

BURKINA FASO
Unité-Progress-Justice

**MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE
BOBO-DIOULA/ SSO
(U.P.B)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL
(I.D.R)

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE
(C.N.R.S.T)

INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE
RECHERCHES AGRICOLES
(I.N.E.R.A)

STATION DE RECHERCHES AGRICOLES
DE FARAKO-BA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION: **AGRONOMIE**

**EFFET DE L'ENGRAIS AZOTE ET DU FUMIER SUR LES RENDEMENTS
DU MAÏS**

Directeur de mémoire: **Dr. Bernard BACYE**
Maître de stage: **Dr. Boubié Vincent BADO**

Juillet 2002

Lamine DIALLO

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|------|
| DEDICACE..... | I |
| REMERCIEMENTS | II |
| LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS | IV |
| LISTE DES TABLEAUX | V |
| LISTE DES FIGURES | VI |
| RESUME..... | VIII |
| ABSTRACT..... | IX |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA FUMURE MINERALE ET ORGANIQUE | 3 |
| I.1. PROBLEMATIQUE DE LA FERTILISATION AZOTEE..... | 3 |
| I.1.1. Sources d'azote dans le sol | 4 |
| I.1.1.1. Matières organiques | 4 |
| I.1.1.2. Engrais..... | 4 |
| I.1.1.3. Fixation d'azote | 4 |
| a) <i>Fixation non symbiotique</i> | 4 |
| b) <i>Fixation symbiotique</i> | 5 |
| I.1.2. Pertes d'azote dans le sol | 5 |
| I.1.2.1. Lixiviation | 5 |
| I.1.2.2. Pertes par l'érosion et ruissellement | 6 |
| I.1.2.3. Exportations par les résidus de récolte..... | 6 |
| I.1.2.4. Immobilisation ou réorganisation de l'azote | 6 |
| I.1.2.5. Rétrogradation de l'azote | 7 |
| I.1.2.6. Pertes sous formes gazeuses..... | 7 |
| I.1.3. Dynamique de l'azote dans le sol..... | 8 |
| I.2. FERTILISATION ORGANO-MINERALE | 9 |
| I.2.1. Rôle des matières organiques dans la fourniture d'azote..... | 10 |
| I.2.2. Doses organo-minérales..... | 11 |

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES | 12 |
| II.1. SITE D'ETUDE..... | 12 |
| II.1.1. Situation géographique et climatique..... | 12 |
| II.1.2. Conditions agro-pédologiques..... | 13 |
| II.2. MATERIELS..... | 14 |
| II.2.1. Matériel végétal..... | 14 |
| II.2.2. Engrais..... | 14 |
| II.2.3. Sol..... | 15 |
| II.3. METHODES..... | 15 |
| II.3.1. Expérimentation au champ..... | 15 |
| II.3.1.1. Préparation du lit de semence :..... | 15 |
| II.3.1.2. Dispositif expérimental..... | 15 |
| II.3.1.3. Semis..... | 16 |
| II.3.1.4. Entretien..... | 16 |
| II.3.1.5. Récolte..... | 16 |
| II.3.1.6. Paramètres mesurés..... | 17 |
| II.3.2. Méthodes d'analyse..... | 17 |
| II.3.2.1. Analyse chimique du sol et de la fumure organique..... | 17 |
| II.3.2.2. Détermination des doses optimales d'engrais..... | 18 |
| <i>a) Principe du modèle linéaire-plateau.....</i> | <i>18</i> |
| <i>b) Utilisation des fonctions de production.....</i> | <i>19</i> |
| II.3.2.3. Traitement statistique des données..... | 20 |
| CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS | 20 |
| III.1. RESULTATS..... | 21 |
| III.1.1. Effet des doses de fumier sur les composantes de rendement et le rendement du maïs..... | 21 |
| III.1.2. Effet des doses d'azote sur les composantes de rendement et le rendement du maïs..... | 25 |
| III.1.2.1. Effet des doses d'azote appliquées seules..... | 25 |
| III.1.2.2. Effet des doses d'azote combinées aux doses de fumier..... | 29 |
| III.1.3. Analyse économique..... | 35 |
| III.1.3.1. Méthode des fonctions polynomiales du second degré..... | 35 |
| III.1.3.2. Méthode linéaire plateau..... | 41 |
| III.2.: DISCUSSIONS..... | 45 |

CONCLUSION GÉNÉRALE 49

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 51

ANNEXES 55

DEDICACE

A

mon père et à ma mère: si j'écris ce mémoire, c'est bien et bel grâce à vous. Vous avez cru en moi. Je vous dois ma personne sociale et cela par l'éducation que vous m'avez donnée. Puisse Dieu vous donne longue vie pour que vous savourez paisiblement le fruit de vos durs labeurs et sacrifices;

la coépouse de ma mère: pour l'affection que vous avez eu à mon égard depuis mon enfance et les sacrifices consentis;

mes frères et sœurs: Aminata, Samba, Aïssata, Abdramane (1), Adama, Bema, Abdoul Karim, Abdramane (2), Djenèba Oumou et Kady. Pour la fraternité, le respect et le soutien mutuel, l'entente entre nous. Puisse l'union familiale soit plus renforcée;

mes oncles Lassana Diallo et Idrissa Diallo: pour le soutien multiforme que chacun de vous m'a apporté tout le long de mon cursus scolaire. Trouvez en ce travail le fruit d'un neveu qui vous suis et vous serai toujours reconnaissant. A vos épouses, je dirai grand merci;

mes cousins et cousines: pour l'ambiance familiale. Chacun de son côté a fait de son mieux pour garantir ce lien si solide. A toi Bintou, je dirai particulièrement merci pour cette entente fraternelle. Puisse le Sénégal te réussie;

mon grand frère Me Issa Diallo et son épouse: pour tout le soutien multiforme. Trouvez à travers ce document l'expression de ma profonde gratitude. Puisse Dieu conforte d'avantage cette fraternité;

ma future épouse ;

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire n'aurait été réalisé sans le concours de certaines personnes. Il m'est agréable de les remercier. Mes remerciements s'adressent particulièrement:

Au Dr Traoré N. Seydou, délégué régional du CRREA de l'ouest et à son personnel pour l'accueil au sein de la station de recherches de l'INERA de Farako-ba;

Au Dr Bado B. Vincent, mon maître de stage et chef du programme GRN/SP à Farako-ba pour la proposition du thème. Votre simplicité, votre souci du travail bien fait nous ont profondément marqué;

Au Dr Bacyé Bernard qui de par sa disponibilité à mon égard a joué son rôle de directeur de mémoire. Recevez ici l'expression de ma profonde gratitude;

Aux Dr Traoré Ouala, Kambiré S. Hacynthe et Sanou Jacob qui n'ont ménagé aucun effort devant mes sollicitations. Ainsi, ont-ils collé en plus de mon maître de stage et du directeur de mémoire une étiquette scientifique à mon document. A tous les chercheurs de la station, je dirai un grand merci;

Au Dr Dakuo Dona, maître de recherche, pour sa disponibilité et ses conseils dans la réalisation du document scientifique. Merci pour tous les services rendus à mon égard;

A Mme Drabo, pour son apport dans la rédaction de ce présent mémoire. Trouvez en ce document le travail d'un fils qui a beaucoup d'admiration pour vous. Je suis profondément marqué par votre bonté, votre calme, votre sincérité, votre combativité et votre foi en Dieu;

A Diakité Mariam, secrétaire du programme GRN/SP pour tous les services et conseils de grande sœur. Je remercie également M. Tiékoura, M. Bamba, Sanou Alima, Ouattara Amoro, Sankara Constantin, Ali, Soungalo, Moussa etc. pour les services rendus.

A Diallo Ousmane, Somé Valérie, Somé Berthe et leurs familles respectives, pour tous les services rendus. Ousmane votre simplicité, votre sens de responsabilité et votre disponibilité nous ont profondément marqué. Merci également pour la confiance que vous avez placée en moi. Berthe vous êtes avec vos sœurs, notamment Valérie un exemple de femmes battantes pour moi. Votre combat pour la vie et votre simplicité me touche beaucoup;

A mes grands frères Nombéré Clément Jimmy, Kaboré Mathurin, Sankara Noufou, Diallo Abdoulaye, Paré Roland, Sanou Evariste etc. pour tous les services que vous m'avez rendus. Egalement merci pour la sympathie manifestée à mon égard;

A tous mes amis, mes camarades d'enfance et ceux avec qui j'ai partagé le cursus scolaire. Mes remerciements s'adressent particulièrement à Hebié Ardjouma pour le climat serein, l'ambiance au cours du stage que nous avons effectué ensemble à Farako-ba avec le même chef. Je remercie également Boro Abdoulaye, Bama Serge, Drabo Arnaud, Coulibaly Ahmed, Gouba At-èl, Sangaré Sheick, Badiel Mahamadou, Pindé Souleymane, Traoré Sy Martial, Moussa Isseini, Koné Lassina, Sami, Diarra A. Karim etc. A vous tous merci pour les moments passés ensemble;

Je profite également remercier Safi, Koumba, Fati, Alida, Adjaratou, Danielle, Inés etc. pour tous les moments passés avec vous lors de nos activités. Merci pour le soutien dont chacune de vous a fait montre;

A tous mes camarades de l'IDR et les enseignants dudit établissement pour ces moments passés ensemble avec cet esprit de développement rural.

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau I: Composition chimique moyenne du fumier utilisé..... | 14 |
| Tableau II: Caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm du sol..... | 15 |
| Tableau III: Effet des doses de fumier sur les composantes de rendement et le rendement du maïs..... | 21 |
| Tableau IV: Effet des doses croissantes d'azote appliquées seules sur les composantes de rendement et le rendement grains du maïs..... | 25 |
| Tableau V: Effet des doses croissantes d'azote combinées au fumier sur les composantes de rendement et le rendement grains du maïs..... | 30 |
| Tableau VI: Equations de régression reliant les rendements (kg/ha) du maïs en fonction des doses d'azote (kg/ha) selon la dose de fumier apportée (t/ha)..... | 38 |
| Tableau VII: Doses agronomique et économique, et rendement du maïs..... | 39 |
| Tableau VIII: RVC de la dose d'azote économiquement rentable..... | 40 |
| Tableau IX: Doses optimales et rendements correspondant par la méthode linéaire-plateau . | 44 |
| Tableau X. RVC de la dose optimale par la méthode linéaire plateau..... | 44 |

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|-----------|---|
| IDR | : Institut du Développement Rural |
| UPB | : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso |
| IN.E.R.A | : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles |
| C.N.R.S.T | : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique |
| MCF | : Ministère de la Coopération Française |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Pluviométries mensuelles de Farako-ba de janvier à décembre 2001..... | 12 |
| Figure 2 : Températures mensuelles de Farako-ba de juillet à décembre 2001..... | 13 |
| Figure 3 : Biomasse aérienne en fonction des doses de fumier..... | 22 |
| Figure 4 : Poids des épis en fonction des épis en fonction des doses de fumier..... | 22 |
| Figure 5 : Nombre de plants/ha en fonction des doses de fumier..... | 23 |
| Figure 6 : Nombre d'épis pleins/ha en fonction des doses de fumier..... | 23 |
| Figure 7 : Nombre de grains/épis en fonction des doses de fumier..... | 24 |
| Figure 8 : Poids de 1000 grains en fonction des doses de fumier..... | 24 |
| Figure 9 : Rendement en fonction des doses de fumier..... | 25 |
| Figure 10 : Biomasse aérienne en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 26 |
| Figure 11 : Poids des épis en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 27 |
| Figure 12 : Nombre d'épis/ha en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 27 |
| Figure 13 : Rendement en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 27 |
| Figure 14 : Nombre de plants/ha en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 28 |
| Figure 15 : Nombre de grains/épi en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 28 |
| Figure 16 : Poids de 1000 grains en fonction des doses d'azote appliquées seules..... | 29 |
| Figure 17 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur la biomasse aérienne totale..... | 31 |
| Figure 18 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur le poids des épis..... | 31 |
| Figure 19 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur le nombre de plants/ha..... | 32 |
| Figure 20 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur le nombre d'épis pleins/ha..... | 33 |
| Figure 21 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur le nombre de grains/épi..... | 33 |
| Figure 22 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur le poids de 1000 grains..... | 34 |
| Figure 23 : Réponse du maïs à l'azote en fonctions des doses de fumier (t/ha) sur le rendement grain..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Figure 24: Fonction de production du rendement grain sans apport de fumier..... | 36 |
| Figure 25: Fonction de production du rendement grain pour 1t/ha de fumier..... | 36 |
| Figure 26: Fonction de production du rendement grain pour 2t/ha de fumier..... | 37 |
| Figure 27: Fonction de production du rendement grain pour 3t/ha de fumier..... | 37 |
| Figure 28: Fonction de production du rendement grain pour 4t/ha de fumier..... | 38 |
| Figure 29: Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire-plateau sans apport de fumier..... | 41 |
| Figure 30 : Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire-plateau pour 1t/ha de fumier..... | 42 |
| Figure 31: Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire-plateau pour 2t/ha de fumier..... | 42 |
| Figure 32: Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire-plateau pour 3t/ha de fumier..... | 43 |
| Figure 33 : Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire-plateau pour 4t/ha de fumier..... | 43 |

RESUME

La matière organique influence l'efficacité des engrais minéraux. Une expérience agronomique au champ a été menée dans la zone ouest du Burkina Faso avec le maïs dans le but d'identifier les doses de fumier et d'engrais minéraux permettant une production optimale tout en réduisant le coût de la fertilisation. L'étude a été menée avec un essai factoriel incomplet (5 x 4) disposé en Split plot avec 4 répétitions, 4 traitements principaux (0, 30, 60 et 90 kg N/ha) et 4 sous traitements (1, 2, 3 et 4 t/ha de fumier). Un cinquième sous traitement avec 4 doses d'azote uniquement, complète le dispositif. Tous les traitements ont reçu des doses uniformes de 60 kg P₂O₅/ha et 60 kg K₂O/ha.

Les résultats montrent que les doses d'azote augmentent significativement les rendements. Elles sont proportionnelles aux rendements. Quant aux doses de fumier elles sont différentes entre elles. Les traitements ayant reçu de l'azote et du fumier ont des rendements supérieurs à celui qui n'a reçu que de l'azote. L'analyse économique montre que la combinaison fumier/azote la plus rentable est de 3 t/ha de fumier et 78 kg N/ha lorsque l'on ne tient pas compte du prix du fumier. En tenant compte du prix du fumier, la combinaison de 1t/ha et 81 kg N/ha est la plus rentable.

Mots clés: Fumure azotée, fumure organique, maïs, efficacité agronomique, rentabilité économique, zone ouest, Burkina Faso

ABSTRACT

A field experiment has been conducted in western region of Burkina Faso (Farako-ba) with maize to determine manure and fertilizers rates, which give optimal production and reduce fertilisation cost. We use an incomplete factorial (5 x 4) design set in split-plot with four repetitions, four main treatments (0, 30, 60 and 90 kg N/ha) and four subtreatments (1, 2, 3 and 4 t/ha of manure). A fifth treatment with four rate of nitrogen was used to complete the design. Each treatment have received 60 kg P₂O₅/ha and 60 kg K₂O/ha.

The results showed that nitrogen rate and manure increase significantly maize yields. The treatment combining nitrogen and manure gave higher yields than treatment which receive only nitrogen. The analysis of profitability showed that, if the producer does not buy the manure, the economic combination is 3 t/ha of manure and 78 kg N/ha. In the other situation, 1 t/ha of manure and 82 kg N/ha is the most economic combination.

Keys words: nitrogen fertilizer, manure, maize, agronomic efficiency, economic profitability, western region of Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE

Dans les pays tropicaux d'Afrique Subsaharienne, l'agriculture se caractérise par sa faible productivité (BADO *et al.*, 1991). Au Burkina Faso, les faibles rendements des cultures s'expliquent en grande partie par la faible pluviométrie (BADO *et al.*, 1991; SEDEGO *et al.*, 1997) et la pauvreté des sols (BADO, 1994 ; SEDEGO *et al.*, 1997).

La pauvreté originelle des sols en éléments nutritifs justifie l'efficacité des engrais minéraux sur les rendements des cultures (KABRAH *et al.*, 1996; SEDEGO *et al.*, 1997). En effet, l'amélioration de la fertilité du sol par des apports d'éléments nutritifs sous formes minérales ou organiques permet d'augmenter l'efficacité de l'eau et les rendements des cultures (SEDEGO *et al.*, 1997). Dans ces conditions, l'engrais minéral devient un important facteur de production.

Cependant, une des contraintes majeures limitant l'utilisation des engrais minéraux est leur coût élevé (KABRAH *et al.*, 1996 ; NDIAYE *et al.*, 1999). Le prix de ces engrais ne cesse d'augmenter (SEDOGO, 1981) depuis la suppression de la subvention sur les intrants en 1988 et la dévaluation du franc cfa en 1994 (GBIKPI, 1996). Ce qui pose des problèmes techniques surtout aux petits producteurs à faibles revenus qui se doivent de gérer efficacement de petites doses d'engrais pour en tirer de meilleurs profits (SEDEGO *et al.*, 1997).

Parmi les éléments nutritifs, l'azote est le premier facteur de rendement. Malheureusement, c'est aussi un des éléments nutritifs qui coûte le plus cher après le phosphore dans la fertilisation et dont la gestion est très délicate (SEDEGO *et al.*, 1997). L'azote est un élément très mobile dans le sol. En fonction des pratiques culturales, les pertes d'azote par lixiviation ou par volatilisation sont plus ou moins importantes. L'azote non absorbé par les cultures peut être emporté par les eaux de ruissellement ou par lixiviation, constituant ainsi une source de pollution environnementale (BADO, 1994 ; SEDEGO *et al.*, 1997).

Face à ces contraintes de coût des engrais minéraux et aux conséquences d'une utilisation exclusive de ces derniers sur les cultures et les sols, l'utilisation des matières organiques associées aux engrais minéraux est nécessaire (KABRAH *et al.*, 1996 ; SEDEGO *et al.*, 1997). Les matières organiques ont des effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques

et biologiques du sol et jouent un rôle très important dans la fertilisation minérale (SEDOGO, 1981 ; KABRAH *et al.*, 1993). Les matières organiques constituent une importante source d'éléments nutritifs pour les plantes (SEDOGO, 1981). L'efficacité des fumures organiques serait due à leur capacité à limiter la baisse du taux de matières organiques du sol, à entretenir la CEC et à limiter le taux d'aluminium échangeable par des processus de complexation (BADO, 1994). La fumure organique est donc un facteur important de maintien de fertilité et l'efficacité des engrais minéraux semble être liée à la quantité de matières organiques présente dans le sol (SEDEGO *et al.*, 1997).

En effet, plusieurs travaux ont permis de déterminer les besoins en engrais minéraux des cultures sans tenir compte de la dose éventuelle des amendements organiques à appliquer. La quantité d'azote qu'ils contiennent contribue forcément à la nutrition azotée des plantes. L'utilisation d'amendements organiques doit permettre, tout en améliorant la fertilité du sol, de diminuer probablement la dose d'azote à appliquer. Pour fertiliser le maïs, on recommande 90kg N/ha (BADO *et al.*, 1991). En associant les engrais minéraux et les matières organiques, il est peut-être possible de diminuer les quantités d'engrais minéraux et de réduire ainsi le coût de la fertilisation.

L'objectif du présent travail est de déterminer les doses d'urée et de fumier permettant une gestion optimale de l'azote pour assurer une production optimale et un meilleur profit pour le producteur.

Le présent mémoire s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique qui donne un aperçu sur la fumure minérale et organique. Le deuxième chapitre présente la méthodologie utilisée. Le troisième chapitre est consacré aux résultats discussions.

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LA FUMURE MINERALE ET ORGANIQUE

I.1. PROBLEMATIQUE DE LA FERTILISATION AZOTEE

L'azote occupe une place de choix dans la fertilisation des céréales. Il est le pivot de la fumure. Il existe dans le sol essentiellement sous forme nitrique (NO_3^-) et ammoniacale (NH_4^+). L'azote est de façon préférentielle absorbé par la plante sous forme nitrique (BACYE *et al.*, 2000).

Cependant, les sources d'apport sont nombreuses et variées. Les pertes faciles de cet élément et sa dynamique dans le sol posent d'énormes problèmes quant à son utilisation. De même, les flux de minéralisation brute de l'azote dans les zones de savane peuvent varier, mais deviennent importants tout au long de la saison pluvieuse (BACYE *et al.*, 2000; INERA, 1996). La nitrification seule peut être complètement inhibée à cause de l'immobilisation de l'azote ammoniacal (INERA, 1996) ou des conditions d'hydromorphie.

L'insuffisance de matières organiques facilement décomposables dans les zones de savane, fait que le processus de minéralisation est très faible en cours de culture (SEDOGO, 1981 ; INERA, 1996). Pourtant, les mesures des flux bruts d'azote montrent un intense cycle de transformation de l'azote. La nitrification apparaît être le processus de fourniture d'azote pour la plante (INERA, 1996). Dans la rhizosphère, les conditions créées par la plante entretiennent une activité locale intense. En effet, les exudats racinaires permettent une grande activité nitrifiante. Cette transformation dépend des conditions physico-chimiques du sol. Dans un contexte de faible activité biologique, ce processus prend une importance particulière (INERA, 1993 ; BLONDEL, 1971 cité par EDZANG, 2000) et assure la nutrition de la plante en fonction de ses besoins en azote.

I.1.1. SOURCES D'AZOTE DANS LE SOL

I.1.1.1. Matières organiques

Les matières organiques utilisées dans la fertilisation des sols sont de nature et de forme variées. Elles sont surtout constituées de fumier, de résidus de culture, du compost ; etc. Ces matières organiques subissent une série de transformations qui les décomposent, et/ou les transforment en humus. Ces transformations sont assurées par les micro-organismes. C'est à l'issue de cette série de transformations, que les matières organiques fournissent de l'azote minéral aux plantes.

I.1.1.2. Engrais

L'azote peut également être fourni par les engrais. Pour une gestion efficace de cet élément, les engrais azotés doivent être apportés à des doses judicieusement calculées en fonction de la fertilité originelle du sol (PIERI, 1989 ; SEDEGO *et al.*, 1997) et des besoins spécifiques de la culture (GANRY, 1990 ; SEDEGO *et al.*, 1997). Cela dans le but de garantir un meilleur profit au producteur tout en préservant l'équilibre physico-chimique du sol et l'environnement (BADO *et al.*, 1991).

I.1.1.3. Fixation d'azote

a) Fixation non symbiotique

La fixation non symbiotique se définit comme étant une fixation biochimique de l'azote moléculaire sous forme NH_3 , laquelle se trouve ensuite intégrée dans les composés organiques préformés. Elle revêt une grande importance dans les sols où l'azote est le principal facteur limitant la production végétale (BONNEAU et SOUCHIER, 1979). L'abondance relative du carbone disponible est un des éléments favorables à la fixation. Celle-ci équilibre le bilan d'azote en compensant les pertes par entraînement. Les organismes responsables de cette fixation peuvent être des bactéries aérobies du genre *Azotobacter* ou anaérobies du genre *Clostridium* exigeant le carbone métabolisable. On note aussi des micro-organismes photosynthétiques tels que les *Cyanophycées* qui exigent la lumière comme source d'énergie

pour la plupart. Enfin, et à un moindre degré, des micro-organismes qui interviennent soit à l'état isolé, soit en associant synergique (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

b) Fixation symbiotique

Certaines plantes comme les légumineuses sont capables grâce à des associations symbiotiques avec les organismes procaryotes d'être autotrophes à l'égard de l'azote atmosphérique. La fixation symbiotique de l'azote est donc le processus de fixation de l'azote atmosphérique (BONNEAU et SOUCHIER, 1979). Les symbioses les plus performantes sont celles du genre *Rhizobium* avec les légumineuses, association assez spécifique d'un groupe de *Rhizobium* avec une plante hôte qui fournit de l'énergie et les produits alimentant la bactérie. Au Burkina Faso, le niébé prend par exemple 65% de ses besoins en azote dans l'atmosphère et 35% par la fixation symbiotique (BADO *et al.*, 2002)

I.1.2. PERTES D'AZOTE DANS LE SOL

I.1.2.1. Lixiviation

Parmi les différentes formes d'azote dans le sol, les nitrates sont celles qui suivent facilement les mouvements de l'eau et sont peu retenus par les colloïdes (CHIANG et SOUDI, 1994). Les pertes d'azote sont considérables en zone subsaharienne (PIERI, 1989). Cet état de fait s'explique par la nature sableuse des sols et la distribution très irrégulière des pluies en début de la saison de culture.

Pendant les périodes de pluviométrie intense, ces pertes sont faibles en raison des faibles teneurs du sol en nitrates (GIGOU et CHABALIER, 1987). Pour PIERI (1989), la densité racinaire est un facteur déterminant de la lixiviation. D'autres facteurs tels que la texture du sol, la concentration en nitrates dans sa couche superficielle, le volume d'eau, ainsi que la dose et la forme d'engrais à appliquer influencent la lixiviation.

En effet, la lixiviation s'opère plus facilement dans un sol à texture grossière que dans un sol à texture fine (CHIANG et SOUDI, 1994). La quantité d'azote perdue oscille en sol sableux entre 10 et 50 kg N/ha sous culture d'arachide (PIERI, 1982). La lixiviation est d'autant plus

accentuée que la hauteur d'eau à la surface du sol est élevée (GANRY, 1990). Dans un sol ferrugineux tropical lessivé, 1 mm de pluie provoque une descente des nitrates de 70 mm (GANRY, 1990). Les doses élevées d'azote appliquées, génèrent des nitrates qui alimentent directement le pool des nitrates et augmente ainsi le risque de lixiviation.

1.1.2.2. Pertes par l'érosion et ruissellement

Ces pertes correspondent à l'entraînement par les eaux de ruissellement soit en surface, soit à faible profondeur dans le sol (PIERI, 1989). Elles sont fonction des conditions pluviométriques de l'année (quantité, intensité et distribution etc.), du sol et du degré de maîtrise de l'érosion par le producteur (PIERI, 1989). GIGOU et CHABALIER (1987) ont observé des pertes d'azote par érosion hydrique d'environ 11 kg/ha sous culture de maïs. L'ion nitrate en est le principal élément. Ces ions entraînent avec eux le calcium et le magnésium (GIGOU et CHABALIER, 1987). Ces pertes peuvent également être dues à l'érosion éolienne (FALISSE *et al.*, 1994).

1.1.2.3. Exportations par les résidus de récolte

Les exportations des résidus de récolte constituent des pertes d'azote. C'est de l'azote qui quitte le champ, donc qui sort du système.

1.1.2.4. Immobilisation ou réorganisation de l'azote

L'immobilisation de l'azote est un processus par lequel l'azote minéral passe à l'état d'azote organique. En effet, les micro-organismes utilisent l'azote minéral pour leur synthèse protéique. Cette action revêt un double aspect pour la plante : en effet le stockage de l'azote sous cette forme empêche le lessivage pendant la période de grande pluie (GROS, 1975) et contribue à long terme au maintien de la fertilité azotée du sol (GANRY, 1990). L'autre aspect vient du fait qu'en prélevant cet azote mis à la disposition des plantes, les micro-organismes deviennent des concurrents directs des plantes cultivées (GROS, 1975).

L'existence de ces deux aspects fait de la réorganisation un processus dont il faut tenir compte lors du raisonnement de la fertilité azotée du sol (CHIANG et SOUDI, 1994). Ainsi, à l'issue

d'analyses de sol, lorsque l'azote minéral augmente dans le sol, CHIANG et SOUDI (1994) préconisent une diminution d'apport en engrais. Dans le cas contraire, lorsque la teneur en azote minéral diminue dans le sol ces auteurs proposent d'augmenter la quantité d'azote à apporter afin de compenser cette part d'azote réorganisé. Sous culture de maïs à Nioro (Sénégal), GANRY (1990), estime à 29,7% la quantité d'azote immobilisée dans le sol et à 35% celle immobilisée par la plante.

L'immobilisation peut être induit par les apports organiques, par l'activité des microorganismes dans la rhizosphère ou par fluctuation du carbone disponible du sol au cours de la variation climatique. Les apports de matières organiques donne naissance à une minéralisation nette lorsque le rapport (C facilement minéralisable / N facilement minéralisable) est suffisamment bas (BONNEAU et SOUCHIER, 1979). Pour ces auteurs, les microorganismes immobilisent beaucoup mieux l'azote ammoniacal que l'azote nitrique.

I.1.2.5. Rétrogradation de l'azote

Des quantités parfois importantes d'ions ammonium pouvant atteindre le 1/3 de la CEC de l'argile peuvent être fixées durablement dans le réseau cristallin des argiles (GROS, 1975). Les éléments minéraux ainsi fixés ne sont pas disponibles pour les cultures (PIERI, 1989). La rétrogradation est élevée dans les sols tropicaux compte tenu de leur pouvoir fixateur surtout pour les ions ammoniacaux et le potassium (GROS, 1975; PIERI, 1989).

I.1.2.6. Pertes sous formes gazeuses

La dénitrification et la volatilisation constituent les deux principaux processus pouvant entraîner les pertes gazeuses

La dénitrification est favorisée surtout par les fortes températures (GROS, 1974 ; GANRY, 1990). Elle est généralement activée par l'enfouissement de matières organiques dans le sol (GANRY, 1990). Elle est aussi intense en conditions d'hydromorphie. Ces pertes sont généralement faibles mais peuvent atteindre parfois 30 à 40% de l'azote minéral présent dans le sol (PIERI, 1989).

Les pertes par volatilisation sont considérables dans le cas d'application de l'engrais azoté à la surface des sols (PIERI, 1989). La volatilisation dépend du sol et du placement de l'engrais. En effet, pour GANRY (1990), moins le sol est argileux, plus la volatilisation est intense. Lorsque l'urée est enfouie sous quelques centimètres de terre, les pertes par volatilisation deviennent négligeables (PIERI, 1989). Elles deviennent importantes lorsque l'engrais est apporté en surface (PIERI, 1989; GANRY, 1990).

I.1.3. DYNAMIQUE DE L'AZOTE DANS LE SOL

La dynamique de l'azote, dans le sol, est une succession complexe de minéralisation et de réorganisation qui se déclenchent tout au long de l'année (GROS, 1974). A chaque fois que l'équilibre du sol est rompu (en l'occurrence le rapport C/N) par les conditions extérieures, l'activité microbienne tend à rétablir ce rapport à sa valeur initiale.

Cette dynamique de l'azote a été étudiée dans les sols de savane pendant une saison pluvieuse par GIGOU (1982), GIGOU et CHABALIER (1987). En début de saison pluvieuse, la vie microbienne reprend. Ceci se traduit par une minéralisation de l'azote des composés microbiens les plus dégradables, mais aussi par une immobilisation de cet azote. Les teneurs en azote augmentent si les végétaux morts, présents dans le sol, sont riches en azote (surtout après une culture d'engrais vert ou de légumineuse). Dans le cas contraire, ces teneurs auront tendance à diminuer. Pendant cette période, la nitrification est le plus souvent active et la lixiviation importante.

Durant la saison pluvieuse, les teneurs du sol en azote minéral sont très faibles en raison des prélèvements par les plantes. Pendant cette période, la lixiviation est proportionnelle à l'intensité de la pluie. Les nitrates drainés entraînent du calcium et du magnésium, ce qui acidifie le sol (GIGOU et CHABALIER, 1987).

A la fin de la saison pluvieuse, la minéralisation reprend. L'azote est nitrifié tant que le sol est humide, puis de l'azote ammoniacal peut s'accumuler quand le sol devient sec. Pendant la saison sèche, l'évolution est presque bloquée, les teneurs évoluent très peu.

Par contre dans un sol de bas-fond, la réalité est autre. En effet, BACYE, *et al.* (2000), ont étudié la dynamique de l'azote minéral avec et sans apport de matière organique (poudrette de

fumier), dans les conditions réelles et simulées d'un sol de bas-fond en zone sahélo-soudanaïenne.

Tout au long de la saison, les deux formes d'azote (NH_4^+ et NO_3^-) sont présentes dans un sol amendé ou non. En présence de poudrette de fumier, et en présence d'une forte humidité du sol, l'azote NH_4^+ est prédominant. Par contre NO_3^- est la forme la plus représentée pendant la période de non saturation du sol (BACYE *et al.*, 2000).

Durant la période de submersion, l'accumulation de NH_4^+ est d'autant plus importante qu'il y a apport de matière organique. Toutefois, dans ce dernier cas, les teneurs baissent lorsque la submersion est prolongée. Les teneurs en NO_3^- , diminuent progressivement pour disparaître au bout de 4 semaines (BACYE *et al.*, 2000). De façon globale, l'apport de matière organique au champ permet une augmentation des teneurs en azote minéral total (NH_4^+ et NO_3^-) par rapport au témoin sauf pendant les 3 premières semaines.

I.2. FERTILISATION ORGANO-MINERALE

L'engrais minéral améliore les rendements, mais pour une courte période de 3 ans maximum (BADO, 1994). L'engrais minéral seul n'est pas suffisant et n'est pas recommandé pour une production à long terme. Il peut à long terme entraîner l'apparition des ions aluminiums. Ce qui acidifie le sol (BADO *et al.*, 1994). Un complément de fumure organique est nécessaire pour éviter une forte baisse du carbone et de la CEC du sol. Quant au fumier, il joue efficacement ce rôle et améliore l'efficacité de l'engrais (SEDEGO, 1981; BADO, 1994). Il atténue les effets acidifiants de l'engrais. Mais le fumier seul ne suffit pas pour garantir une stabilité des rendements. Il retarde la baisse des rendements tout comme s'il retardait l'évolution des processus chimiques observés avec l'engrais minéral. Le fumier ne peut bloquer tout l'aluminium échangeable qui pourrait à long terme provoquer la baisse des rendements.

Le maintien ou l'augmentation des rendements à un niveau élevé et à moindre coût dans une agriculture intense, passe par l'adjonction de la fumure organique à la fumure minérale (SEDEGO, 1981). En effet, cette utilisation conjointe permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Aussi pourra-t-elle augmenter les rendements (BADO *et al.*, 1991) et par conséquent réduire le coût de la fertilisation.

Avec un dispositif expérimental de longue durée (9 ans) étudiant les effets des fumures à long terme sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso, BADO *et al.* (1991) ont remarqué que l'utilisation de l'engrais minéral seul entraîne une baisse du carbone organique d'environ 50%. Ces auteurs remarquent aussi que l'engrais minéral combiné avec le fumier n'entraîne qu'une perte de 25% du stock organique du sol (CHOTTE *et al.*, 1990). La fumure minérale diminue le calcium et le magnésium échangeable du sol alors que la fumure organo-minérale ne diminue que le magnésium échangeable du sol (BADO *et al.*, 1991). L'apport de matières organiques transformées (fumier) contribue à maintenir le niveau d'azote mobilisé du sol ; et l'efficacité de l'engrais va dépendre de ce niveau (GANRY, 1990).

I.2.1. ROLE DES MATIERES ORGANIQUES DANS LA FOURNITURE D'AZOTE

Les matières organiques améliorent le milieu racinaire (physique et chimique) et offrent ainsi à la plante la possibilité de mieux profiter à la fois de la fertilité naturelle du sol et des apports d'engrais. Les matières organiques, tout comme les engrais minéraux, fournissent beaucoup d'éléments nutritifs à la plante (FAO, 1997). Elles sont caractérisées par leurs rapports C/N qui traduisent le degré de richesse ou de disponibilité azotée (FALISSE, *et al.*, 1994) et la teneur en lignine.

En effet, les matières organiques ayant un C/N inférieur à 20 se dégradent généralement plus rapidement et libèrent plus vite l'azote dans le sol (BADO, 1994 ; MANDO, 1998). A l'opposé, celles contenant plus de lignine et de poly-phénols se décomposent lentement et libèrent moins vite l'azote. Les taux de minéralisation sont fonction du substrat (PIERI, 1989). GANRY (1990) a évalué cette variabilité des résidus végétaux au cours d'une expérience en lysimètre. Il trouve que la minéralisation nette de l'azote est respectivement de 3%, 16%, 25% et 41% pour les racines de mil, paille de mil, paille de mil compostée et paille d'arachide. Quant au fumier provenant du bétail des pays subsahariens, l'azote qu'il contient ne permet pas de couvrir les pertes dues aux exportations des résidus de récolte (MCF, 1993). De ce fait l'apport combiné d'engrais et de fumier provoquerait un grand développement des cultures et en particulier de leur système racinaire. Les résidus organiques accroissent la teneur en matières organiques du sol, la porosité du sol et améliorent la structure du sol (BADO, 1994).

Mais, dans leur évolution, les matières organiques peuvent entraîner l'immobilisation de l'azote minéral. En effet, lorsque les substances apportées ne renferment pas une quantité suffisante d'azote pour assurer une humification, ce phénomène prend de l'ampleur (BONNEAU et SOUCHIER, 1979). La libération lente de l'azote de la matière organique par la minéralisation offre un avantage certain par rapport aux autres engrais solubles, qui sont particulièrement sujets aux pertes par lessivage, volatilisation ou fixation.

I.2.2. DOSES ORGANO-MINERALES

Des apports de fumier de 5 t/ha/2 ans au moins ont un effet positif sur la fraction organique grossière qui est le siège des processus de minéralisation (SEDEGO, 1981; GRN/SP, 1999 ; BADO, 1994). L'apport de fumier à doses moyennes (7,3 t/ha) et fortes (12,8 t/ha) en apport unique pour 4 ans limitent les baisses de carbone, atténuent l'acidification et diminuent les teneurs en aluminium échangeable (GRN/SP, 1999). Ces doses augmentent les teneurs en azote total hydrolysable du sol notamment la fraction non distillable d'origine microbienne (GRN/SP, 1999).

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES

II.1. SITE D'ETUDE

II.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

La station de Farako-ba est située à 10 km au sud de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Banfara, entre 04°20' de longitude ouest et 11°06' de latitude nord. Elle a une altitude de 405 m.

Dans la classification phytogéographique effectuée par GUINKO (1984), la zone ouest du Burkina appartient au climat de type soudano-guinéen. Les pluviométries annuelles varient de 1000 à 1400 mm avec 4 à 6 mois de saison sèche (SIVAKUMAR et GNOUMOU, 1987). La pluviométrie au cours de l'année 2001 sur le site d'étude est présentée dans la figure 1.

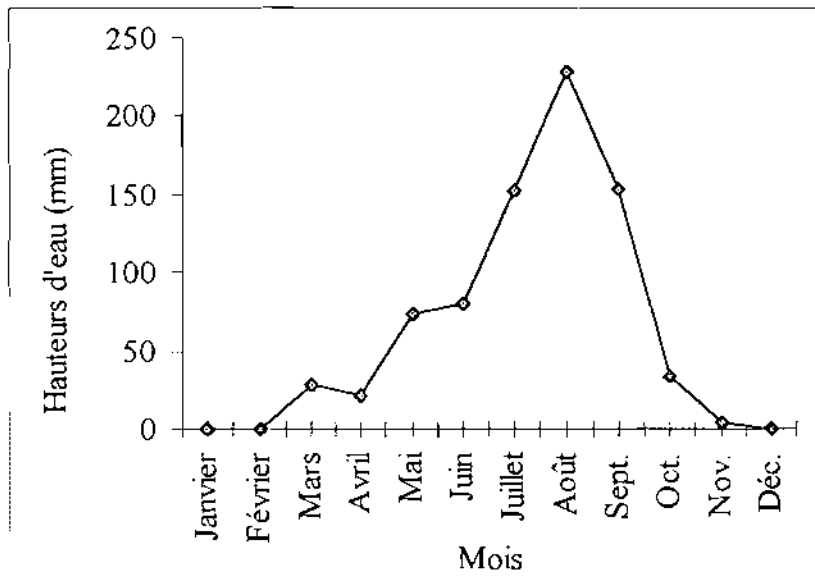


Figure 1: Pluviométries mensuelles à Farako-ba de janvier à décembre 2001

Il y a deux saisons sèches fraîches dans cette zone; la première de novembre à février et la deuxième en août lorsque la mousson fraîche prédomine (SIVAKUMAR et GNOUMOU 1987). Pendant la saison sèche, les températures maximales varient de 33 à 37°C, les minima étant de l'ordre de 17 à 25°C. Pendant la saison pluvieuse, la température maximale se situe entre 29 et 34°C et la minimale est d'environ 21°C. La figure 2 donne des températures mensuelles de l'année 2001 pendant cette la période de culture.

L'évaporation varie au cours de l'année suivant l'insolation et les mouvements de l'air. Elle est par exemple de 8,7 mm/jour entre janvier et février et de 3,7 mm/jour en août.

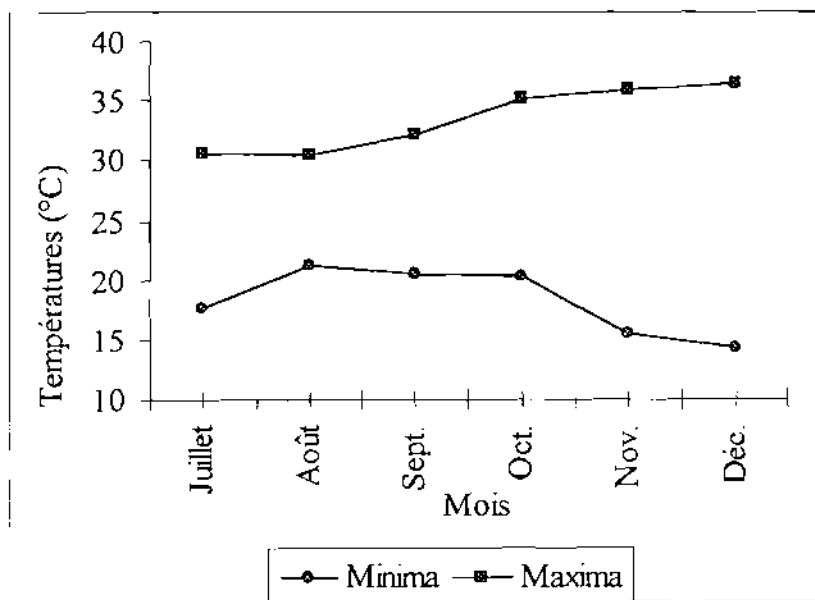


Figure 2: Températures mensuelles de Farako-ba: juillet à décembre 2001

II.1.2. CONDITIONS AGRO-PEDOLOGIQUES

Les sols de Farako-ba sont des sols rouges faiblement ferrallitiques modaux sur grès. Ils sont acides et pauvres avec un complexe absorbant désaturé. Ce sont des sols sablo-limoneux généralement pauvres en argiles (7%) et très sensibles au lessivage et à l'érosion (BADO, 1998).

II.2. MATERIELS

II.2.1. MATERIEL VEGETAL

La variété de maïs utilisée est la SR22. Originnaire du Nigeria, elle a un cycle végétatif semis-floraison mâle de 60 jours et un cycle semis-épiaison de 105 à 110 jours. La SR22 exige de bonnes conditions de culture et a un potentiel de rendement de 4,2 t/ha. Elle est tolérante à l'helminthosporiose et à la rouille. Elle a une bonne résistance à la casse, à la verse et au streak. Les autres caractéristiques de la variété sont présentées en annexe 1.

II.2.2. ENGRAIS

Les engrais utilisés sont composés d'une fumure minérale et d'une fumure organique.

Le fumier de bovin a été utilisé comme fumure organique. Ce fumier a été appliqué sur la base du poids sec dans les sous parcelles à des doses de 1, 2, 3 et 4 t/ha. Sa composition chimique moyenne est donnée dans le tableau I

Tableau I: Composition chimique moyenne du fumier utilisé.

| Composition chimique | Teneurs (%) |
|----------------------|-------------|
| N total | 1,18 |
| C total | 18,40 |
| C/N | 15.5 |
| P total | 0,31 |
| K total | 0,16 |

La fumure minérale apportée était composée du triple superphosphate (TSP) dosant 46% de P_2O_5 , du chlorure de potassium (60% de K_2O) et de l'urée (46% N). La dose d'urée a été fractionnée: 50% deux semaines après semis et 50% au 60^{ème} jour. Quant au TSP et le KCL, ils ont été apportés en une seule fois deux semaines après semis.

II.2.3. SOL

Le sol sur lequel a été installé l'essai avait pour précédent cultural le coton. Les caractéristiques physico-chimiques de ce sol figurent le tableau II. L'interprétation a été faite avec les normes d'interprétation du BUNASOLS.

Tableau II: Caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm du sol

| Variables | Teneurs |
|--|---------|
| Ca ²⁺ (cmol ⁺ /kg) | 1,23 |
| Mg ²⁺ (cmol ⁺ /kg) | 0,53 |
| K ⁺ (cmol ⁺ /kg) | 0,20 |
| AL ⁺ (cmol ⁺ /kg) | 0 |
| CEC-Ag (cmol ⁺ /kg) | 2 |
| pH-H ₂ O (1:2,5) | 5,5 |
| pH-KCl (1:2,5) | 5 |
| N total (mg-N/kg) | 354 |
| P total (mg-P/kg) | 100 |
| Bray P1 (mg-P/kg) | 6,5 |
| C. org (%C) | 0,51 |

II.3. METHODES

II.3.1. EXPERIMENTATION AU CHAMP

I.3.1.1. Préparation du lit de semence

Les travaux de préparation ont consisté en un labour réalisé par traction bovine en début de campagne. La parcelle a ensuite été hersée, avant le semis.

I.3.1.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est un essai factoriel incomplet (5 x 4) disposé en split-plot avec 4 traitements principaux (azote) et 4 sous traitements (fumier). Un cinquième sous traitement avec 4 doses d'azote complète le dispositif. Le schéma du dispositif est présenté en annexe 2

Les parcelles principales mesurent 156,62 m² (12,5 m x 12,5 m) espacées d'un mètre. Les sous parcelles font chacune 36 m² (6 m x 6 m) et espacées de 0,5 m. La superficie totale de l'essai est de 3645 m² (135 m x 27 m).

Chacun des 5 traitements reçoit 60 kg/ha de TSP et 60 kg/ha de KCl. Pour ce qui est du split-plot les traitements principaux sont constitués de 4 doses croissantes d'azote, soit 0N = 0 kg/ha; 30N = 30 kg/ha; 60N = 60 kg/ha et 90N = 90 kg/ha; et les traitements secondaires de doses croissantes de fumier soit F1 = 1 t/ha, F2 = 2 t/ha, F3 = 3 t/ha, et F4 = 4 t/ha. Le cinquième traitement qui n'a reçu que des doses d'azote est considéré comme le traitement F0 = 0t/ha de fumier.

I.3.1.3. Semis

Le maïs est semé en lignes dans des poquets et démarré à 2 plants par poquet. Les lignes sont distantes de 80 cm et les poquets de 40 cm, soit une densité de 62500 plants/ha.

I.3.1.4. Entretien

Pour l'entretien, un désherbage manuel a été effectué deux semaines après semis. Ensuite deux sarclages dont le premier manuel et le second attelé ont été effectués. Un buttage a été effectué au 60^{ème} jour. Après en fonction de l'enherbement des parcelles, des sarclages manuels sont effectués.

I.3.1.5. Récolte

La récolte du maïs a concerné des parcelles utiles de 15,36 m² à l'intérieur de chaque sous parcelle. En effet, la récolte se fait sur les 4 lignes centrales en éliminant de part et d'autre de la sous parcelle 2 lignes et 2 rangées de poquets.

I.3.1.6. Paramètres mesurés

A la récolte du maïs, les paramètres suivant ont été mesurés dans les sous parcelles: le nombre de plants/ha, la biomasse aérienne totale, le poids des épis, le nombre d'épis pleins/ha, le nombre de grains/épi, le poids de 1000 grains et le rendement grain.

Le calendrier cultural est présenté en annexe 3.

II.3.2. METHODES D'ANALYSE

II.3.2.1. Analyse chimique du sol et de la fumure organique

Ces analyses ont concerné le pH-eau, le pH-KCl, le carbone (C), N total, P total et assimilable et K disponible.

a) Mesure pH_{eau} ; pH_{KCl} :

Les pH (eau et KCl) des sols ont été mesurés par lecture directe sur un pH-mètre Tacussel à électrode en verre. La solution utilisée pour la lecture a été préparée dans un rapport terre/eau ou terre/KCl de 2:5. Pour le pH_{KCl} , on utilise une solution de KCl normale (1N).

b) Dosage du carbone et de la matière organique:

La méthode utilisée pour ce dosage est celle de Walkley et Black. Le principe de cette méthode est basé sur les propriétés du bichromate de potassium (K_2CrO_7) à oxyder le carbone de la matière organique. La quantité de bichromate de potassium réduite est proportionnelle à la teneur en carbone. On obtient ainsi cette teneur en effectuant un dosage en retour de l'excès de bichromate en solution normale par du sel de Mohr 0,5N en présence d'un indicateur de

carbone phénylamine. La formule suivante permet de déterminer le pourcentage de carbone dans le sol

$$C (\%) = (V1 - V2) \times N \times 0,3 \times 1,33 / P$$

V1 et V2 désignent les volumes du sel de MOHR, N sa normalité et P la prise d'essai. L'oxydation du carbone n'étant pas complète, le résultat obtenu est corrigé par le facteur 1,33. Le pourcentage de la matière organique du sol est obtenu en multipliant le pourcentage du carbone par 1,724.

c) Dosage de l'azote et du phosphore total:

La méthode de KJELDAHL est utilisée aussi bien pour les sols que le fumier. Les échantillons ont été soumis à une minéralisation KJELDAHL, avec l'acide H₂SO₄ et C₇H₆O₃ en présence de H₂O₂ et du sélénium qui est utilisé comme catalyseur. Après cette minéralisation, la solution aqueuse est mélangée à du carbone actif pour ensuite doser l'azote ammoniacal analyseur. La méthode de DABIN, consistant en une attaque par l'acide perchlorique (60%) à chaud, est utilisée pour le dosage de P par colorimétrie automatique

d) Dosage du phosphore assimilable

La méthode de BRAY I a été utilisée. Le phosphore est extrait par une solution de bicarbonate de sodium et du fluorure d'ammonium tamponé à pH 8,5. Le dosage du phosphore est réalisé par colorimétrie automatique.

e) Dosage du potassium disponible

Dans le sol, le potassium est extrait avec une solution de HCl (0,1N) et d'acide oxalique 4N. Il est déterminé au photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiation émises par les atomes de potassium avec celle des solutions standards.

II.3.2.2. Détermination des doses optimales d'engrais

Pour estimer ces besoins, deux méthodes ont été utilisées: la méthode linéaire plateau et celle de régression (BADO *et al.*, 1997).

a) Principe du modèle linéaire-plateau

La méthode linéaire-plateau permettant d'estimer les doses optimales d'éléments fertilisants, a été développée par Liebig en 1855 (BADO *et al.*, 1997).

Elle permet de déterminer graphiquement la dose optimale d'un fertilisant donné. Ainsi, la réponse de la plante aux différentes doses de fertilisants se caractérise par une pente linéaire et une droite horizontale (plateau). La pente linéaire signifie que des doses croissantes de fertilisants entraînent un accroissement significatif des rendements. Après une certaine dose appelée seuil, l'apport d'unités fertilisantes supplémentaires, n'augmentent plus significativement les rendements; ce qui explique le plateau (BADO *et al.*, 1997). L'intersection des deux droites détermine sur l'axe des abscisses la dose optimale d'azote nécessaire à la culture (BADO *et al.*, 1997).

b) Utilisation des fonctions de production

La fonction de production traduit une relation entre la quantité produite (rendement) et le niveau de facteur employé (GOMEZ et GOMEZ, 1984).

Soit la fonction de production suivante: $Y = aX^2 + bX + c$ (1)

Y: rendement (t/ha)

X: dose de fertilisant apportée en kg/ha

a: coefficient de la partie curviligne de la courbe

b: coefficient de la partie linéaire de la courbe

c: constante de la fonction, égale au rendement obtenu sans apport d'azote et de fumier (TAPSOBA, 1997).

Lorsque la dérivée première de la fonction de production Y par rapport au fertilisant X est nulle, le facteur de production X atteint son niveau optimum (SALVATORE, 1987; BADO *et al.*, 1997). On a alors $dY/dX = Y' = 2aX + b$ (2) ;

$$\text{d'où } X = -b / 2a \text{ (3)}$$

$-b / 2a$ est la dose optimale de fertilisant procurant un rendement maximale.

Ce modèle mathématique est retenu pour décrire les réponses du maïs aux doses croissantes d'azote apportées et servir à l'analyse économique (SALVATORE, 1987; WOLFF, 1995 ; BADO *et al.*, 1997 ; KAMBIRE *et al.*, 1999).

La rentabilité de tout facteur de production dépend du coût de l'investissement et du gain du revenu. Le coût du facteur et le surplus du rendement dû aux facteurs sont tous deux soumis aux fluctuations des prix du marché (BADO *et al.*, 1997). La productivité marginale physique (PMP) du facteur de production X_i étant l'accroissement de la production totale attribuable à l'augmentation de ce facteur X_i d'une unité (KAMBIRE *et al.*, 1999). A la limite, la PMP est la dérivée partielle de la fonction de production par rapport à la variable X_i (BADO *et al.*, 1997 ; KAMBIRE *et al.*, 1999). Le calcul de cette productivité marginale physique pour une production donnée permet de vérifier la loi des rendements décroissants (KAMBIRE *et al.*, 1999).

Le prix de l'azote (q) et celui du maïs (p) sur le marché sont considérés pour la détermination de la dose d'engrais la plus profitable à appliquer pour obtenir le profit maximum (optimum économique). Cet optimum peut être obtenu en posant l'équation (4) qui résulte de l'équation (2) et du rapport du prix des intrants sur le prix des output (f). En effet, au coût le plus bas de production, la production marginale est égale au rapport des prix ($f = q/p$).

$$\text{Nous avons: } Y' = f \Leftrightarrow 2aX + b = q/p \quad (4)$$

$$\text{d'où } 2aX + b = q/p$$

$$X = [(q/p) - b] \times 1/2a \quad (5)$$

$(q/p - b) \times 1/2a$ est la dose de fertilisant économiquement rentable pour le producteur (BADO *et al.*; 1997; KAMBIRE *et al.*, 1999).

Pour le maïs, deux prix d'achat aux producteurs ont été retenus : 60 fcfa et 130 fcfa.

Quand à l'urée, il coûte 230 fcfa/kg et le fumier 7 fcfa/kg.

II.3.2.3. Traitement statistique des données

L'analyse de variance a été réalisée avec le logiciel SYSTAT. L'interprétation des analyses de sol est fait en comparant nos sols aux normes d'interprétation du BUNASOLS.

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. RESULTATS

III.1.1. EFFET DES DOSES DE FUMIER SUR LES COMPOSANTES DE RENDEMENT ET LE RENDEMENT DU MAÏS

Les doses croissantes de fumier n'induisent pas des différences significatives au seuil de 5% sur le nombre de plants/ha, le nombre d'épis/ha, le nombre de grain/épi et le poids de 1000 grains (tableau III). Par contre, ces doses sont significativement différentes entre elles pour le poids des épis et le rendement grain au seuil de 5% et hautement significatif pour la biomasse aérienne totale .

Tableau III: Effet des doses de fumier sur les composantes de rendement et le rendement du maïs

| Doses de fumier(t/ha) | Biomasse aérienne (kg/ha) | Poids épis (kg/ha) | Nombre de plants/ha | Nombre d'épis/ha | Nombre de grains pleins/épi | Poids de 1000 grains | Rendement grains (kg/ha) |
|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | 6556 ^c | 2200 ^d | 52582 | 40633 | 299 | 151 | 1915 ^d |
| 1 | 7092 ^b | 2596 ^b | 54847 | 44390 | 306 | 159 | 2204 ^b |
| 2 | 6604 ^c | 2417 ^{bc} | 52772 | 41338 | 305 | 153 | 2038 ^c |
| 3 | 7706 ^a | 2836 ^a | 53952 | 44105 | 335 | 158 | 2415 ^a |
| 4 | 7735 ^a | 2840 ^a | 53260 | 42721 | 338 | 161 | 2388 ^a |
| Seuil de signification | HS | S | NS | NS | NS | NS | S |

- HS: hautement significatif (P < 1%) - S: Significatif (P < 5%)

- NS: Non significatif (P > 5%).

Il n'y a pas de différence significative entre les chiffres affectés d'une même lettre dans une même colonne.

Les figures 3 à 9 présentent les différentes composantes de rendement et le rendement en fonction des doses de fumier.

Pour ce qui est de la biomasse aérienne totale produite (figure 3), il n'y a pas de différence significative d'une part entre la dose de 3t/ha et 4t/ha de fumier ; et d'autre part entre 0t/ha et 2t/ha de fumier. Ces deux groupes homogènes sont différents. Chacun de ces groupes diffère de la dose de 1t/ha de fumier. La plus forte production (7735 kg/ha) est obtenue avec les doses de 3t et 4t/ha. On enregistre la plus faible production (6556 kg/ha) avec 0t et 2t/ha de fumier.

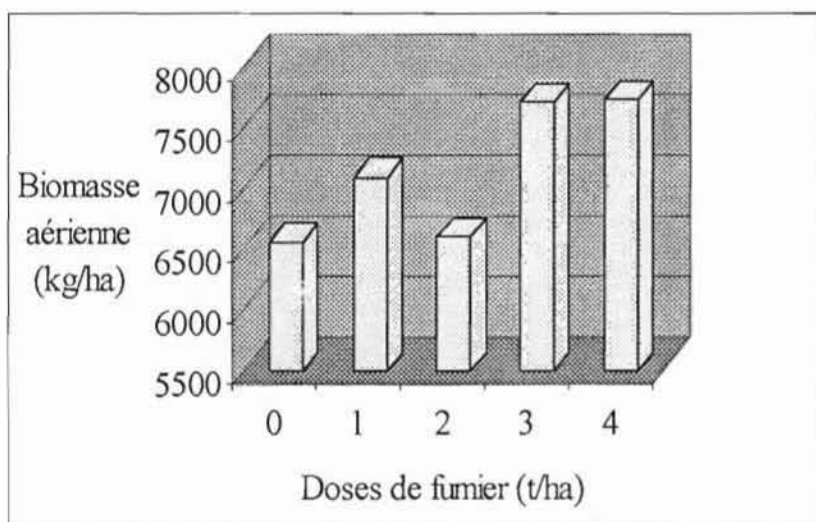


Figure 3: Biomasse aérienne en fonction des doses de fumier

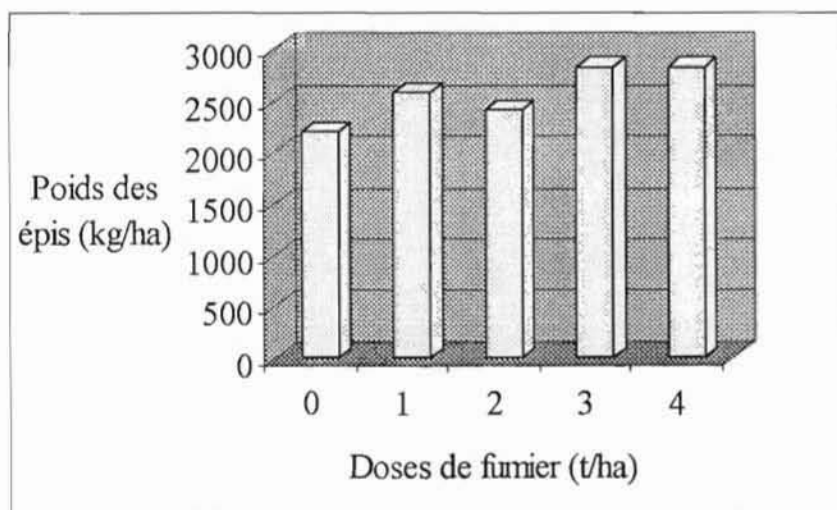


Figure 4: Poids des épis en fonction des doses de fumier

D'après la figure 4, les doses de 3t/ha et 4t/ha de fumier ne sont pas différentes. Elles enregistrent le poids le plus élevé (2840 kg/ha). Quant aux doses de 0, 1 et 2t/ha de fumier, elles sont différentes entre elles, et chacune diffère du groupe constitué par les doses de 3 et 4t/ha de fumier. Le plus faible poids (2200 kg/ha) est obtenu lorsqu'on n'apporte pas de fumier (0t/ha).

Pour ce qui est du nombre de plants/ha (figure 5), du nombre d'épis pleins/ha (figure 6), du nombre de grains/épi (figure 7) et du poids de 1000 grains (figure 8), il n'y a pas de différences significative entre les différentes doses de fumier au seuil de 5%.

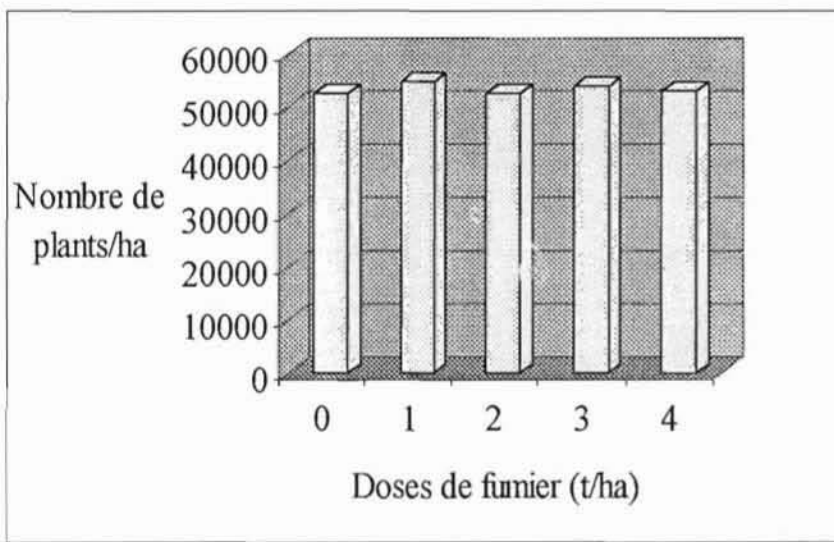


Figure 5: Nombre de plants/ha en fonction des doses de fumier

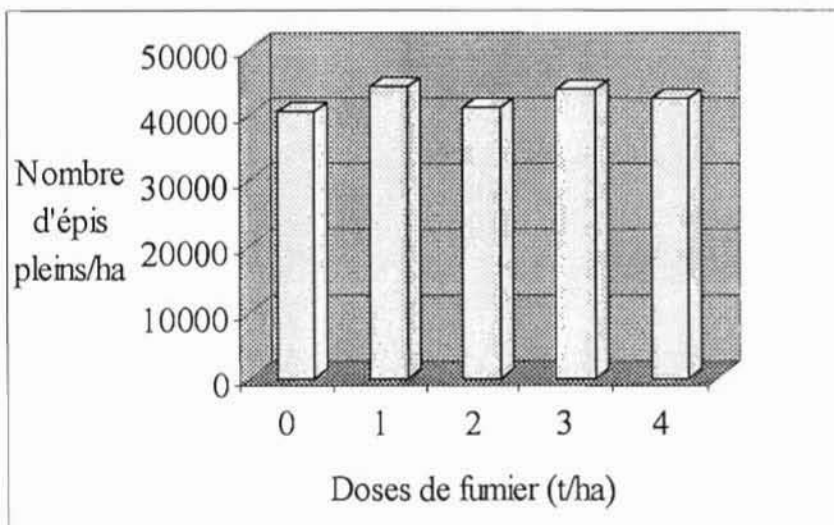


Figure 6: Nombre d'épis pleins/ha en fonction des doses de fumier

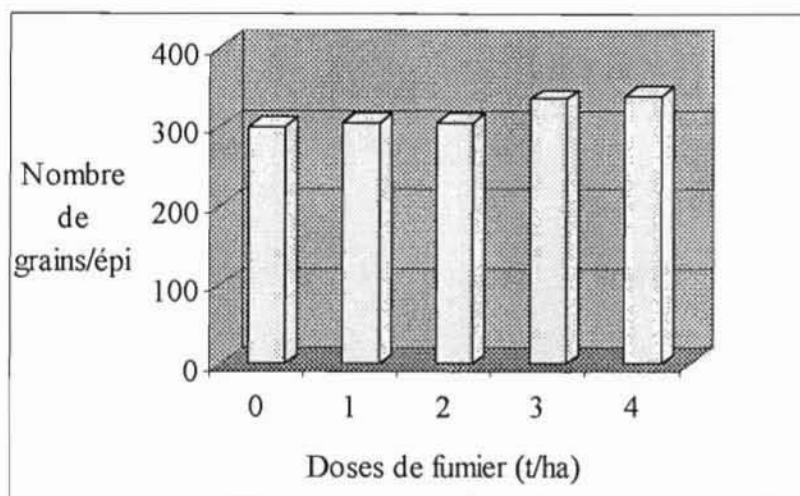


Figure 7: Nombre de grains/épi en fonction des doses de fumier

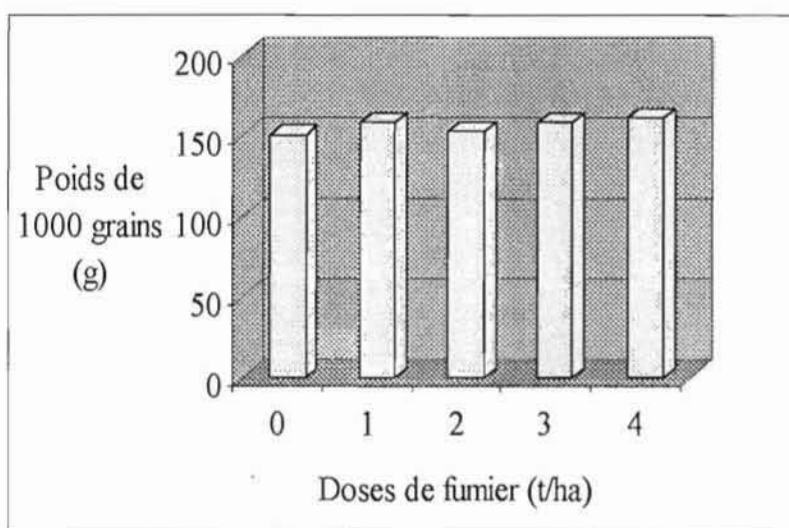


Figure 8: Poids de 1000 grains en fonction des doses de fumier

Quant au rendement grain (figure 9), les doses de 3t et 4t/ha de fumier ne sont pas différentes. Elles fournissent le rendement le plus élevé (2415 kg/ha). Les autres doses (0, 1 et 2t/ha de fumier) diffèrent entre elles et chacune diffère du groupe formé par 3 et 4t/ha. Lorsqu'on n'apporte pas de fumier, on enregistre le plus faible rendement (1915 kg/ha).

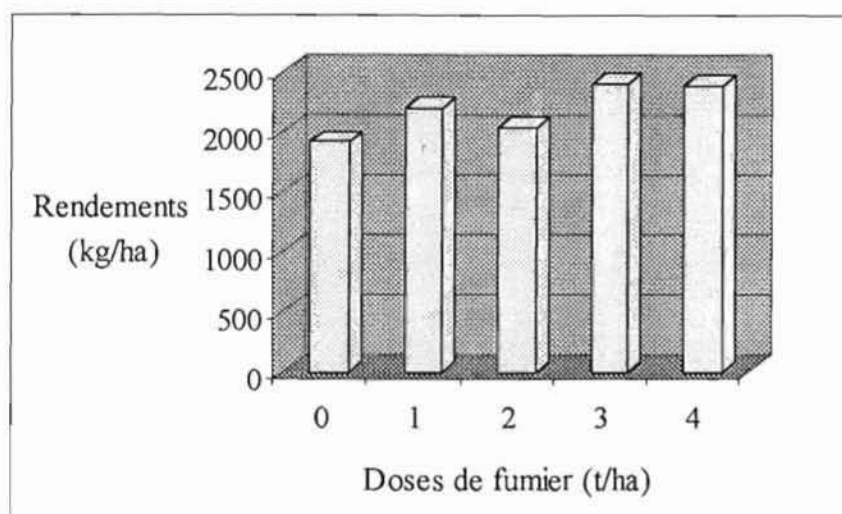


Figure 9: Rendement grains en fonction des doses de fumier.

III.1.2. EFFET DES DOSES D'AZOTE SUR LES COMPOSANTES DE RENDEMENT ET LE RENDEMENT DU MAÏS

III.1.2.1. Effet des doses d'azote appliquées seules

Tableau IV: Effet des doses croissantes d'azote appliquées seules sur les composantes de rendement et le rendement grains du maïs.

| Doses d'azote (kg/ha) | Biomasse aérienne (kg/ha) | Poids épis (kg/ha) | Nombre de plants/ha | Nombre d'épis/ha | Nombre de grains pleins/épi | Poids de 1000 grains | Rendement grains (kg/ha) |
|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | 4206 ^d | 1229 ^d | 52406 | 32713 ^d | 230 | 141.3 | 1188 ^d |
| 30 | 6278 ^c | 1929 ^c | 52624 | 40960 ^c | 285 | 150 | 1728 ^c |
| 60 | 7689 ^{ab} | 2656 ^b | 53708 | 42966 ^b | 330 | 157.7 | 2250 ^{ab} |
| 90 | 8052 ^a | 2986 ^a | 51591 | 45896 ^a | 351 | 155.3 | 2575 ^a |
| Seuil de signification | S | S | NS | THS | NS | NS | S |

- THS: très hautement significatif (P < 0.1%)

- S : significatif (P < 5%) -

- NS: non significatif ($P > 5\%$).

Dans le tableau IV, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les chiffres affectés d'une même lettre dans une même colonne.

Il ressort du tableau IV que ces doses d'azote induisent des différences très hautement significatives sur le nombre d'épis/ha et significatives sur la biomasse aérienne, le poids des épis et le rendement grain. Les figures 4a à 4g représentent les composantes de rendement et le rendement en fonction des doses d'azote appliquées seules.

Lorsqu'on considère la biomasse aérienne totale produite (figure 10), le poids des épis (figure 11), le nombre d'épis/ha (figure 12) et le rendement grains (figure 13), les valeurs obtenues pour chaque paramètre sont proportionnelles aux doses d'azote. Pour chacun des paramètres, on enregistre les plus fortes valeurs avec la dose de 90 kg N/ha. Ainsi, on obtient 8052 kg/ha pour la biomasse aérienne, 2986 kg/ha pour le poids des épis. Quant au nombre d'épis/ha et le rendement grains, on enregistre respectivement 45896 épis/ha et 2575 kg/ha. Lorsqu'on n'apporte pas de fumier, on a les plus faibles valeurs pour chacun de ces paramètres. Ainsi sans apport d'azote (0N), la biomasse totale produite est de 4206 kg/ha, le poids des épis est de 1229 kg/ha. Le nombre d'épis/ha vaut 32713 épis et le rendement grain n'est que de 1188 kg/ha.

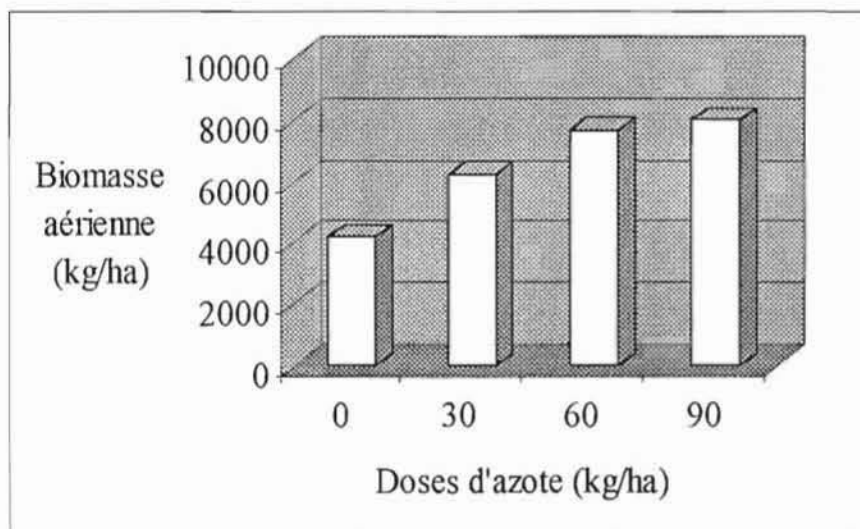


Figure 10: Biomasse aérienne en fonction des doses d'azote appliquées seules

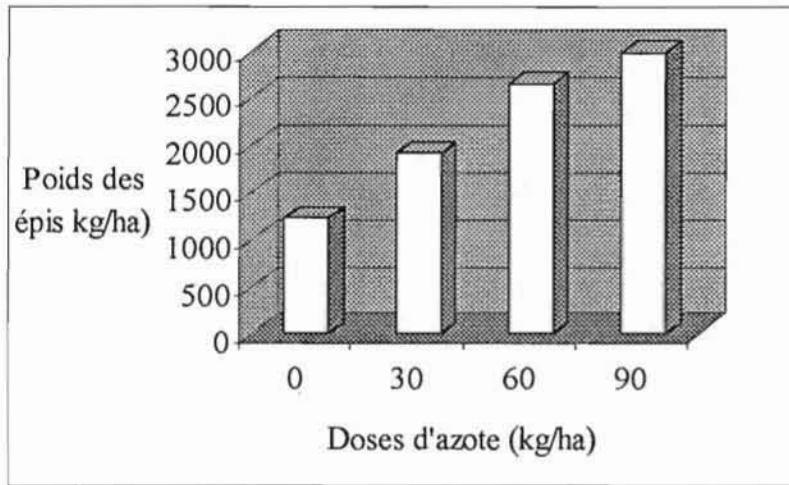


Figure 11: Poids des épis en fonction des doses d'azote appliquées seules

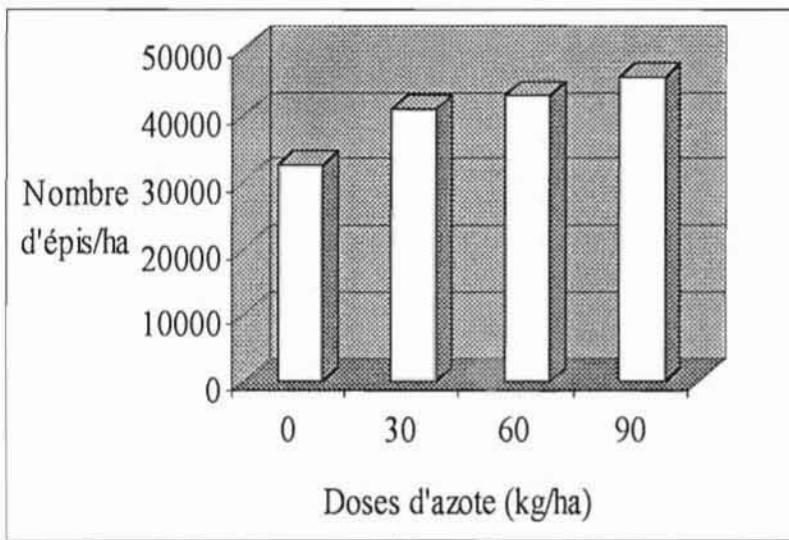


Figure 12: Nombre d'épis/ha en fonction des doses d'azote appliquées seules

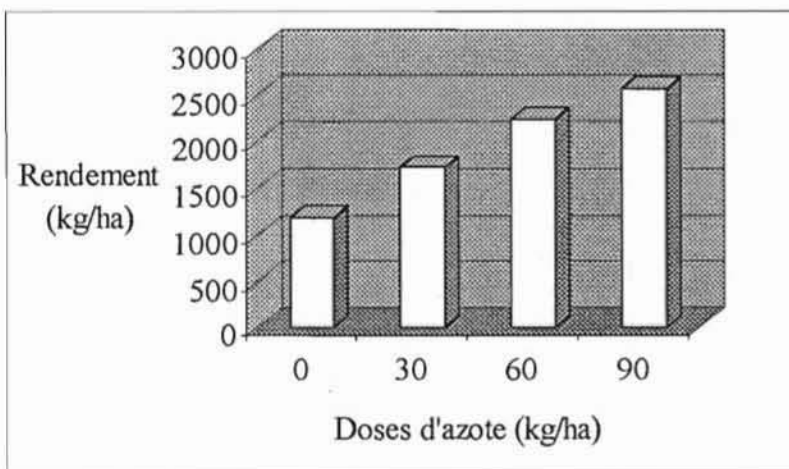


Figure 13: Rendement grain en fonction des doses d'azote appliquées seules

Quant au nombre de plants/ha (figure 14), le nombre de grains/épi (figure 15) et le poids de 1000 grains (figure 16), on ne note statistiquement aucune différence entre les différentes doses d'azote appliquées seules.

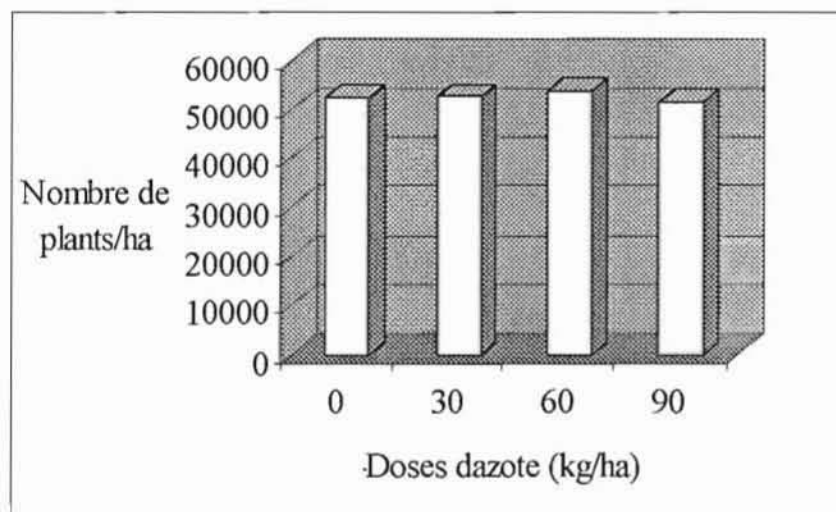


Figure 14: Nombre de plants/ha en fonction des doses d'azote appliquées seules

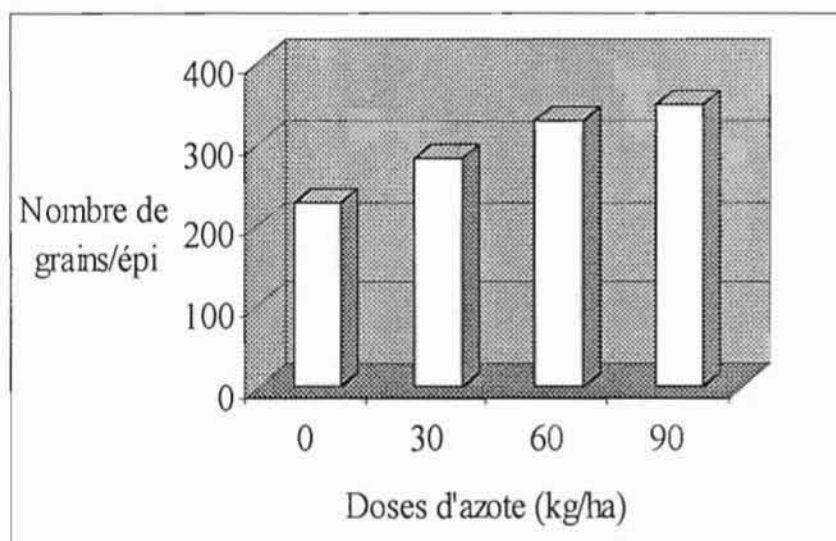


Figure 15: Nombre de grains/épi en fonction des doses d'azote

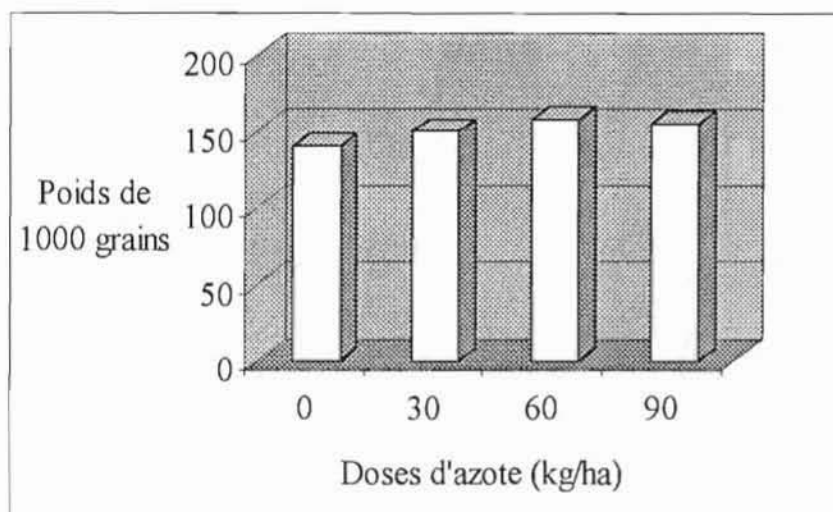


Figure 16: Poids de 1000 grains en fonction des doses d'azote

III.1.2.2. Effet des doses d'azote combinées aux doses de fumier

D'après le tableau V, les différentes doses d'azote induisent des différences très hautement significatives sur toutes les composantes de rendement et le rendement grain à l'exception du nombre d'épis/ha où les différences sont significatives.

De façon générale, l'augmentation des valeurs de ces paramètres est proportionnelle aux doses d'azote utilisées. Ainsi lorsqu'on applique la dose de 90 kg N/ha, on enregistre les plus fortes valeurs. Si l'on n'apporte pas d'azote, on enregistre les plus faibles valeurs pour tous ces paramètres à l'exception du nombre de plants/ha où c'est à la dose de 1t/ha de fumier que la plus faible valeur est enregistrée.

Tableau V: Effet des doses croissantes d'azote combinées au fumier sur les composantes de rendement et le rendement grains du maïs

| Doses d'azote (kg/ha) | Biomasse aérienne (kg/ha) | Poids épis (kg/ha) | Nombre de plants/ha | Nombre d'épis/ha | Nombre de grains pleins/épi | Poids de 1000 grains | Rendement grains (kg/ha) |
|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | 4767 ^d | 1593 ^d | 52690 ^c | 36415 ^d | 246 ^d | 145 ^c | 1338 ^d |
| 30 | 6418 ^c | 2313 ^c | 51713 ^d | 40850 ^c | 313 ^c | 154 ^b | 1955 ^c |
| 60 | 8924 ^b | 3216 ^h | 54684 ^h | 47116 ^{ab} | 349 ^b | 166 ^a | 2724 ^b |
| 90 | 9026 ^a | 3567 ^a | 55741 ^a | 48174 ^a | 376 ^a | 166 ^a | 3029 ^a |
| Seuil de signification | THS | THS | THS | S | THS | THS | THS |

- THS: Très hautement significatif ($P < 0.1\%$)

- S : Significatif ($P < 1\%$)

Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les chiffres affectés d'une même lettre dans une même colonne.

Les figures 17 à 23 montrent la réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier. De façon générale, pour une dose de fumier donnée, les valeurs augmentent avec les doses d'azote. Dans ces figures, la courbe 0t/ha de fumier représente le traitement sans apport de fumier, seules les doses croissantes d'azote ont été apportées à cet traitement.

D'après la figure 17, représentant la production de la biomasse, la courbe 0t/ha est en dessous des autres courbes à partir de 30 kg N/ha. A partir de cette même dose, la courbe correspondant à 3t/ha de fumier se situe au dessus des autres. Les plus fortes productions sont enregistrées avec 60 et 90 kg N/ha. Ainsi la production la plus élevée (9830 kg/ha) est obtenue avec 90 kg N/ha combinée à 3t/ha de fumier. Lorsqu'on apporte 2t/ha de fumier uniquement (2t/ha combinée à 0N), on enregistre la plus faible (3458 kg/ha) production de biomasse aérienne totale.

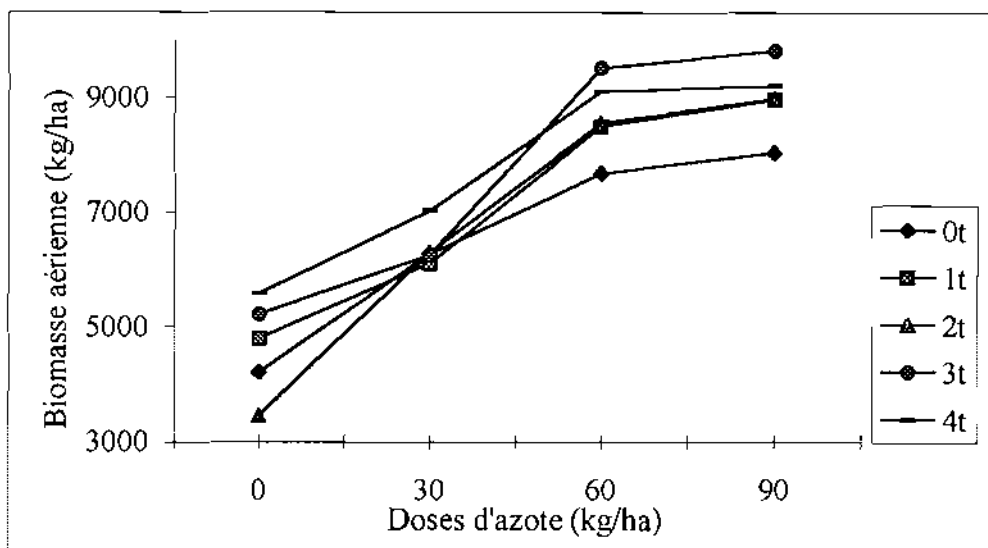


Figure 17: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) s la biomasse aérienne totale

Lorsqu'on considère le poids des épis (figure 18), la courbe 0t/ha est aussi située en dessous des autres et celle représentant 3t/ha est placée au dessus des autres. On enregistre le poids le plus élevé (4036 kg/ha) avec la dose de 90 kg N/ha combinée à 3t/ha de fumier. En apportant uniquement du fumier à la dose de 2t/ha (2t/ha combinée à 0N), on obtient le plus faible poids (1115 kg/ha).

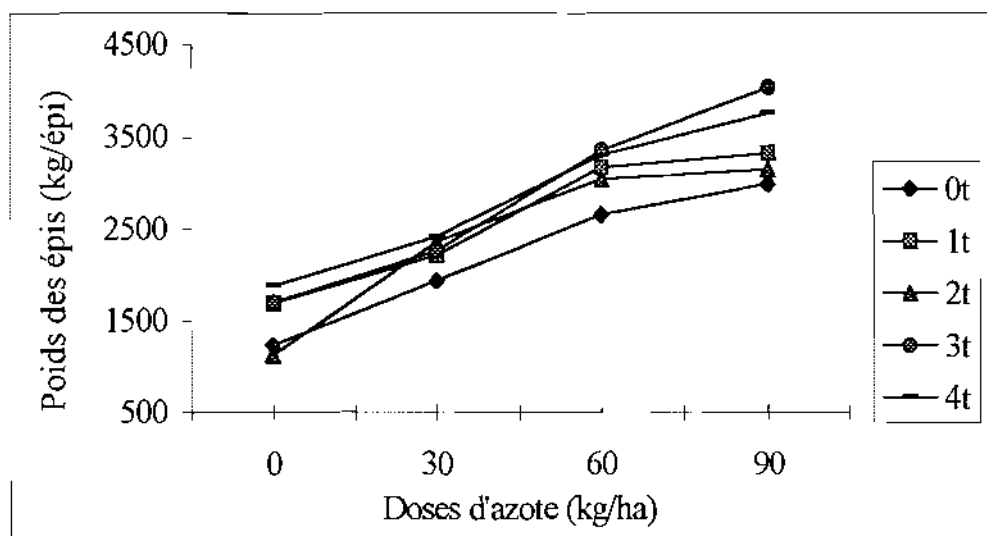


Figure 18: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) su le poids des épis

Pour ce qui est du nombre de plants/ha (figure 19), ce n'est qu'à la dose de 60 kg N/ha que la courbe représentant le traitement sans apport de fumier (0t/ha) est en dessous des autres. La courbe correspondant à 1t/ha de fumier, par contre se trouve au dessus des autres jusqu'à la dose de 60 kg N/ha. Le nombre de plants/ha le plus élevé (57289) est obtenu avec 90 kg N/ha combinée à 2t/ha de fumier. Lorsque la dose de 2t/ha de fumier est utilisée sans apport d'azote, on enregistre le plus faible nombre de plants/ha (48825).

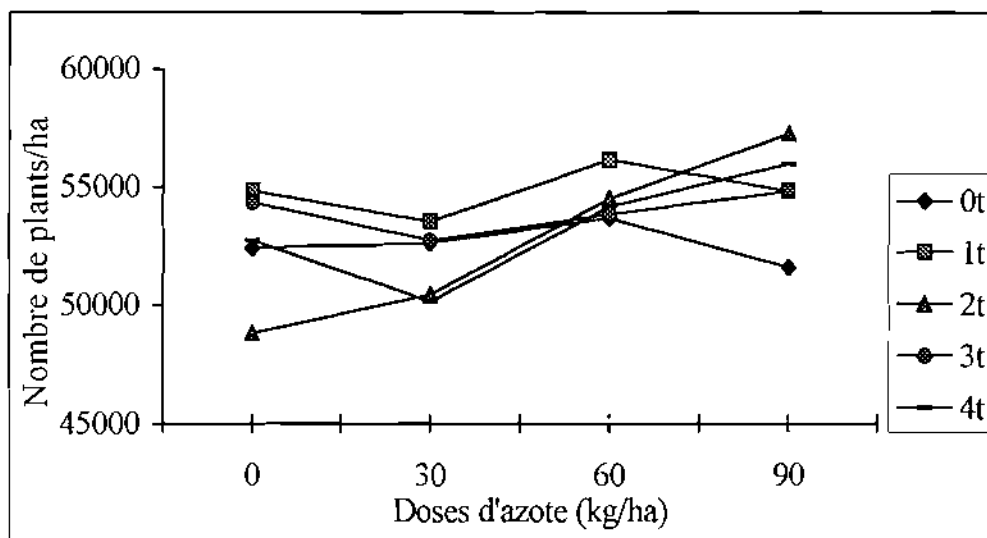


Figure 19: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) sur le nombre de plants/ha

D'après la figure 20 représentant le nombre d'épis pleins/ha, la courbe correspondant au traitement sans apport de fumier (0t/ha) est au dessus des autres entre 0 et 30 kg N/ha ; et celle de 2t/ha est au dessus. C'est à la dose de 90 kg N/ha combinée à 3t/ha de fumier que le plus grand nombre d'épis pleins/ha (50127) est enregistré. Le plus faible nombre d'épis pleins/ha est fourni lorsqu'on apporte uniquement 2t/ha de fumier (30923).

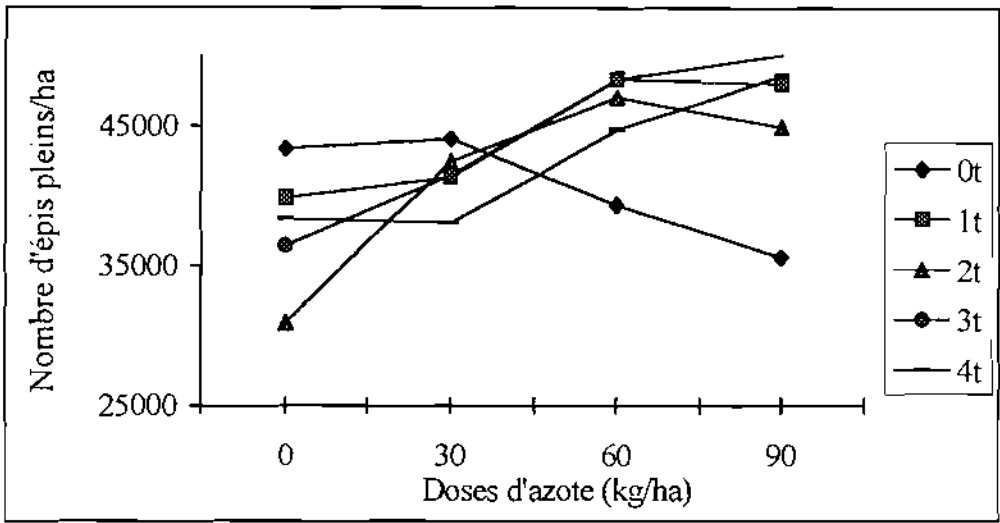


Figure 20: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) sur le nombre d'épis pleins/ha

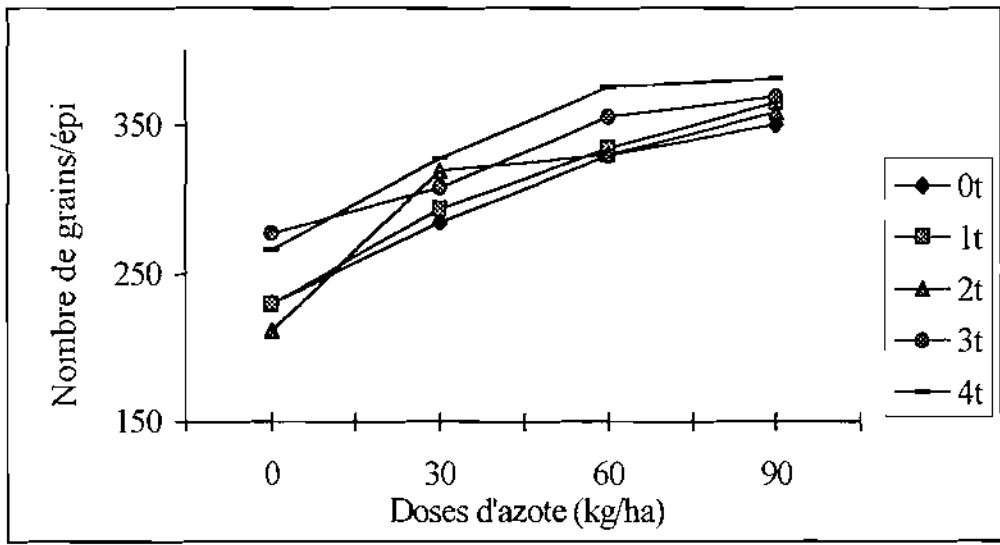


Figure 21: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) sur le nombre de grains/ha

En considérant la figure représentant le nombre de grains/épi (figure 21), et celle représentant le poids de 1000 grains (figure 22), la courbe correspondant au traitement sans apport de fumier (0t/ha) est de façon générale située en dessous des autres courbes. Celle correspondant à 4t/ha de fumier se trouve au dessus des autres. Pour le nombre de grains/épi, les plus fortes valeurs sont obtenues lorsqu'on applique la dose de 90 kg N/ha combinée à 4t/ha de fumier. Ainsi, obtient-on 381 grains comme le nombre de grains/épi le plus élevé. Quant au poids de 1000 grains, le poids le plus élevé (172 g) est fourni avec 60 kg N/ha et 4t/ha de fumier. Cependant en apportant uniquement 2t/ha (2t/ha combinée à 0N), on enregistre les plus faibles valeurs pour les nombre de grains/épi (212g) et le poids de 1000 grains (130 g).

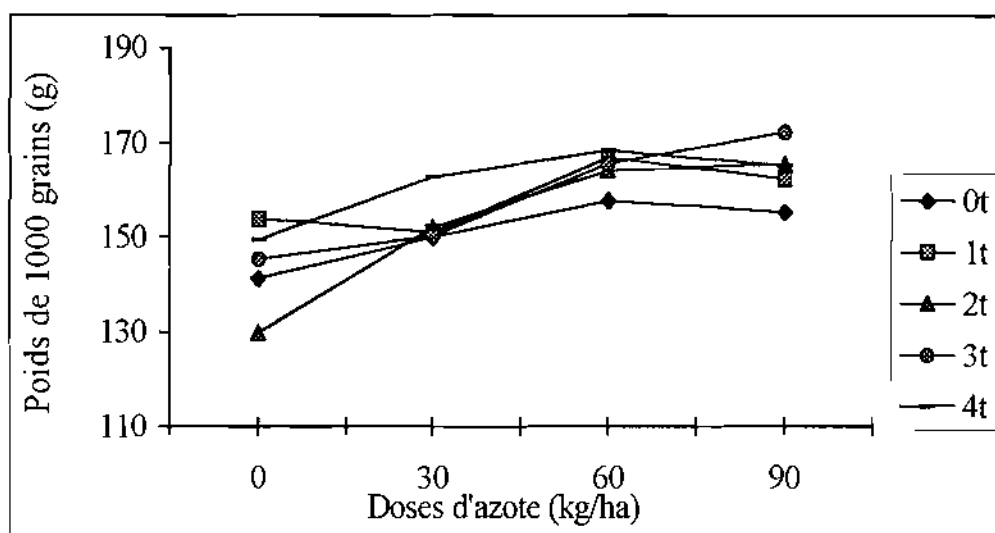


Figure 22: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) sur le poids de 1000 grains

La réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) sur le rendement grains du maïs est présentée par la figure 23. De façon générale, la courbe représentant le traitement sans apport de fumier (0t/ha) est située en dessous des autres courbes. Celle représentant la dose de 3t/ha de fumier, est de façon générale située au dessus des autres. Pour une dose de fumier donnée, les rendements augmentent en fonction des doses d'azote. Ainsi, enregistre t-on le rendement le plus élevé (3428 kg/ha) à 90 kg N/ha combinée à 3t/ha de fumier. Quant au plus faible rendement (916 kg/ha), il est obtenu lorsqu'on applique uniquement 2t/ha de fumier (sans apport d'azote).

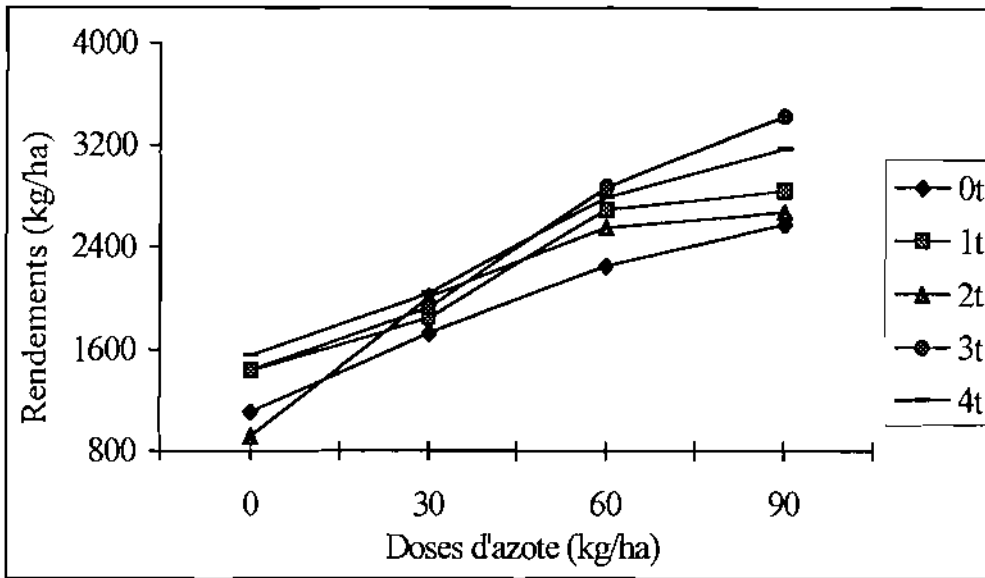


Figure 23: Réponse du maïs à l'azote en fonction des doses de fumier (t/ha) sur le rendement grains

III.1.3. ANALYSE ECONOMIQUE

III.1.3.1. Méthode des fonctions polynomiales du second degré

Les modèles de régression reliant les rendements du maïs et les doses d'azote ont été obtenues avec les fonctions du type $Y = aX^2 + bX + c$ où X est la dose d'azote en kg/ha et Y le rendement du maïs en kg/ha. Les constantes a , b et c sont les coefficients de l'équation. Ainsi pour chaque dose de fumier, ces fonctions sont représentées graphiquement par les figures 24 à 28.

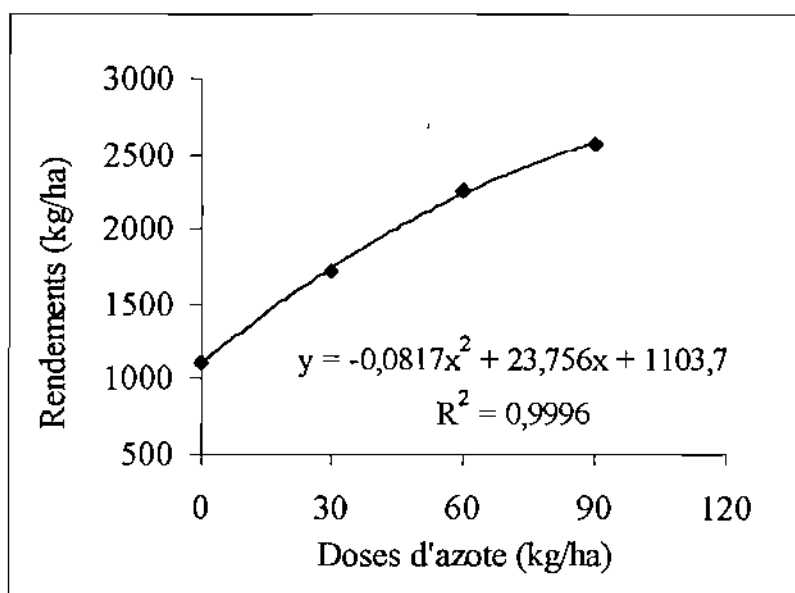


Figure 24: Fonction de production du rendement grains sans apport de fumier (0t/ha)

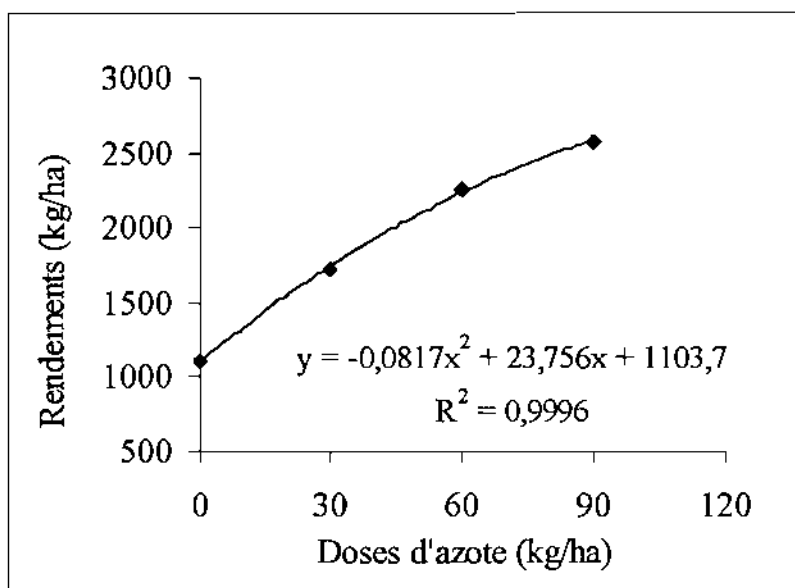


Figure 25 : Fonction de production du rendement grain du maïs pour 1t/ha de fumier

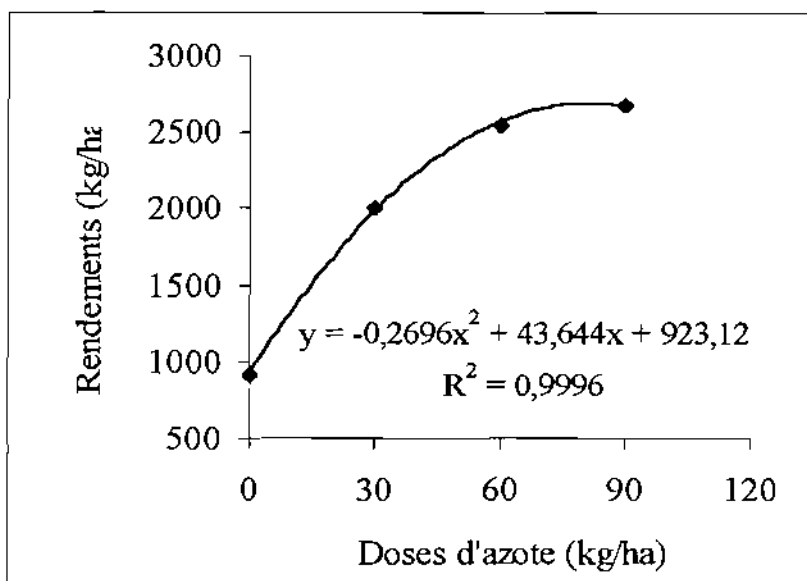


Figure 26 : Fonction de production du rendement grain du maïs pour 2t/ha de fumier

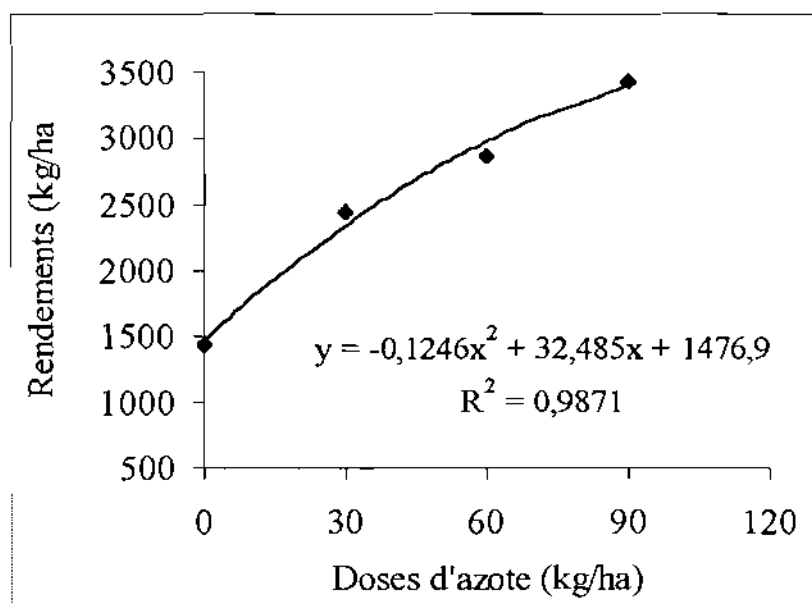


Figure 27 : Fonction de production du rendement grain du maïs pour 3t/ha de fumier

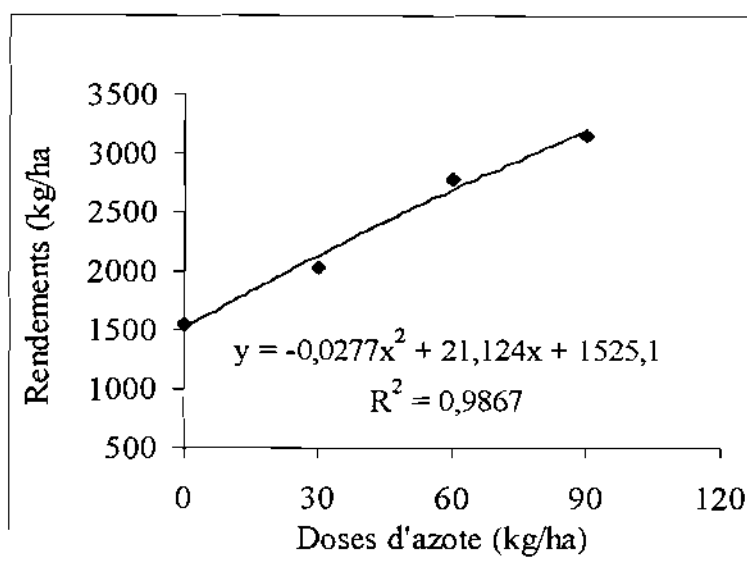


Figure 28 : Fonction de production du rendement grain du maïs pour 4t/ha de fumier

Les équations de régression calculées pour les différentes doses de fumier sont dans le tableau VI.

Tableau VI: Equations de régression reliant les rendements (kg/ha) du maïs en fonction des doses d'azote (kg/ha) selon la dose de fumier apportée (t/ha)

| Dose fumier (t/ha) | Equations de régression | R ² (%) |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 0 | $Y = -0,081x^2 + 23,756x + 1103,70$ | 99 |
| 1 | $Y = -0,081x^2 + 23,756x + 1103,70$ | 99 |
| 2 | $Y = -0,2696x^2 + 43,644x + 923,12$ | 99 |
| 3 | $Y = -0,1246x^2 + 32,485x + 1476,9$ | 98 |
| 4 | $Y = -0,0277x^2 + 21,124x + 1525,1$ | 98 |

Y = rendement

x = dose d'azote

Le coefficient de détermination (R²), très élevé, est supérieur à 98%. Selon ces coefficients, 98 à 99% des accroissements sont expliqués par l'augmentation des doses d'azote (BADO *et al.*, 1997). Seulement 1 à 2% sont dus à des facteurs autres que l'azote. Les productivités marginales de l'azote sont obtenues par les dérivées premières des équations. La productivité marginale de l'unité d'azote est obtenue quand N tend vers 1 dans la dérivée de chaque

équation. L'unité d'azote engendre des augmentations de rendement de 24 kg/ha, 24 kg/ha, 43 kg/ha, 33 kg/ha et 21 kg/ha respectivement pour les doses de 0, 1, 2, 3 et 4t de fumier

Les doses optimales d'azote permettant d'obtenir les rendements optimum ont été calculées à partir des équations de régression. La dose d'azote donnant le rendement optimum est obtenue quand la dérivée première de l'équation est égale à zéro. Elle est selon l'équation (3) : $-b/2a$. Les résultats sont présentés dans le tableau VII. Le rendement optimum obtenu avec une dose optimale ne donne pas nécessairement le meilleur profit à l'agriculteur. La rentabilité économique de l'engrais dépend principalement de son coût sur le marché et du prix de la production.

Sur le marché, pour la campagne hivernale 2001 , l'urée coûte 230 fcfa/kg (q). Le fumier coûte 7 fcfa/kg. Quant au kilogramme de maïs, il vaut 60f (p) et 130f (p) sur le site. La dose économique est obtenue d'après l'équation (5) par : $(q/p - b)/2a$. Les résultats sont présentés dans le tableau VII.

Tableau VII: Doses agronomique, économique et rendement du maïs

| Prix du maïs (fcfa) | Doses de fumier (t /ha) | Doses agronomiques d'azote (kg/ha) | Rendements agronomiques (kg/ha) | Doses économiques d'azote (kg/ha) | Rendements économiques (kg/ha) |
|---------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 60 | 0 | 145 | 2845 | 123 | 2800 |
| | 1 | 145 | 2845 | 123 | 2800 |
| | 2 | 81 | 2690 | 74 | 2676 |
| | 3 | 130 | 3594 | 115 | 3565 |
| | 4 | 381 | 5553 | 312 | 5419 |
| 130 | 0 | 145 | 2845 | 135 | 2819 |
| | 1 | 145 | 2845 | 135 | 2819 |
| | 2 | 81 | 2690 | 78 | 2686 |
| | 3 | 130 | 3594 | 123 | 3587 |
| | 4 | 381 | 5553 | 349 | 5352 |

Les rendements économiques calculés par les équations de régression sont donnés en fonction des doses de fumier (tableau VII). Ainsi pour chaque dose de fumier, correspond une dose agronomique et une dose économique. Les doses d'azote sont relativement plus élevées si l'on considère les rendements agronomiques. Cependant ces rendements sont quasi identiques aux rendements économiques. Les doses d'azote correspondant aux rendements économiques sont plus faibles que celles utilisées pour la détermination des rendements agronomiques.

Ces méthodes de calcul de la dose économique nous permettent de proposer au producteur pour différentes dose de fumier, la dose d'azote à utiliser pour une rentabilité économique (tableau VII). Cependant pour proposer la meilleure des combinaisons, une autre analyse économique basée sur le rapport valeur de la production sur coût des engrais (RVC) est nécessaire. Le tableau VIII donne pour la dose agronomique et économique, le RVC en fonction de chaque dose de fumier et de la situation du marché.

Tableau VIII: RVC de la dose d'azote économiquement rentable

| Prix maïs (fcfa) | Doses de fumier (t/ha) | RVC en ne tenant pas compte du coût du fumier | RVC en tenant compte du coût du fumier |
|---------------------|---------------------------|--|---|
| 60 | 0 | 5,9 | 5,9 |
| | 1 | 5,9 | 4,7 |
| | 2 | 9,4 | 5,2 |
| | 3 | 8,1 | 4,5 |
| | 4 | 4,5 | 3,3 |
| 130 | 0 | 12,9 | 12,9 |
| | 1 | 12,9 | 10,3 |
| | 2 | 20,4 | 11,2 |
| | 3 | 17,5 | 9,8 |
| | 4 | 9,8 | 7,1 |

D'après le tableau VIII, tous les RVC ont supérieurs à 2. Le tableau VIII montre que lorsque nous ne tenons pas compte du coût du fumier, le RVC est constant pour la dose de 0 et 1t/ha

de fumier. Il diminue de 2t/ha à 4t/ha de fumier. La dose de 2t/ha de fumier enregistre le plus fort RVC et 4t/ha le plus faible. Ceci est valable quelle que soit la situation du marché. Mais en tenant compte du coût du fumier, les ratios respectifs diminuent pour chaque dose de fumier par rapport à la situation où l'on ne considère pas le coût du fumier. De façon générale, ces ratios diminuent de 0t/ha à 4t/ha de fumier. Lorsqu'on n'apporte pas de fumier (0t/ha) et que l'on tient compte du coût du fumier, on enregistre le plus fort ratio.

III.1.3.2. Méthode linéaire plateau

La dose optimale peut aussi être déterminée graphiquement par la méthode linéaire plateau (MLP). Les figures 29 à 33 permettent de déterminer graphiquement la dose optimale. Cette dose optimale obtenue graphiquement est présentée dans le tableau IX. D'après ce tableau, la dose de 2t/ha de fumier enregistre la plus faible dose d'azote à appliquer. A l'exception de 2t/ha de fumier, plus la quantité de fumier à apporter est importante, plus la dose d'azote à appliquer est réduite. De façon générale, elle varie de 62 kg N/ha à 81 kg N/ha. Pour les doses de 0, 1 2t/ha de fumier, les rendements obtenus sont quasi identiques (environ 2600 kg/ha). Cependant, la dose d'azote pour 2t/ha de fumier est plus faible (62 kg N/ha) que celle requise (81 kg N/ha) à 0 et 1t/ha de fumier. Le rendement le plus élevé est obtenu avec 3t/ha de fumier combinées à 78 kg N/ha.

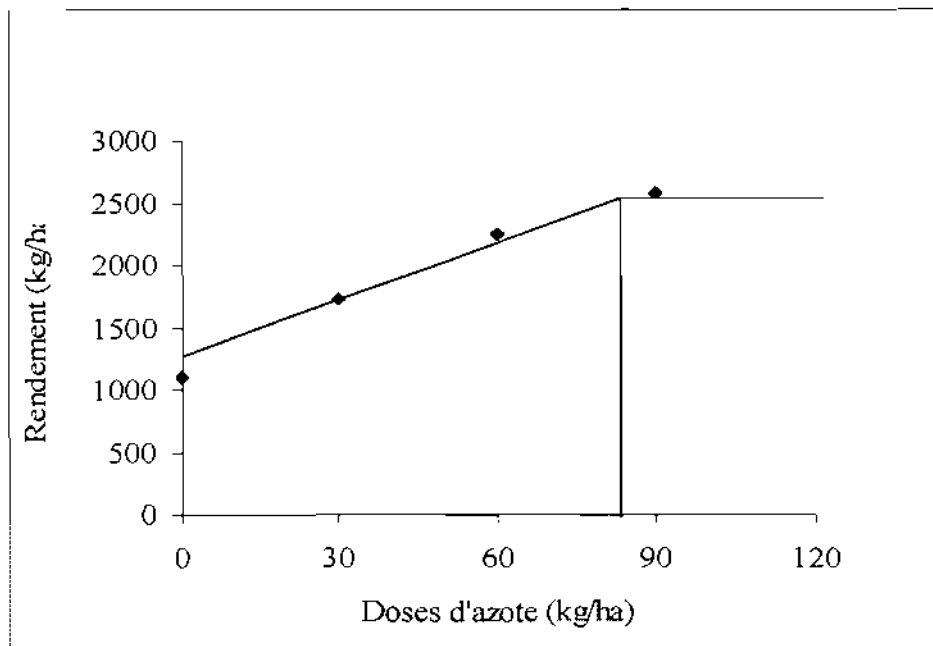


Figure 29: Dose agronomique d'azote, sans apport de fumier (0t/ha) par la méthode linéaire-plateau

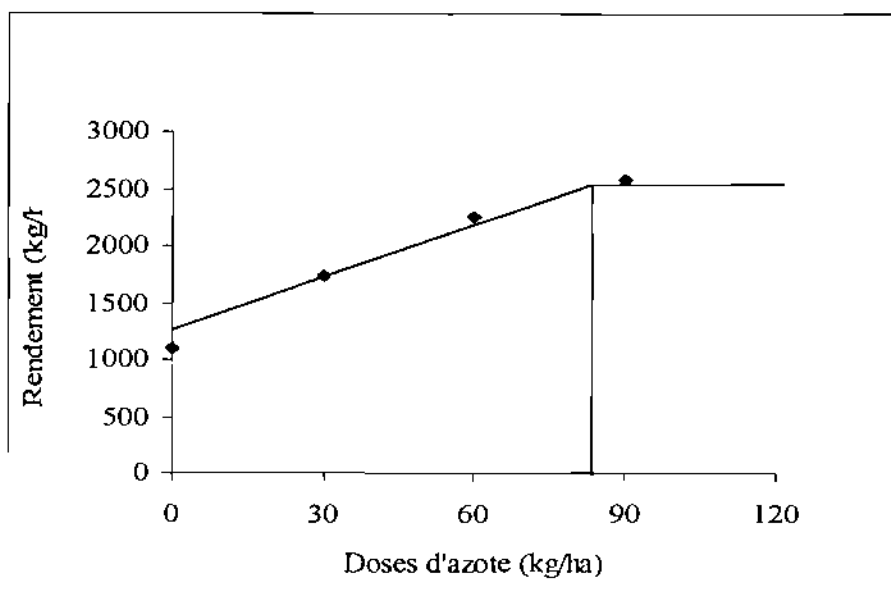


Figure 30 : Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire-plateau pour 1t/ha de fumier

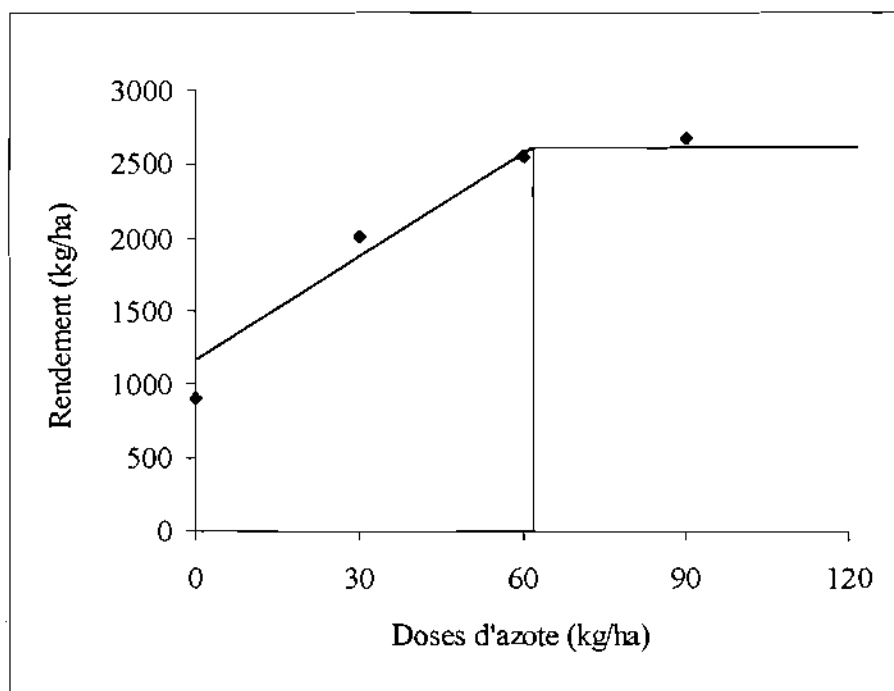


Figure 31 : Dose agronomique par la méthode linéaire-plateau pour 2t/ha de fumier

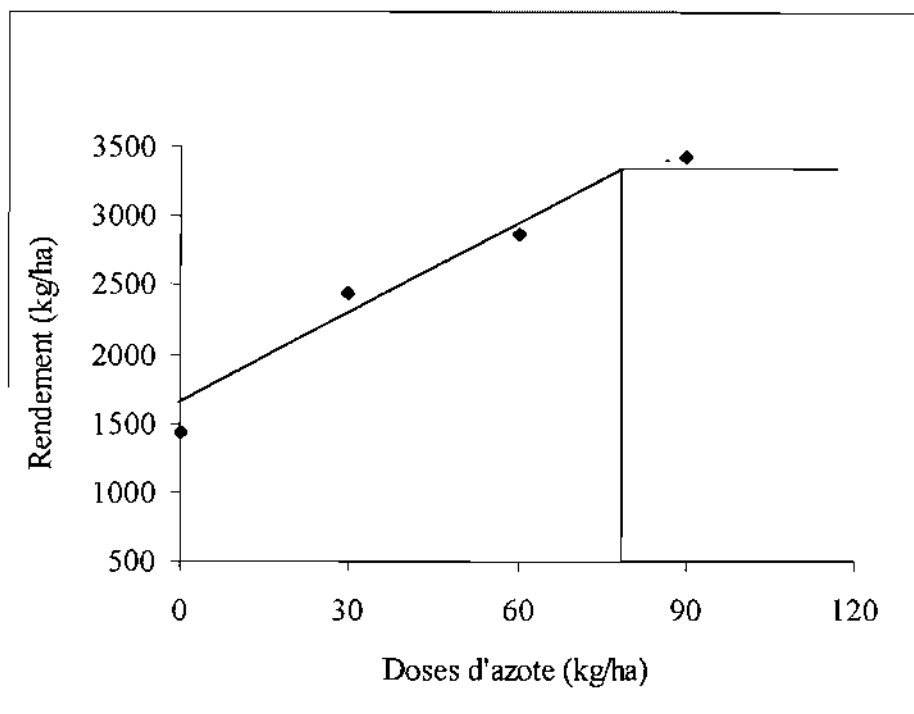


Figure 32 : Dose agronomique par la méthode linéaire-plateau pour 3t/ha de fumier.

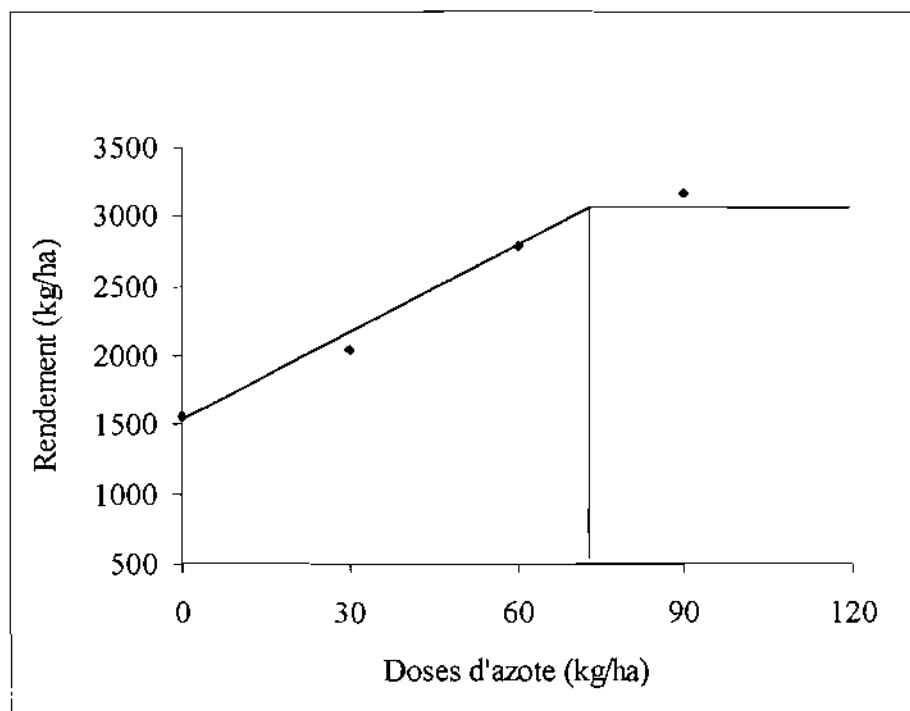


Figure 33 : Dose agronomique d'azote par la méthode linéaire plateau pour 4t/ha de fumier

Tableau IX: Doses optimales et rendements correspondant par le méthode linéaire-plateau

| Doses de fumier (t /ha) | Doses d'azote optimales. (kg/ha) | Rendements optimales. (kg/ha) |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| 0 | 81 | 2650 |
| 1 | 81 | 2650 |
| 2 | 62 | 2600 |
| 3 | 78 | 3300 |
| 4 | 72 | 3100 |

Ce tableau offre pour chaque dose de fumier la quantité d'azote que l'on doit appliquer. Pour proposer une meilleure combinaison de l'azote et du fumier, une analyse basée sur le ratio valeur sur coût de la production est effectuée.

Pour cette analyse, nous distinguerons deux situation deux marchés et selon que le fumier est acheté ou que le producteur en dispose.

Tableau X: RVC de la dose optimale par la méthode linéaire plateau

| Prix maïs (fcfa) | Dose fumier (t/ha) | RVC en ne tenant pas compte du coût du fumier | RVC en tenant compte du coût du fumier |
|---------------------|-----------------------|--|---|
| 60 | 0 | 8,5 | 8,5 |
| | 1 | 8,5 | 6,3 |
| | 2 | 10,9 | 5,5 |
| | 3 | 11,1 | 5,1 |
| | 4 | 11,2 | 4,2 |
| 130 | 0 | 18,5 | 18,5 |
| | 1 | 18,5 | 13,4 |
| | 2 | 23 | 12 |
| | 3 | 24 | 11 |
| | 4 | 24,3 | 9 |

Au regard du tableau X, tous les RVC sont supérieurs à 2. Comparés aux ratios obtenus par la méthode des fonctions polynomiales du second degré, les ratios obtenus par la méthode linéaire-plateau sont plus élevés. Les plus forts sont obtenus lorsqu'on ne tient pas compte du coût du fumier. En ne tenant pas compte du coût du fumier, ces ratios augmentent au fur et à mesure que la dose de fumier augmente à l'exception de 0 et 1t/ha où il est constant pour les deux doses de fumier. Dans cette situation, 3 et 4t/ha de fumier enregistre les plus forts ratios, et sont quasi identiques. Cependant lorsque l'on tient compte du prix du fumier, ces ratios diminuent de 0t/ha de fumier à 4t/ha de fumier. Dans cette situation, lorsqu'on apporte pas de fumier (0t/ha), on enregistre le plus fort ratio.

III.2.: DISCUSSIONS

Nos résultats montrent que l'azote a un effet très positif sur toutes les composantes de rendement. En effet la biomasse totale, le poids des épis, le nombre de grains /épi et le poids des 1000 grains augmentent avec les doses d'azote et confirment ceux de YARO *et al.* (1997); KABRAH *et al.* (1996). Ces auteurs estiment que tous les paramètres du rendement augmentent avec les doses croissantes de fertilisants. Ils attribuent cela à une forte demande en éléments minéraux (N et P surtout). Pour toutes les composantes, lorsqu'on n'apporte pas d'azote (0N), on enregistre les plus faibles valeurs et quand on applique 90 kg N/ha on obtient les plus fortes valeurs. Pour ce qui est du nombre de plants/ha, certains auteurs montrent que pour une variété donnée, cette composante ne change pas quelle que soit la dose d'azote (TRAORE et CISSE, 1976). Cependant, nos résultats montrent qu'il y a une différence entre les doses d'azote pour le nombre de plants/ha lorsque les doses d'azote sont combinées à des doses croissantes de fumier. Cette différence entre nos résultats et ceux de TRAORE et CISSE, (1976) pourrait s'expliquer par le fait que nos doses d'azote sont combinées au fumier. KABRAH *et al.*(1996) ont trouvé des résultats similaires.

Quant au fumier, les résultats montrent que, les doses de fumier appliquées n'ont pas d'effet significativement différent sur les composantes du rendement à l'exception la biomasse et le poids des épis. Or KABRAH *et al* (1996); YARO *et al.* (1997), en utilisant des doses de fumier de 5 à 10t/ha, ont conclu que toutes les composantes de rendement sont influencées par les doses de fumier. Nos résultats peuvent s'expliquer certainement par le fait que nos doses

de fumier sont faibles et n'ont pas pu induire des différences perceptibles sur chaque composante.

Lorsque l'azote est combiné au fumier, les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les différentes associations. L'emplacement de la courbe représentant le traitement sans apport de fumier (0t/ha) et la comparaison des valeurs de ses composantes de rendement par rapport aux traitements où l'azote est combiné au fumier montre qu'il y a un surplus. Ce surplus peut s'expliquer certainement par l'apport de fumier. D'après YARO *et al* (1997), la relation entre la matière organique et les composantes de rendement montre que l'action du fumier est très bénéfique pour ces dernières. Ils expliquent cela non seulement par le rôle nutritif que joue le fumier, mais aussi par sa capacité à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol et par conséquent l'augmentation de l'efficacité des engrais azotés (SEDOGO, 1981; BADO, 1994). Pour toutes les composantes, la combinaison 90 kg N/ha et 3t/ha de fumier fournit le meilleur résultat.

Le rendement grain augmente avec les doses d'azote; et il est encore meilleur si l'azote est combiné au fumier. Le rendement dépend des quantités d'éléments prélevés surtout N et P (YARO *et al.*, 1997). Ce qui fait qu'en absence de fumier, les forts rendements (3028 kg/ha) sont obtenus avec les fortes doses d'azote (90N). Ce résultat est en accord avec celui de YARO *et al.*(1997), BADO *et al.* (1991), UYOVBISERE *et al.* (1999). Pour ces auteurs, l'apport de fumier augmente les rendements. En effet, ils expliquent cela par le fait que si les engrais minéraux sont appliqués seuls, les divers éléments sont facilement lessivables et deviennent indisponibles pour la plante). L'apport combiné de la matière organique et des engrais minéraux permet de réduire ces pertes et d'augmenter l'efficacité des engrais azotés. SEDOGO (1981) estime qu'en présence de substrats organiques surtout à C/N faibles comme le fumier, l'apport d'engrais azotés permet d'augmenter la production de matière sèche et la nutrition azotée de la culture. Pour KABRAH *et al.* (1996), l'utilisation concomitante de matière organique et des engrais minéraux favorise l'alimentation hydrique et la nutrition minérale du maïs. En effet, pour les traitements ayant reçu du fumier, l'alimentation hydrique de la plante est favorisée le long du cycle végétatif par la matière organique qui maintient le stock en eau du sol dans le domaine de la réserve facilement utilisable (YARO *et al.*, 1997). De nombreux auteurs ont signalé cet effet bénéfique du fumier sur l'efficacité des engrais minéraux et la productivité des sols en Afrique de l'ouest (SEDOGO, 1981; PIERI, 1989).

Pour une dose de fumier donnée, les rendements augmentent avec les doses croissantes d'azote. La minéralisation de la matière organique libère aussi des éléments nutritifs qui contribuent forcément à l'alimentation minérale de la plante. Cette activité est plus intense en présence de fortes doses d'engrais (SEDOGO, 1981) et pourrait expliquer cette augmentation de rendement en fonction des doses croissantes d'azote pour une dose de fumier donnée.

En considérant chaque dose donnée de fumier, la méthode de calcul utilisant les fonctions de production pour calculer la dose optimale suggère des doses d'azote relativement plus élevées. La dose optimale est une estimation de la quantité d'azote à appliquer pour avoir le rendement maximum sans tenir compte de la rentabilité de l'investissement. Pour CERRATO et BLACKMER, (1990) cités par BADO *et al.* (1997), la méthode de calcul de la dose optimale utilisant les modèles de régression quadratique tend à surestimer les besoins en azote des cultures. En tenant compte des réalités du marché, la dose optimale n'est pas forcément la plus économiquement rentable. En effet, si l'on prend en compte le coût des engrais et du maïs, on enregistre les doses économiques qui sont relativement plus faibles. Ces doses économiques paraissent être plus réalistes dans la mesure où elles procurent à peu près les mêmes rendements que ceux obtenus avec les doses optimales. De ce fait, la dose économique paraît être plus réaliste. En considérant les doses économiques et en se basant sur le RVC, on détermine parmi les différentes associations azote/fumier, celle qui est la plus rentable.

L'analyse économique basée sur le RVC montre que les RVC de toutes les doses sont supérieures à 2; donc ils sont tous économiquement rentables (WOLFF, 1995). La combinaison la plus rentable est celle dont le RVC est le plus élevé. Ainsi lorsque l'on ne tient pas compte du coût du fumier, et quelle que soit la situation du marché, la combinaison de 2t/ha de fumier et 74 kg N/ha est la plus rentable. En tenant compte du coût du fumier, la meilleure combinaison (meilleur RVC) est celle où l'on apporte que de l'azote à la dose de 123 kg/ha (0t de fumier/ha). Or cette quantité d'azote est trop élevée par rapport même aux recommandations. De nos jours on préconise 97 kg N/ha en culture intensive et semi-intensive (SANOU, 1998). Dans cette situation la combinaison de 2t/ha de fumier et 74 kg N/ha est la plus rentable.

Cependant avec la méthode linéaire plateau, on enregistre des doses d'azote relativement plus faibles que celles économiques; et les rendements obtenues ne sont pas significativement différents. Pour les doses de 0 à 3t/ha de fumier, de la méthode des fonctions de production

économique à la méthode linéaire-plateau, les doses d'azote diminuent de 16 à 32% alors que les rendements ne diminuent que de 2 à 7%. La dose d'azote correspondant à 4t/ha de fumier diminue de 76% alors que le rendement ne baisse que de 43%. Outre cela, les doses économiques sont pour la plupart supérieures aux recommandations faites en cultures de maïs (SANOU, 1998). Cette méthode suggérant des doses d'azote relativement plus faibles, est donc plus efficace. CERRATO et BLACKMER (1990) cités par BADO *et al.* (1997) avaient démontré l'efficacité de la méthode linéaire-plateau de Liebig en 1885 pour estimation des besoins en éléments nutritifs de la culture. Cette méthode rapide et simple, présente en plus l'avantage de minimiser les risques pour le producteur en suggérant des doses moins élevées mais qui procurent une augmentation significative de rendement. Ainsi avec cette méthode nous proposons en définitive les différentes combinaisons pour chaque dose de fumier. Les ratios obtenus avec les doses optimales permettent de proposer la meilleure combinaison azote fumier économiquement rentable.

Tous les ratios sont également supérieurs à 2. Les deux meilleurs ratios sont obtenus avec les doses de 3 et 4t/ha de fumier lorsqu'on ne tient pas compte du coût du fumier. De plus leurs rendements sont quasi identiques. Dans ces conditions nous proposons la combinaison de 3t de fumier/ha et 72 à 78 kg N/ha. Mais dès que l'on tient compte du coût du fumier, le meilleur ratio est obtenu lorsqu'on n'apporte pas de fumier à la culture (0t/ha) et le plus faible est enregistré avec l'apport de 4t/ha de fumier. Dans ce cas, la combinaison d'azote avec 0t/ha de fumier est la plus rentable. Cependant pour une production à long terme, l'apport d'engrais minéraux uniquement n'est pas conseillé. En effet la fertilisation exclusivement minérale accentue la diminution du carbone organique et la désaturation du complexe en bases échangeables ; et de plus augmente l'acidité d'échange constituée essentiellement par l'aluminium échangeable (MOREL, 1989). Dans ce cas, le deuxième meilleur ratio qui est celui de 1t/ha de fumier est considéré pour la proposition de la meilleure combinaison. Ainsi lorsqu'on tient compte du coût du fumier la combinaison de 1t/ha de fumier et 81 kg N/ha est conseillée.

CONCLUSION GENERALE

Notre travail avait pour objectif d'étudier l'effet de l'urée et du fumier sur les rendements du maïs. Pour mieux appréhender cet effet, nous nous sommes basés sur l'évaluation des composantes de rendement et du rendement grains.

L'étude montre que les composantes de rendement sont proportionnelles aux doses d'azote utilisées. Pour toutes les composantes de rendement, la dose de 90 kg N/ha produit les meilleurs résultats et lorsqu'on n'apporte pas de d'azote (0N), on obtient les plus faibles résultats.

En ce qui concerne les doses de fumier, nos résultats montrent que c'est surtout au niveau de la biomasse et du poids des épis que les doses de fumier sont significativement différentes entre elles. Ces deux paramètres agronomiques enregistrent leurs plus fortes valeurs respectives avec la dose de 4t/ha de fumier. De façon générale les plus faibles valeurs sont obtenues avec le traitement sans apport de fumier (0t/ha).

Le rendement grain est aussi affecté par le niveau d'azote. Les rendements sont proportionnels aux doses d'azote. Comme pour les composantes de rendement, la dose de 90 kg N/ha appliquée seule donne le rendement le plus élevé et le traitement sans apport d'azote (0N) le plus faible. Quant au fumier, les doses sont différentes les unes des autres et le rendement croît de façon générale avec la dose de fumier.

Lorsque l'azote est combiné au fumier, les valeurs enregistrées au niveau des composantes de rendement et le rendement grains sont supérieures par rapport au traitement où l'azote est utilisé seul.

Tout comme les autres céréales, la productivité du maïs dépend de la fertilité initiale du sol en N et de la fumure. Pour espérer une augmentation significative de la production, toute formule de fumure doit nécessairement résoudre en premier lieu la déficience en azote des sols. Le calcul de la dose optimale d'azote utilisant les modèles de régression quadratique tend à surestimer les doses d'azote et peut occasionner des pertes financières pour le producteur. La

méthode linéaire-plateau et la méthode d'estimation par le calcul de la dose d'azote économiquement rentable sont les mieux adaptées pour estimer les besoins en azote du maïs. Mais la méthode linéaire-plateau est encore plus efficace. Nos résultats offrent la dose d'azote la plus rentable pour chaque dose de fumier.

Ainsi, d'une part, si on dispose de 1t/ha de fumier, il faut apporter 81 kg N/ha . Mais avec 2t/ha de fumier, on associe 62 kg N/ha. D'autres parts avec 3t/ha de fumier il faut 78 kg N/ha et pour une disponibilité en fumier de 4t/ha, l'association d'une telle dose à 72 kg N/ha est préconisée.

Dans le cas où le coût du fumier n'est pas pris en compte, il faut combiner à 3t/ha de fumier 72 à 78 kg N/ha . Lorsque le prix du fumier est pris en compte, il faut combiner à 1t/ha de fumier à 81 kg N/ha.

Cette étude nous a permis de déterminer des combinaisons intéressantes de fertilisants pour le producteur. Il serait souhaitable de poursuivre l'essai sur 3 ou 4 ans. Mais cette fois ci les parcelles ayant reçu de l'azote et/ou du fumier n'en reçoivent aucun de ces éléments. On peut alors mieux percevoir les effets du fumier. Aussi étendre cette méthode de calcul dans la production agricole pour les autres spéculations serait un apport considérable pour le développement du secteur agricole au Burkina Faso.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BACYE B., FELLER C. et MOREAU R., 2000. Dynamique de l'azote minéral en présence ou non de poudrette de fumier dans un sol hydromorphe à pseudogley de bas-fond en zone sahélo-soudanienne au Burkina Faso. Annales de l'université de Ouagadougou, Série B, vol. VIII, 2000; pp 64-83.

BADO B.V., 1994. Modification chimique d'un sol ferrallitique sous l'effet de fertilisants minéraux et organiques: conséquences sur les rendements d'une culture continue de maïs, 57 p + annexes.

BADO B. V., KABORE A. et THIOP B., 2002. Les capacités de fixations symbiotiques de l'azote et les valeurs de remplacement en engrais azotée de l'arachide et du niébé dans la zone nord guinéenne du Burkina Faso . Recueil de recommandations scientifiques à l'atelier de la 5^{ème} édition du Forum National de la Recherche Scientifique et des Innovations technologiques (FIRSIT), 30p.

BADO B.V., SEDOGO P.M., HIEN V. et LOMPO F., 1991. Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière: l'expérience du Burkina. in, A.U.MOKUWNYE (Ed.) Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa, 115-123. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

BADO B. V., TAPSOBA M. et KAMBIRE S. H., 1997. Efficacité agronomique de l'azote sur le riz pluvial au Burkina Faso, 17 pages.

BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979. Pédologie 2 : constituant et propriétés du sol, Edition Masson, 460 pp.

CHIANG C. N. et SOUDI B., 1994. Biologie du sol et cycles biogéochimiques in TAYEB AMEZIANE. E. H. ; PERSOONS E.; Agronomie moderne: bases physiologique et agronomique de la production végétale. Hatier- AUPELF-UREP., 85-118p

CHOTTE J. L., LOURI J., CASTELLANET J. M., DE GUIRAN E., CLAIRON M. et MAHIEU M., 1990. Effets des divers précédents culturaux sur l'utilisation de l'N par un maïs, apport d'urée ^{15}N sur quatre types de sols tropicaux ; IRAT, Petite Antille. *Agronomie Tropicale*, 45, (1) : pp 67-73.

EDZANG O. V., 2000. Effet de la date d'application de l'azote sur les composantes du rendement et les rendements des variétés de maïs à cycle intermédiaire, précoce et extra précoce. Mémoire de fin d'études IDR, Université Polytechnique de Bobo - Dioulasso, 49p.

FALISSE A. et LAMBERT J., 1994. Fertilisation minérale et organique. in TAYEB AMEZIANE E.H.; PERSONS E.; *Agronomie Moderne: Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale*. Hatier-AUPELF-UREF, 377-398.

FAO., 1997. Engrais et nutrition végétale: emploi rationnel des engrais sur les sols acides en zones tropicales humides. pp 2-14.

GANRY F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse : Sciences Naturelles; université de Nancy I, 354 pp.

GBIKPI P., 1996. "L'agriculture burkinabe" Projet d'appui au PASA, MARA/CF; octobre 1996.

GIGOU J., 1982. Dynamique de l'azote minéral en sol nu ou cultivé de région tropicale sèche du nord Cameroun. Thèse de Docteur – Ingénieur, Université de Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France 171 pp.

GIGOU J. et CHABALIER C.F., 1987. L'utilisation de l'engrais azoté par les cultures annuelles en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropical* vol 42; n° 3; 171-175.

GOMEZ A.K., et GOMEZ A.A., 1984. *Statistical procedurs for agricultural research* Institute, 680 pp.

GROS A., 1975. Engrais, Guide pratique de la fertilisation. Maison rustique - Paris, 436 pp.

GUINKO S., 1984. Végétation de la haute volta. These de Doctorat d'Etat Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III, 318p.

INERA., 1993. Rapport d'activités. Campagne 1991-1992. Programme de recherche sur les systèmes de production (RSP).

INERA., 1996. Raisonnement de la fertilisation azotée du maïs en zone de savane ouest africain en fonction des conditions pedoclimatiques. Projet STD3, N° T53 – CT94 – 0262.

INERA-GRN/SP ouest; 1999. La recherche sur la gestion des ressources naturelles et les systèmes de production en zone ouest du Burkina Faso: Bilan de dix années de recherche, 31 pp.

KABRAH Y., YAO N. R., DEA G. B. et COULOU D. J. Y., 1996. Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs. Cahiers Agricultures 1996; 5:189-93.

KAMBIRE S.H., SEDEGO P.M. et HIEN V., 1999. Efficience de la fertilisation azotée du maïs dans la zone ouest du Burkina Faso: Effet de la date d'installation de la culture et du sol. Communication présentée à l'atelier régional sur le maïs pour l'Afrique Occidentale et Centrale, 3-7 mai, IITA-Cotonou, Bénin.

MANDO A., 1998. Mulch and termites improve nutrient release and crop performance on crusted sahelian soils. Arid Soil Rehabilitation & Research, 8 : 269-278. Taylor & Francis.

MINISTERE de la COOPERATION FRANCAISE (MCF), 1993. Mémento de l'agronome. Collection Technique rurale en Afrique, 1601p.

MOREL . R, 1989. Les sols cultivés, Ed. Techniques et Documentation, Lavoisier, 374 pp.

N'DIAYE M. et SIDIBE M., 1999. Recherche de formules d'engrais N-P-K économiquement rentable pour la culture du maïs pluvial dans le centre sud du sénégal. Communication présentée à l'atelier régional sur le maïs pour l'Afrique occidentale et centrale, 3-7 mai, IITA - Cotonou, Bénin.

PIERI C., 1982. Estimation du bilan des pertes moyennes en eaux et en éléments minéraux dans une succession culturale mil – arachide. Rapport de mission, 26 p.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trentes années de recherche et de développement agricole au sud du sahara. Ministère de la coopération-IRAT/CIRAD. 444 pp.

SALVATORE D. et EUGENE A. D., 1987. Principes d'économie, cours et problèmes. Série Schawn, 423p.

SANOUE J., 1998. Indications pour réussir la culture de maïs. Fiche technique.

SEDEGO P.M., 1981. "Contribution à la réalisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride": matière organique du sol et nutrition azotée des cultures. Thèse de docteur-ingénieur, université de Nancy I (INPL); 195 pp.

SEDEGO P.M., BADO B.V., CESCAS M.P., LOMPO F. et BATIONO A., 1997. Effet à long terme des fumures sur les sols et les rendements du maïs au Burkina Faso. Cahier d'Agriculture; 6 : 571-575.

SIVAKUMAR M.V.K. et GNOUMOU F., 1987. Agro-climatologie de l'Afrique de l'ouest:Burkina Faso.

TAPSOBA M., 1997. Contribution à l'étude des besoins nutritifs du riz pluvial dans la zone ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude IDR, Université Polytechnique de Bobo - Dioulasso, p37-46.

TRAORE M. et CISSE F., 1976. Etude de la fumure minérale azotée intense des céréales et du rôle spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali. Agronomie tropical. 5: 29

UYOVBISERE E. O., CHUDE V. O. and BATIONO A., 1999. Promising nutrient ratios infertilizer formulations for optimal performance of maize in the Nigérian savana: The need for a review of current recommendations. In Strategy for sustainable maize production in west and central Africa. International Institute of tropical Agriculture, p 263-271.

WOLFF H. P., 1995. Economie agricole I: théorie de décision, analyse des exploitations agricoles, méthodes de planification I. Faculté des Sciences Economiques et de Gestion (FASEG), université de Ouagadougou, 97 p

YARO D. T., IWUAFOR E. N. O., CHUDE V. O. and TARFA B. D., 1997. Use of organique manure and inorganique fertilizer in maize production: A field evaluation. In strategy for sustainable maize production in west and central Africa, 237-239p.

ANNEXES

ANNEXE 1: Fiche technique de la variété de maïs SR22

Synonyme : EV 8422 SR (BC 4)
Origine génétique : Mezcla Tropical Blanco x Variété résistante au MSV
Origine géographique: Ibadan (Nigéria)
Type variétal : variété composite

CARACTERES VEGETATIFS

Cycle semis-floraison male : 60 jours
Cycle semis-maturité : 105 - 110 jours
Hauteur de la plante : 210 cm
Hauteur d'insertion de l'épi : 105 cm

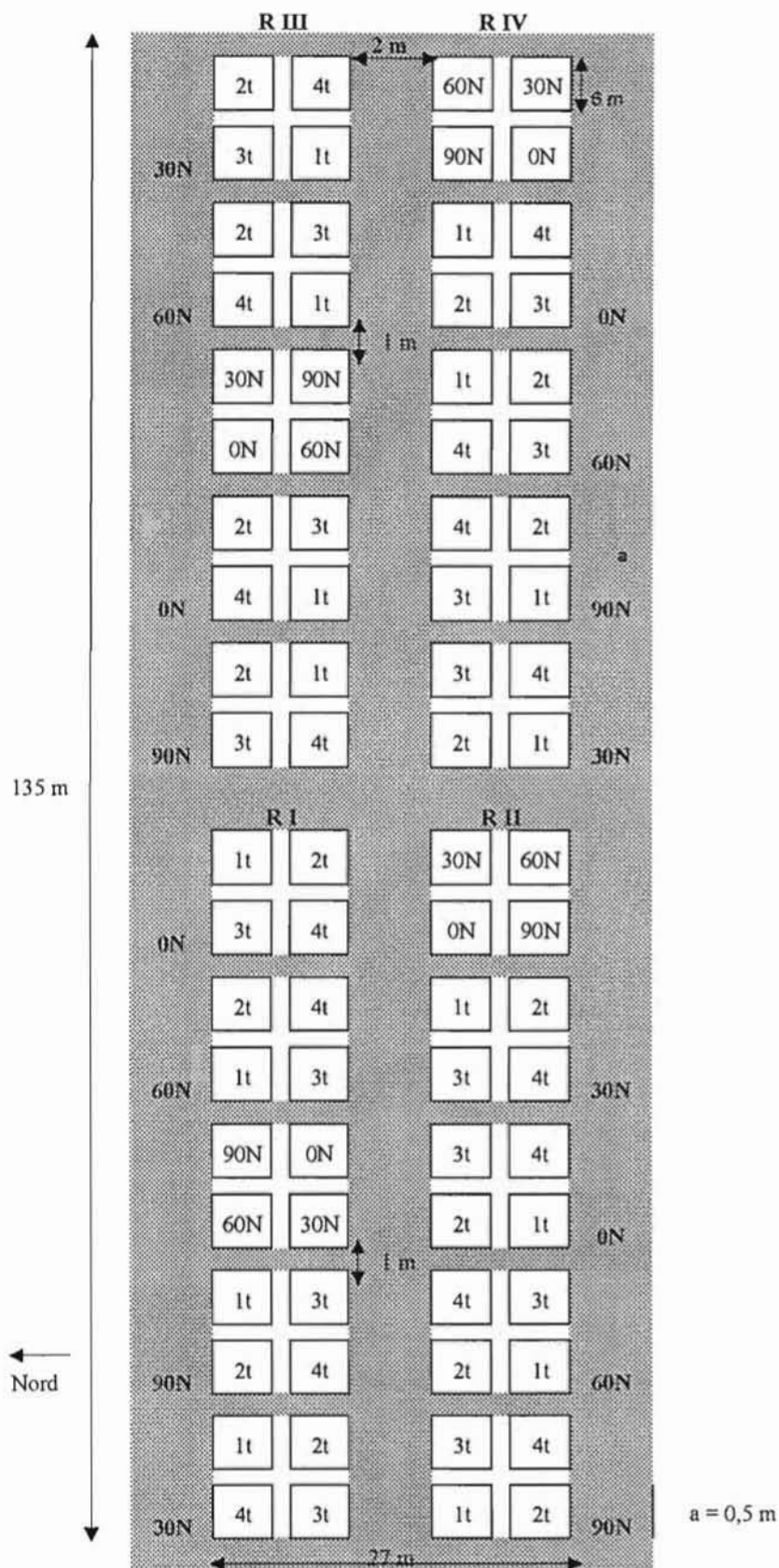
CARACTERES DU GRAIN

Couleur : blanc
Texture : denté- corné

CARACTERES AGRONOMIQUES

Résistance à la verse : correcte
Résistance à la casse : bonne
Comportement vis à vis des ennemis des cultures
 Helminthosporiose : tolérante
 Rouille : tolérante
 Virose : résistant au maïze streak virus (MSV)
Potentiel de rendement : 4t/ha (pluviométrie supérieur à 900mm)

ANNEXE 2: Dispositif expérimental de l'essai maïs à Farako-ba



ANNEXES 3 : Calendrier cultural de l'essai maïs à Farako-ba en 2001

- 27 – 28 / 06 : labour attelé
- 05 / 07 : hersage de l'essai
- 07 / 07 : début piquetage et planage
- 09 / 07 : fin piquetage
- 10 / 07 : fin planage
- 12 – 13 / 07 : rayonnage et semis
- 26 / 07 : démariage à deux plants
- 27 / 07 : apport engrais de fond plus enfouissement aux bœufs
- 28 / 07 : désherbage manuel
- 01 / 08 : 1^{er} sarclage manuel plus apport de fumier
- 09 / 08 : sarclage attelé
- 24 / 08 : apport urée au 60^{ème} jour plus buttage attelé
- 08 – 12 / 10 : sarclages à la demande des traitements les plus enherbés
- 27 / 10 : comptage nombre de poquets et plants
- 30 / 10 : récolte
- 07 / 11 : poids paille par parcelle utile
- 10 / 11 : poids épi et début égrenage
- 19 / 11 : poids grains, rafles et épis vides