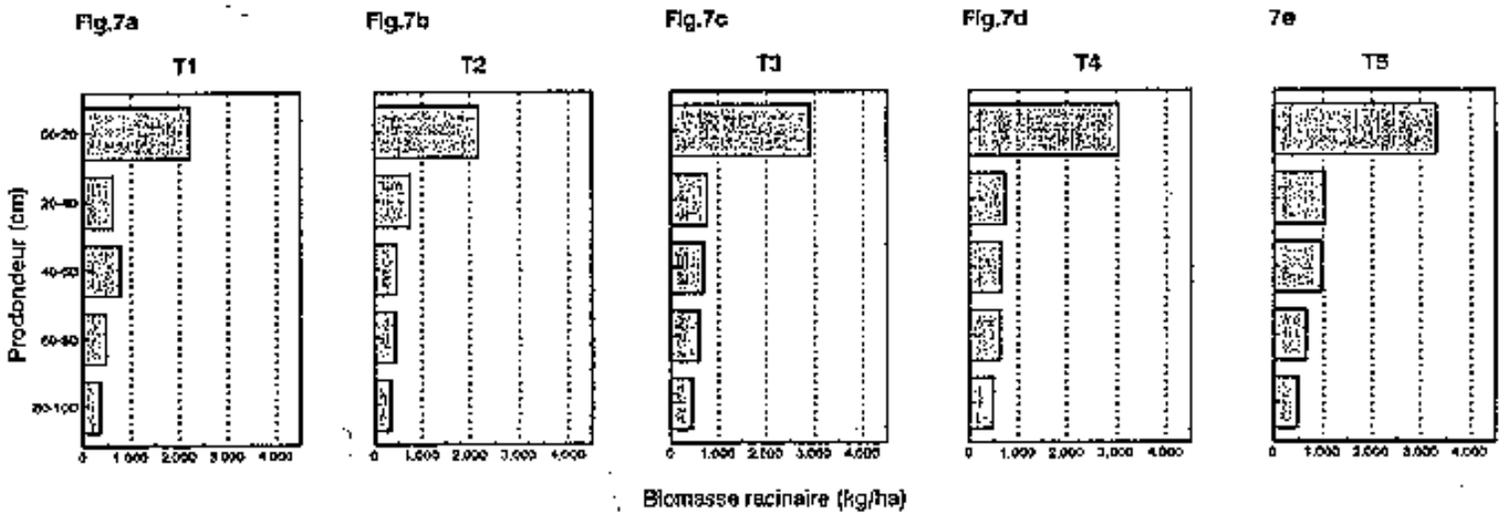
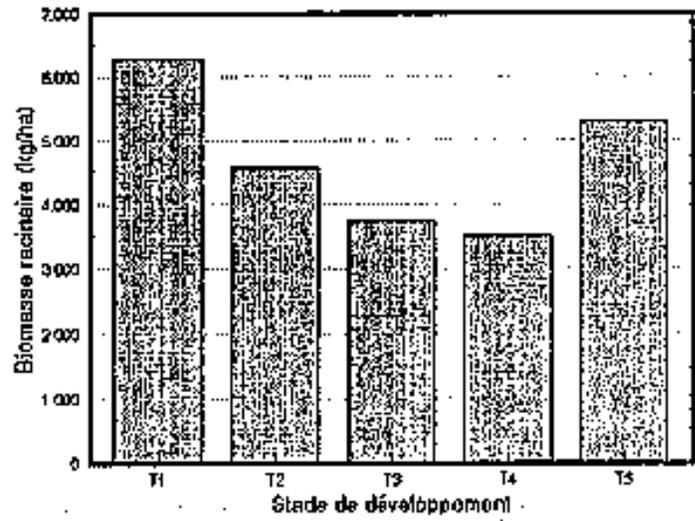


Figure 7. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement à Cinzana en 1993, Témoin.



Distribution de la biomasse racinaire dans les différentes couches

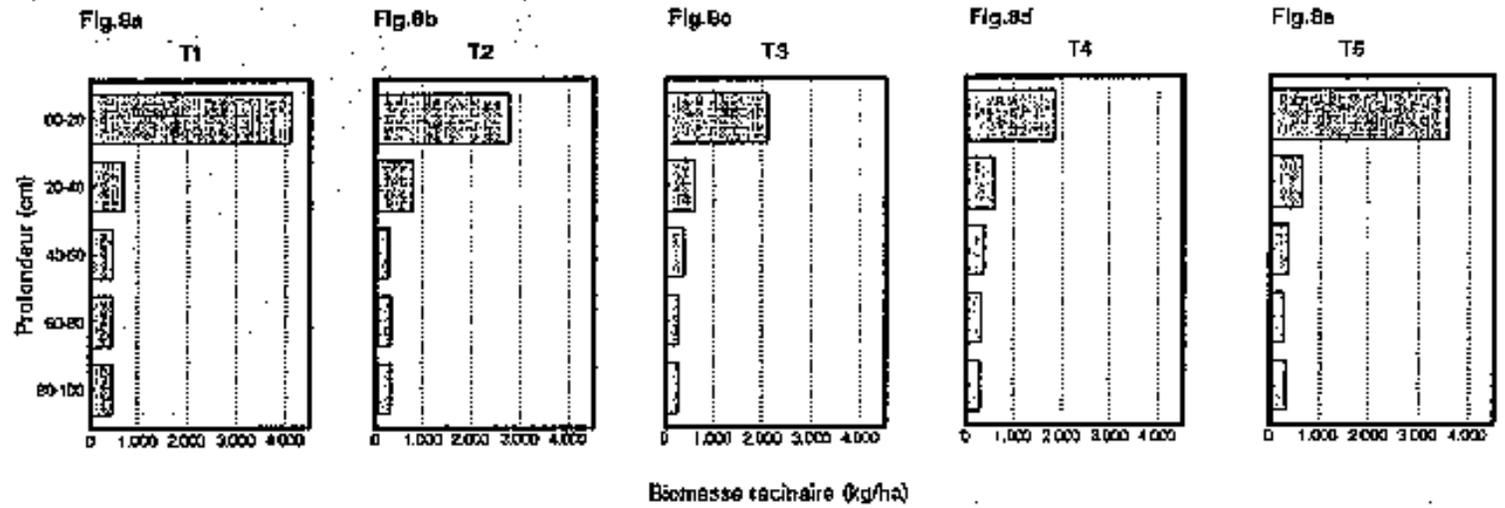
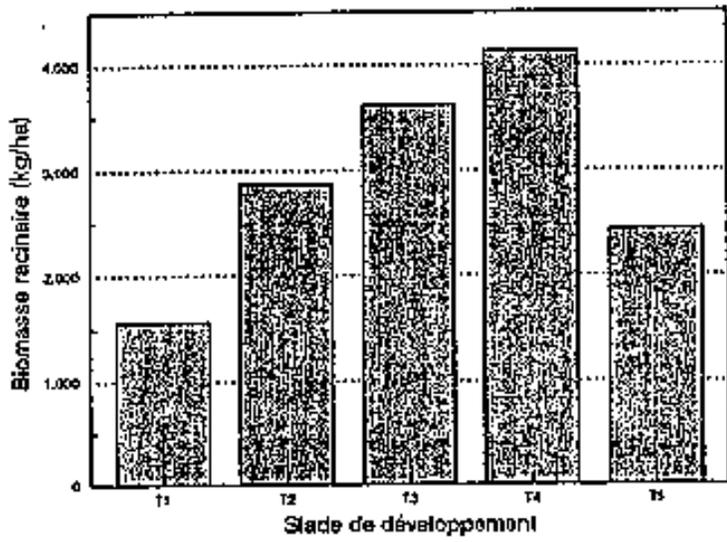


Figure 8. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement, Cinzana 1993, NAP4.



Distribution de la biomasse racinaire dans les différentes couches

Fig.9a

T1

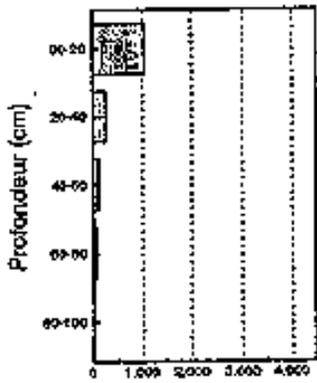


Fig.9b

T2

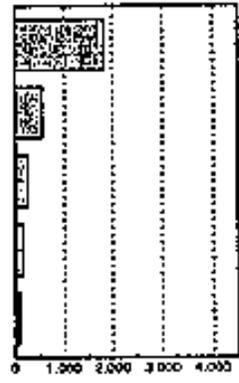


Fig.9c

T3

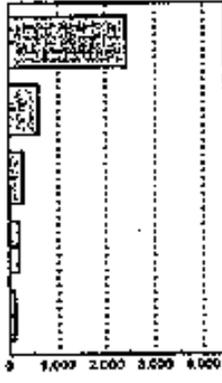


Fig.9d

T4

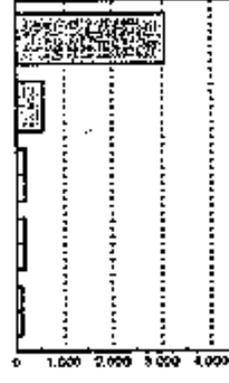
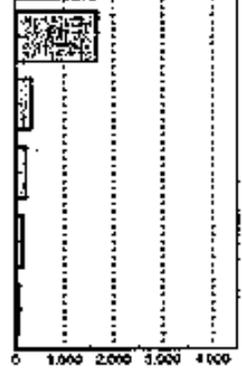


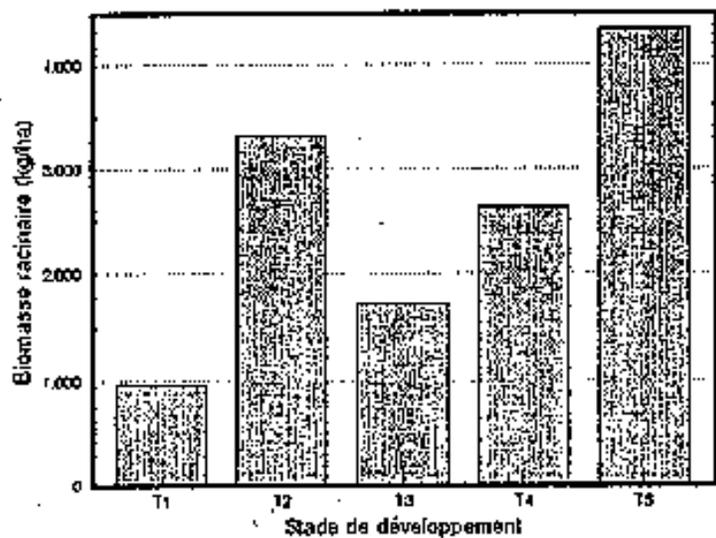
Fig.9e

T5



Biomasse racinaire (kg/ha)

Figure 9. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement à N'Taria en 1993, Témoin.



Distribution de la biomasse racinaire dans les différentes couches

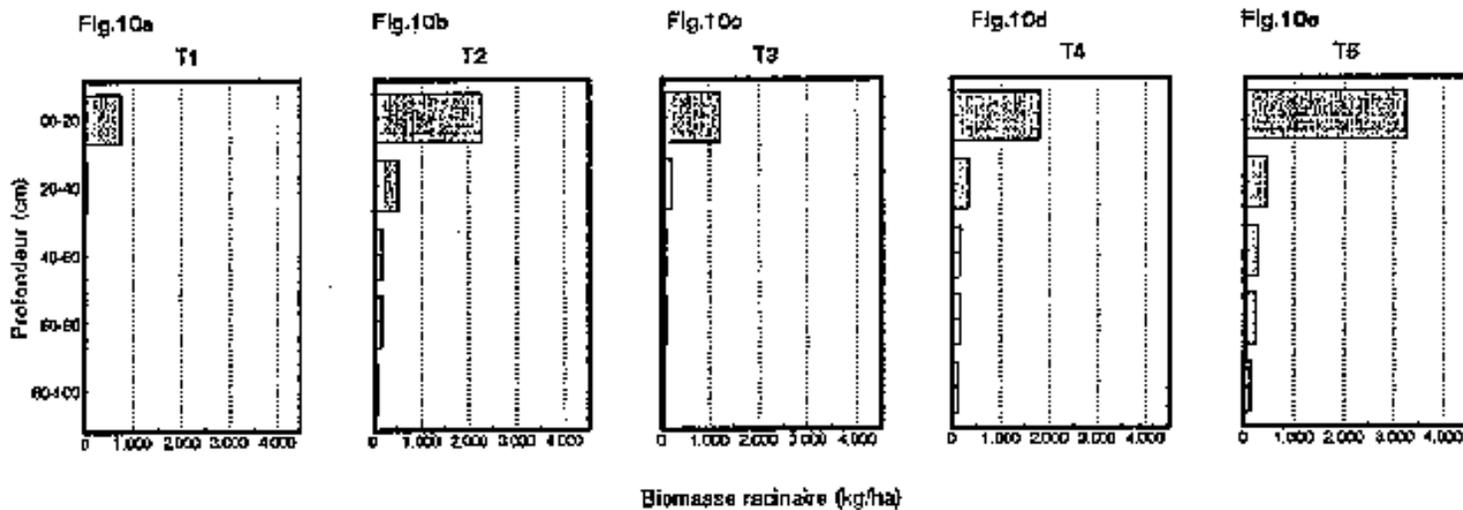


Figure 10. Evolution de la biomasse racinaire à différents stades de développement à N'Tarla en 1993, N_iP₄. Biomasse racinaire en saison sèche 1993 et 1994

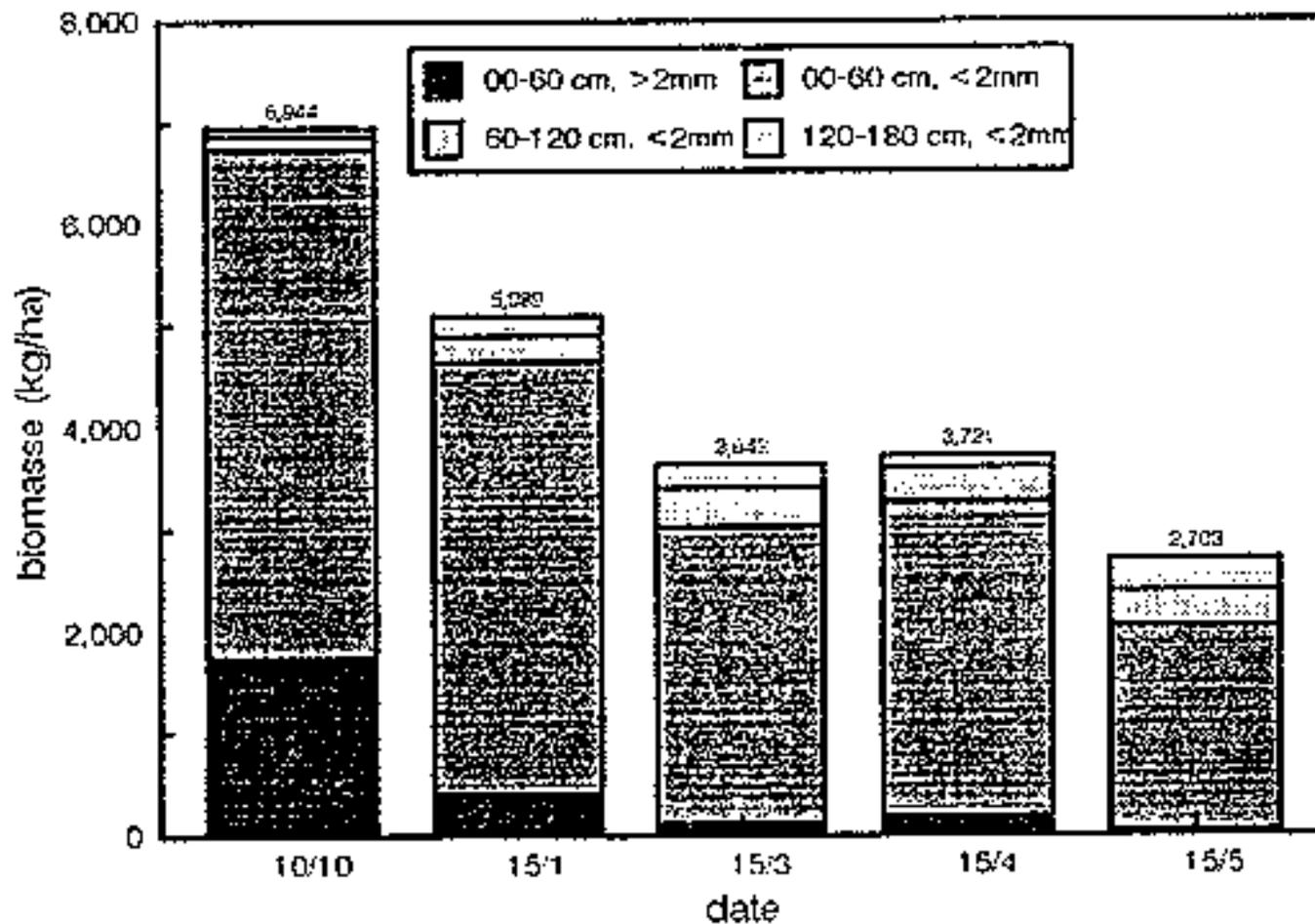


Figure 11. Evolution de la biomasse racinaire vivante (kg ha⁻¹) de l'Andropogon gayanus pendant la saison sèche à N'Tarla en 1993, Témoin.

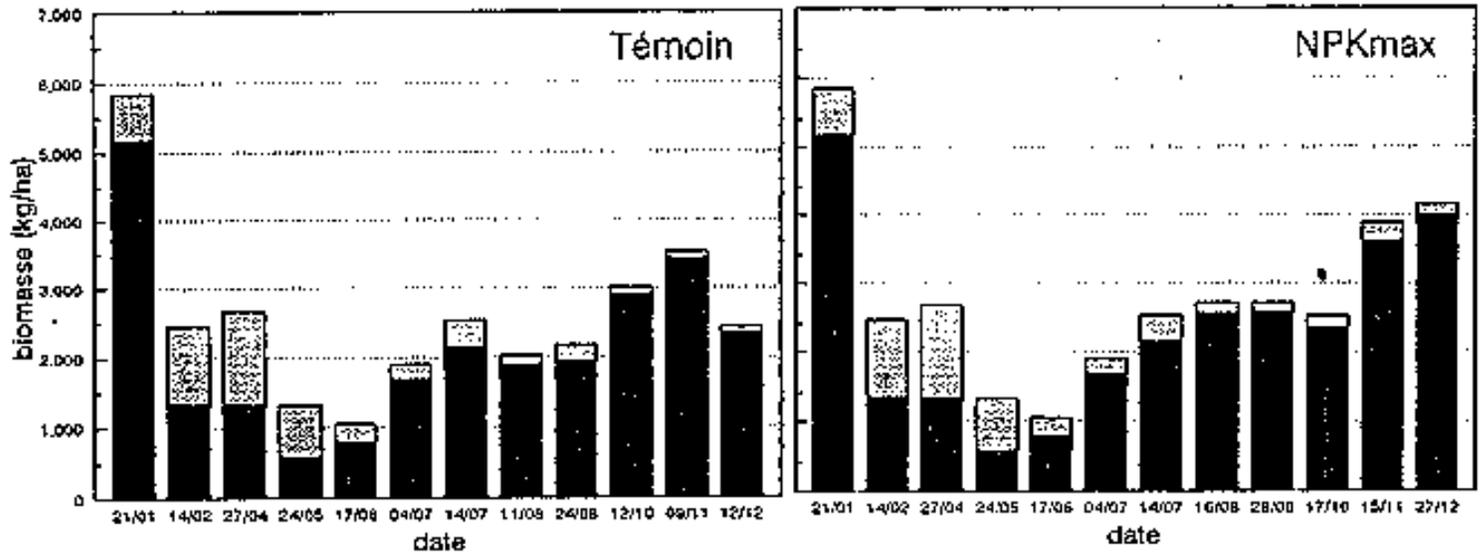


Figure 12. Evolution de la quantité de biomasse racinaire vivante et morte (kg ha^{-1}) de *Andropogon gayanus* au cours de l'année (pendant la saison sèche et l'hivernage) à différents stades de développement à N'Tarla en 1994 pour le témoin et de NPKmax.

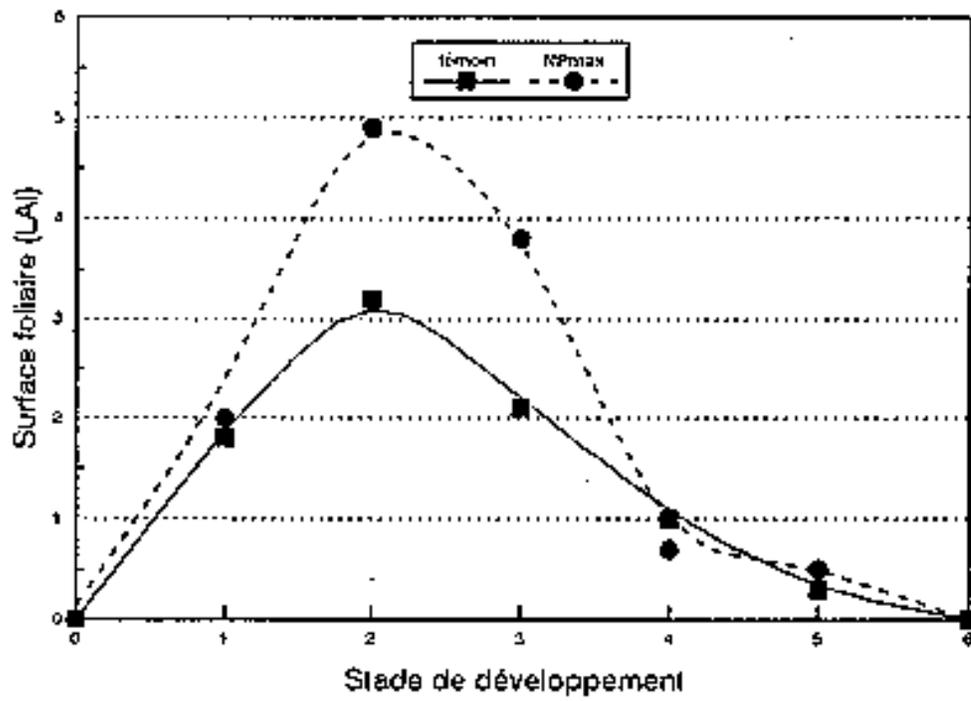


Figure 13. Evolution de la surface foliaire (LAI) de l'*Andropogon gayanus* à Cinzana en 1993.

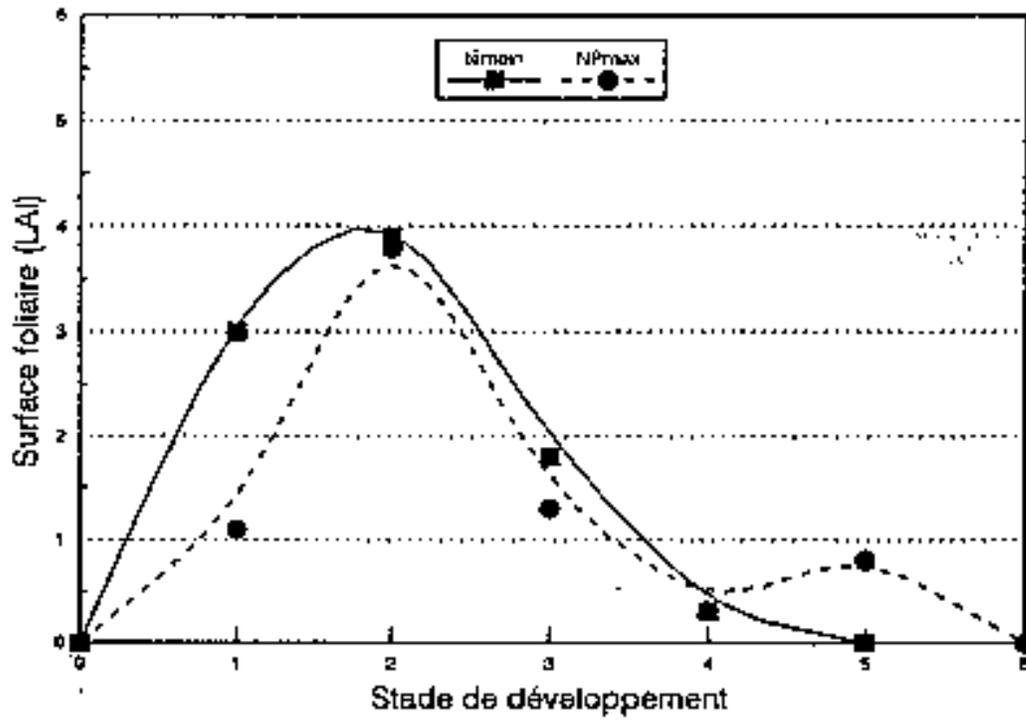


Figure 14. Evolution de la surface foliaire (LAI) de l'Andropogon gayanus à N'Tarla en 1993.

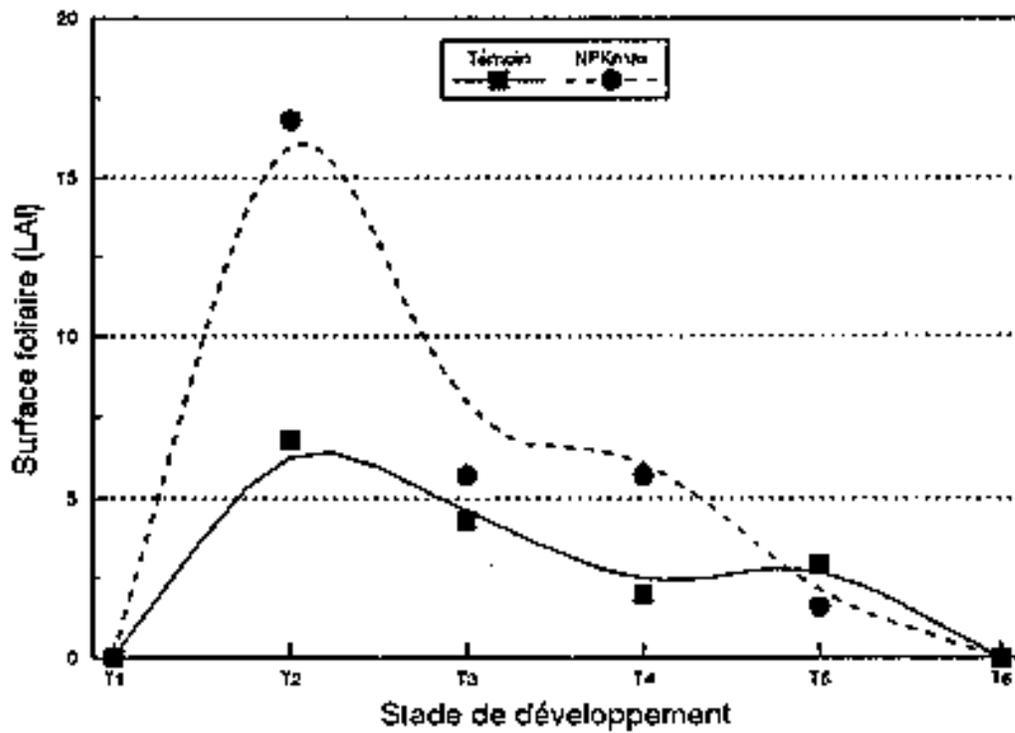


Figure 15. Evolution de la surface foliaire (LAI) de l'*Andropogon gayanus* à N'Tarla en 1994.

Fig.16a. Cinzans sol sableux 1993

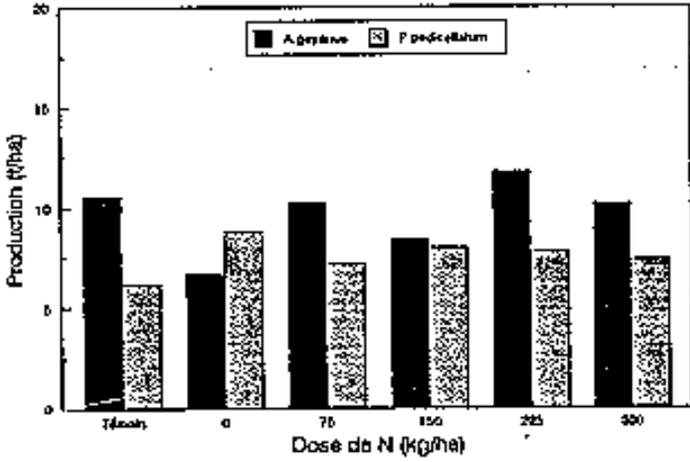


Fig.16c. N'Taria sol sablo-limoneux 1993

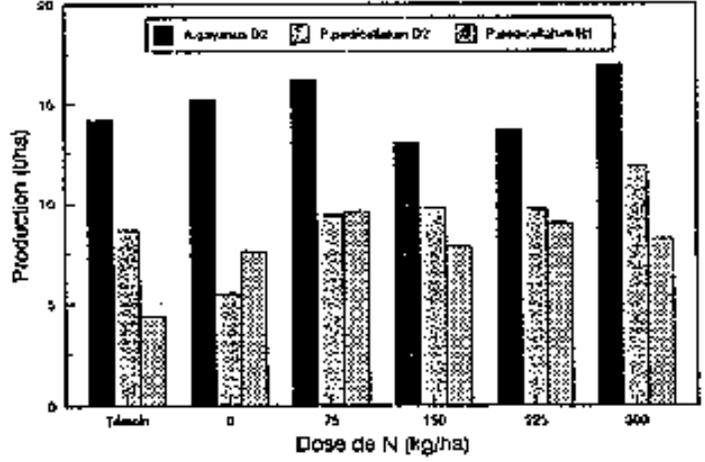


Fig.16b. Cinzans sol sablo-limoneux 1993

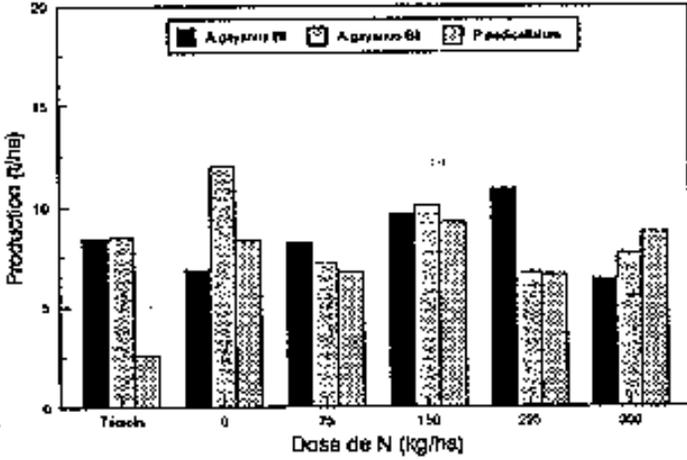


Fig.16d. N'Taria sol sablo-limoneux 1994

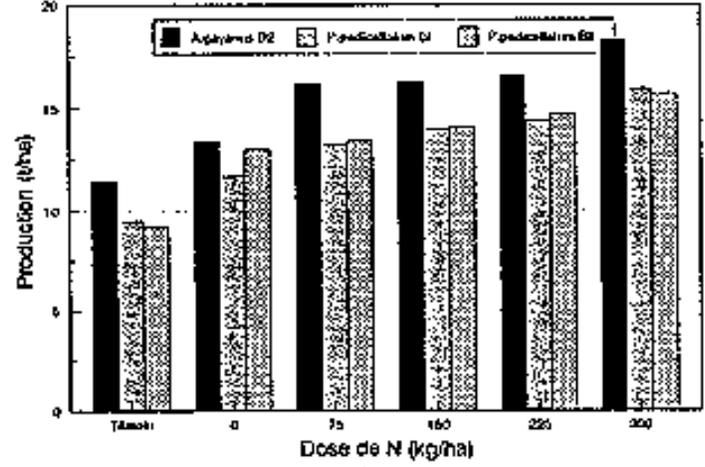


Fig.17a. Cinzana sol sableux 1993

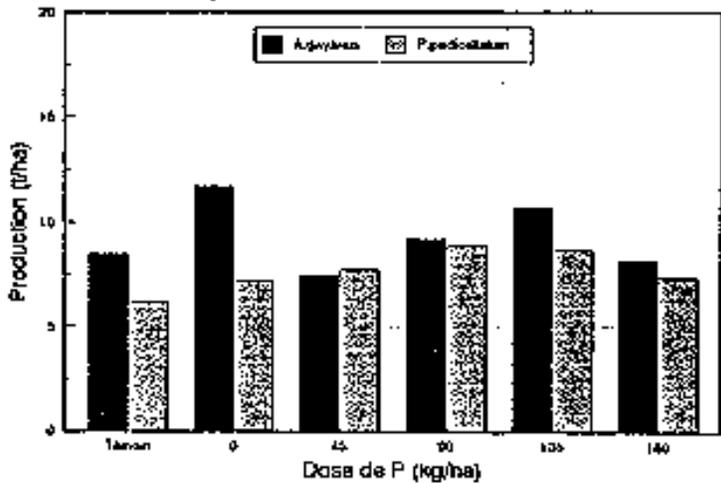


Fig.17c. N'Taria sol sablo-limoneux 1993

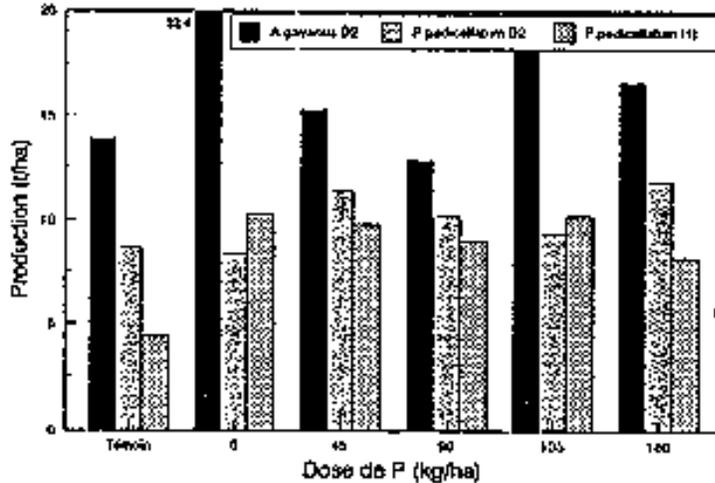


Fig.17b. Cinzana sol sablo-limoneux 1993

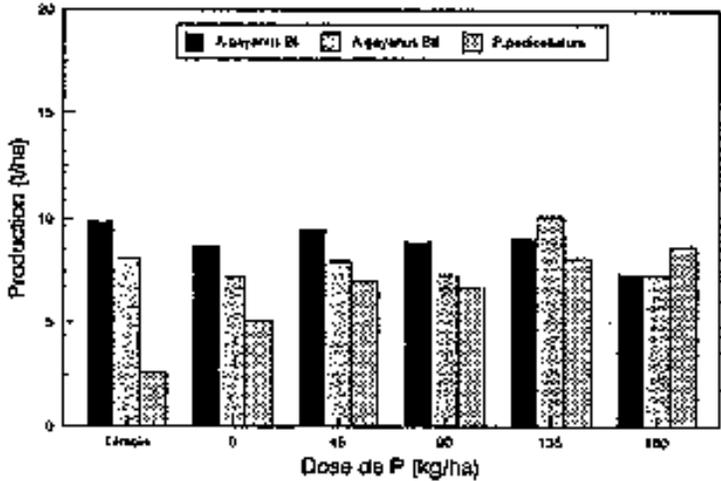


Fig.17d. N'Taria sol sablo-limoneux 1994

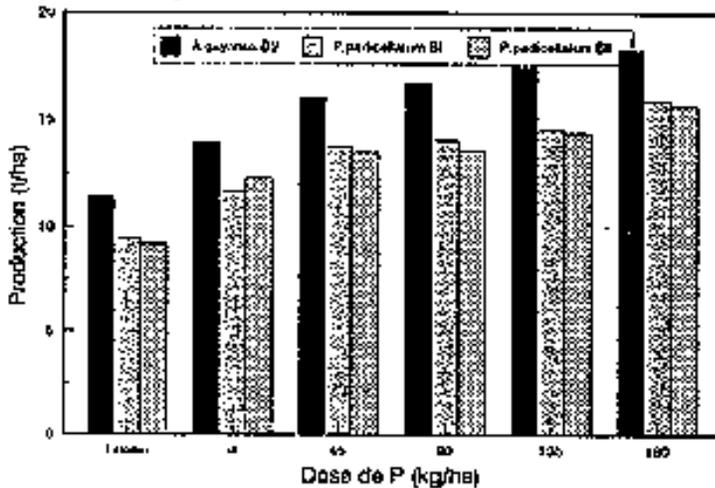


Fig.18

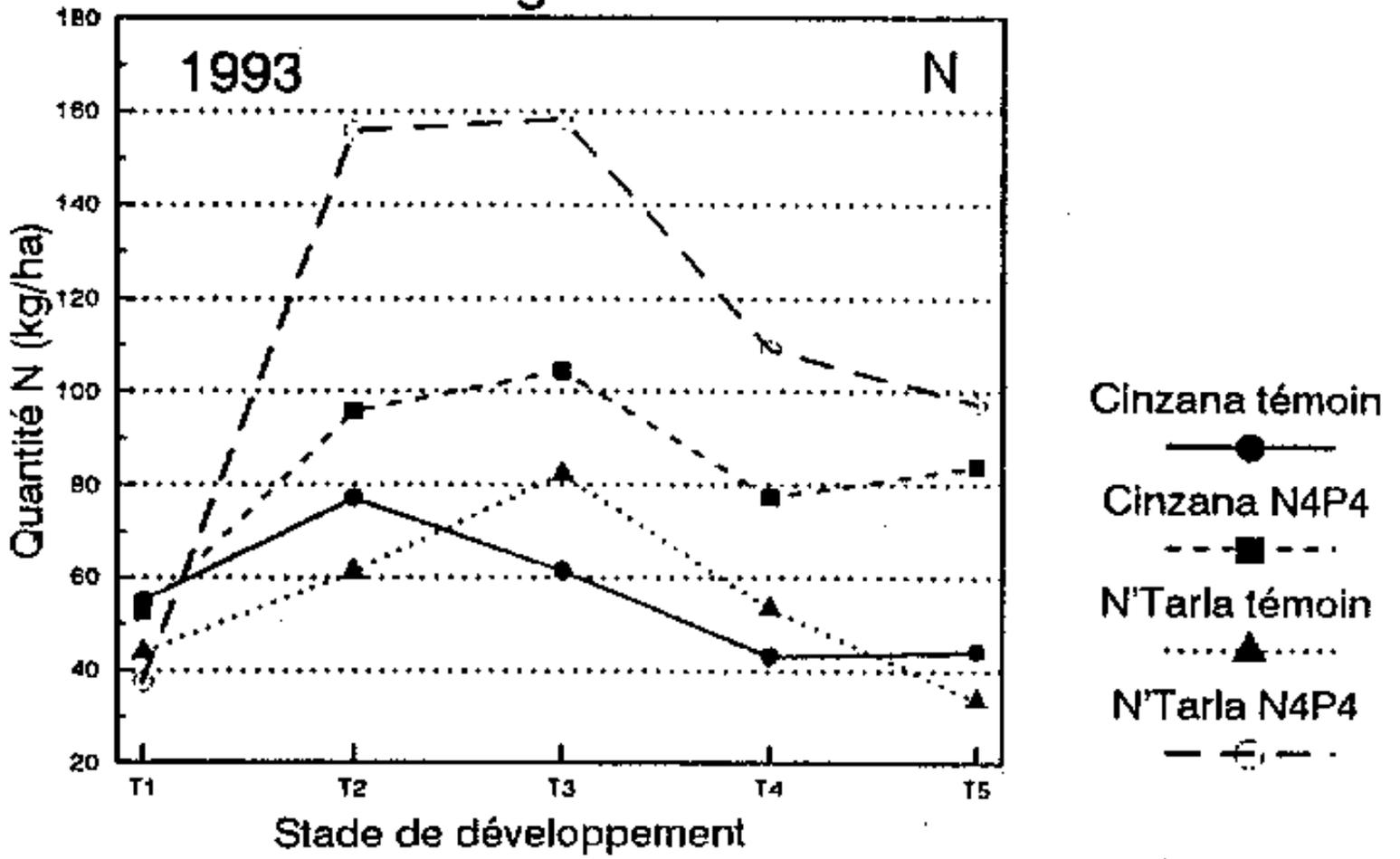


Fig.19

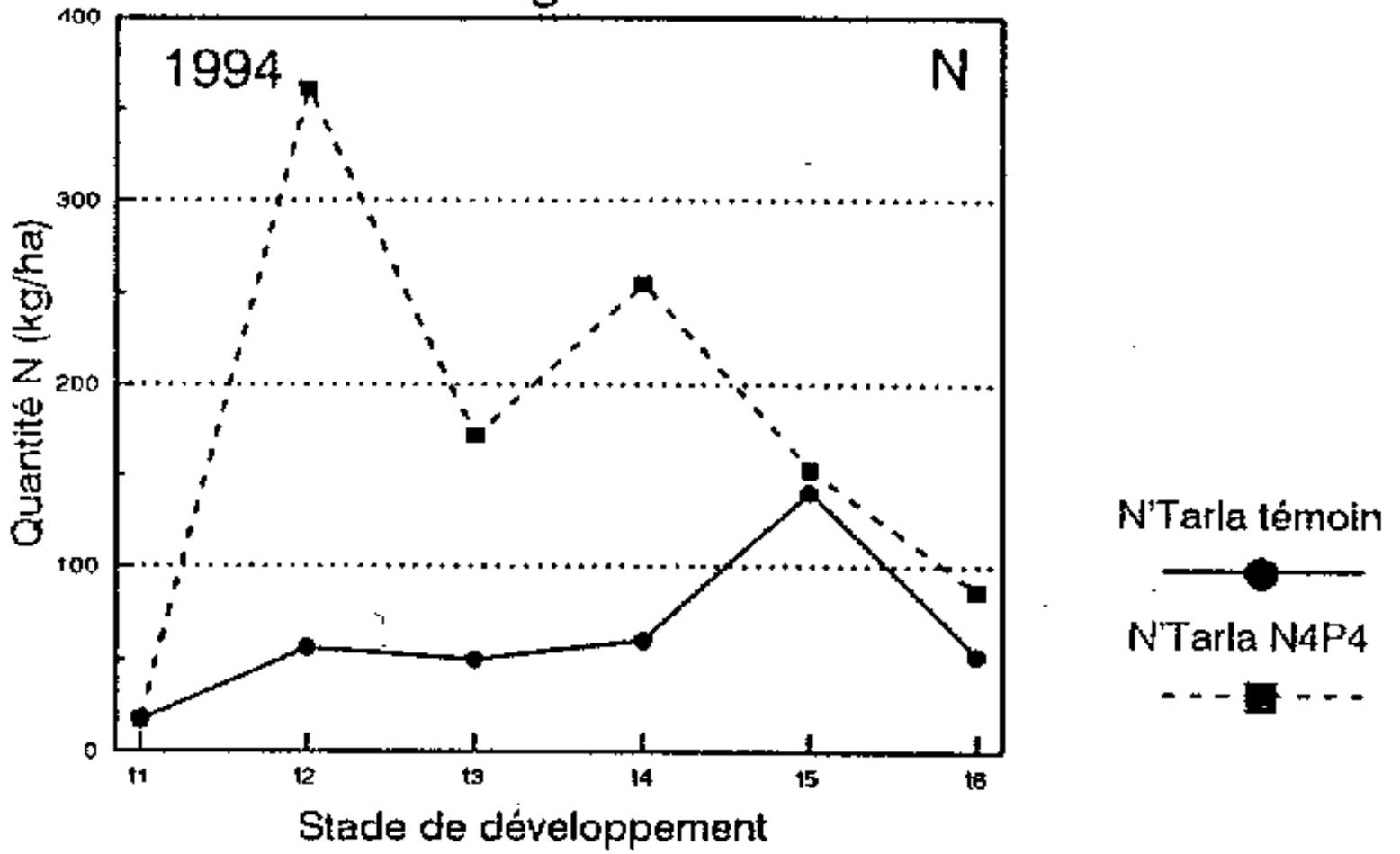


Fig.20

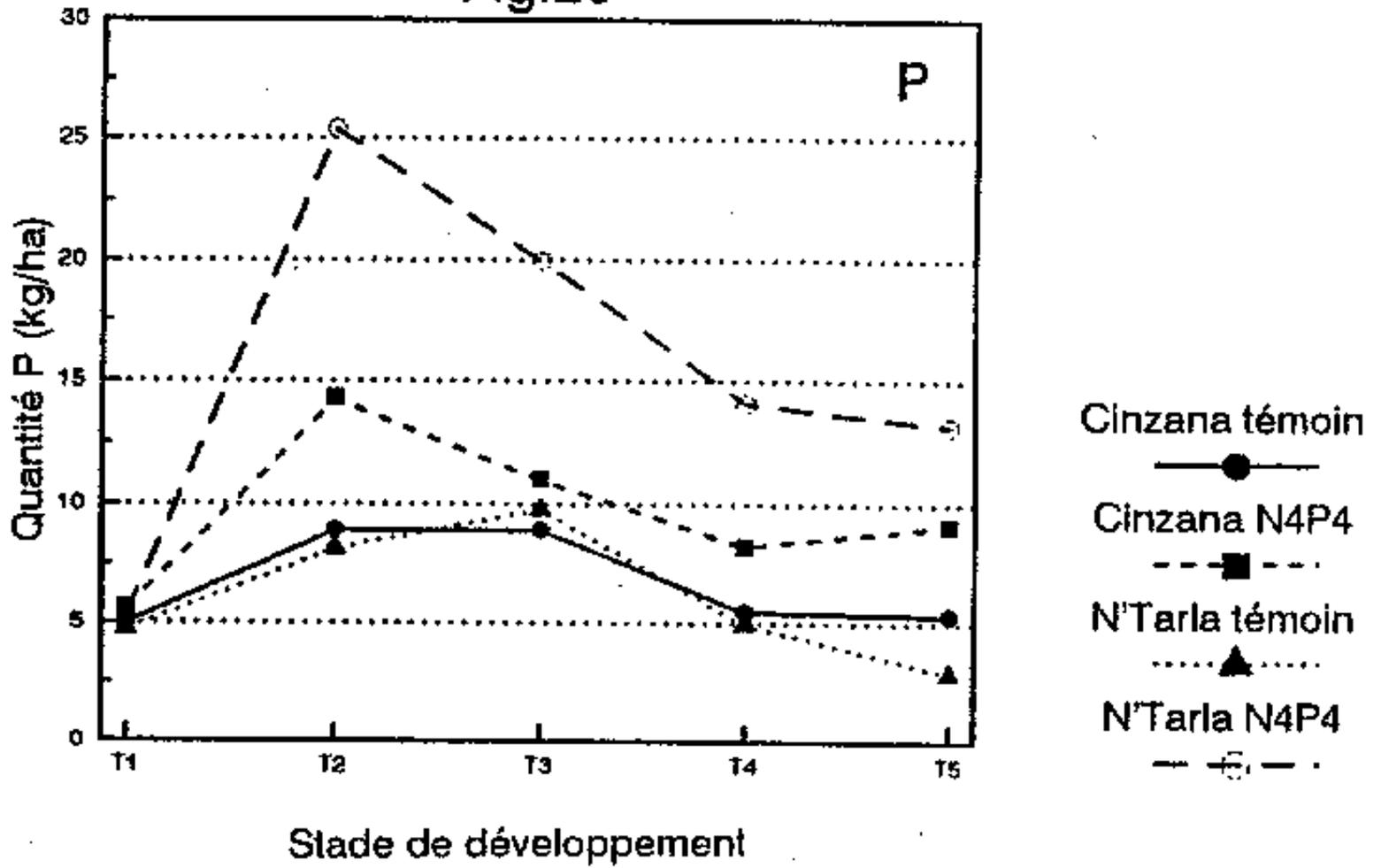


Fig.22

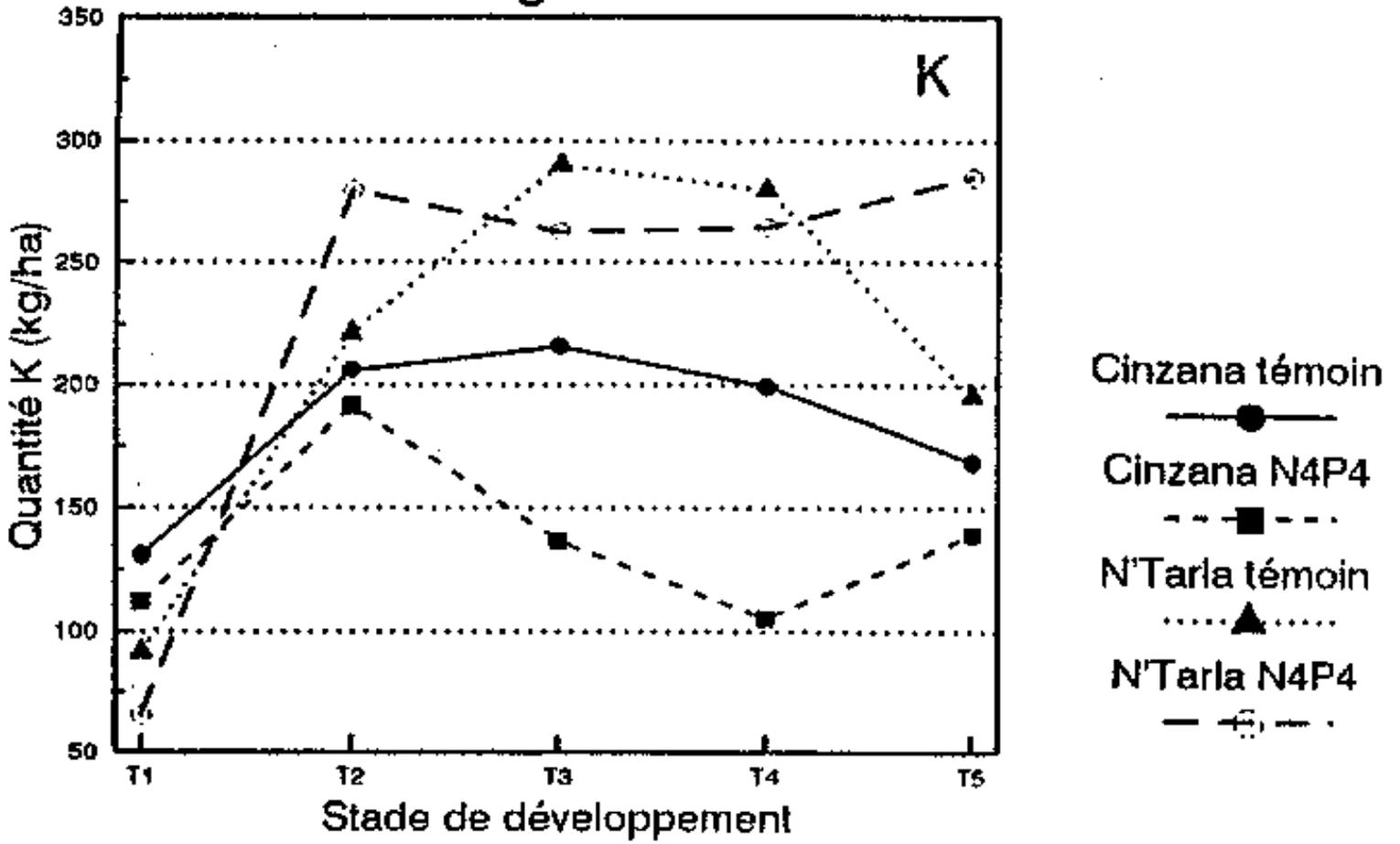


Fig.23

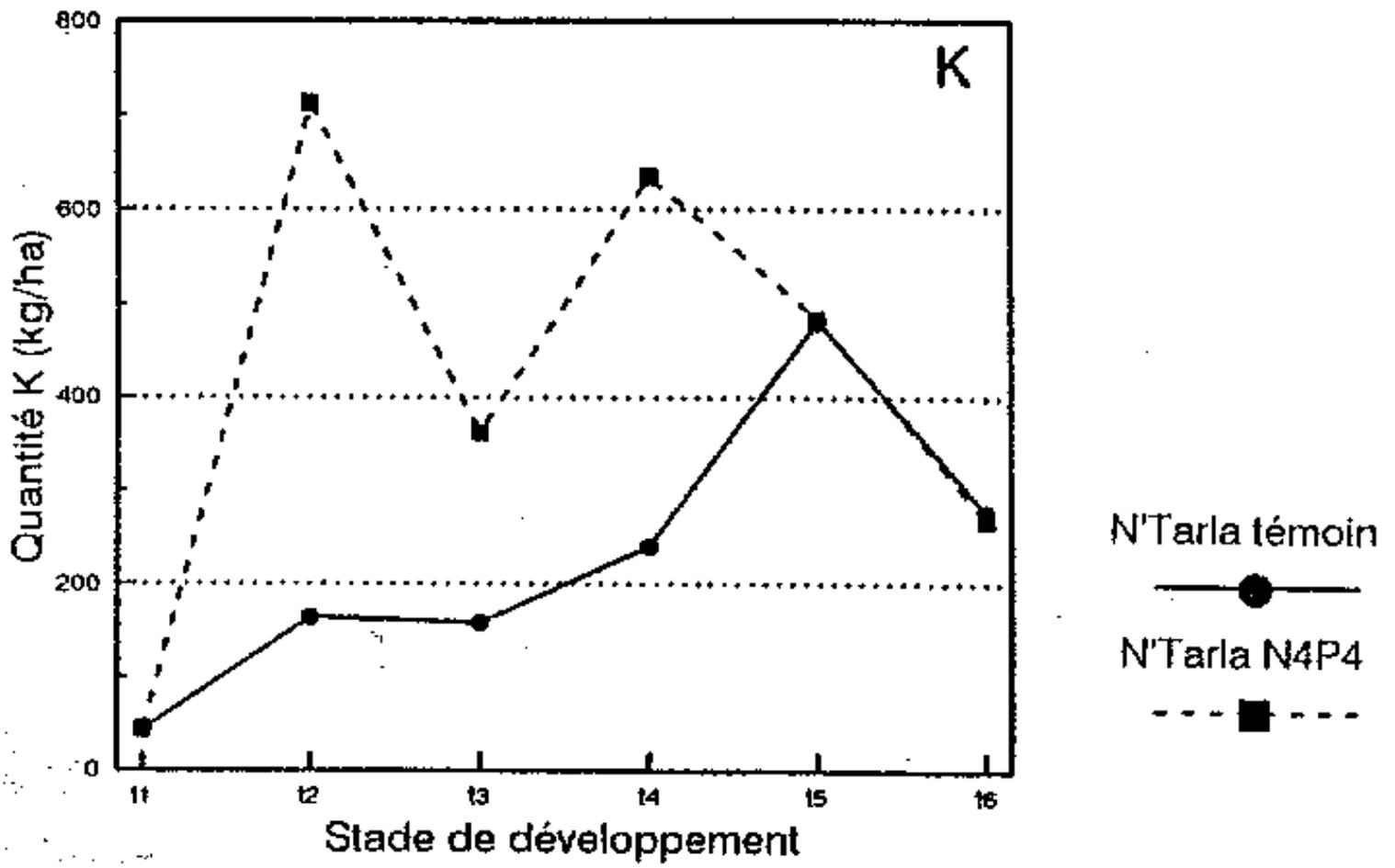


Fig.24. Cinzana, Sol Sableux 1993

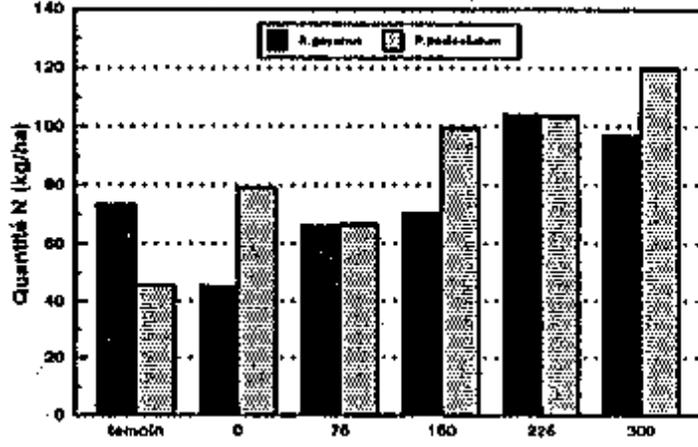


Fig.25. Cinzana, Sol Sableux 1993

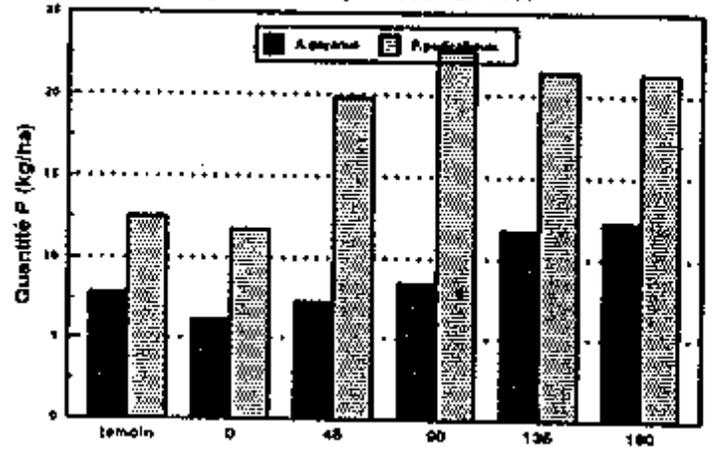


Fig.26. Cinzana, Sol Sablo-limoneux Bloc 1, 1993

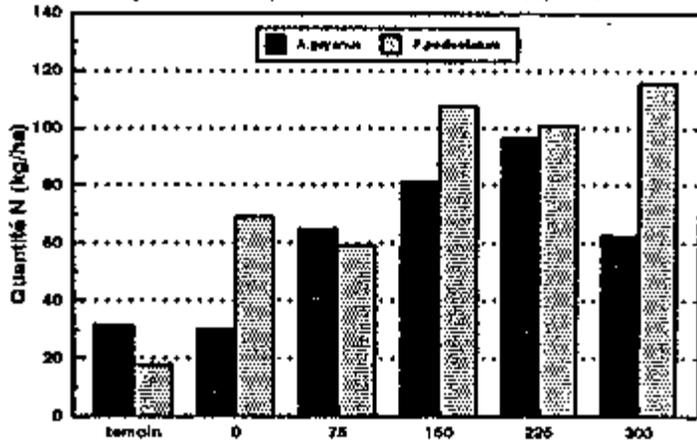


Fig.27. Cinzana, Sol Sablo-limoneux, Bloc 1, 1993

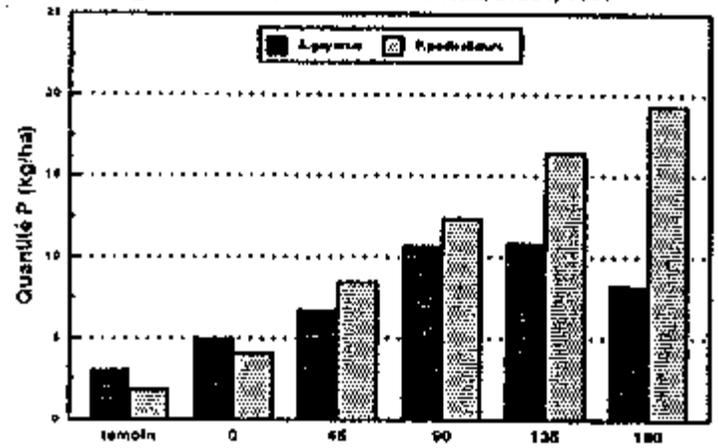


Fig.28. Cinzana, Sol Sablo-Ilmoneux Bloc II, 1993

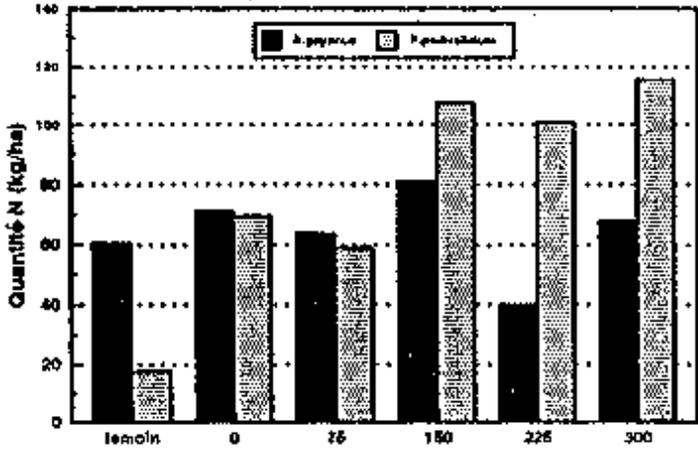


Fig.29. Cinzana, Sol Sablo-Ilmoneux, Bloc II, 1993

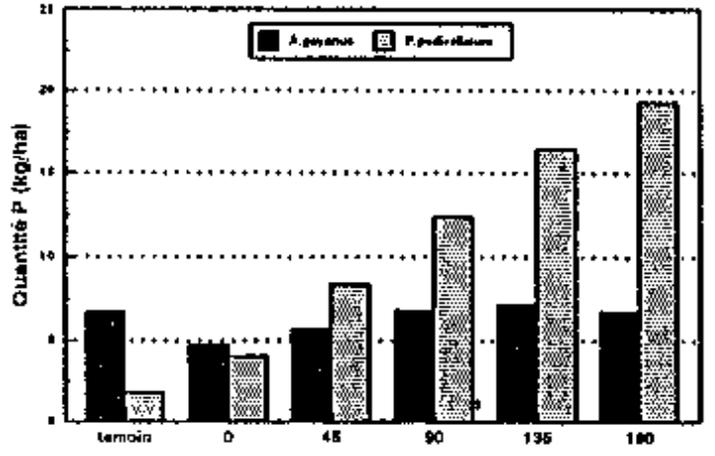


Fig.30. N'Tarla, Sol Sablo-limoneux D2/H1, 1993

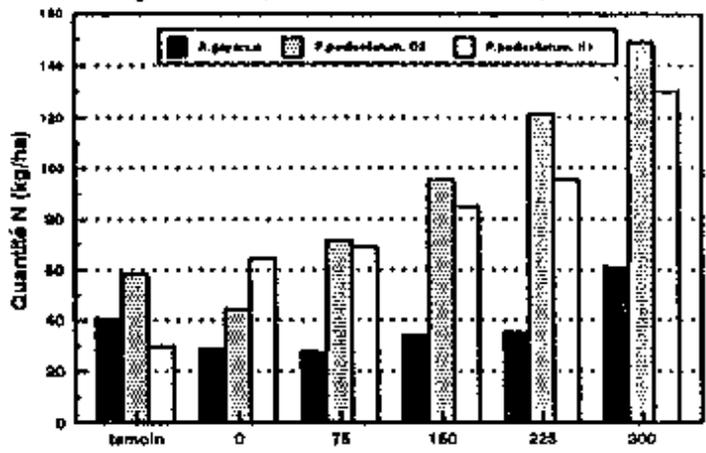


Fig.31. N'Tarla, Sol Sablo-limoneux, D2/H1, 1993

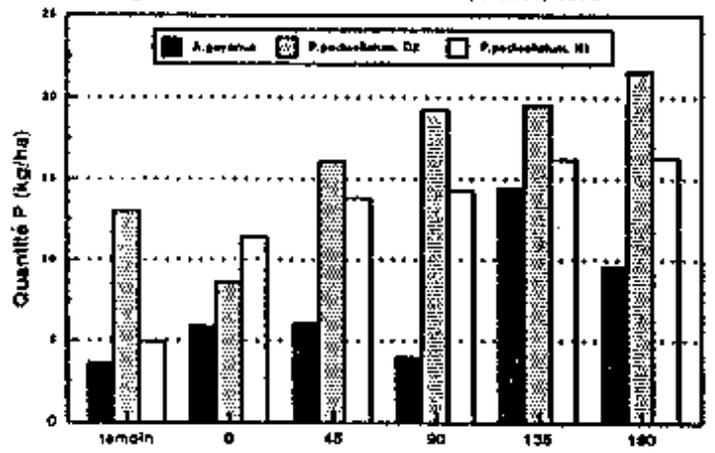


Fig.32. N'Taria, Sol Sablo-limoneux, 1994

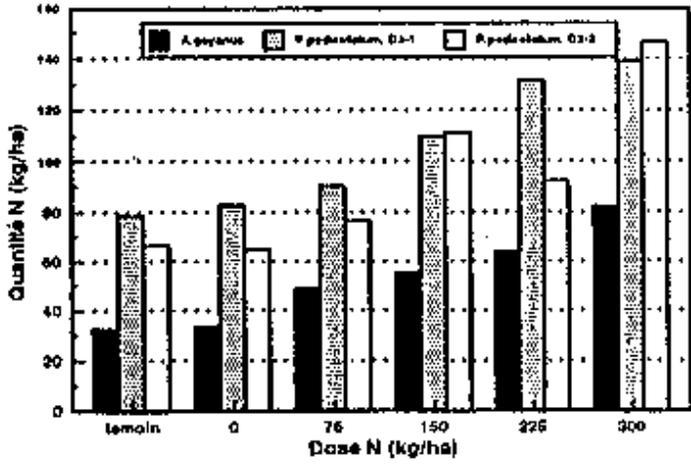


Fig.33. N'Taria, Sol Sablo-limoneux, 1994

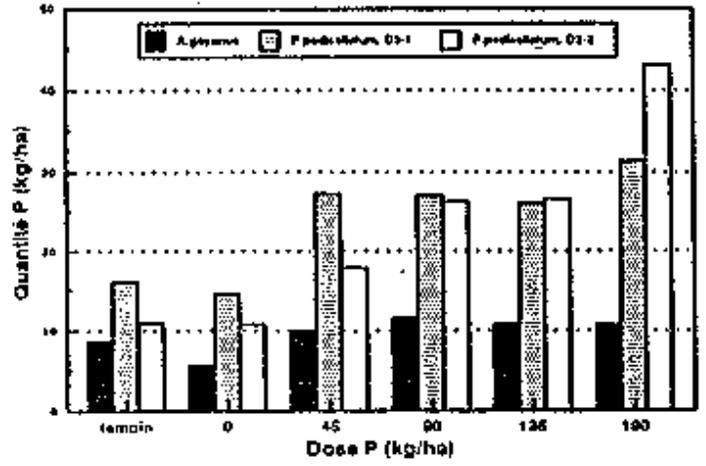


Fig.21

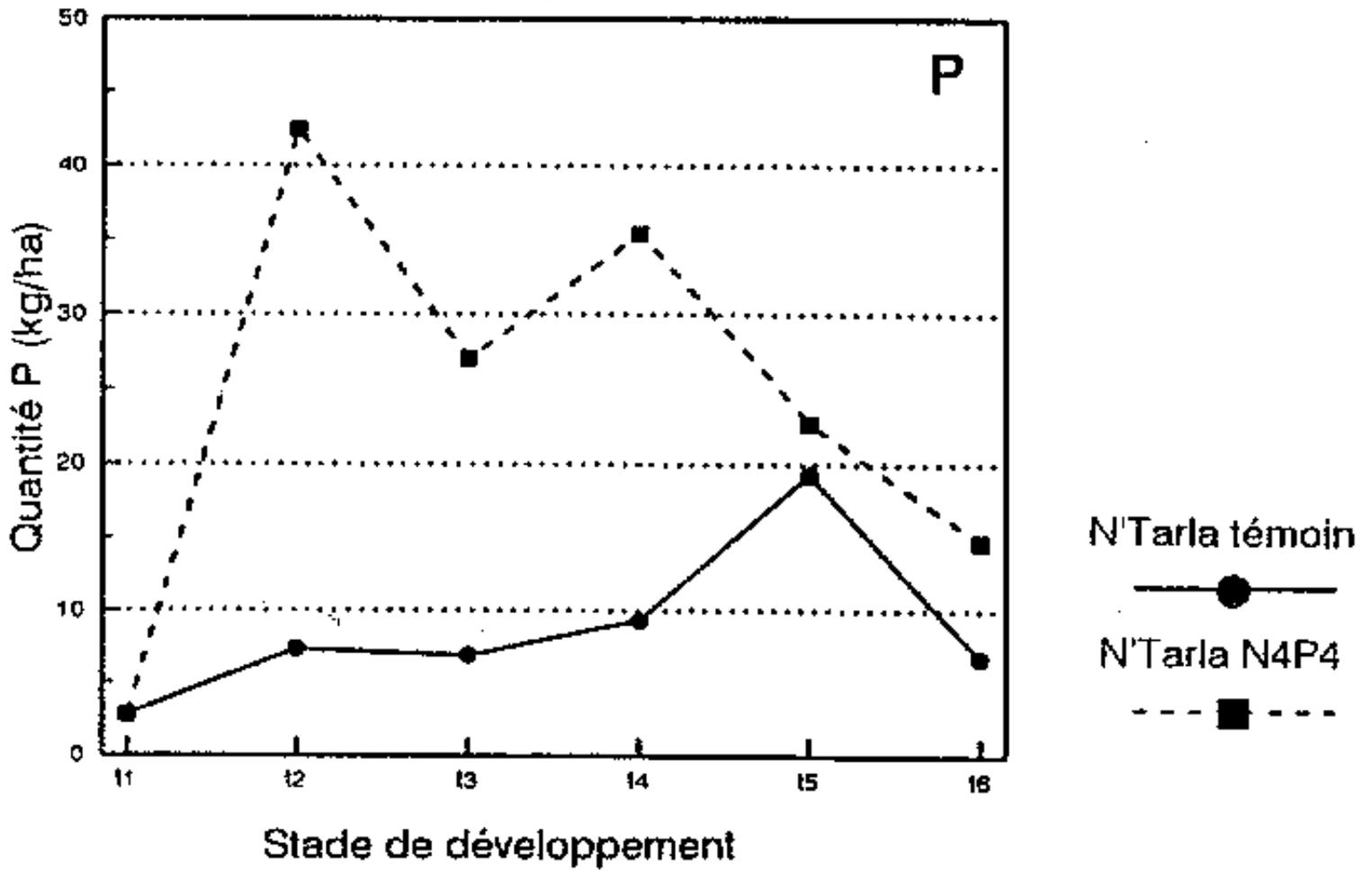


Fig.34 REcouvrem^{ent} de N sur *A. gayanus*
à N'Tarla sur sol
sablo-limoneux en 1984.

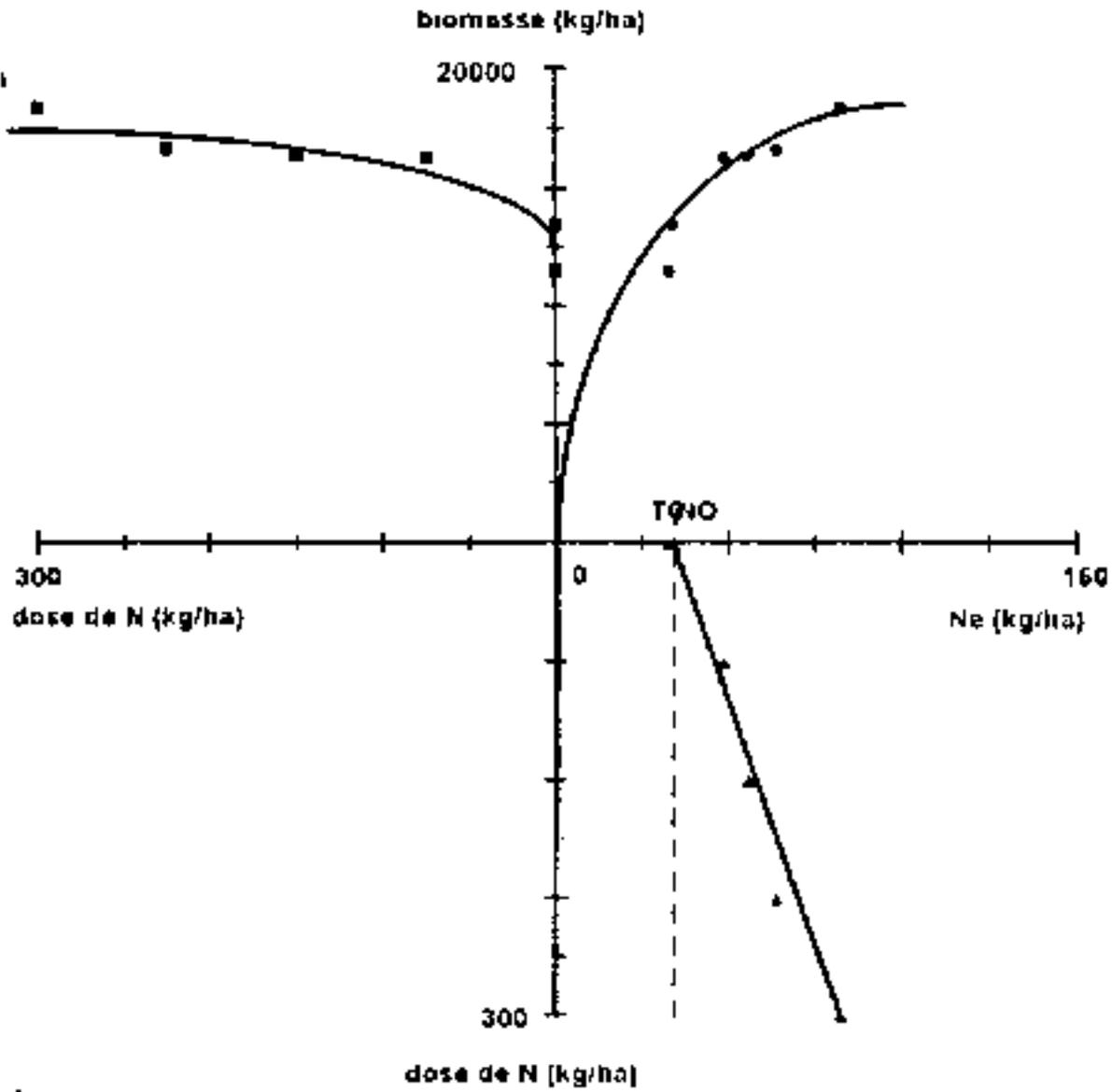


Fig-35 Recouvrement de P sur *A. gayanus*
à N'Tarla sur
sol sablo-limonaux en 1994.

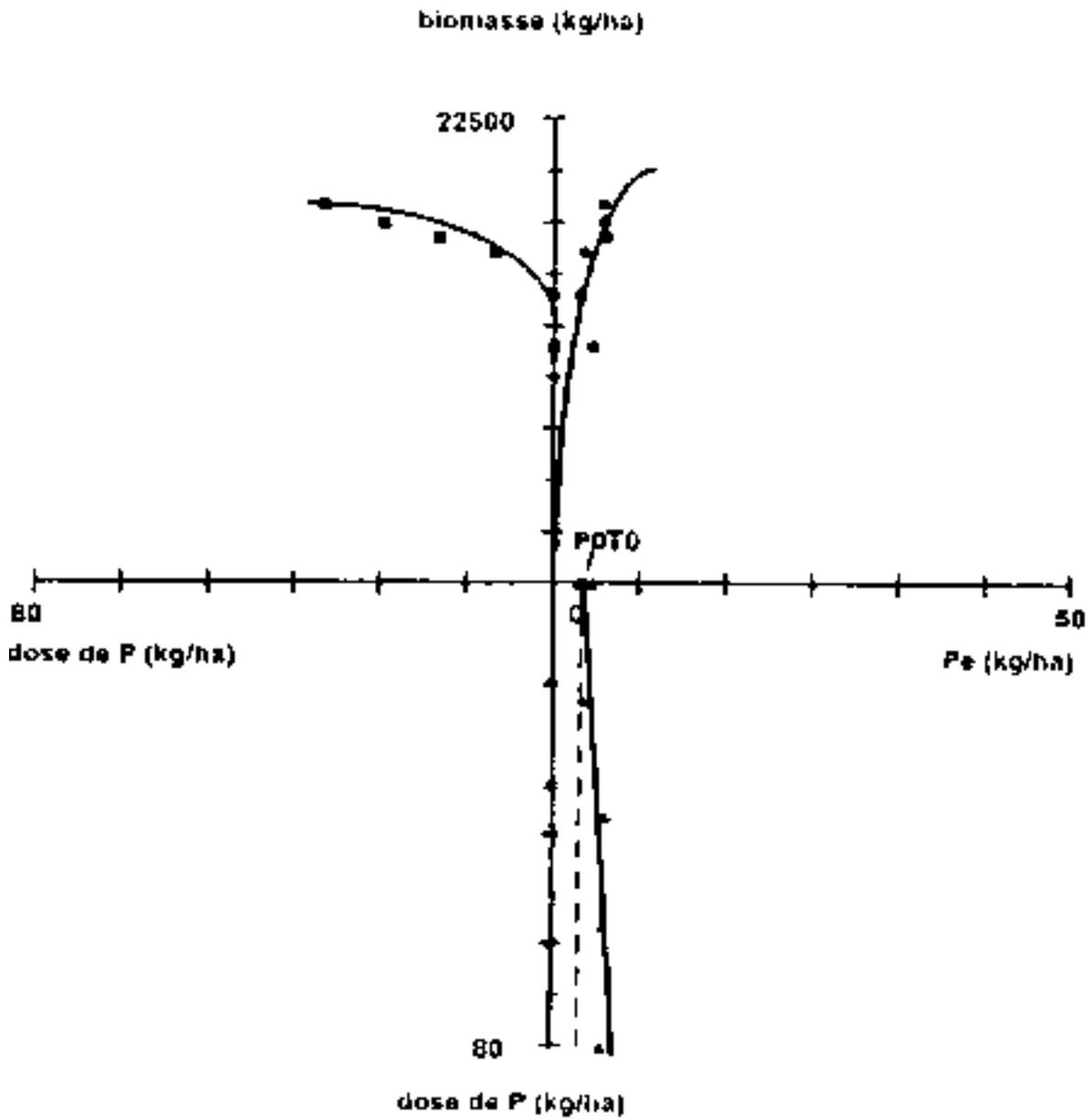


Fig.36 Récoltivement de N sur *P. pericallatum*
à N'Taria sur sol
sablo-limoneux Bloc I en 1994

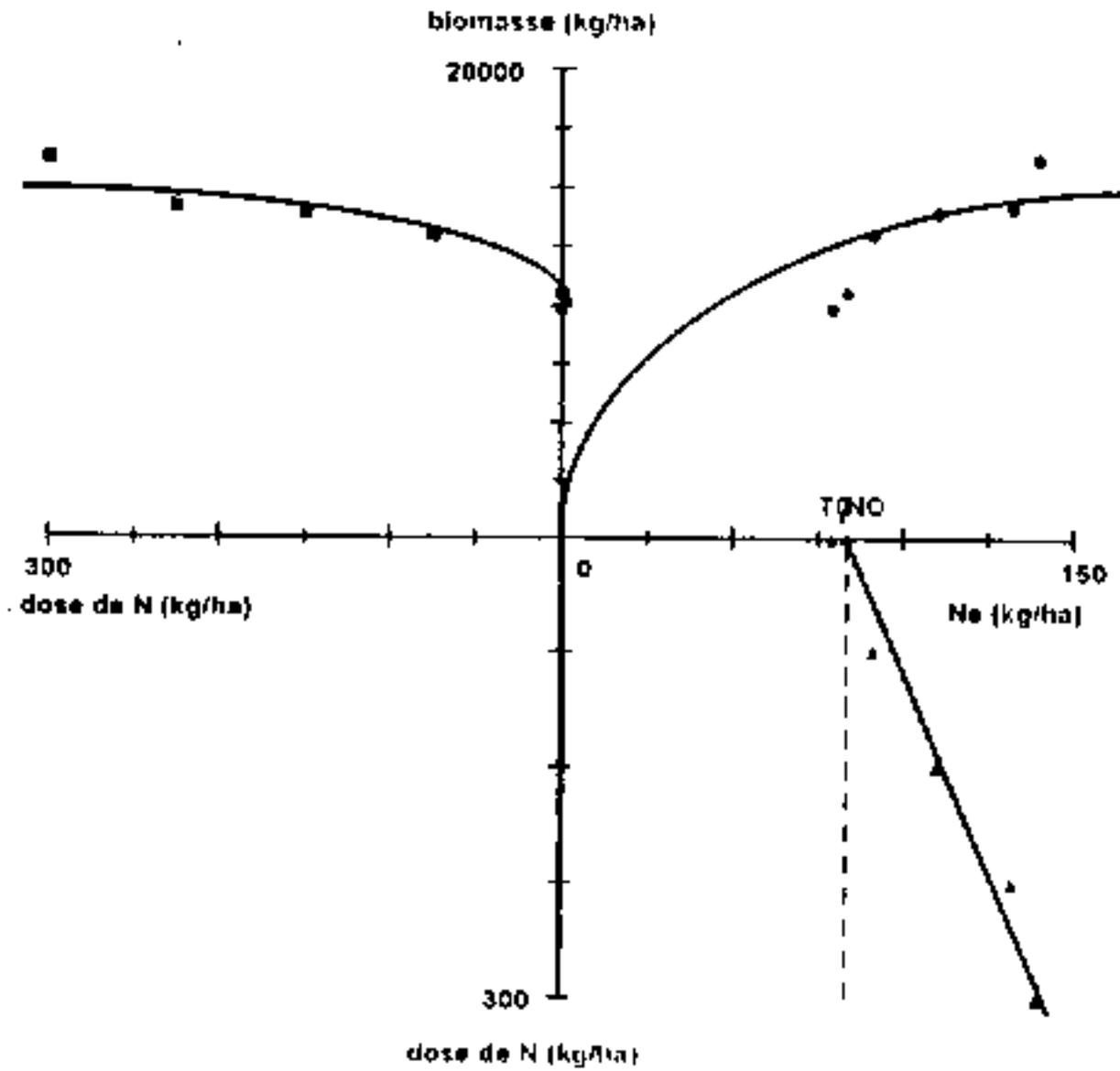


Fig.37 REcouvrem^{ent} de N sur *P. pedicellatum*
à N'Tarla sur sol
sablo-limoneux Bloc II en 1994.

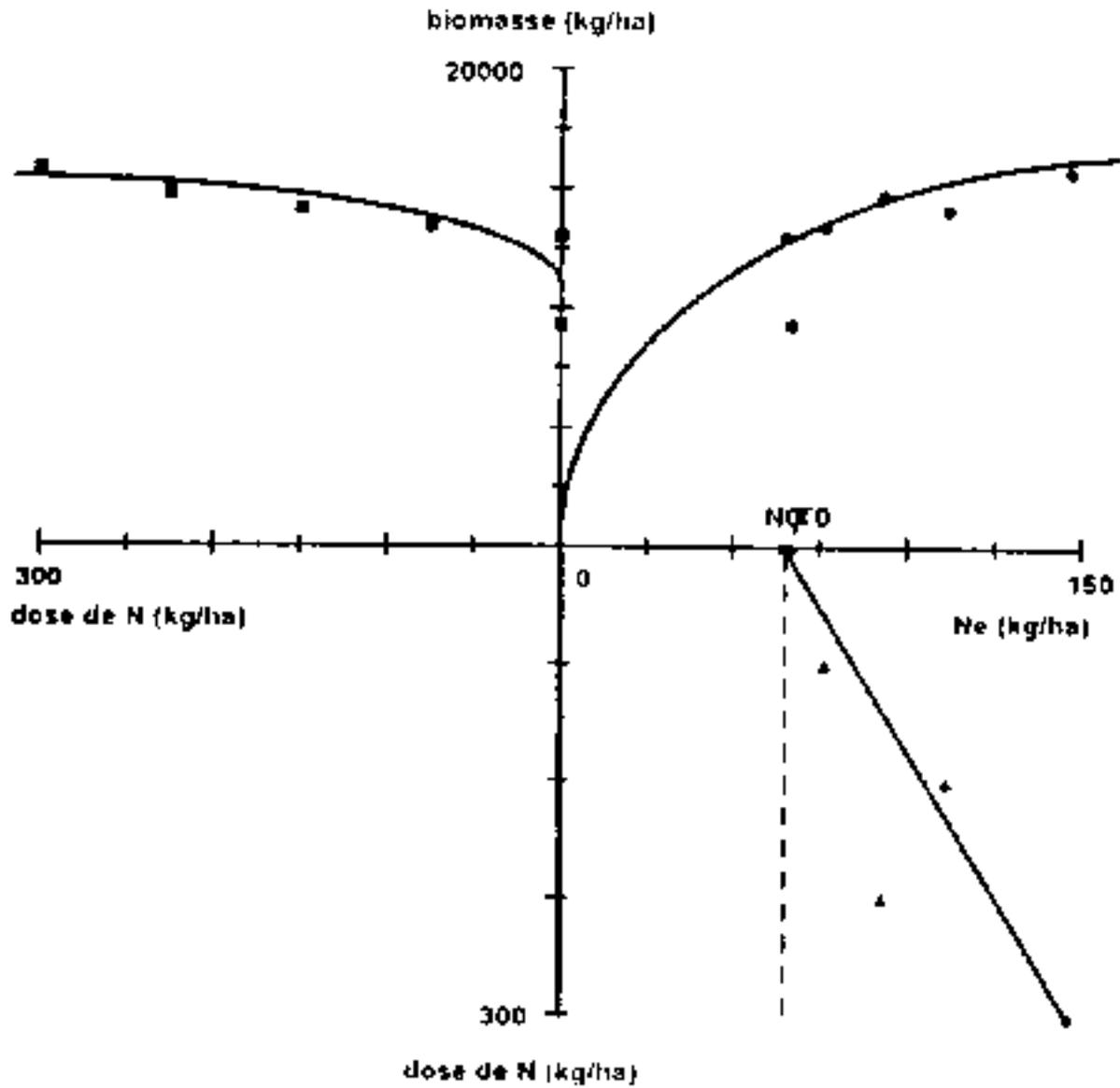
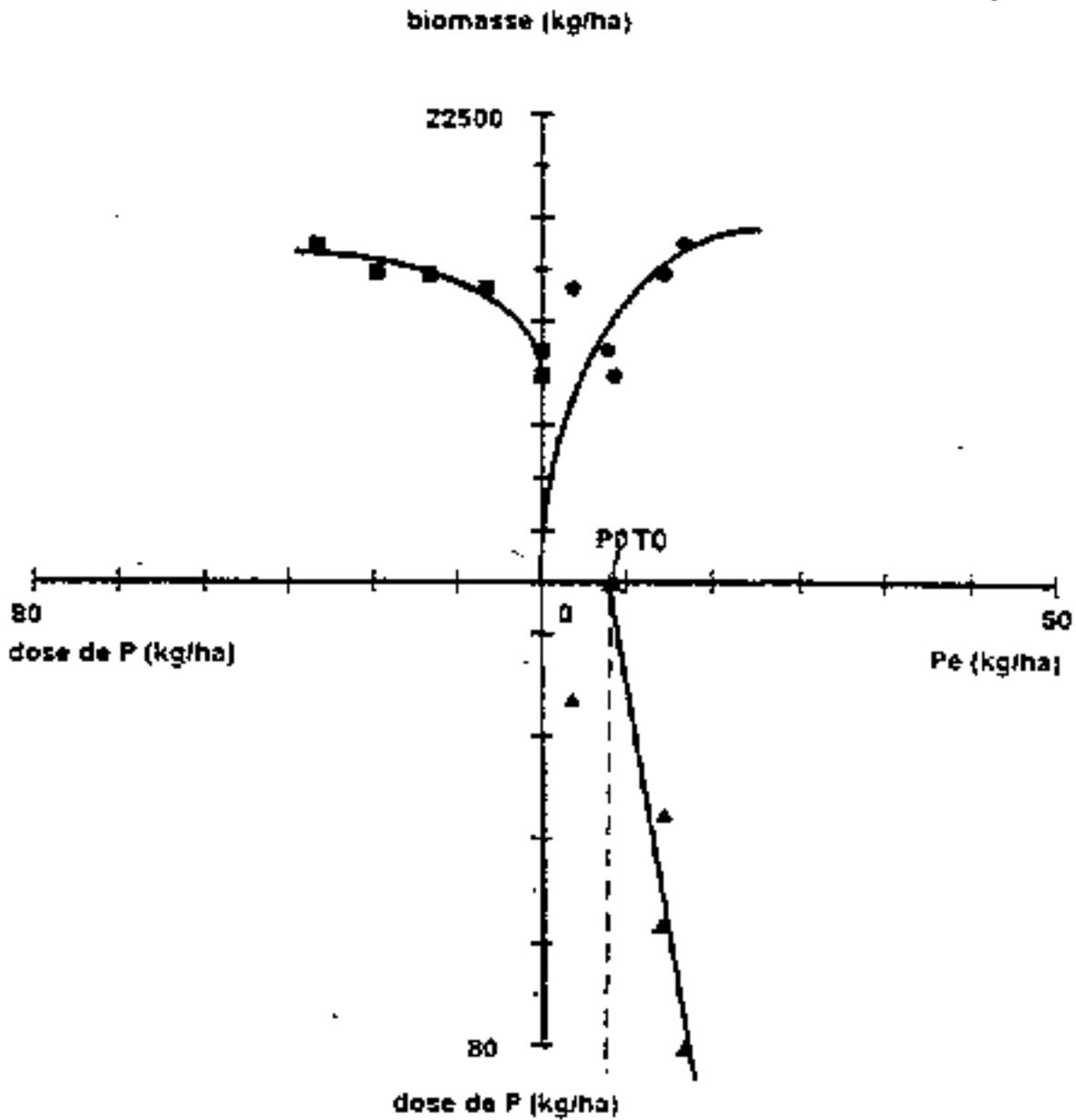
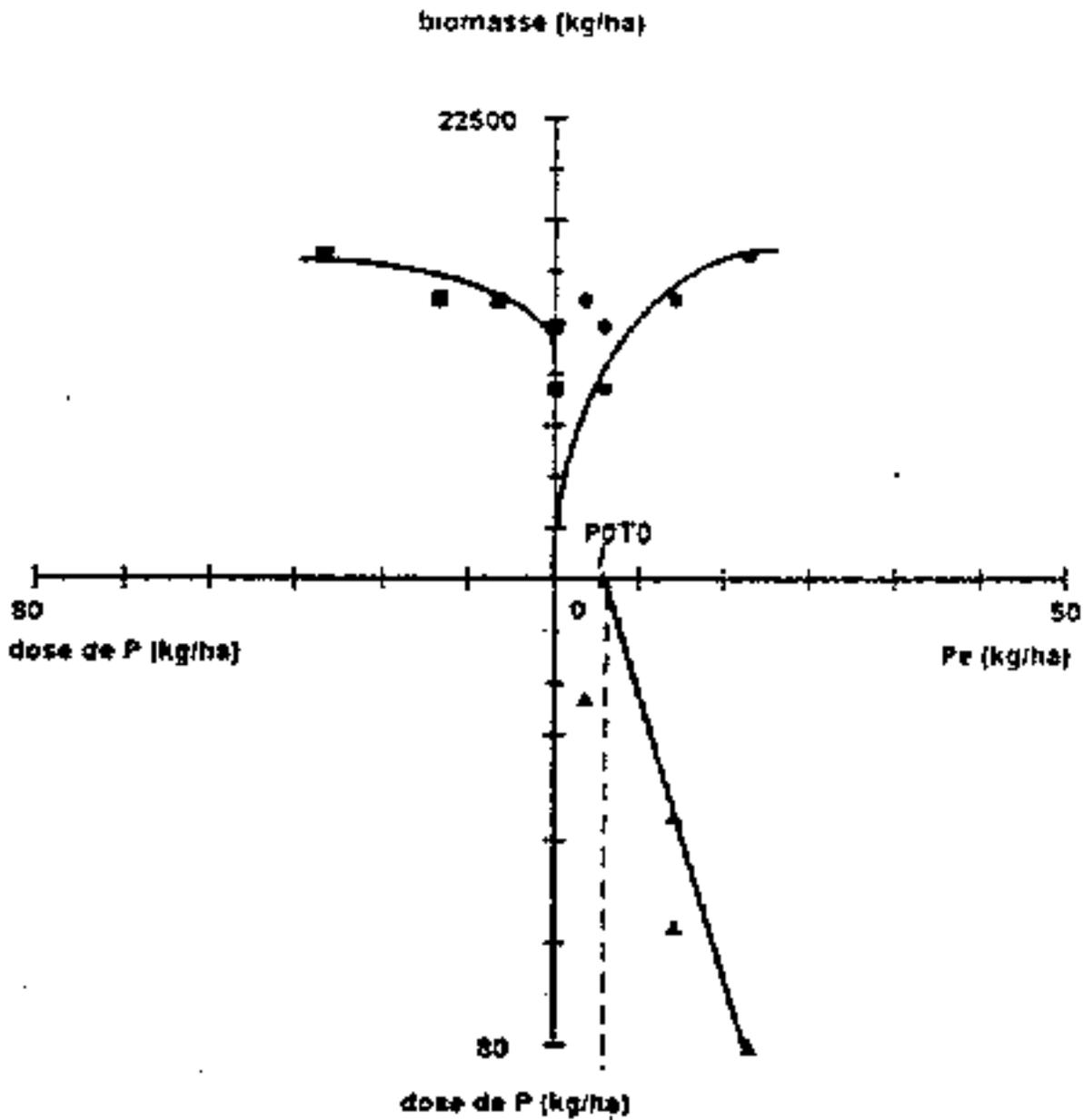


Fig.38 Récouvrement de P sur *P. pericellatum*
à N'Tarla sur sol
sabio-limoneux Bloc I en 1994.



**Fig.39 REcouvrem^{ent} de P sur *P. pedicellatum*
à N'Taria sur sol
sablo-limoneux Bloc I: en 1994.**



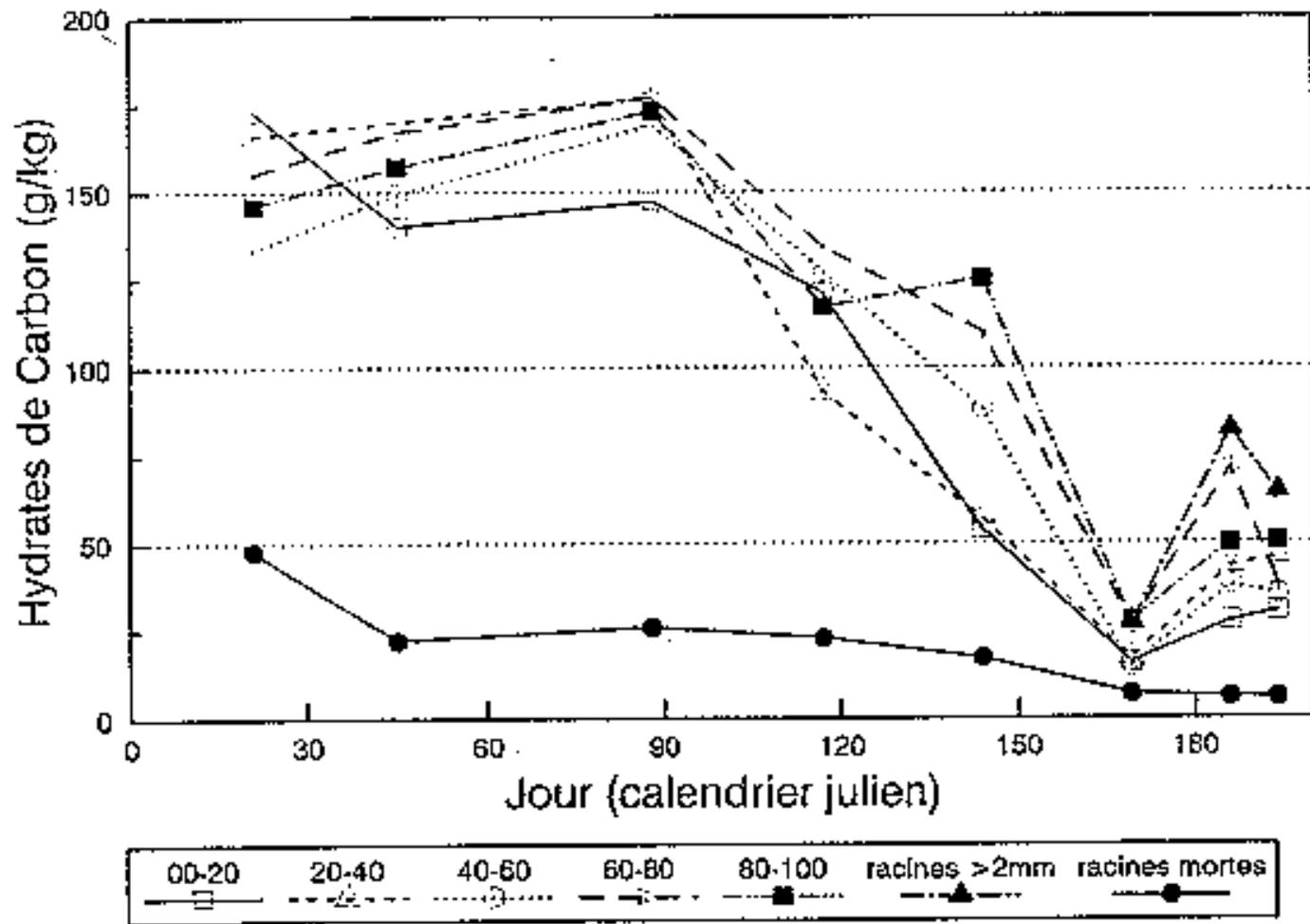


Figure 40. Teneur en hydrates de carbone dans les racines.

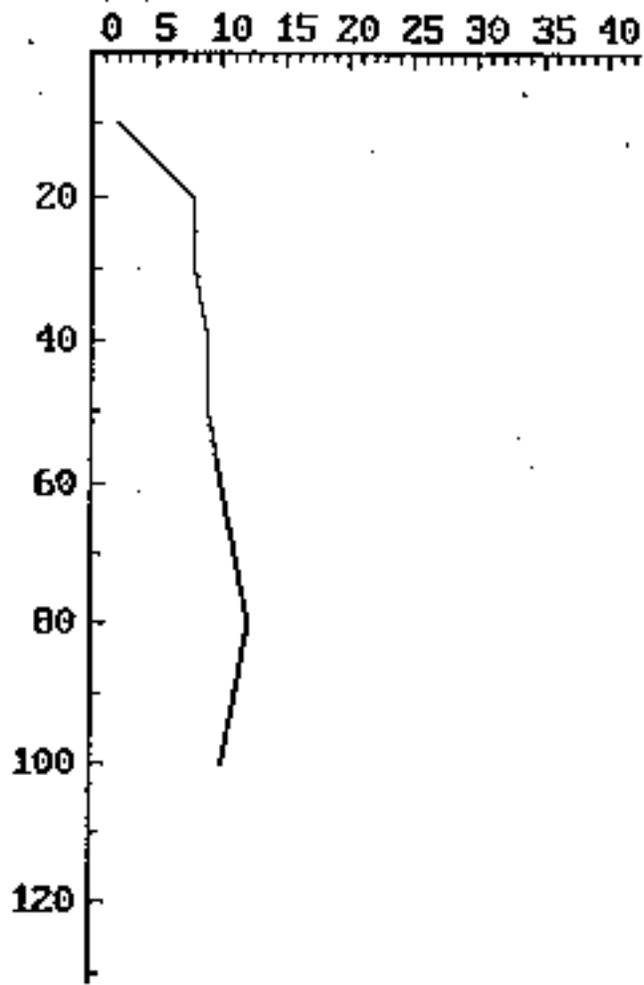


Figure 41. Profil d'humectation sous Andropogon gayanus à Cinzana.

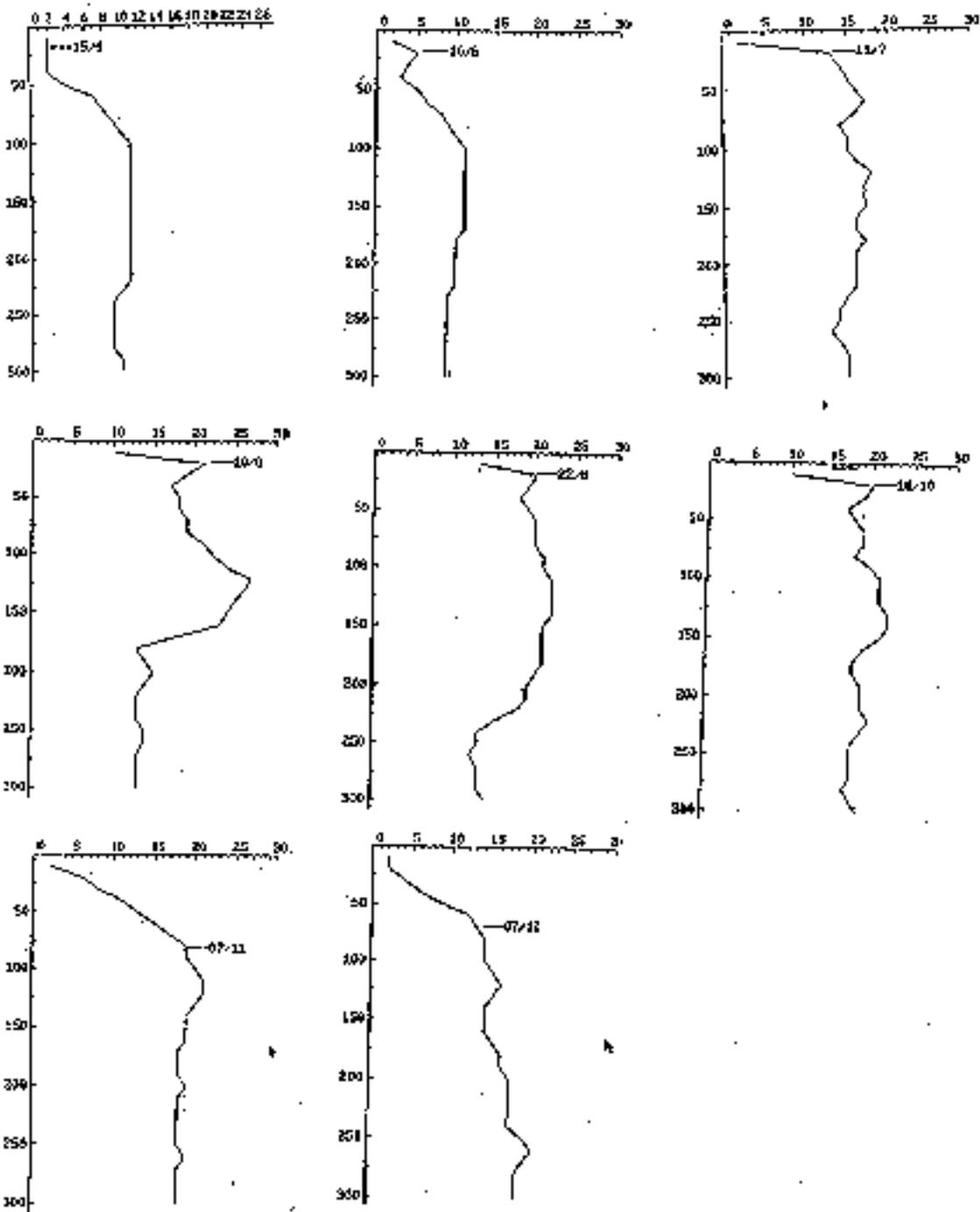


Figure 42. Profil d'humectation sous *Andropogon gayanus* sans fertilisation.

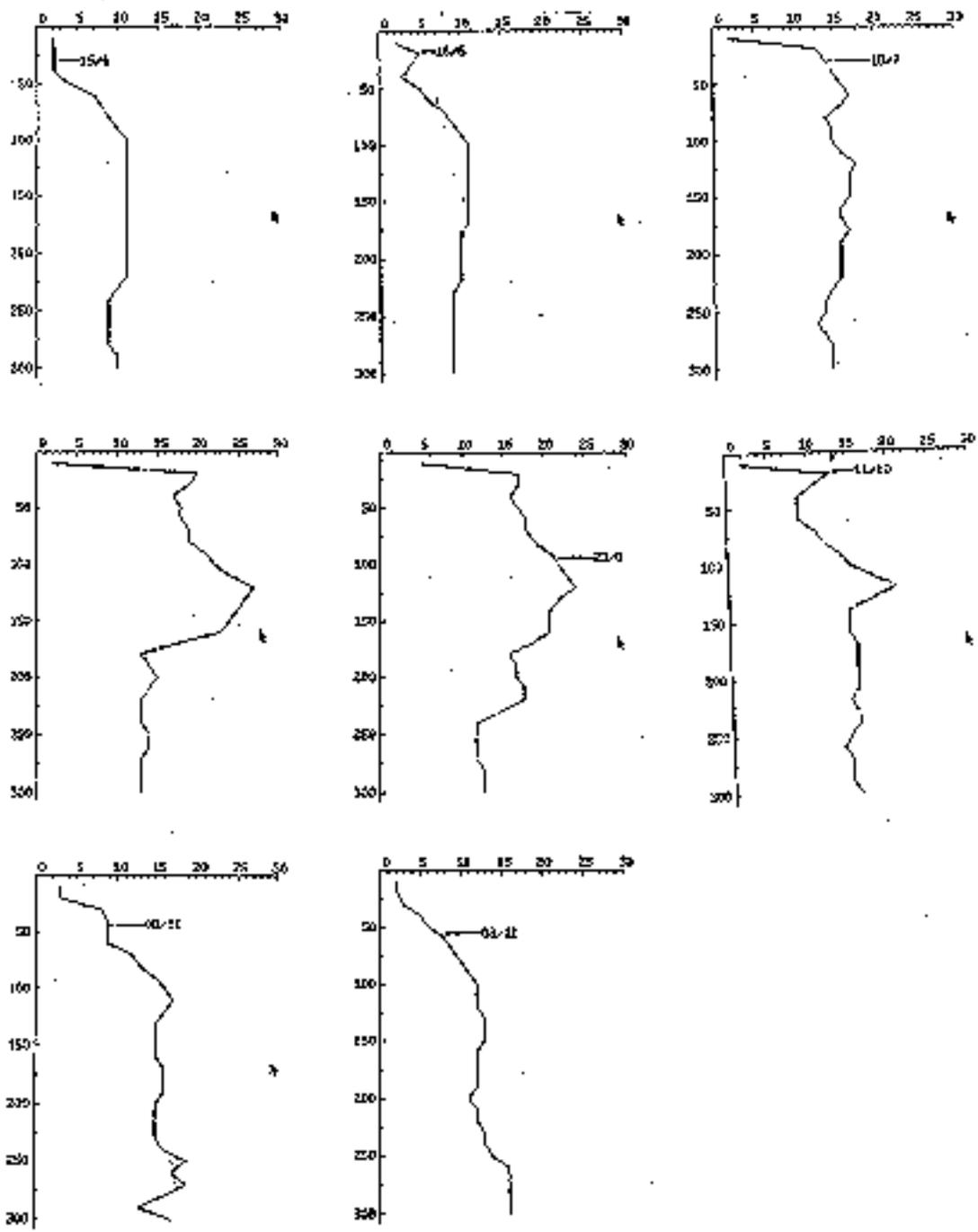


Figure 43. Profil d'humectation sous *Andropogon gayanus* avec fertilisation.

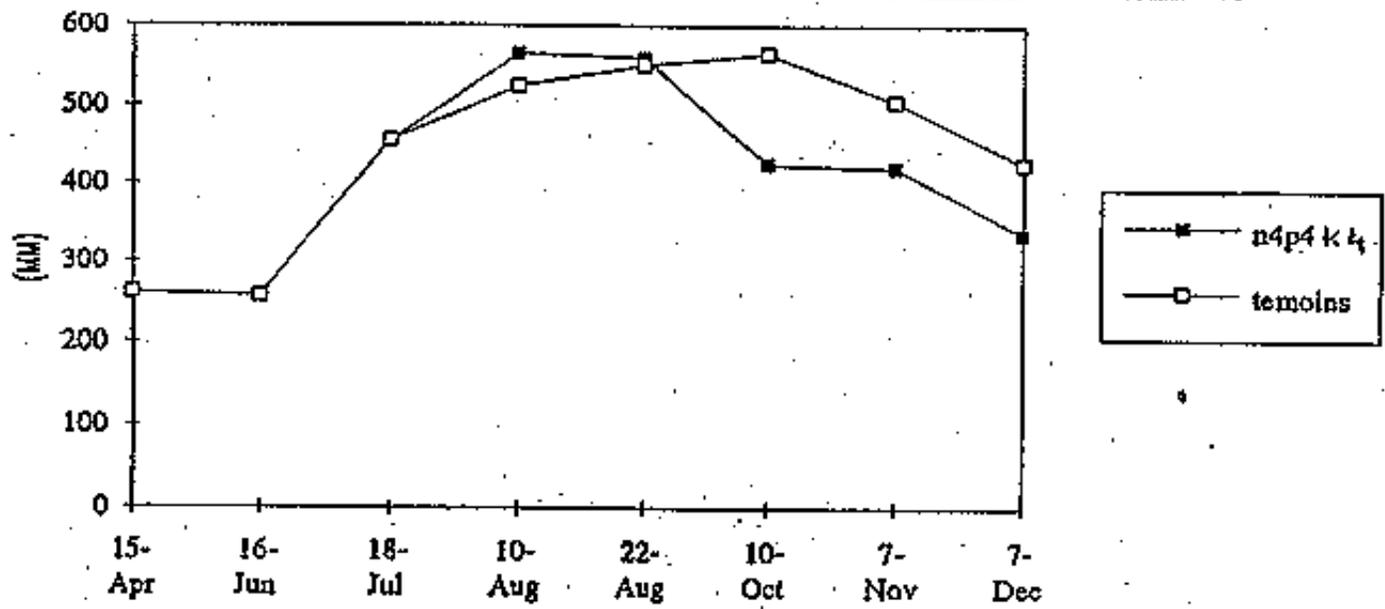


Figure 44. Evolution du stock hydrique sous *Andropogon gayanus* avec et sans fertilisation de N, P.

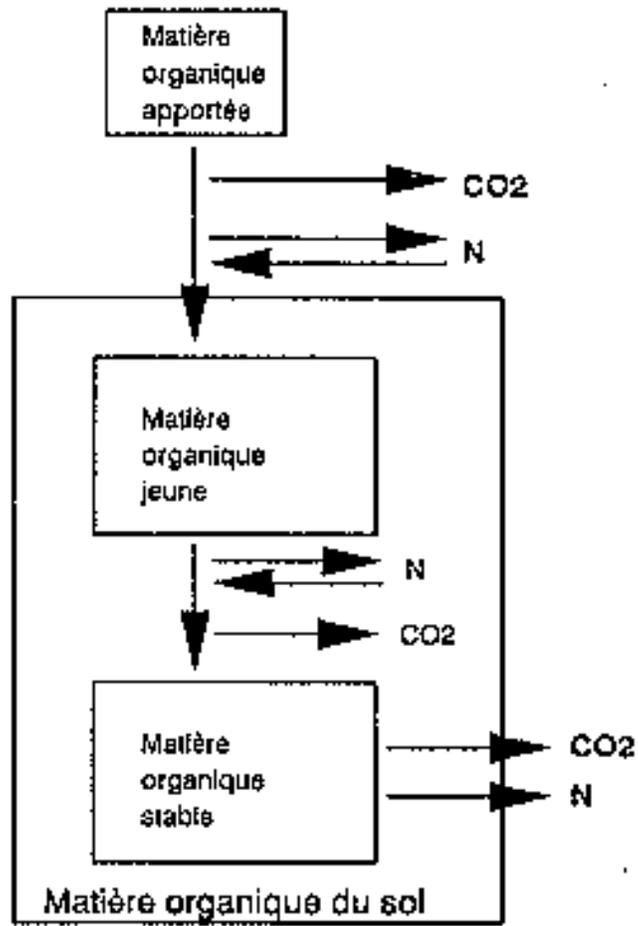


Figure 45. Représentation schématique du bilan de la matière organique dans le sol.

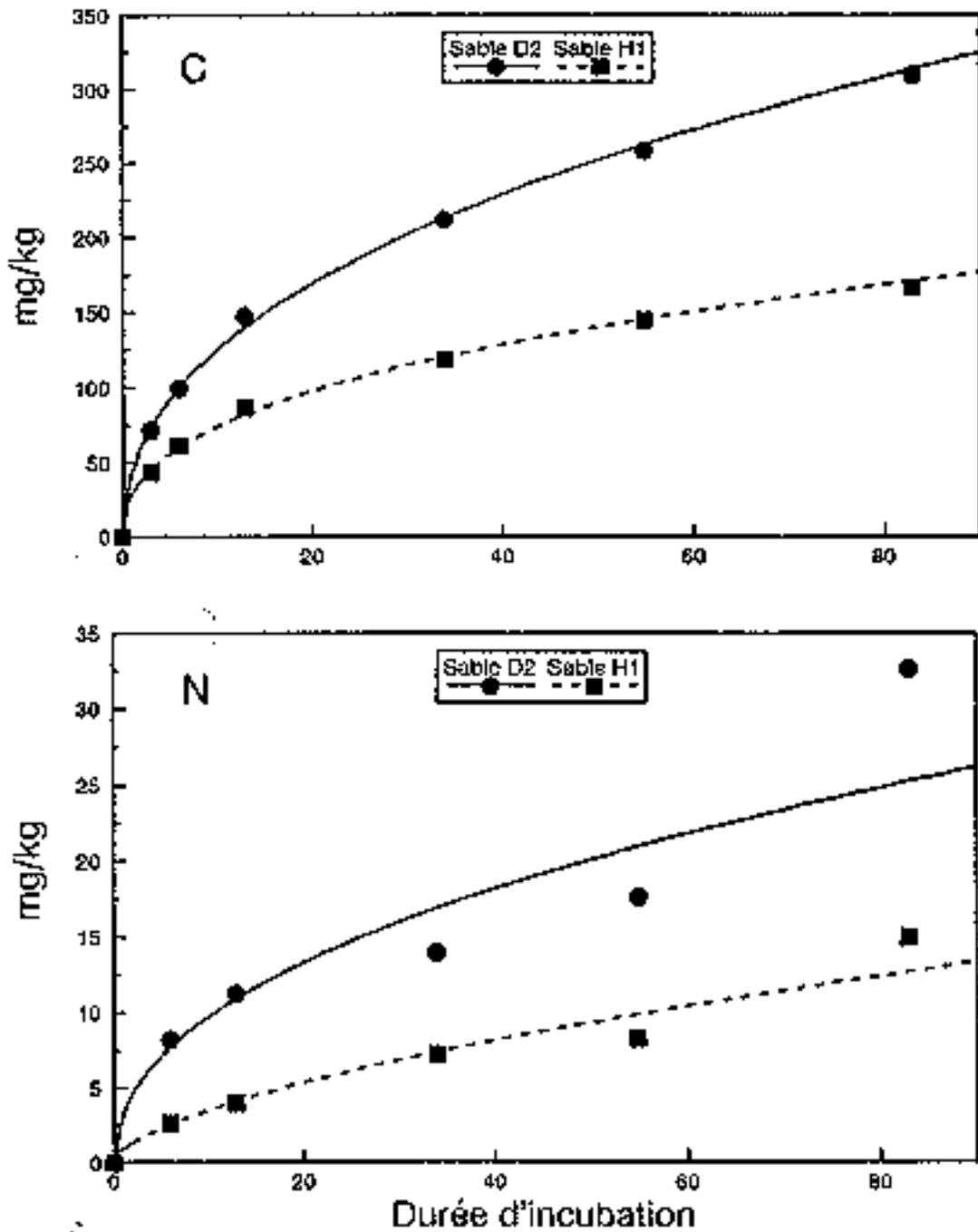


Figure 46. Production de C et de N pour les sols D2 et H1 à N'Tarla.

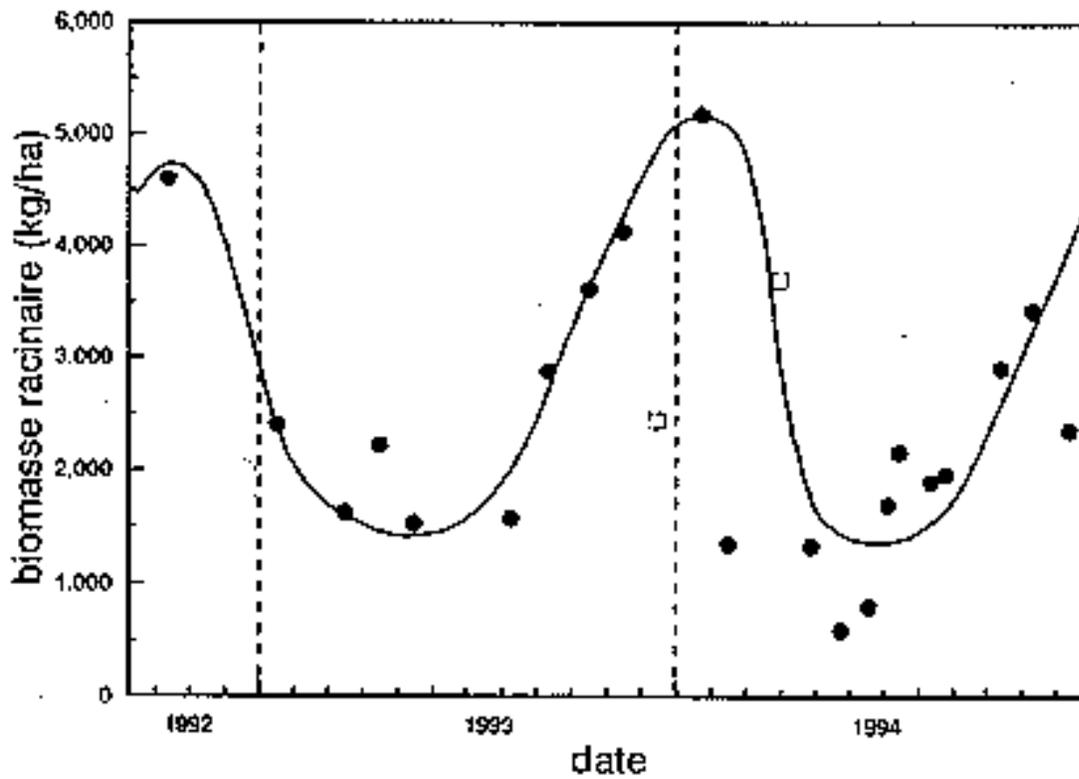


Figure 48. Dynamique de la biomasse racinaire d'Andropogon gayanus en 1993 et 1994.

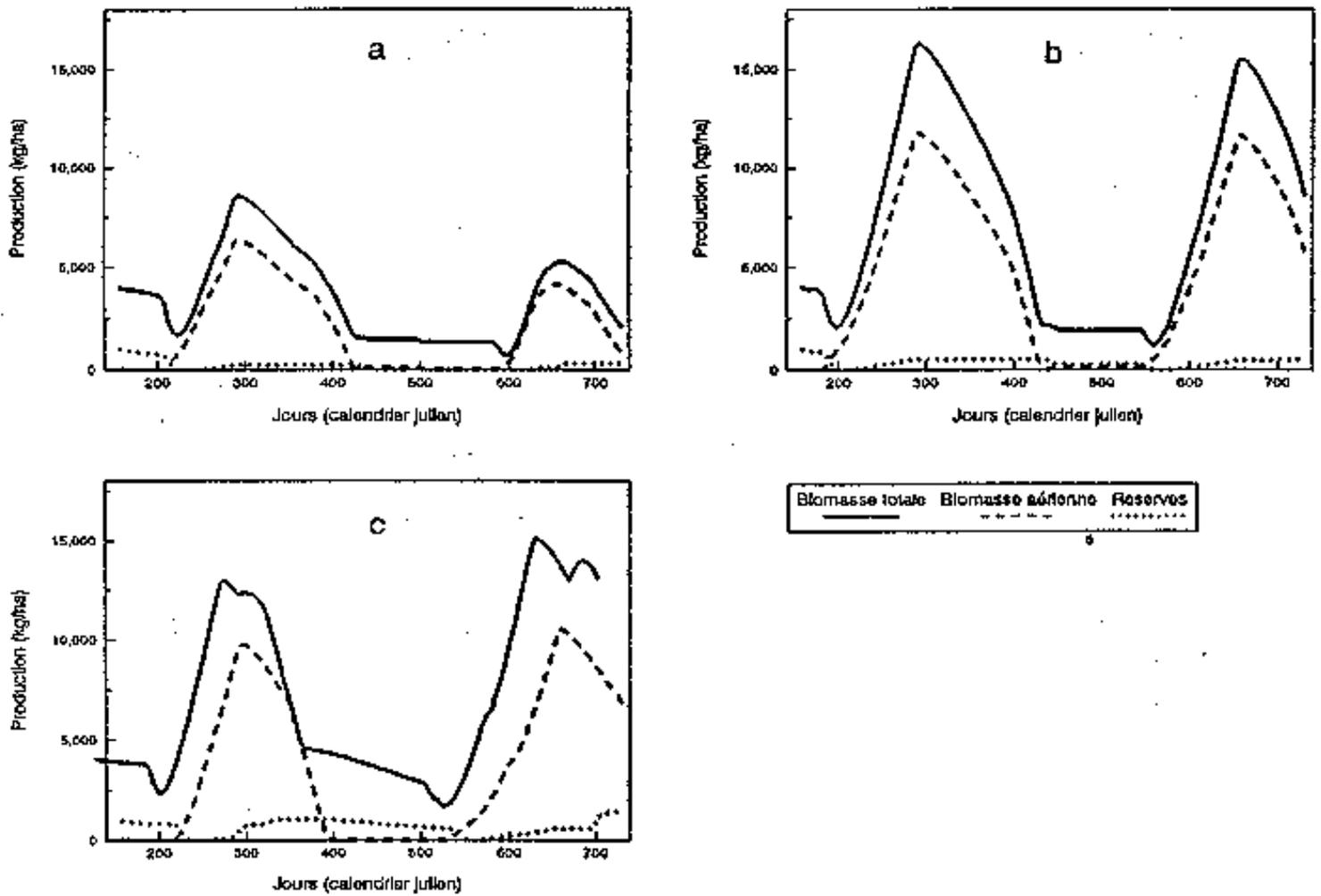


Figure 49. Evolution des biomasses totales et aériennes ainsi que de la quantité des réserves à Niono (a), à N'Tarla (b) et à Thiès (c).

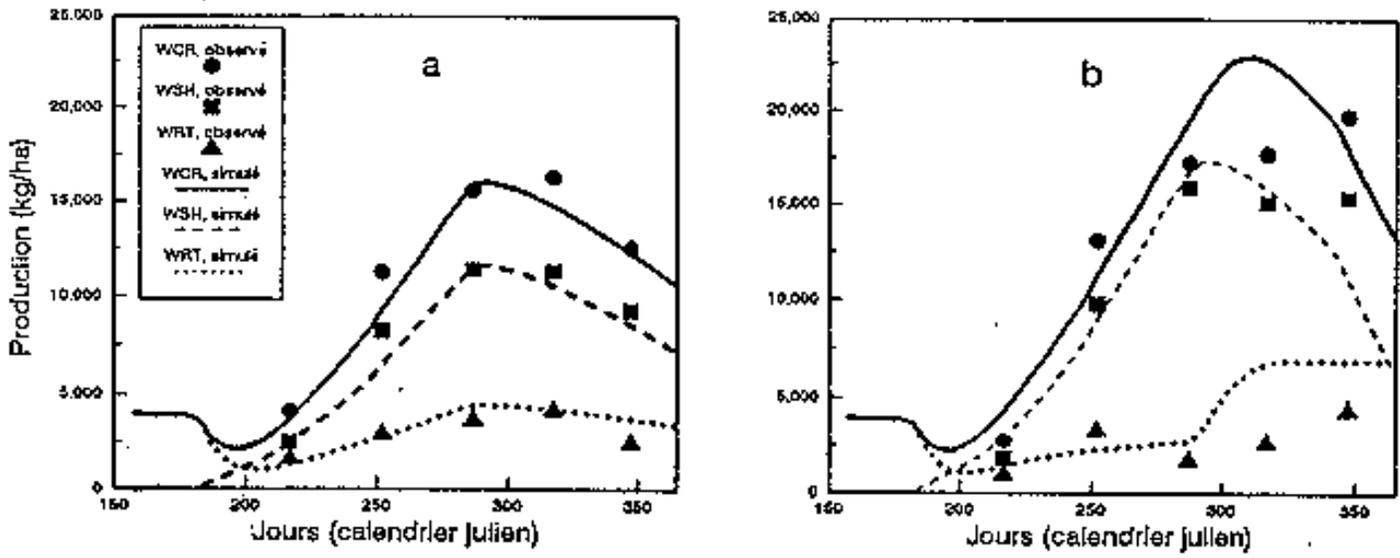


Figure 50. Comparaison des données simulées et celles observées sans (a) et avec (b) fertilisation à N'Tarla en 1993.

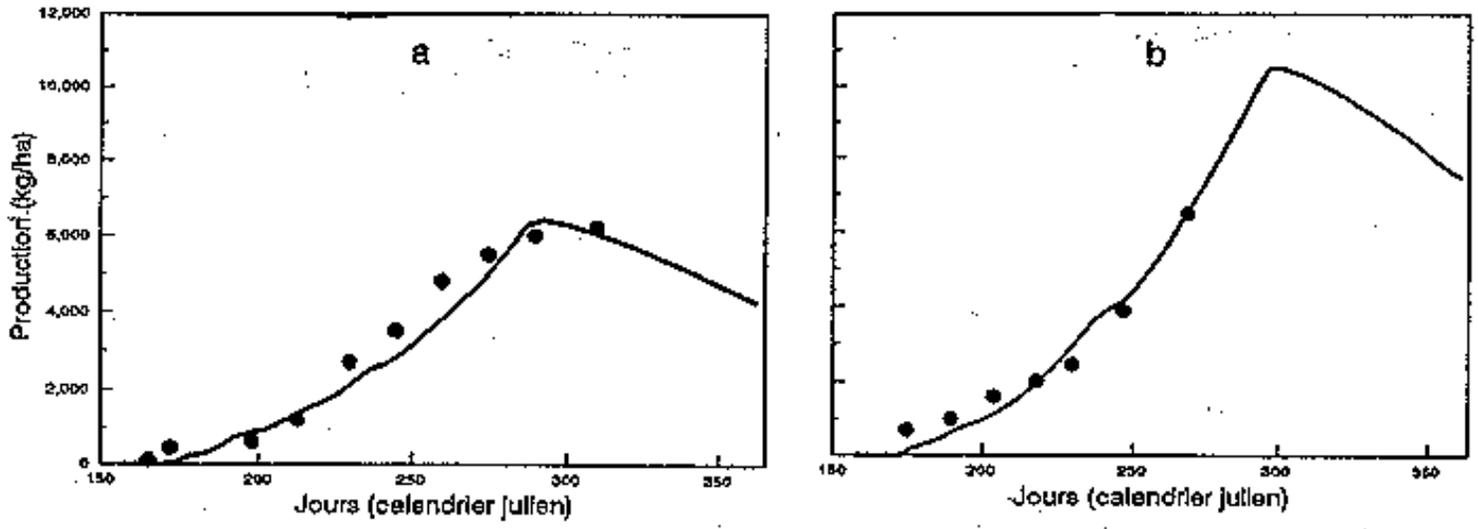


Figure 51. Comparaison des données mesurées et simulées de la production de *gayanus* à Niono (a) et à Thiès (b).

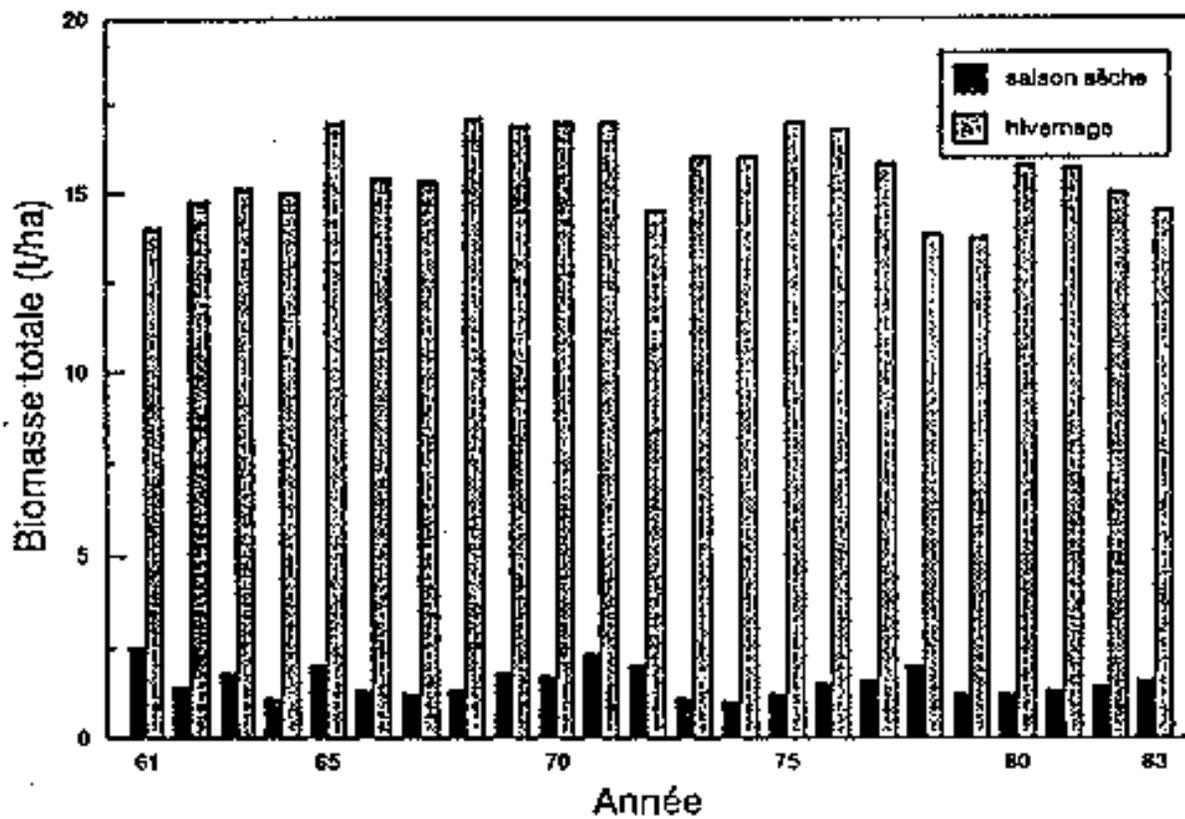


Figure 52. Potentiel productif de *Andropogon gayanus* de 1961 à 1983 à Ségou.
NB * Production maximale de *A. gayanus*.