

BURKINA FASO

Unité-Progress-Justice

**Ministère des Enseignements Secondaire, Supérieur et de
la Recherche Scientifique**

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE
BOBO-DIOULASSO
(U.P.B.)

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

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL
(I.D.R.)

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

STATION DE RECHERCHES AGRICOLES DE
FARAKO-BA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : **AGRONOMIE**

Effets de la date d'application d'azote sur les
composantes du rendement et les rendements des
variétés de maïs à cycles intermédiaire, précoce et
extra-précoce

Directeur de Mémoire : Dr **BACYE Bernard**

Maître de stage : Dr **KAMBIRE Sami Hyacinthe**

Juin 2000

EDZANG ONDO Vincent

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
RESUME.....	ix
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
1.1 - PROBLEMATIQUE DE LA FERTILITE AZOTEE.....	2
1.1.1 – LES SOURCES D’AZOTE DANS LE SOL.....	2
1.1.1.1 <i>Les apports par la matière organique.....</i>	<i>2</i>
1.1.1.2 <i>Fixation biologique de l’azote atmosphérique.....</i>	<i>3</i>
1.1.1.3 <i>Les apports atmosphériques.....</i>	<i>4</i>
1.1.1.4 <i>Les apports par les engrais.....</i>	<i>5</i>
1.1.2 – LES PERTES D’AZOTE DANS LE SOL.....	5
1.1.2.1 <i>Les exportations par les récoltes.....</i>	<i>5</i>
1.1.2.2 <i>Les pertes par l’érosion et ruissellement.....</i>	<i>6</i>
1.1.2.3 <i>Immobilisation ou réorganisation de l’azote.....</i>	<i>6</i>
1.1.2.4 <i>Rétrogradation de l’azote.....</i>	<i>8</i>
1.1.2.5 <i>Les pertes d’azote sous forme gazeuse.....</i>	<i>8</i>
1.1.2.6 <i>La lixiviation de l’azote.....</i>	<i>9</i>
1.2 – DYNAMIQUE DE L’AZOTE DANS LE SOL.....	10
1.3- FERTILISATION AZOTEE DU MAÏS.....	12
1.3.1 – ROLE AGRONOMIQUE DE L’AZOTE.....	12
1.3.1.1 <i>L’excès d’azote.....</i>	<i>12</i>
1.3.1.2 <i>Les carences azotées.....</i>	<i>13</i>
1.3.2 – LES BASES DE LA FERTILISATION AZOTEE.....	13
1.3.2.1 <i>Evaluation des besoins totaux en azote.....</i>	<i>13</i>
1.3.2.2 <i>Evaluation des fournitures par le sol.....</i>	<i>14</i>
1.3.2.3 <i>Evaluation des possibilités de récupération de l’azote par les racines.....</i>	<i>14</i>
1.3.2.4 <i>Rythme d’absorption de l’azote par le maïs.....</i>	<i>14</i>
1.3.3 – UTILISATION DE L’AZOTE PAR LA PLANTE.....	15
1.3.3.1 <i>Mobilisation de l’azote par les cultures.....</i>	<i>15</i>
1.3.3.2 <i>Utilisation par les plantes de l’azote des engrais.....</i>	<i>15</i>
1.3.3.3 <i>Les facteurs influant sur l’utilisation de l’azote.....</i>	<i>16</i>
CONCLUSION.....	18
CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D’ETUDE ET METHODOLOGIE.....	19

2.1 - CARACTERISATION DU SITE D'ETUDE.....	19
2.1.1 – LOCALISATION.....	19
2.1.2 – CLIMAT.....	20
2.2 - MATERIEL ET METHODE.....	23
2.2.1 – MATERIEL.....	23
2.2.1.1 – Les sols.....	23
2.2.1.2 – Le matériel végétal.....	24
2.2.1.3 – Fertilisants.....	25
2.2.2 – METHODOLOGIE.....	25
2.2.2.1 – Dispositif expérimental.....	25
2.2.2.2 – Conduite de l'essai.....	26
2.2.2.3 – Les paramètres mesurés.....	27
CHAPITRE 3 : RESULTATS-DISCUSSION.....	27
3.1 - RESULTATS.....	28
3.1.1- RENDEMENT EN PAILLE DE MAÏS.....	28
3.1.1.1 - Effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en paille.....	28
3.1.1.2- Effet du facteur "variété " sur le rendement en paille.....	29
3.1.1.3 - Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.....	29
3.1.2- RENDEMENT EN GRAIN.....	30
3.1.2.1 - Effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en grain de maïs.....	30
3.1.2.2 - Effet du facteur "variété " sur le rendement en grain de maïs.....	31
3.1.2.3 Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.....	31
3.1.3 - NOMBRE DE PLANTES A L'HECTARE (NPL).....	32
3.1.3.1 - Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de plantes à l'hectare (NPL).....	32
3.1.3.2 - Effet du facteur « variété » sur le nombre de plantes à l'hectare.....	33
3.1.3.3 - Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.....	33
3.1.4 – NOMBRE D'EPIS PAR PLANTE (NEPL).....	34
3.1.4.1 Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre d'épis par plante (NEPL).....	34
3.1.4.2 - Effet du facteur «variété » sur le nombre d'épis par plante.....	35
3.1.4.3 Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.....	35
3.1.5 – NOMBRE DE GRAINS PAR EPI (NGE).....	36
3.1.5.1 Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de grains par épi (NGE).....	36
3.1.5.2 - Effet de la variété de maïs sur le nombre de grains par épi.....	36
3.1.5.3 - Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.....	36
3.1.6 - POIDS MOYEN DU GRAIN.....	37
3.1.6.1 - Effet de la date d'apport d'azote sur le poids moyen du grain.....	38
3.1.6.2 - Effet de la variété de maïs sur le poids moyen du grain.....	38
3.1.6.3 - Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.....	38
3.2- DISCUSSION.....	39
CONCLUSION GENERALE.....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	43
ANNEXES.....	47

DEDICACE

- A ma mère **ZOUGHAKOGHO Hélène** qui par son manioc qu'elle vendait au marché d'Oyem, est arrivée à supporter mon primaire et une bonne partie de mon secondaire, et dont le coeur continue à battre au rythme de mes angoisses.

- A mon père **EDZANG ONDO David** qui à chaque fois qu'il se reveille le matin a pour première prière que ma réussite.

- A mon grand frère **NGUEMA EDZANG André** qui m'a permis grâce son soutien financier de supporter mon séjour au Burkina Faso et qui ne souhaite que ma réussite.

- A **OBONE EDZANG Denise**, mon amour qui a supporté mes cinq (5) ans au Burkina Faso et qui de loin m'a apporté son amour ainsi que son soutien financier pendant les moments difficiles.

A mon oncle **MINTSA EDOU Marcellin** et sa femme **Marie** qui ont accepté ma présence à leur côté durant ma terminale.

A toutes mes sœurs Yolande, Gabardine, Jacqueline, Meyé pour l'amour familial.

A mon vrai ami que j'ai déjà eu sur cette terre **EYENE EKOGHA Roland** dont le bon Dieu a appelé à ses côtés, que la terre lui soit légère.

A mon neveu **MEZUI M'EYI André** « Gaspard » avec qui nous avons passé des moments de calvaires durant notre scolarité à Oyem.

A mon frère **NGUEMA Alexis** pour les bons moments de vacances.

A ma grand mère paternelle **MBAZOGHO EYI**, décédée.

A ma grand mère maternelle **ANGUE NDONG**, décédée.

A tous je vous dédie ce Mémoire .

REMERCIEMENTS.

Le présent mémoire a été réalisé à l'Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agricole (INERA) de Farako-bâ au Burkina Faso de juin 1999 à mai 2000.

Au cours de cette période de stage, j'ai eu le plaisir de rencontrer certaines personnes qui, en ce jour, sont restées mes fidèles amis, certaines presque mes parents. Au moment où je mets fin à ce stage, il est manifestement ingrat de passer sous silence toutes ces personnes qui, d'une manière ou d'autre ont contribué à la réussite de ce travail. A toutes ces personnes, trouvez ici l'expression de ma reconnaissance et veuillez recevoir mes profonds remerciements. Il s'agit particulièrement de:

- Monsieur **BACYE Bernard**, enseignant chercheur et chef de département Agronomie à l'IDR notre Directeur de mémoire pour avoir accepté de nous encadrer malgré ses nombreuses occupations.

- Monsieur **TRAORE N. Seydou** Délégué régional du C.R.R.E.A de l'ouest pour avoir bien voulu nous accepter dans la structure dont il a la charge.

- Monsieur **BADO B Vincent** chercheur, et chef du programme GRN/SP de l'ouest pour l'intérêt particulier porté à notre thème, ainsi que pour de nombreux services rendus durant toute la période de notre stage à la station.

- Monsieur **KAMBIRE S. Hyacinthe**, chercheur au programme GRN/SP de l'ouest, notre maître de stage pour la proposition de thème et pour toute l'énergie dépensée pour que ce travail se réalise. Je voudrais qu'il trouve ici ma profonde gratitude et reconnaissance pour avoir mis à notre disposition tous les moyens matériels pour faciliter notre travail. Je ne saurais terminer mes propos sans lui adresser mes vifs remerciements pour sa grande disponibilité et pour ses remarques toujours constructives.

- Monsieur **TRAORE Karim**, chercheur au programme GRN/SP de l'ouest pour son soutien lors de l'analyse statistique de nos données et ses multiples suggestions en vue d'une bonne présentation des résultats.

- Madame **LIEHOUN Edwige** chercheur-ingénieur au programme GRN/SP de l'ouest pour avoir accepté de mettre à notre disposition l'outil informatique.

- Tous les chercheurs du programme GRN/SP de l'ouest, particulièrement Messieurs **OUATTARA Sibiry**, **KARA Amara**, **OUEDRAOGO Souleymane**, **TRAORE Ouola**, **SANKARA Stanislas** pour leur hospitalité et de nombreux conseils tout au long du stage.

- Monsieur **SANKARA Constantin**, technicien de recherche au programme GRN/SP de l'ouest pour qui je dis : « je comprends pourquoi on dit que l'union fait la force ». Je te suis très reconnaissant et jamais je n'oublierai les nombreux services que tu m'as rendus.

- Mon ami, collègue de stage et de classe **KOUMA KOSSI Saturnin**, pour son soutien moral et sa solidarité exemplaire.

- Madame **DIAKITE Mariame**, secrétaire du programme GRN/SP pour sa gentillesse et les multiples services rendus.
- Mes collègues de stage **OUEDRAOGO Fanta** et **Ido Nathalie** pour la bonne ambiance du groupe durant toute la période du stage.
- **EDZANG MBA Jean Jacques** pour les moments vécus ensemble.
- Mes manoeuvres **KONKOMBO Bernard**, **KONKOMBO Noël**, **KARAMBIRI Lassina**, **KARAMBIRI Moumouni**, **OUATTARA Aboubacar**, **OUATTARA Mamadou**, **OUATTARA Soungalo** et **OUATARA Dramane** pour les services rendus.
- J'adresse particulièrement mes vifs remerciements à toute la communauté **GABONAISE** résidente à **BOBO DIOULASSO** dont **Mireille**, **Yonnelle Dea**, **Yvon**, **Edouard**, **Appolinaire**, **Camille**, **Marie Louise**, **Louise Mispa**, **Axel**, **Melchie** et **Bisa** pour le soutien moral et parfois financier durant la période de retard de paiement de ma bourse
- Je ne saurai mettre terme à mes propos sans adresser ma reconnaissance et mes sincères remerciements à l'**Etat GABONAIS** pour son soutien financier durant toute ma scolarité.
- Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SIGLES.

- A.C.C.T : Agence de Coopération Culturelle et Technique.
- C.E.C : Capacité d'Echange Cationique.
- C.M.M.Y.T : Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé (Acronyme anglais).
- C.I.R.A.D : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- C.N.R.S.T : Centre National de Recherche Scientifique et Technique.
- C.R.R.E.A : Centre Régional de la Recherche Environnementale et Agricole
- C.R.P.A : Centre Régional de Production Agropastorale.
- I.D.R : Institut du Développement Rural.
- I.N.E.R.A : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.
- I.R.A.T : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales.
- J.A.S : Jours Après Semis.
- M.C.F : Ministère de la Coopération Française.
- M.S : Matière sèche.
- T.S.P : Triple Super Phosphate.
- U.P.B : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.
- D. R. A : Direction Régionale Agropastorale.
- M. A . R . A : Ministère de l'Agriculture et des ressources Animales.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Besoins et exportations relatifs à la production de 30 qx/ha de grains aux normes (15% humidité), SUBREVILLE, 1986.....	6
Tableau 2	Pourcentage d'azote engrais utilisé par la plante et immobilisé dans le sol sous culture du maïs à Niore (Sénégal)	8
Tableau 3	Proportion d'azote urée volatilisée après application d'urée en surface (100N) dans les différents sols caractérisée par leur teneur en argile, leur capacité totale d'échange et leur pH	9
Tableau 4	Rythme d'absorption des différents éléments minéraux en % des besoins totaux	15
Tableau 5	Caractéristiques physico-physiques d'un sol de Farako-ba	24
Tableau 6	Caractéristiques des variétés de maïs	25
Tableau 7	Rendements moyens en paille des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.....	28
Tableau 8	Rendements moyens en grains des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.....	31
Tableau 9	Nombre de plantes à l'hectare des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.....	33
Tableau 10	Nombre d'épis par plante des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.....	35
Tableau 11	Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre d'épis par plante en fonction des variétés de maïs.....	35
Tableau 12	Nombre de grains par épi des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs	36
Tableau 13	Poids moyen du grain des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.....	38
Tableau 14	Effet de la date d'apport d'azote sur le poids moyen du grain nombre en fonction des variétés de maïs.....	38

LISTE DES FIGURES.

Figure 1 :	Pluviométrie moyenne annuelle des dix dernières années	21
Figure 2 :	. Pluviométrie moyenne mensuelle de Farako-bâ en 1999.	21
Figure 3 :	Evolution de la température moyenne mensuelle de Farako-bâ en 1999.....	22
Figure 4 :	Evolution de l'humidité relative de l'air de Farako-bâ en 1999.	22
Figure 5	Effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en paille en fonction des variétés de maïs.....	30
Figure 6 :	Effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en grain en fonction des variétés de maïs.....	32
Figure 7:	Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de plantes/ha en fonction des variétés de maïs	34
Figure 8 :	Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de grains en fonction des variétés de maïs.....	37

RESUME :

Afin d'améliorer la fertilisation azotée du maïs une expérimentation a été conduite à la station expérimentale de Farako Ba. L'objectif est d'identifier la date optimale d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs à cycles intermédiaire, précoce et extra précoce. Il ressort de cette étude que la date d'apport d'azote et la variété sont autant de facteurs pouvant influencer les rendements du maïs. La mise en évidence d'une interaction significative entre la date d'apport d'azote et la variété implique la nécessité d'ajuster les dates d'apport d'azote aux différentes variétés de maïs. En général, les apports précoces (15 jas) procurent les meilleurs rendements.

Mots clés : date d'application d'azote, variétés de maïs, Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE.

Au Burkina Faso, le maïs est la troisième céréale de grande culture après le mil et le sorgho (INERA, 1994). Il occupe 206 000 ha (8% de la surface totale consacrée aux céréales) et produit 257 000 tonnes (SIBAND, 1994). 70 et 80% des superficies et productions sont faites dans l'Ouest et le Sud - Ouest du Pays où les conditions de production lui sont favorables (INERA, 1994). C'est une culture essentielle pour les régions situées entre les isohyètes 900 mm et 1200 mm.

Malgré un indice de récolte favorable à une intensification de la culture, le maïs est confronté à différents problèmes responsables de fortes fluctuations de rendement observées en culture (INERA, 1994).

Au Burkina Faso et d'une manière générale dans les pays sahéliens, les déficits pluviométriques sont souvent avancés pour justifier ces faibles rendements du maïs (SEDOGO *et al*, 1991). Outre l'insuffisance des pluies, la faible fertilité des sols de l'Afrique subsaharienne est aussi l'une des contraintes qui limitent la production agricole et justifient l'efficacité des engrais sur les rendements des cultures (BADO *et al*, 1997).

Le niveau de production dépend plus étroitement des quantités d'azote utilisées. SEDOGO *et al* (1991) expliquent que le sulfate d'ammoniaque a été abandonné suite à des phénomènes d'acidification observés; l'urée est désormais la source d'azote recommandée au Burkina Faso.

L'épuisement des sols est consécutif à une surexploitation du milieu. Sous l'effet de la pression démographique, les jachères sont de plus en plus utilisées comme combustibles ménagers et comme pâturage des animaux. Le rendement en maïs n'est plus qu'à 1,5 t/ha (SIBAND, 1994)

Dans ce contexte, dégager les bases de la fertilisation azotée de cette céréale, c'est tout à la fois apporter directement des éléments de progrès pour cette culture, et résoudre en partie le problème de la faible fertilité des sols. Pour atteindre ces objectifs, une approche pourrait consister à un choix judicieux des dates d'apport et des doses d'azote en fonction de la longueur du cycle de la variété

L'objectif du présent travail est de trouver la meilleure date d'apport d'azote pour les variétés de maïs à cycle intermédiaire, précoce et extra-précoce. Il comprend trois principales parties:

- un premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique;
- un deuxième chapitre présente le cadre et la méthodologie d'étude;
- un dernier chapitre fait état des différents résultats obtenus au cours du stage.

Chapitre 1 : **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

1.1 - PROBLEMATIQUE DE LA FERTILITE AZOTEE.

Selon INERA (1996), dans les zones de savane, les flux de minéralisation brute de l'azote peuvent varier, mais restent important tout au long de la saison des pluies. Seule l'activité nitrifiante pourrait être complètement inhibée à cause de l'immobilisation donc le substrat essentiel est l'azote ammoniacal.

Les processus de minéralisation-réorganisation sont considérés dans la zone de savane comme très faible en cours de culture (INERA, 1996), en raison du manque de matière organique facilement décomposable. Pourtant, les mesures des flux brutes d'azote montrent un intense cycle de transformation de l'azote réduit. La fourniture de la plante apparaît être la nitrification. Dans la rhizosphère, les conditions créées par la plante entretiennent une activité locale intense. En effet, Les racines par leurs exsudats permettent une grande activité nitrifiante. Cette transformation dans la rhizosphère dépend des conditions physico-chimiques du sol. Ce processus prend une importance particulière dans un contexte de faible activité biologique (BLONDEL, 1971). Il régulerait la sollicitation du sol par la plante en fonction des besoins. La lixiviation n'est plus possible. La fertilisation se traduit de ce fait par des fortes réponses à l'engrais azoté du végétal.

1.1.1 – Les sources d'azote dans le sol.

1.1.1.1 – Les apports par la matière organique.

La matière organique est variée. Elle est constituée de fumier, de résidus de culture, des engrais verts, de la prairie, de compost, etc. Elle subit une série de transformations qui la décompose, la transforme en humus, puis la minéralise, sous l'action des micro-organismes et sous l'influence du milieu. C'est au bout de ces transformations qu'elle fournit de l'azote minéral aux plantes. Deux principales réactions en sont responsables.

- l'humification,
- la minéralisation.

L'humification correspond à la phase de dégradation de la matière organique fraîche en humus.

L'humus à son tour subit une autre transformation en éléments minéraux. C'est la minéralisation.

PIERI (1989) démontre que les apports organiques sont insignifiants en zone subsaharienne. Il estime qu'au Burkina Faso, les résidus organiques sont d'utilisation diverse; 3,2% pour la combustion, 22% pour la complémentation d'alimentation du bétail, 36% pour la consommation extérieure et seulement 10% pour les résidus au champ.

PIERI (1989) soulève un autre problème qui est celui de la variabilité des teneurs minérales des résidus organiques, aussi bien pour les résidus de récolte (tiges, paille, fanes, ...) que pour le fumier. GANRY (1990) évalue 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, la paille de mil, la paille de mil compostée et la paille d'arachide. Pour le système de culture Soja - maïs de Séfa (Sénégal), GANRY (1990) évalue les restitutions organiques:

- pour le maïs à 20 kg N par ha dans les racines et 60 kg N par ha pour les racines et la paille ;
- pour le Soja de 50 kg N par ha (racines + pailles).

De plus en climat sec, la minéralisation du carbone est proportionnellement plus rapide que celle de l'azote. C'est ainsi que le rapport C/N tend à être plus bas. GIGOU (1982) citant CHARREAU, FAUCK (1970), HAINNEAU (1978) montre que les coefficients de minéralisation sont nettement plus élevés en sols tropicaux (2 à 5% par an); contre 1 à 2% pour les sols tempérés. MCF (1991) parle aussi de la composition de l'azote provenant du fumier du bétail des pays subsahariens qui ne permet pas de couvrir les pertes par les exportations de récolte. De ce fait, l'apport d'engrais provoquerait un grand développement des cultures et en particulier de leur système racinaire. Les résidus organiques accroîtront la teneur en matière organique, la porosité et l'amélioration de la structure du sol

1.1.1.2 – Fixation biologique de l'azote atmosphérique

La fixation biologique de l'azote atmosphérique est la voie majeure d'introduction de l'azote gazeux dans le sol (ISMAIL, 1994). Elle est l'œuvre de micro-organismes libres et symbiotiques. La fixation non symbiotique a surtout son importance après la mort des micro-organismes libres. GROS (1974) estime que les corps microbiens renferment 6,5% d'azote et subissent une minéralisation beaucoup plus rapide que les autres matières organiques du sol.

PIERI (1989) trouve que l'impact réel sur l'équilibre azoté d'un sol cultivé est loin d'être correctement évalué. Il pense que la fixation de l'azote par cette voie est probablement négligeable pour les systèmes de culture pluviale de la zone aride et semi-aride. GANRY (1990) estime la fixation asymbiotique de l'azote atmosphérique de l'ordre de 2 kg N/ha/2 ans en système de culture traditionnelle mil - arachide et 7 kg N/ha /2 ans en système de culture amélioré mil-arachide et maïs-Soja.

Concernant la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, PIERI (1989) résume les points de vue d'un certain nombre de chercheurs sur cette situation en Afrique de l'Ouest. Il cite les articles de CHARREAU et VIDAL (1965); DANCETTE et POULAIN (1968); JUNG (1970); LE HOUEROU (1980), CTF (1988); WETSELAAR et GANRY (1982).

Les légumineuses contribuent beaucoup moins qu'on le pense à l'alimentation du statut azoté des sols en zone tropicale semi-aride. En climat semi-aride, la contribution de la fixation symbiotique à la nutrition azotée des légumineuses peut, en alimentation hydrique déficitaire, être inférieure à celle fournie par les réserves azotées des sols, d'autant que, dans la pratique agricole, du moins celle liée à la culture de l'arachide, les résidus de récolte (tiges, fanes) sont toujours exportés des champs (et souvent vendus en ville pour le petit bétail). Sinon, 45% à 60% d'azote atmosphérique peuvent être fixés dans les systèmes respectivement traditionnels et améliorés d'arachide (GANRY, 1990). En somme, les cultures des légumineuses n'enrichissent pas le sol de la zone des savanes en azote (PIERI, 1989). Ce qui pourrait justifier l'utilisation d'engrais azoté dans les systèmes de culture de cette zone.

1.1.1.3 – Les apports atmosphériques.

Les poussières et les pluies contiennent de l'azote. Cet azote provient de l'air et arrive au sol sous forme ammoniacale, nitrite et nitrate. Il est synthétisé lors de la volatilisation de l'azote au-dessus des océans. Il est souvent issu aussi des contaminations industrielles. L'évolution de ces apports dépend de la proximité des océans et des industries (PIERI, 1989).

De nombreux auteurs dont JONES et BROMFIELD (1970) cités par GANRY (1990) ont mesuré les apports d'azote par les pluies en région semi - aride à une saison de pluie (jusqu'à 1300 mm). Ces auteurs ont trouvé des valeurs non négligeables de 4 à 5 kg par ha pour une pluviométrie de 1200 mm à Samaru (Nigeria). PIERI (1989) estime ces apports variables dans la zone des savanes subsahariennes. Les études de WETSELAAR et HUTTON (1963) citées

par GANRY (1990) concluent que ces valeurs ne dépassent pas 1 kg/ha / an sous 600 à 900 mm de pluies.

Les travaux de PIERI (1979), ROOSE (1981) cités par SARAGONI *et al* (1990) montrent que les teneurs en éléments minéraux des eaux de pluie sont toujours très faibles par rapport à celles mesurées dans la phase liquide du sol. PIERI (1989) citant ROOSE (1981) souligne que ces apports sont de l'ordre de 5,4 kg/ha/an au Burkina Faso.

1.1.1.4 – Les apports par les engrais.

Les engrais azotés correspondent à l'azote atmosphérique fixé industriellement (GROS, 1974). Théoriquement, le bilan de l'azote provenant d'engrais ne pose pas de problème pour son évaluation (PIERI, 1989). Mais tout dépend de l'échelle à laquelle elle est faite. Dans la zone semi-aride, elle est de qualité très moyenne pour les Etats et très insuffisant pour les exploitations. L'évaluation de l'azote provenant des engrais est fonction du régime des pluies, des conditions physico-chimiques et biologiques du sol. Elle dépend aussi des besoins de la plante (GANRY, 1990).

1.1.2 – Les pertes d'azote dans le sol.

1.1.2.1 – Les exportations par les récoltes

Les exportations se rapportent à la partie des éléments nutritifs qui est définitivement retirée du sol lorsque la récolte est consommée (LAMBERT *et al.*, 1994). Les quantités d'éléments fertilisants exportés hors du champ par la récolte varient beaucoup selon le mode d'utilisation du maïs (grain ou fourrage). Le tableau 1 donne les quantités d'éléments susceptibles de partir lors des exportations de récolte sous culture du maïs.

Tableau 1: Besoins et exportations relatifs à la production de 30qx/ ha de grains aux normes (15% humidité), SUBREVILLE, 1986.

Besoins et exportations.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Grains kg/ha (3t MS)	45	16.5	12
Paille	24	6	62
Rafle	15	6	18
Total plante	84	34	92

Les valeurs figurant dans ce tableau dépendent des conditions du milieu (eau, température, parasitisme). Dans tous les cas, l'estimation de la proportion grain/paille est le plus souvent indispensable. Elle constitue la source principale de variabilité dans le calcul des exportations (PIERI, 1989).

1.1.2.2.- Les pertes par l'érosion et ruissellement.

Ces pertes correspondent à l'entraînement par les eaux de ruissellement soit en surface, soit à faible profondeur du sol. Elles dépendent des conditions pluviométriques de l'année (quantité, intensité, distribution) et du degré de maîtrise de l'érosion par les agriculteurs (PIERI, 1989). LAMBERT *et al.*, (1994) ajoutent que ces pertes sont aussi consécutives à l'action érosive du vent.

Selon ROOSE (1981) cité par PIERI (1989), les pertes moyennes dues à l'érosion seraient les suivantes dans la zone de savane saharienne : 80 à 1900 kg/ha/an pour C; 15 à 80 pour N; 3 à 30 pour P; 10 à 55 pour K; 15 à 70 pour Ca et 10 à 35 pour Mg. Le même auteur cité au cours d'un colloque sur la fertilité des sols tropicaux (1968) insiste sur les pertes en éléments chimiques par dissolution et entraînement dans les eaux de ruissellement soit en surface, soit à faible profondeur du sol. Il a démontré que le phénomène affecte les premiers cm du sol. Dans le cas particulier de l'azote, ROOSE (1981) cité par GIGOU et CHABALIER (1987) a observé des pertes par érosion d'environ 11 kg d'azote à l'ha sous culture de maïs. L'ion nitrate est le principal élément perdu avec le chlore et le sulfate. Ils entraînent avec eux du calcium et du magnésium (GIGOU et CHABALIER, 1987). On assiste aussi à une modification du rapport C/N (PIERI, 1989).

1.1.2.3 – Immobilisation ou réorganisation de l'azote.

L'immobilisation de l'azote dans le sol correspond à l'inverse de la nitrification où l'azote minéral passe à l'état d'azote organique. Cette action est due à de nombreux micro-organismes qui utilisent l'azote minéral pour synthétiser leur propres protéines. L'immobilisation dépend des conditions du milieu. Elle se produit pendant les périodes froides et dans les conditions de grande pluie. Elle a un double aspect dans la vie d'une plante:

- Le premier aspect est positif. Le stockage de l'azote minéral sous forme organique a comme conséquence positive d'empêcher le lessivage pendant la période de grande pluie (GROS, 1974). De plus, le phénomène permet de maintenir la fertilité des sols. Sur ce point, GANRY (1990) conclut que l'immobilisation sous forme organique (corps microbiens et vraisemblablement incorporation dans certaines fractions humiques) dans l'horizon du sol prospecté par les racines représente une forme de stockage de l'engrais relativement stable pouvant contribuer à long terme au maintien de la fertilité azotée du sol.

- L'autre aspect est négatif. En prélevant l'azote minéral mis à la disposition des plantes par la minéralisation, les microbes responsables de la réorganisation constituent des concurrents directs des plantes cultivées (GROS, 1974).

L'existence de ces deux aspects fait de la réorganisation de l'azote un processus important dont il faut tenir compte lors du raisonnement de la fertilisation d'un sol (CHIANG et SOUDI, 1994). La quantité d'azote à ajouter à un sol pour obtenir un rendement donné d'une culture tient compte de la fourniture par le sol à travers les processus de minéralisation. De ce fait une teneur en azote minéral déterminée dans un dosage ponctuel ne représente que la différence entre les processus de minéralisation et d'immobilisation au moment du prélèvement. Dans le cas où cette différence évolue avec le temps vers une augmentation de l'azote minéral dans le sol, c'est une minéralisation nette. Dans le cas contraire, lorsque la teneur en azote minéral diminue, il s'agit d'une immobilisation nette. CHIANG et SOUDI, (1994) préconisent dans le premier cas une diminution d'apport en engrais de la teneur libérée dans le sol. Par contre dans le deuxième cas, ils proposent une augmentation de la quantité d'azote à apporter afin de compenser la part d'azote détournée par l'immobilisation. Dans le tableau 2, nous donnons le pourcentage d'azote engrais utilisé par la plante et immobilisé dans le sol sous culture du maïs.

Tableau 2 : Pourcentage d'azote engrais utilisé par la plante et immobilisé dans le sol sous culture du maïs à Nioro (Sénégal). (d'après GANRY, 1990).

	Plante (%)	Sol N immobilisé (%)	Total
Azote engrais	35.0	29.7	64.6

1.1.2.4 – Rétrogradation de l'azote.

Il semble que des quantités parfois importantes d'ions ammoniacaux soient fixées durablement dans le réseau cristallin des argiles. GROS (1974) compare cette fixation à une véritable rétrogradation comme celle de la potasse. Cette rétrogradation est aggravée par la dessiccation des sols. Elle pourrait atteindre le 1/3 de la capacité d'échange de l'argile (GROS, 1974). Les éléments minéraux ainsi fixés peuvent rester totalement indisponibles pour les cultures (PIERI, 1989). Le même auteur pense que la rétrogradation est élevée dans les sol tropicaux compte tenu de leur haut pouvoir fixateur, surtout pour le potassium; aussi pour les ions ammoniacaux (GROS, 1974). Elle est faible dans les sols ferrugineux tropicaux. Il est possible qu'à la longue ces ions ammoniacaux soient partiellement récupérés dans des conditions encore mal définies (GROS, 1974).

1.1.2.5 – Les pertes d'azote sous forme gazeuse.

Ces pertes correspondent à deux processus la dénitrification et la volatilisation ammoniacale (PIERI, 1989).

La dénitrification est favorisée par les fortes températures, l'hydropériodisme (GROS, 1974, GANRY, 1990) Elle est activée également par l'enfouissement de matière organique dans le sol (GANRY, 1990) PIERI (1989) ajoute la forte acidité et l'assèchement du sol. Les pertes par dénitrification sont généralement considérées comme de faible importance (GREENLAND *et al*, 1970 cités par PIERI, 1989), mais pourraient atteindre en condition défavorable 30 à 40% de l'azote minéral présent dans le sol (PIERI, 1989). L'estimation de ces pertes importe d'une part d'évaluer la nitrification et d'autre part d'évaluer les apports organiques sources d'azote minéralisable proportionnelle au rapport C/N

Les pertes par volatilisation peuvent être considérables dans le cas d'application d'engrais azoté à la surface des sol et présence de paille de céréale (PIERI, 1989). Le cas particulier de l'urée a été étudié par GANRY (1990) dans les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Le processus requiert:

- l'activation de l'hydrolyse de l'urée et accumulation d'azote ammoniacal;
- des conditions pour un faible rapport NH_4/NH_3 ;

le pH et la solution du sol sont les facteurs qui influencent ce rapport.

La volatilisation elle même est influencée par certains facteurs à savoir:

- le sol : les travaux de GANRY (1990) montre que moins le sol est argileux, plus intense est la volatilisation ; Nous rapportons ces résultats dans le tableau 3.

Tableau 3: Proportion d'azote urée volatilisée après application d'urée en surface (100N) dans les différents sols caractérisés par leur teneur en argile, leur capacité d'échange cationique (CEC) et leur pH. (d'après GANRY, 1990)

Argiles des sols	Argile (%)	CEC En meq/100g	pH eau	N urée volatilisé
Bambey " dior "	4.0	2.2	6.2	41%
Bambey " dek "	6.5	4.6	7.2	22%
Séfa " beige "	12.2	2.7	5.9	20%

- placement de l'engrais: les pertes par volatilisation sont négligeables lorsque l'engrais (urée) est enfoui sous quelques cm de terre (PIERI, 1989) ; elles deviennent élevés lorsque l'engrais est apporté en surface (GANRY, 1990) ;
- dose: la volatilisation répond à la loi des accroissements moins que proportionnels

1.1.2.6 – La lixiviation de l'azote

Les nitrates sont des ions qui suivent facilement les mouvements de l'eau et sont peu retenus par les colloïdes organo-minéraux du sol (CHIANG et SOUDI, 1994) Ces ions résultent essentiellement de l'apport d'engrais minéraux azotés et des processus consécutifs à la minéralisation. Le calcul du bilan des minéraux en faisant la différence entre les entrées et les sorties d'azote nitrique dans le système sol-plante permet d'estimer la quantité d'azote potentiellement lixiviable (CHIANG et SOUDI, 1994).

Dans la zone subsaharienne, ces pertes ne sont pas négligeables (PIERI, 1989). Ceci s'explique par la nature sableuse des sols et la distribution très irrégulière des pluies en début de la saison de culture. Elles sont faibles pendant les périodes de pluviométrie intense où se produit le drainage en raison des faibles teneurs du sol en nitrates (GIGOU et CHABALIER, 1987). PIERI (1989) trouve que l'enracinement par sa cinétique d'installation et sa profondeur maximale est un facteur déterminant de la lixiviation. En effet, il contrôle le flux de drainage dans les sols cultivés. Les céréales traditionnelles telles que le mil et sorgho présentent un avantage par rapport à d'autres cultures (maïs, cotonnier, arachide) dont l'enracinement n'a pas la même puissance (PIERI, 1989).

D'autres facteurs déterminent les pertes par lixiviation. CHIANG et SOUDI (1994) citent:

- la texture du sol: elle agit par le biais de la capacité de rétention de l'eau ; ainsi, la lixiviation s'opère plus facilement dans un sol à texture grossière que dans un sol à texture fine. En sol ferrugineux de Korhogo (Côte d'Ivoire), elle est de 4 à 8 kg d'azote/ha sous culture de maïs (GIGOU et CHABALIER, 1987) ; alors qu'en sol sableux du Sénégal, GANRY (1990) citant PIERI (1982) , CISSE (1986) l'évalue de 10 à 50 kg d'azote /ha sous culture d'arachide ;
- le volume d'eau appliqué au sol: la lixiviation est autant plus accentuée que la hauteur d'eau à la surface du sol est élevée ; dans un sol ferrugineux tropicaux lessivé, 1mm de pluie provoque une descente des nitrates de 0,7cm (GANRY, 1990) ;
- la concentration en nitrates dans la couche superficielle du sol: la lixiviation est d'autant plus élevée que la teneur en nitrates du sol est élevée ;
- l'absorption de l'eau par la plante: les plantes moins consommatrices d'azote laissent passer plus d'azote minéral dans le sol. GANRY (1990) trouve des pertes de 10 à 50 kg d'azote par ha sous arachide et négligeables sous mil ;
- la dose et la forme d'engrais appliqué: les doses élevées d'azote appliquées génèrent les formes à base de nitrates qui alimentent directement le pool nitrate et le risque de leur lixiviation est élevé ; les formes à base d'ammonium fournissent d'abord à la plante la forme ammoniacale et se convertissent en partie à la forme nitrique ,
- l'intensité de minéralisation: ce processus détermine la quantité d'azote minéral dans un sol. Elle dépend de la température, de l'humidité, du pH et du rapport C/N

La rotation culturale et le mode de fractionnement de l'azote influencent également la lixiviation des nitrates.

1.2 – 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. A chaque fois que les conditions extérieures (climatiques et intervention de l'homme) viennent rompre l'équilibre du sol, en occurrence la constance C/N, l'activité microbienne tend à rétablir ce rapport à sa valeur initiale.

L'ampleur de la minéralisation et de la réorganisation dans les sols de savane à une saison pluvieuse a été étudiée par GIGOU (1982), GIGOU et CHABALIER (1987).

En début de saison des pluies, la reprise de la vie microbienne se traduit par une minéralisation de l'azote des composés organiques les plus dégradables, mais aussi par une immobilisation de cet azote. Les teneurs vont donc augmenter rapidement si les débris végétaux présents dans le sol sont riches en azote (après une culture d'une légumineuse ou d'un engrais vert), soit avoir tendance à diminuer si les résidus végétaux sont pauvres en azote (après maïs ou sorgho). Pendant cette période, la nitrification est généralement active et la lixiviation est importante.

Durant la saison pluvieuse, les teneurs du sol en azote minéral sont très faibles, en raison des prélèvements par les plantes, d'une minéralisation faible et aussi d'une réorganisation souvent dominante (GANRY et WEY, 1984 cités par GIGOU et CHABALIER, 1987). La nitrification est presque arrêtée.

A la fin de la saison des pluies et en début de la saison sèche, la minéralisation nette 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 bloquée, les teneurs évoluent très peu.

Au cours de leur étude, GIGOU et CHABALIER (1987) remarquent qu'en pleine saison des pluies, les teneurs en azote minéral sont faibles dans le sol, l'ammonification est très ralentie, la nitrification est arrêtée, mais les plantes poussent rapidement et absorbent l'azote.

Ce phénomène est expliqué par l'INERA, (1996). En couverture, l'apport d'urée dans le cas du maïs alimente la plante avec un coefficient réel d'utilisation de l'ordre du tiers. L'engrais se retrouve également pour une part importante dans le pool d'azote organique du sol. Il accroît de façon importante la quantité d'azote consommée par la plante à partir du stock organique du sol. Une autre explication pourrait être les conditions créées par la plante entraînant une activité locale plus intense.

Tout au long de ce cycle, de l'azote organique est suffisant dans le sol. La lixiviation est proportionnelle à l'intensité et quantité des pluies. les nitrates drainent entraînent du calcium et le magnésium, ce qui acidifie le sol (GIGOU et CHABALIER, 1987).

1.3- FERTILISATION AZOTEE DU MAÏS.

FALISSE et LAMBERT (1994) définissent la fertilisation comme étant un ensemble de pratiques culturales coordonnées ayant pour objectif d'assurer aux plantes cultivées une alimentation correcte dans l'ensemble des éléments nutritifs. Par l'apport de matières fertilisantes, elle a pour objectif :

- de créer, améliorer ou maintenir les caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol aptes à optimiser l'absorption par les plantes des éléments nécessaires à leur croissance et au rendement ;
- d'assurer la complémentation des fournitures en provenance du sol.

1.3.1 – Rôle agronomique de l'azote.

L'azote est le facteur principal de la croissance des plantes et du rendement des cultures (FALISSE et LAMBERT, 1994). Il favorise l'augmentation de la densité foliaire des couverts végétaux. Il tend à prolonger la durée du fonctionnement des organes verts, à retarder la sénescence et la maturation. Cependant un apport précoce peut dans certains cas favoriser la précocité. Il est responsable de l'affaiblissement de résistance mécanique de la plante et de la sensibilité à certaines maladies cryptogamiques.

1.3.1.2 – L'excès d'azote

L'excès d'azote peut avoir des conséquences variables selon la culture. Chez le maïs, on distingue:

- un retard de maturité dû à l'allongement excessif de la période végétative;
- une sensibilité plus grande à des accidents tels que la verse. En effet, l'excès d'azote en début montaison est souvent la cause favorisante de la verse.
- une sensibilité plus grande aux maladies, les tissus restent vulnérables pendant longtemps.

1.3.1.2 – Les carences azotées.

La carence ou déficience est une situation d'insuffisance d'un élément nutritif caractérisée par l'apparition de symptômes (LAMBERT *et al*, 1994). On distingue les carences vraies et les carences induites.

La carence vraie est le résultat d'un manque d'azote dans le sol. Cette insuffisance peut être naturelle ou consécutive à l'action épuisante des cultures précédentes.

La carence induite survient lorsque l'azote est présent en quantité suffisante, mais la plante se trouve dans l'impossibilité d'en faire l'absorption. Les causes souvent se trouvent dans les conditions physico-chimiques qui prévalent dans le sol. C'est le cas:

- d'immobilisation ou de rétrogradation de l'azote dans le sol;
- d'un pH acide;
- d'antagonisme entre l'azote et le cuivre.

Les symptômes de ces carences se manifestent sur le maïs par un jaunissement des feuilles basales. Celui - ci se limite à l'extrémité du limbe, puis progresse de part et d'autre de la nervure centrale en direction de la base du limbe. Il affecte la forme d'un " V " dont la pointe est orientée vers la tige. Puis la feuille jaunit tout entière, brunit et se dessèche à partir de l'extrémité du limbe et de la nervure principale.

1.3.2 – Les bases de la fertilisation azotée.

La fertilisation azotée est complexe (FALISSE et LAMBERT, 1994). Avant la mise en place de la culture, il faut d'abord estimer les quantités et le rythme de libération d'azote minéral par le sol. Enfin, déduire les quantités qui devront être apportées par les engrais minéraux et le calendrier de ces apports. Cependant, la fertilisation azotée est déterminée sur plusieurs étapes:

1.3.2.1 – Evaluation des besoins totaux en azote

Les besoins en azote des cultures sont fonction de leur potentiel de rendement (FALISSE et LAMBERT, 1994). Il est donc nécessaire d'avoir une idée précise sur le potentiel de la culture de manière à ne pas la surfertiliser ou à ne pas la sousfertiliser.

FALISSE et LAMBERT (1994) estiment que, pour les céréales, les besoins ayant un rendement de 4 tonnes/ ha sont d'environ 120 kg d'azote alors que pour un rendement de 9 tonnes/ha, ils sont de d'environ 250 kg d'azote. Tout en sachant que l'intensité de la réponse de la culture en azote dépend des conditions de sol et du climat (GIGOU et CHABALIER, 1987).

1.3.2.2 – Evaluation des fournitures par le sol.

Le sol peut fournir:

- les restes de fumures d'azote non utilisés par les cultures précédentes;
- l'azote provenant de la décomposition de la matière organique fraîche;
- l'azote provenant de la minéralisation des matières organiques humifiées.

Sur ce point, GANRY (1990) affirme que la principale source de l'alimentation azotée des céréales dans les zones tropicales sèches est le pool d'azote mobilisable du sol.

1.3.2.3 – Evaluation des possibilités de récupération de l'azote par les racines.

L'azote minéral présent dans le sol peut être distribué à différentes profondeurs, en particulier du fait du lessivage. Il pourrait être récupéré par les plantes en fonction de la croissance en profondeur du système racinaire.

1.3.2.4 – Rythme d'absorption de l'azote par le maïs.

La majorité des éléments minéraux est prélevée durant une période de cinq semaines allant de 10 jours avant l'apparition des panicules mâles à 25-30 jours après. MOULÉ (1980) écrit que 70 à 75% d'azote sont nécessaires au maïs, soit près de 2.5 kg d'azote/ha et par jour les deux premières semaines. Durant ses stades critiques, la plante prélève les quantités d'éléments indiquées dans le tableau 4

Tableau 4 : Rythme d'absorption des différents éléments minéraux en % des besoins totaux (d'après SUBREVILLE, 1986).

	N	P	K	Mg	Ca
Levée à 8 feuilles	2	1	4	2	4
Peu avant la floraison	38	27	66	46	51
Floraison(+ou-15 jours)	47	46	30	43	45
Grossissement épi	12	26	0	9	0

1.3.3 – Utilisation de l'azote par la plante.

1.3.3.1 – Mobilisation de l'azote par les cultures.

GIGOU et CHABALIER (1987) ont étudié le phénomène de mobilisation de l'azote par le riz et le maïs. Ils remarquent une diminution fréquente des quantités d'azote dans les parties aériennes des plantes au moment de la maturation.

Selon GIGOU et CHABALIER (1987) citant WETSELAAR et FARQUHAR (1980), le phénomène se produit quand la quantité d'azote mobilisée par les parties végétatives est supérieure aux besoins des graines en formation. Les pertes de cet azote restent non élucidées. Mais pour les éviter, il faut choisir les variétés peu sensibles à ce phénomène, ensuite les techniques culturales (doses, dates d'apport d'engrais et densité, etc...) pour réduire ces pertes (CHABALIER et POSNER, 1978 cités par GIGOU et CHABALIER, 1987).

DUPUY *et al* (1990) expliquent ces pertes d'azote par un redémarrage du développement racinaire. Elles s'accompagnent d'une prospection plus étendue à un moment où la disponibilité de l'azote engrais devient critique par rapport à celle du sol.

1.3.3.2 – Utilisation par les plantes de l'azote des engrais.

Les travaux de CHABALIER (1976) sur le maïs, de CHABALIER et PICHOT (1978) sur le riz ont été comparés à ceux de GIGOU et DUBERNARD (1979) sur le sorgho et de GANRY et GUIRAUD (1979) sur le mil. Les résultats que ces différents auteurs ont obtenus sont semblables. GIGOU et CHABALIER (1987) les ont résumés ainsi :

Environ 40 à 45% de l'azote des engrais est retrouvé dans les parties aériennes à la récolte, quand les doses et les dates d'apport sont bien choisies. cette quantité peut être supérieure à

l'époque de la floraison. Des apports excessifs, par rapport aux possibilités de production de l'année, entraînent une utilisation plus faible, souvent de 25 à 30%. Le deuxième apport est localisé, mais cette localisation n'implique pas nécessairement une meilleure efficacité. En règle générale, le fractionnement est d'autant plus nécessaire que le climat est plus humide et la dose plus forte. Le tiers de l'azote des plantes provient de l'engrais pour les doses habituelles. Le sol fournit donc les 2/3 de l'azote. En plus, l'azote des engrais participe à cette fourniture, car l'azote réorganisé stimule la minéralisation de l'azote du sol. L'INERA (1996) estime que l'urée est rapidement minéralisée et enrichit le sol en ions ammonium, qui ne sont accessibles aux racines qu'en leur voisinage. Il rappelle que l'azote engrais favorise la croissance de la plante, son implantation racinaire et son accès à l'azote provenant du sol. GANRY (1990) trouve que malgré un fort effet direct, l'engrais azoté sur la céréale est assez mal utilisé. Il trouve les coefficients réels d'utilisation de l'azote de l'ordre de 25% pour le mil et de 35% pour le maïs en moyenne. Par ailleurs, une fraction notable de l'azote engrais (30 à 50%) est immobilisée dans le sol et pourra être récupérée par les cultures suivantes.

L'enfouissement de paille, de compost ou même de fumier diminue l'utilisation directe de l'engrais, sans diminuer sensiblement la fourniture totale d'azote aux plantes. En présence de matière organique, les phénomènes de réorganisation et de minéralisation sont accélérés.

La réponse des céréales, pour les faibles doses, est d'environ 20 kg supplémentaires de graines par unité d'azote apportée. Elle reste linéaire jusqu'à 50 à 100 unités à l'hectare pour la plupart des variétés. Des pluies insuffisantes ou irrégulières peuvent diminuer ces valeurs (CHABALIER et GIGOU, 1987).

1.3.3.3 – Les facteurs influant sur l'utilisation de l'azote.

1.3.3.3.1 – Carences en éléments fertilisants autre que l'azote.

D'autres éléments comme le potassium, le phosphore, le soufre, le magnésium, le calcium et les oligo-éléments peuvent influencer sur les réponses en azote sur les plantes. Dans le cas du soufre, il ne semble pas être limitant pour les céréales (BADO, *et al.*, 1991).

1.3.3.3.2 – La forme et la nature de l'engrais.

TRAORE et GIGOU (1991) citant CHABALIER (1976) ont établi que les nitrates étaient mieux utilisés par la plante que l'urée, mais que l'urée favorisait la réorganisation de l'azote dans les horizons de surface (0-20 cm)du sol.

Par ailleurs, la nature même de l'engrais azoté semble avoir un effet sur l'acidification des sols dont la capacité d'échange est faible. l'emploi du sulfate d'ammoniaque semble acidifier les sols et provoquer des baisses de rendements alors que celui de l'urée dont l'hydrolyse conduit à la formation d'ammoniac augmente temporairement le pH et favorise le maintien à long terme du pH du sol (TRAORE et GIGOU, 1991).

En comparant l'urée en granule et l'urée en solution à dose de 100N, GANRY (1990) conclut qu'à la dose faible, l'urée sous forme de granule induit une volatilisation plus importante que l'urée en solution. DUPUY *et al* (1990) ont comparé les effets de la supergranule d'urée, perlurée et la solution d'urée placée à 1cm ou 10cm de profondeur. Pour une même dose d'azote, le placement de l'engrais se traduit par des augmentations très significatives, des rendements et surtout des coefficients réels d'utilisation de l'engrais.

L'effet forme très marqué en matière d'azote engrais conduit à classer les formes dans l'ordre suivant: supergranule d'urée > solution d'urée > perlurée.

1.3.3.3.3 – La date d'apport d'azote.

CHABALIER (1976) cité par TRAORE et GIGOU (1991) a montré qu'en utilisant l'azote 15, les apports plus tardifs étaient mieux valorisés que ceux réalisés aux semis DUPUY *et al* (1990) concluent que pour des apports uniques, l'augmentation de la production de matière sèche est plus réduite pour des enfouissements au repiquage (riz inondé) que pour des apports différés (21 et 42 jours après repiquage (JAR)). Un apport à 21JAR est plus efficace qu'un apport à 42 JAR, cet effet est plus marqué pour la perlurée que pour les supergranules d'urée. Ces auteurs expliquent que ces augmentations sont liées à de très nettes améliorations des taux d'intervention de l'azote provenant de l'engrais Associer à un apport au repiquage un apport à 21 ou 42 jours améliore l'utilisation globale de l'engrais et plus particulièrement de la perlurée. Par contre les effets sont plus limités pour un apport plus tardif

1.3.3.3.4 – La dose d’apport d’azote.

L’engrais azoté que l’on trouve dans la plante croît lorsque les doses d’engrais azoté augmentent. Mais le coefficient réel d’utilisation de l’engrais tend à baisser (TRAORE et GIGOU, 1991). GANRY (1990) montre qu’il est moins de 35% pour le maïs. Ce qui traduit l’effet primordial à absorber l’azote du maïs.

La dose optimale du maïs est de 120 kg d’azote par ha (TRAORE et GIGOU, 1991).

1.3.3.3.5 – Le mode d’apport d’azote.

L’apport d’urée en sillon est plus productif à dose égale que l’application en poquet ou l’épandage à la volée (TRAORE et GIGOU, 1991). Ces résultats se confirment avec ceux de GANRY (1990) concernant l’apport par localisation en bande, en poquet et en surface. La localisation de l’urée en bande enfouie accroît le coefficient réel d’utilisation et l’efficacité réelle de l’urée que l’apport en surface.

Selon DUPUY *et al* (1990), quel que soit le mode de structuration de l’engrais azoté, un placement en profondeur est plus efficace qu’un apport en surface. L’apport d’engrais en surface s’accompagne des pertes plus importantes qui peuvent avoir deux origines:

- le lessivage,
- la volatilisation.

1.3.3.3.6 - La gestion des matières organiques.

Les apports de matière organique transformée (fumier, compost, ...) contribuent à maintenir le niveau du pool d’azote mobilisable du sol et l’efficacité de l’engrais va dépendre du maintien de ce pool (GANRY, 1990). Ainsi, l’apport de matière organique aura pour effet d’augmenter les rendements des cultures et de favoriser une meilleure réponse du maïs à la fertilisation azotée. De ce fait, la gestion optimale des engrais doit permettre compte tenu des besoins des cultures de compléter les disponibles du sol (TRAORE et GIGOU, 1991)

CONCLUSION.

La fertilisation azotée doit permettre d'obtenir des rendements élevés, mais aussi de maintenir ou d'augmenter les réserves du sol. Elle doit compenser les sorties d'azote par les apports. Les quantités d'azote à apporter vont dépendre de la zone écologique et surtout du régime des pluies. Malgré de nombreux paramètres qui inhibent son utilisation par les plantes, l'azote (engrais et sol) reste incontournable dans toute fertilisation du maïs

Chapitre 2 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE ET METHODOLOGIE

2.1 - CARACTERISATION DU SITE D'ETUDE

2.1.1 – Localisation.

L'essai est conduit dans la station de recherche de Farako-Bâ. La station est située dans la zone ouest du Burkina-Faso. Elle se trouve à 10 km au sud - ouest de Bobo Dioulasso, sur l'axe Bobo-Banfora. Selon HIEN (1996), les coordonnées géographiques de la station sont:

- longitude 04°20' Ouest;
- latitude 11°06' Nord ;
- altitude 405m.

2.1.2 – Climat.

La station agronomique de Farako-Bâ est située dans la zone sud-soudanienne. La pluviométrie moyenne annuelle est supérieure à 1000 mm (SEDOGO *et al.*, 1991). Cependant, cette pluviométrie est variable d'une année à l'autre. Sur les six dernières années, la pluviométrie moyenne est de 1131,5 mm avec une pluviométrie minimale de 1020 mm en 1996 et une quantité maximale de 1234,1 mm en 1998 (figure 1).

La quantité de pluie tombée à Farako-Bâ en 1998 est de 1234,1 mm. Par contre en 1999, la quantité de pluie est de 1135,1 mm. Il y a eu une légère baisse de la pluviosité annuelle par rapport à l'année 1998. La saison des pluies de 1999 qui s'étend de mi-mars à mi-octobre a enregistré 90 jours de pluie. Le mois d'août a été particulièrement plus pluvieux (246.3 mm) Dans l'ensemble, les pluies sont abondantes, mais inégalement réparties. (figure 2)

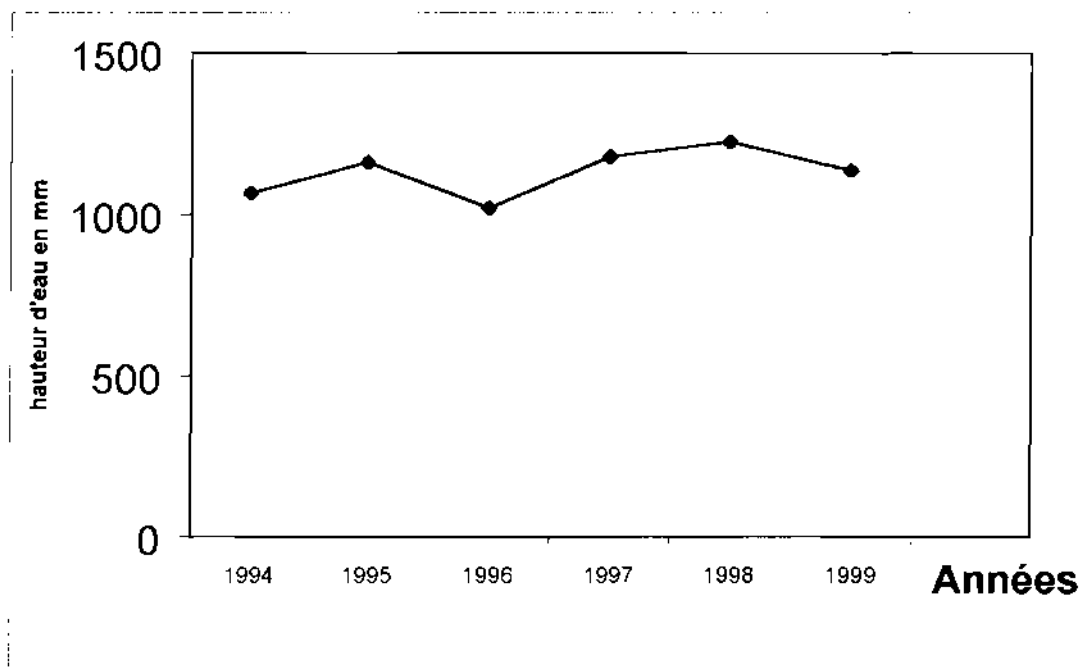


Figure 1 : Pluviométrie moyenne annuelle de 1994 à 1999 de Farako-Bâ.

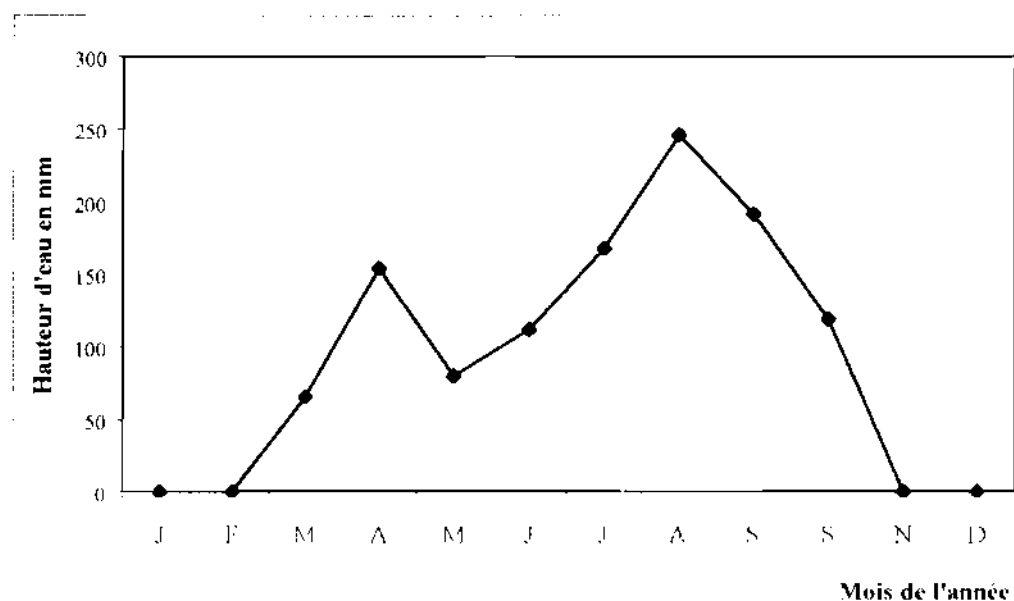


Figure 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle de 1999 de Farako-Bâ.

La température moyenne est de 26.2°C avec une amplitude thermique moyenne annuelle de 1.24°C (figure 3).

L'humidité relative moyenne de l'air est de 53.8% avec un maximum de 80.4% en août et un minimum de 24.6% en décembre (figure 4).

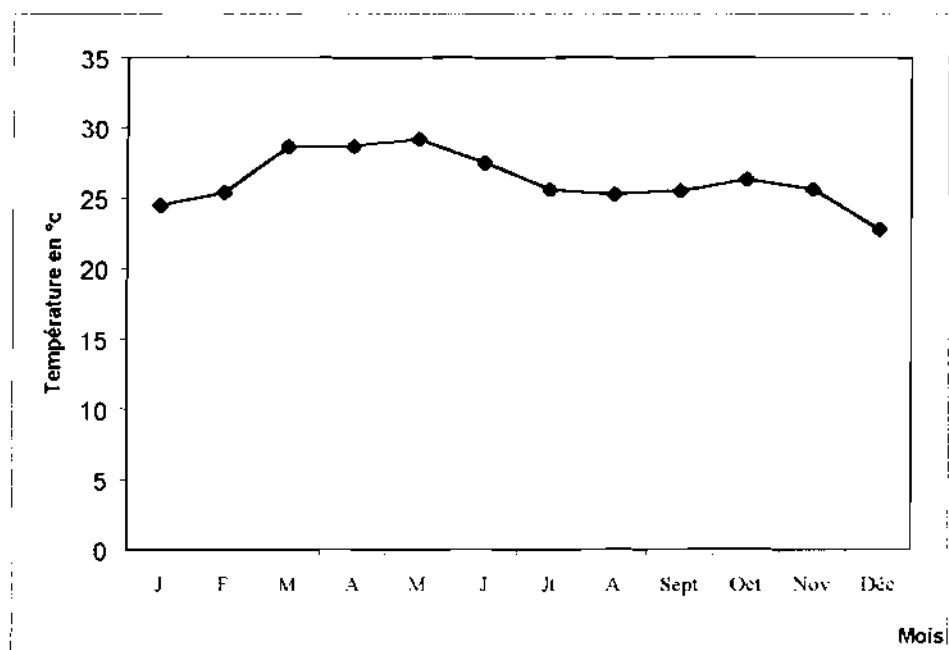


Figure 3 : Température moyenne mensuelle de 1999 de Farako – Bâ.

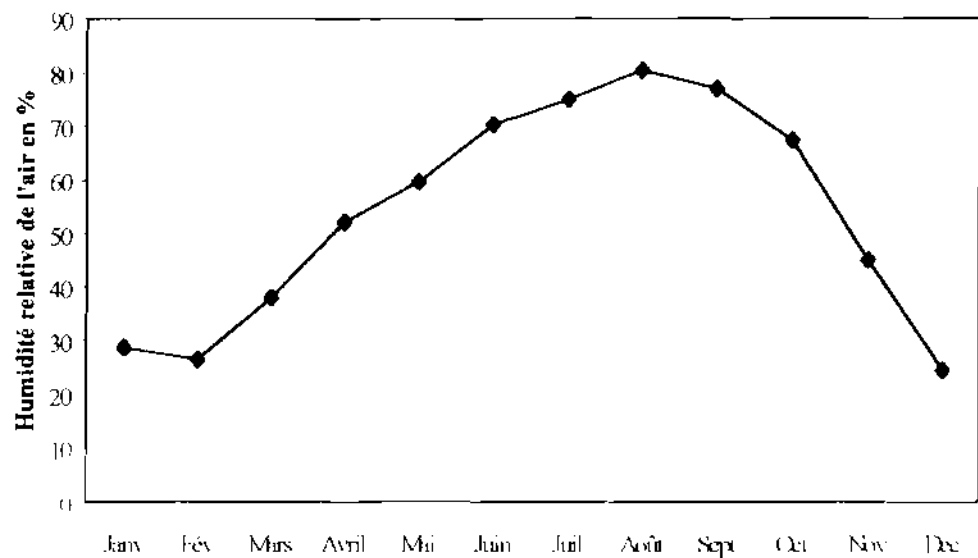


Figure 4 : Evolution de l'humidité relative moyenne mensuelle de l'air de l'année 1999

2.2 - Matériel et méthode.

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche qui a débuté en juin 1994 au Burkina Faso. Ce programme de recherche est axé sur le raisonnement de la fertilité azotée du maïs en zone de savane ouest africaine. L'objectif est de mesurer la réponse à

3.1.1.2 Effet du facteur "variété " sur le rendement en paille.

L'observation du tableau 7 montre que l'effet du facteur "variété de maïs" sur le Rendement en paille est hautement significatif. La variété précoce V2 (SR 21) donne le rendement le plus élevé (3961 kg/ha), mais ce rendement est différent au plan statistique de celui de la variété intermédiaire V1 (FBC 6) qui enregistre 3581 kg/ha. La variété extra-précoce V3 (KEB) procure le rendement le plus bas (2257 kg/ha).

3.1.1.3 – Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.

Les résultats concernant l'effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés sont regroupés dans la figure 5. Les dates donnant les meilleurs rendements sont les suivantes :

- la variété intermédiaire V1 (SR 21) : la date optimale d'apport d'azote est 15 jas. Le rendement obtenu est 5082 kg/ha. A 30 jas, le rendement en paille est de 3933 kg/ha. Les dates 40 jas et 50 jas entraînent des rendements bas respectivement 2810 et 2497 kg/ha.
- la variété précoce V2 (FBC 6) : Comme pour la variété à cycle intermédiaire, les rendements décroissent de la date précoce à celle tardive ; cependant, l'analyse statistique permet de dire que les différences constatées sont non significatives ; les rendements correspondants sont 4648 kg/ha pour 15 jas, 3847 kg/ha pour 30 jas, 3765 kg/ha pour 40 jas et 3583 kg/ha.
- la variété extra-précoce V3 (KEB): la figure 5 montre que le rendement en paille est plus élevé à 30 jas (2979 kg/ha), suivi de celui de 15 jas (2478 kg/ha). le rendement le plus faible est obtenu à 40 jas (1595 kg/ha). A 50 jas, on enregistre 19777 kg/ha. Mais l'analyse statistique révèle que les différences constatées sont non significatives

□

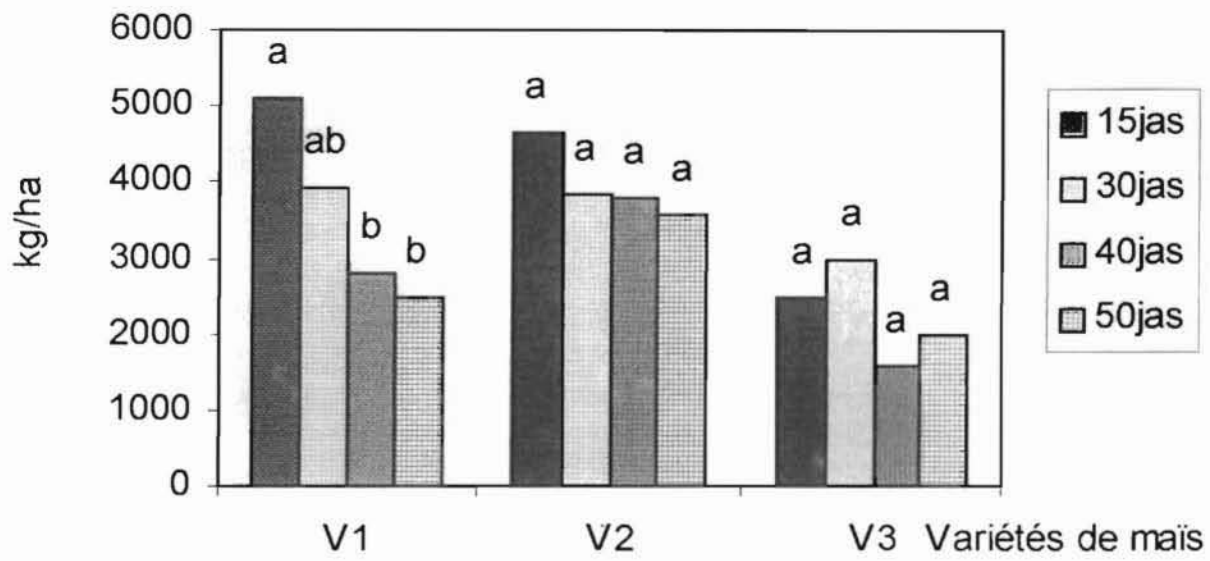


Figure 5 : Effet de la date d’apport d’azote sur le rendement en paille en fonction des variétés de maïs.

Les moyennes suivies d’une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

- V1 : variété à cycle intermédiaire SR 21 ;
- V2 : variété à cycle précoce FBC 6 ;
- V3 : variété à cycle extra-précoce KEB

3.1.2- Rendement en grain

L’effet de la date d’apport d’azote et de la variété sur le rendement en grain de maïs est représenté dans le tableau 8. La figure 6 illustre l’effet de la date d’apport d’azote sur le rendement en grain en fonction des variétés de maïs.

3.1.2.1 - Effet de la date d’apport d’azote sur le rendement en grain de maïs.

Comme pour le rendement en paille, le rendement en grain diminue de la date 15 jas à celle de 50 jas (tableau 8). Néanmoins, l’analyse statistique permet de dire qu’il n’y a pas de différence significative entre les rendements obtenus à 15 et 30 jas.

Tableau 8 : Rendements moyens en grain (kg/ha) des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.

	Dates d'apport d'azote				Variétés de maïs		
	15 jas	30 jas	40jas	50jas	V1	V2	V3
	3441 a	2957 a	2779 ab	2139 b	2440 b	3413 a	2633 b
Signification au seuil de 5%	S				S		

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

3.1.2.2 - Effet du facteur "variété " sur le rendement en grain de maïs.

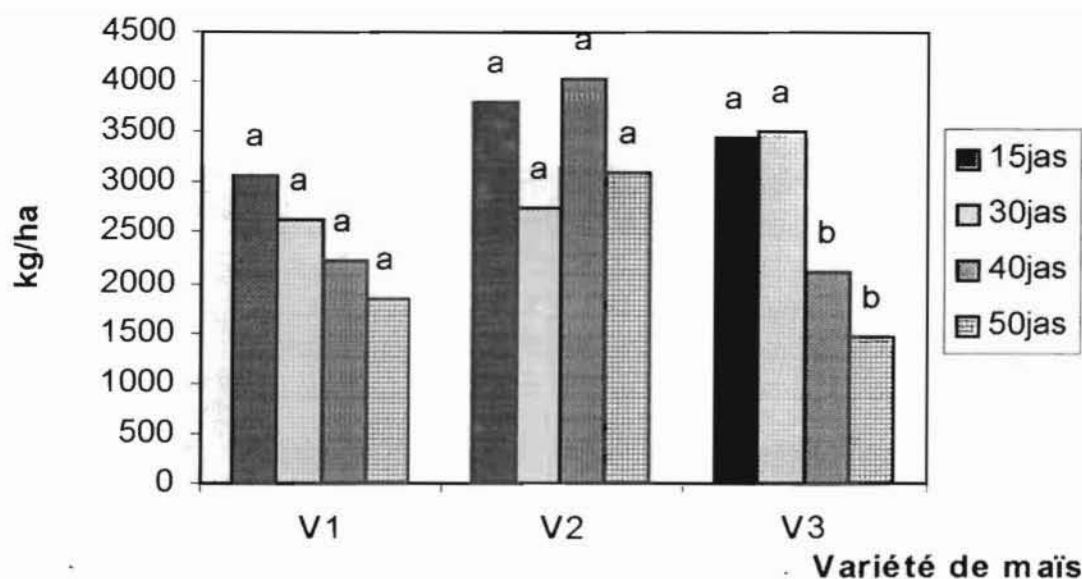
La variété la plus performante est celle précoce V2 (FBC 6) avec un rendement en grain de 3413 kg/ha. Les variétés intermédiaire V1 (SR 21) et extra-précoce V3 (KEB) sont statistiquement équivalentes avec des rendements de 2440 et 2633 kg/ha.

3.1.2.3 – Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.

La variété à cycle intermédiaire V1 (SR 21) : les dates précoces enregistrent le meilleur rendement en grain et les dates tardives le plus faible (figure 6). Précisément, 15 et 30 jours après semis donnent respectivement 3076 et 2623 kg/ha. Le rendement en grains le plus faible (1843 kg/ha) est obtenu à 50 jas. A 40 jas, on obtient 2218 kg/ha. Mais ces différences ne sont pas significatives au plan statistique

La variété à cycle précoce V2 (FBC 6) : l'observation de la figure 6 montre au plan arithmétique deux dates optimales d'apport d'azote. Il s'agit de 15 et 40 jours après semis. Les rendements enregistrés sont 3798 et 4019 kg/ha. Les dates 30 et 50 jas enregistrent les rendements en grain plus faible avec 2736 et 3100 kg/ha. Mais au plan statistique, il n'y a pas de différence.

La variété à cycle extra-précoce V3 (KEB) : Les dates 15 et 30 jas donnent respectivement 3447 et 3512 kg/ha. Ces deux rendements en grain sont non significativement différents et sont plus élevés que ceux procurés par les dates 40 et 50 jas (2101 et 1473 kg/ha).



□
Figure 6 : Effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en grain en fonction des variétés de maïs.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

V1 : variété à cycle intermédiaire SR 21 ;

V2 : variété à cycle précoce FBC 6 ;

V3 : variété à cycle extra-précoce KEB .

3.1.3 - Nombre de plantes à l'hectare (NPL)

3.1.3.1 - Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de plantes à l'hectare (NPL)

Le tableau 9 indique un effet non significatif de la date d'apport d'azote sur le nombre de plantes à l'hectare. Ce qui veut dire la date d'apport d'azote n'influence pas le nombre de plantes à l'hectare.

Tableau 9: Nombre de plantes/ha des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.

	Dates d'apport d'azote				Variétés de maïs		
	15 jas	30 jas	40 jas	50 jas	V1	V2	V3
	57274	52282	50546	52716	49937 b	56773 a	54905 a
Signification au seuil de 5%	NS				S		

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

3.1.3.2 - Effet du facteur « variété » sur le nombre de plantes à l'hectare.

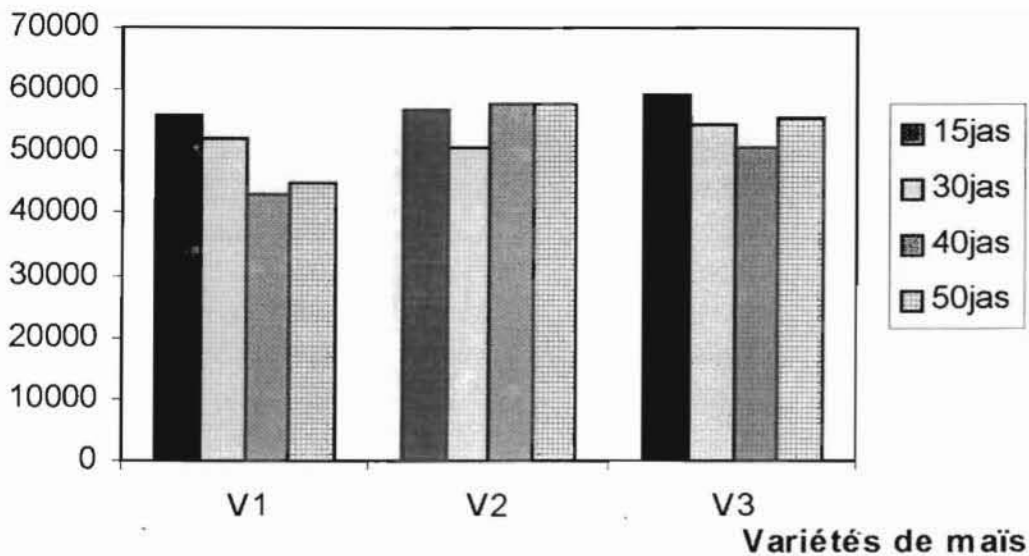
Par contre, la variété de maïs a un effet significatif sur le nombre de plantes à l'hectare. Les variétés précoce V2 et extra-précoce V3 donnent le nombre de plantes à l'hectare le plus élevé. Il est de 56773 pour la variété précoce et 54905 pour celle extra-précoce. La variété intermédiaire V1 enregistre le nombre de plantes à l'hectare le plus bas avec 49937.

3.1.3.3 – Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.

La variété de maïs à cycle intermédiaire V1 (SR 21) : la figure 7 montre une légère différence entre les nombres de plantes/ha enregistrés aux différentes dates d'apport d'azote. Le nombre de plantes à l'hectare est plus élevé aux dates 15 et 30 jas. Par contre à 40 et 50 jas, il est plus faible. A 15 et 30 jas, on obtient respectivement 55827 et 51993 plantes/ha contre 43023 et 44904 plantes /ha pour 40 et 50 jas. Mais l'analyse statistique permet de dire que les différences constatées ne sont pas significatives. De ce fait, la date d'apport d'azote est sans influence sur le nombre de plantes/ha.

La variété à cycle précoce V2 (FBC 6) : L'analyse statistique permet de dire qu'il n'y a pas de différence significative entre les différentes dates d'apport d'azote. Le nombre de plantes à l'hectare n'est pas influencé par la date d'apport d'azote.

La variété à cycle extra-précoce V3 (KEB) : la date d'apport d'azote est sans effet sur cette variété.



□
Figure 7 : Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de plantes à l'hectare en fonction des variétés de maïs.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

- V1 : variété à cycle intermédiaire SR 21 ,
- V2 : variété à cycle précoce FBC 6 ;
- V3 : variété à cycle extra-précoce KEB

3.1.4 – nombre d'épis par plante (NEPL).

3.1.4.1 – Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre d'épis par plante (NEPL).

L'analyse statistique permet de dire qu'il n'y a pas de différence significative entre les dates d'apport d'azote. Ainsi, le nombre d'épis par plante ne varie pas quelque soit la date d'apport d'azote (tableau 10).

Tableau 10 : Nombre d'épis moyens par plante des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.

	Dates d'apport d'azote				Variétés de maïs		
	15 jas	30 jas	40 jas	50 jas	V1	V2	V3
	0,902	0,852	0,865	0,864	0,826 b	0,947 a	0,837 b
Signification au seuil de 5%	NS				S		

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont différentes significativement au seuil de 5%.

3.1.4.2 - Effet du facteur «variété » sur le nombre d'épis par plante.

Le facteur «variété de maïs » a un effet significatif sur le nombre d'épis par plante (tableau 10). La variété précoce V2 (FBC 6) donne le nombre d'épis par plante le plus élevé (0,947). Les variétés intermédiaire V1 et extra-précoce V3 sont celles qui enregistrent le nombre d'épis par plante le plus faible (0,826 et 0,837).

3.1.4.3 – Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.

Les résultats regroupés dans le tableau 11 montrent qu'entre les différentes dates d'apport d'azote, la différence n'est pas significative pour les différentes variétés. Le nombre d'épis par plante est compris entre 0,761 et 0,892 pour la variété intermédiaire V1, 0,862 et 0,999 pour la variété précoce V2 et enfin 0,689 et 0,933 pour la celle extra-précoce V3

Tableau 11 : Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs

	V1	V2	V3
15 jas	0,81	0,973	0,923
30 jas	0,761	0,862	0,933
40 jas	0,892	0,954	0,803
50 jas	0,892	0,999	0,689
Signification au seuil de 5%	NS	NS	NS

3.1.5 – Nombre de grains par épi (NGE).

3.1.5.1 – Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de grains par épi (NGE).

Le tableau 12 indique un effet hautement significatif du facteur « date d'apport d'azote » sur le nombre de grains par épi. Les meilleures dates sont 15 et 40 jas. La date 50 jas reste celle qui donne le résultat le plus bas (246 NGE).

Tableau 12 : Nombre de grains par épi des différentes dates d'apport d'azote et des variétés de maïs.

		Dates d'apport d'azote				Variété de maïs		
		15 jas	30 jas	40 jas	50 jas	V1	V2	V3
		427 a	341 ab	368 a	264 b	346 a	390 a	313 b
Signification	au	HS				S		
seuil de 5%								

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

3.1.5.2 - Effet du facteur « variété » sur le nombre de grains par épi.

La variété a un effet significatif sur le nombre de grains par épi. Les variétés donnant le nombre de grains le plus élevé sont l'intermédiaire V1 et la précoce V2. Le nombre de grains le plus bas (313) est procuré par la variété extra-précoce V3.

3.1.5.3 – Effet de la date d'apport d'azote en fonction des variétés de maïs.

La variété à cycle intermédiaire V1 (SR 21) : Les résultats de la figure 8 montrent que le nombre de grains par épi (419 et 387) obtenu à 15 et 40 jas n'est pas différent statistiquement. Il est plus élevé que celui des autres dates. A 50 jas, on obtient le nombre de grains par épi le plus faible (260). Celui de 30 jas est de 319 grains par épi.

La variété à cycle précoce V2 (FBC 6) : comme pour la variété intermédiaire, le nombre de grains par épi est meilleur à 15 jas avec 450 grains par épi. A 30 et 40 jas, on

enregistre un nombre de grains statistiquement égal (357 et 424). La date 50 jas reste celle présentant le résultat le plus faible (328).

La variété à cycle extra-précoce V3 (KEB) : La figure 8 montre que le nombre de grains par épi décroît régulièrement de la date précoce à celle tardive. Néanmoins, les différences constatées entre 15 et 30 jas ne sont pas significatives. Le nombre de grains par épi est respectivement 411 et 345. Par contre le nombre de grains (205) obtenu à 50 jas est significativement inférieur à celui produit par les autres dates d'apport d'azote

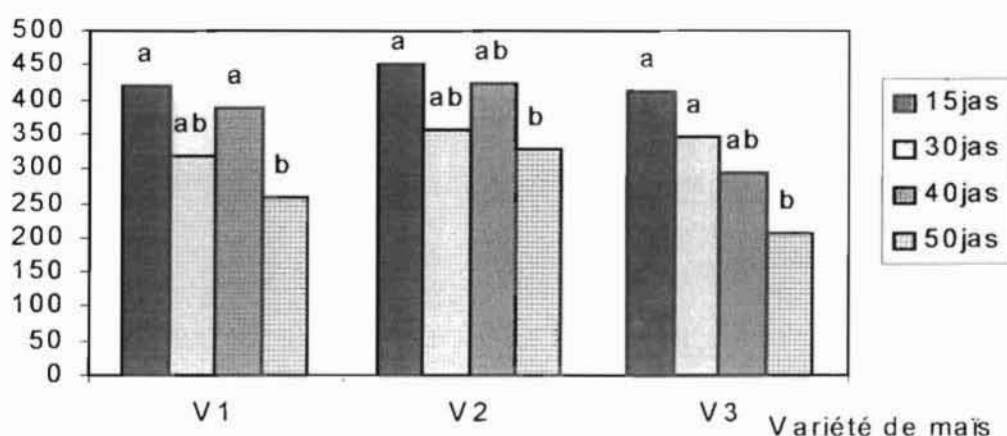


Figure 8 : Effet de la date d'apport d'azote sur le nombre de grains par épi en fonction des variétés de maïs.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

V1 : variété à cycle intermédiaire SR 21 ;

V2 : variété à cycle précoce FBC 6 ;

V3 : variété à cycle extra précoce KEB

3.1.6 – Poids moyen du grain (PMG).

Le tableau 16 présente l'effet des facteurs étudiés sur la composante poids moyen du grain et le tableau 17 quant à lui celui de la date d'apport d'azote sur le poids moyen du grain en fonction des variétés de maïs.

3.1.6.1 – Effet de la date d’apport d’azote et de la variété sur le poids moyen des grains (PMG).

Le tableau 13 montre que la date d’apport d’azote et la variété de maïs ont un effet non significatif sur le poids moyen du grain. Cela veut dire que la date d’apport d’azote et la variété de maïs n’influencent pas le poids moyen du grain.

Tableau 13 : Poids moyen du grain (mg) des différentes dates d’apport d’azote et des variétés de maïs.

	Dates d’apport d’azote				Variétés de maïs		
	15 jas	30 jas	40 jas	50 jas	V1	V2	V3
	157,2	179,3	162,2	166,8	160.8	163.3	175.0
Signification au seuil de 5%	NS				NS		

3.1.6.2 – Effet de la date d’apport d’azote en fonction des variétés de maïs.

Les résultats présentés dans le tableau 14 indiquent que la date d’apport d’azote a un effet non significatif sur le poids moyen du grain des différentes variétés de maïs. Pour la variété intermédiaire V1 (SR 21), le poids du grain est compris entre 148,9 et 176,0 mg. Quant à la variété précoce V2 (FBC 6), il se trouve entre 159,4 et 169,3mg. La variété extra-précoce a un poids moyen du grain compris entre 162,8 et 175,6 mg.

Tableau 14 : effet de la date d’apport d’azote sur le poids moyen du grain (mg) en fonction des variétés de maïs

	V1	V2	V3
15 jas	149,4	159,4	162,8
30 jas	176,0	169,3	192,6
40 jas	148,9	162,2	175,6
50 jas	169,0	162,4	169,0
Signification au seuil de 5%	NS	NS	NS

3.2- Discussion.

Le facteur « date d'apport d'azote » a un effet sur le rendement en paille. Cet effet qui varie en fonction des variétés se traduit par des rendements élevés à 15 et 30 jours après semis. Par contre, à 40 et 50 jas, les rendements obtenus sont faibles. Ce qui veut dire que pour toutes les variétés de maïs, il serait souhaitable d'apporter l'azote entre 15 et 30 jours après semis. Les mêmes résultats ont été trouvés par CHABALIER (1985) et GANRY (1990). Cette action de l'azote se justifie par le fait que la plante a besoin très vite de cet élément pour assurer la croissance de ces tissus végétaux (FALISSE et LAMBERT, 1994). GIGOU et CHABALIER (1987) ont observé que les quantités d'azote diminuaient au moment de la maturation dans les parties aériennes. Ceci pourrait justifier les faibles rendements en paille constatés lorsqu'on apporte l'azote à partir du 40ème jas. C'est pourquoi les dates précoces enregistrent les meilleurs rendements comparativement aux dates tardives.

L'effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en paille en fonction des variétés de maïs permet de retenir les dates optimales d'apport d'azote. Pour la variété intermédiaire V1, l'azote devrait être apporté à 15 jas. Toutes les dates ont un rendement acceptable pour la variété précoce V2 ainsi que celle extra-précoce V3. Ces résultats montrent que la date d'apport d'azote varie en fonction de la longueur du cycle de la variété de maïs. Pour toutes les variétés, l'azote pourrait être apportée à partir de 15 jas, à l'exception des variétés précoce et extra-précoce qui pourront le recevoir entre 15 et 50 jours après semis. Il existe des stades critiques où le manque de livraison de l'azote par le sol est préjudiciable à la plante. SUBREVILLE (1986) les situe pour le maïs peu avant la floraison et à la floraison. Ces stades ne se coïncidant pas dans chaque variété de maïs, les apports d'azote doivent être ajustés de manière à les correspondre.

Le rendement en grain est également influencé par la « date d'apport d'azote ». Il varie en fonction de la variété. Les dates 15, 30 jas et la variété précoce V2 ont un rendement élevé. Par contre les dates 40, 50 jas, les variétés intermédiaire V1 et extra-précoce V3 procurent les faibles rendements. Comme pour la paille, ces résultats montrent que l'apport d'azote devrait se faire entre 15 et 30 jas. Ce sont les dates précoces qui ont les rendements en grain plus élevés alors qu'ils sont faibles aux dates tardives. Le maïs valorise très tôt l'azote pour élaborer son rendement grain (CHABALIER, 1985). La majorité des éléments minéraux est prélevée

différentes dates d'apport d'azote des variétés de maïs à cycles, intermédiaire, précoce et extra - précoce.

2.2.1 – Matériel

2.2.1.1 – Les sols

Les sols de Farako-Bâ sont de type faiblement ferralitique (NICOU *et al*, 1987; BADO *et al*, 1991). Ils sont de texture sableuse. La teneur en azote total est faible, et le pH est légèrement acide. La capacité d'échange cationique est faible et le taux de saturation en bases échangeables est supérieur à la moyenne. Le tableau 5 donne à titre d'exemple les caractéristiques physico-chimiques d'un sol d'un essai de Farako-Bâ (HIEN,1990).

2.2.2 – Méthodologie

2.2.2.1 – Dispositif expérimental.

Le dispositif expérimental choisi est un « split-plot » avec quatre (4) blocs incomplets. Les deux (2) facteurs retenus sont la date d'apport d'azote et la variété de maïs. Les parcelles principales correspondent aux dates d'apport d'azote.

- Date 1 (Dat1) : 15 jours après semis (JAS)
- Date 2 (Dat2) : 30 JAS;
- Date 3 (Dat3) : 40 JAS;
- Date 4 (Dat4) : 50 JAS.

Ces parcelles principales sont divisées en trois (3) parcelles secondaires. Chaque parcelle secondaire reçoit une des trois variétés de maïs:

- la SR 21 (V1) : variété à cycle intermédiaire;
- la FBC 6 (V2) : variété à cycle précoce;
- la KEB (V3) : variété à cycle extra - précoce.

2.2.2.2 – Conduite de l'essai.

✓ Les précédents cultureux

Le terrain sur lequel a été implanté l'essai a toujours été préparé par un tracteur et la rotation coton-maïs est pratiquée.

✓ Préparation du sol.

Le labour a été réalisé par un tracteur en début de campagne, suivi d'une homogénéisation du sol à la daba avant le semis.

✓ Le semis.

Le semis est manuel. Il a été réalisé en fin juillet par cause d'installation tardive des pluies utiles. Les variétés de maïs ont été toutes semées en poquets alignés à la main. Les lignes sont espacées de 0,80m et les poquets sont distants de 0,40m. Chaque parcelle élémentaire comporte cinq (5) lignes et dix (10) poquets par ligne. La dose a été de trois (3) grains par poquet. La densité de semis est de 62 500 plants par ha. Le demariage a été fait à deux (2) plantes par poquet.

durant une période de cinq semaines allant de 10 jours avant l'apparition des panicules mâles à 25-30 jours après. MOULE (1980) trouve 2,5 kg d'azote/ha/jour les premières semaines. Ainsi l'azote apporté à 15 et 30 jas est livré par le sol à la plante au moment des besoins. Par contre à 40 et 50 jas, l'azote apporté n'arrive plus à satisfaire les besoins de la plante. C'est pourquoi l'apport tardif réduit significativement les rendements en grain de maïs (LE CONTE , 1950).

De ce fait, il est nécessaire d'avoir une idée précise sur le potentiel de la culture de manière à bien la fertiliser. L'effet de la date d'apport d'azote sur le rendement en grain en fonction des variétés de maïs indique que les dates optimales d'apport d'azote sont fonction de la longueur de la variété. Elles se situent entre 15 et 50 jas pour les variétés intermédiaire V1 et précoce V2. Pour la variété extra-précoce V3, l'apport d'azote devrait se faire entre 15 et 30 jas. Au même titre que la paille, il ressort de manière générale que la fertilisation azotée du maïs pourrait être effectuée entre 15 et 30 jas. Ce résultat tient du fait que l'application de l'engrais azoté devrait être ajustée à la cinétique d'absorption de l'azote par la plante (BLONDEL, 1971).

L'effet du facteur « date d'apport d'azote » montre que le nombre de plantes à l'hectare est statistiquement le même pour toutes les dates d'apport d'azote. En d'autres termes, la date d'apport d'azote n'a pas d'influence sur le nombre de plantes à l'hectare. Le même résultat a été trouvé par LE CONTE (1950). En effet la composante nombre de plantes à l'hectare dépend des conditions physico-chimiques du sol et des conditions environnementales (KAMBIRE, 1989), notamment les techniques culturales. Chez le maïs , c'est en début de végétation que l'on décide de la densité de peuplement La date d'apport d'azote n'influence pas le nombre d'épis /plante. I.E CONTE (1950) et VELLY (1967) arrivent à la même conclusion. VELLY (1967) trouvent que la date d'apport d'azote n'influence pas le nombre d'épis/plantes, il dépend de la quantité d'azote apportée.

Par contre, le nombre d'épis/plante varie en fonction de la nature de plante et de la variété Ce résultat est en accord avec celui de ROUANET (1984) et SUBREVILLE (1986) Ainsi, la composante nombre d'épis/plante bien qu'ayant un effet sur le rendement en grain de maïs n'ait pas influencé par la date d'apport d'azote, mais par la variété de maïs.

Le facteur « date d'apport d'azote » a un effet hautement significatif sur le nombre de grains/épi. Les dates 15, 30 et 40 jas permettent d'obtenir un nombre de grains/épi plus élevé.

Il est faible à 50 jas. En situant le nombre de grains /épi dans le cycle du maïs, son élaboration s'effectue à la phase floraison femelle. MOULE (1980), ROUANET (1984) et SUBREVILLE (1986) expliquent que cette phase est celle où les besoins azotés augmentent dans la plante. Un déficit en azote durant cette phase entraîne des baisses de rendement en grain (SUBREVILLE, 1986). La variété de maïs a un effet significatif sur le nombre de grains/épi. Les variétés intermédiaire V1 et précoce V2 donnent le nombre de grains/épi plus élevé et la variété extra-précoce V3 procure le plus faible. Ces résultats sont attribuables au potentiel de rendement de chaque variété de maïs

La composante poids moyen du grain s'élabore à la dernière phase du cycle de la plante, à la phase remplissage du grain. Cette phase est souvent affectée dans notre zone climatique par des déficits pluviométriques. Dans nos conditions expérimentales, nous n'avons pas connu ce déficit pluviométrique, car l'année a été bien arrosée. De plus cette phase est celle où les besoins azotés diminuent dans la plante. C'est pourquoi dans nos conditions expérimentales la date d'apport d'azote n'a aucune influence sur le poids moyen du grain. De même, la variété de maïs a un effet non significatif sur le poids moyen du grain.

CONCLUSION GENERALE.

Ce travail a permis d'étudier l'effet de la date d'application d'azote sur les rendements et les composantes du rendement de quelques variétés de maïs à cycles intermédiaire, précoce et extra-précoce.

Les résultats obtenus ont montré qu'il y a un effet significatif du facteur « date d'apport d'azote » sur les rendements en grain, en paille et la composante nombre des grains/épi. Par contre la date d'apport d'azote n'a pas d'influence sur le nombre de plantes/ha, le nombre d'épis/plante et le poids moyen du grain.

Il ressort de cette étude des effets de la date d'apport d'azote sur les composantes du rendement et les rendements des variétés de maïs à cycles intermédiaire, précoce et extra-précoce qu'il existe un intervalle d'au moins deux semaines où l'apport d'azote pourrait être effectué. Pour toutes les variétés la date 15 jas procure de bons résultats. Quant à la date limite d'apport d'azote, elle est fonction de la longueur du cycle de la variété. En prenant en compte le paramètre rendement en grain, nous pouvons faire les suggestions suivantes :

- -pour la variété intermédiaire (SR 21) et extra-précoce (KEB), la date optimale d'apport d'azote est située entre 15 et 30 jours après semis :
- pour la variété précoce (FBC 6), la date optimale d'apport d'azote est comprise entre 15 et 40 jours après semis.

Cette étude réalisée en station demande à être répétée et confirmée par des expérimentations en milieu paysan.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARIDY D., AUBERT G., 1986. Effet des facteurs autres que chimique sur la fertilité des sols tropicaux . Compte rendu de la séance rapport de synthèse du groupe d'étude 2. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Agronomie tropicale, n°5

BADO B. V., SEDOGO P. M., CESCAS M. P., LOMPO F., BATIONO A., 1997. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements de maïs au Burkina-Faso. Cah. d'Agri 1997, vol 6, n°6, pp 547-626.

BELEM J.; 1982. Etude comparative du comportement de quelques genotypes de maïs (*Zea mays L*) dans deux zones écologiques de la Haute Volta. Mémoire de fin des études en vue d'obtention du Diplôme d'ingénieur du développement . INERA-Kamboinsé, Saria et Farakobâ.

BLONDEL D.; 1971. Contribution à la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (DIOR) au Sénégal. Agronomie Tropicale, n°12. 1303-1333.

CHABALIER P.F.; 1985. Bilan de fumures sous culture de maïs dans le centre de la Côte d'Ivoire. Agronomie tropicale, vol.40, n°3, 253-262.

CHARRIER A.; JACQUENOT M.; HAMON S.; NICOLAS D.; 1997. Amélioration des plantes tropicales .Edit. Scientifique -CIRAD-ORSTOM. 619 pp.

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

DUPRIEZ H.; DE LEFNER P.; 1983. Agriculture tropicale en milieu paysan africain. Edit. Terre et vie. Harmattan environnement africain ENDA. 280 pp.

DUPUY J.; D'ONOFRIO G.; GAUDIN R.; 1990. Eude à l'aide d'urée enrichie en ¹⁵N de la fertilisation azotée du riz inondé à Madagascar. Agronomie tropicale. vol. 45, n° 1, 3-21.

FALISSE A.; LAMBERT J.; 1994. Fertilisation minérale et organique. in. TAYEB AMEZIANE E.H.; PERSOONS E.: Agronomie moderne ::Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier-AUPELF-UREP. 377-398.

GANRY F.; 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse. Science Naturelles. Université de Nancy 1. 354 pp.

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

GIGOU J.; CHABALIER P.F.; 1987. L'utilisation de l'engrais azoté par les cultures annuelles en Côte d'Ivoire. Agronomie Tropicale, vol 42, n°3, 171-179.

- GROS A.; 1974. Engrais, guide pratique de la fertilisation. Edit. Maison-Rustique, 436 pp.
- HIEN V.; 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina-Faso. Thèse, Sciences Agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine. 148 pp.
- KAMBIRE S.H.; 1989. Effets d'un amendement calcique sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé soumis au labour et à la culture continue d'arachide. Mémoire, Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A) en Science de l'Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Institut des Sciences de l'Environnement. 67pp.
- KAMBIRE S.H.; SEDOGO P.M.; 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, 3-7mai, IITA-Cotonou, Benin.
- INERA.; 1973. Rapport annuel 1972-1973. Section d'expérimentation . Institut de Recherche du Coton et des Textiles exotiques.
- INERA.; 1994. Bilan des activités de recherche sur le Sorgho, le mil et le maïs au Burkina Faso. Programme Sorgho, mil et maïs (SOMINA). 101 pp.
- INERA.; 1996.; Raisonnement de la fertilisation azotée du maïs en zone de savane ouest africain en fonction des conditions pédoclimatiques. Projet STD3, n°TS3-CT94-0262.
- ISMAILI M.; 1994. Fixation biologique de l'azote. in, TAYEB AMEZIANE E.H.; PERSOONS E.; Agronomie moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier-AUPELF-UREF, 293-310.
- LAMBERT J.; TREMBLAY N.; HAMEL CH.; 1994. Nutrition minérale des plantes cultivées. in, TAYEB AMEZIANE E.H.; PERSOONS E.; Biologie moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier-AUPELF-UREF, 269-292.
- LE CONTE J.; 1950. Le maïs hybride aux Etats unis d'Amérique. Archives de l'institut des recherches agronomiques de l'Indochine. 190 pp.
- LOMPO M.C.; 1996. Incidence des modes de gestion paysanne sur la fertilité des sols dans la zone maïsicole du Burkina Faso. Mémoire. Ingénieur du Développement Rural, Institut du Développement Rural (IDR).
- MINISTERE DE LA COOPERATION FRANCAISE (MCF).; 1993. Mémento de l'agronome. Collect. Techniques rurales en Afrique. 1601 pp.
- MOULE C.; 1980. Céréales. Phytotechnie spéciale : Bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France. Collect. Raymond Mondet. Maison-Rustique. 318 pp.

NICOU R.; OUATTARA B.; SOME L.; 1987. Effet des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (Sorgho, Maïs et Mil) au Burkina Faso. INERA. 77 pp.

OKIGBO N.; 1973. Effet de la localisation des engrais sur le développement et le rendement du maïs. *Agronomie Tropicale*, n°1, janvier 1973. 75-79.

PIERI C.; 1973. Fumures des céréales de culture sèches en république du Mali. Premier essai de synthèse. *Agronomie Tropicale*, vol 28 n°8, 751-766.

PIERI C.; 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du sahara. Ministère de la coopération-IRAT/CIRAD. 444pp.

ROUANET G.; 1984 Le Technicien d'agriculture : Le maïs. Edition : Maisonneuve et Larose. Agence de coopération culturelle et technique (ACCT). 142pp.

SANOUE J.; 1998. Indications pour réunir la culture du maïs. Fiche technique.

SARGONI H.; POSS R.; OLIVER R.; 1990. Dynamique et lixiviation des éléments minéraux dans les terres de barre du sud du Togo. *Agronomie Tropicale*, vol. 45, n°5, 259-272.

SEBILJOTTE M.; 1989. Fertilité et système de production. Institut National de Recherche Agronomique (INERA). Ecologie et Aménagement Rural. Collect. dirigée par Dollfus O et Decourt N. 369pp.

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

SIBAND P.; 1994. Raisonnement de la fertilisation azotée du maïs en zone de savane ouest africaine en fonction des conditions pédoclimatiques . n° TS -CT94-0262. CIRAD-IACR-INERA. 360pp.

SIBOMANA I.; 1997. Effet de la fertilisation azotée du maïs dans la zone ouest du Burkina Faso. Rapport de stage. IDR-INERA-Farako-bâ.

SOLTNER D.; 1976. Phytotechnie générale: les bases de production végétale : le sol-le climat-la plante. Tome 1: le sol. 5^{ème} édition. Collect. Sciences et techniques agricoles

SOLTNER D.; 1986. Les bases de la production végétale . Tome 1. le sol 14^{ème} édition. collect. Sciences et Techniques agricoles. 464pp.

SUBREVILLE G.; 1986. La culture du maïs : connaissance de la plante, connaissance du milieu, phytotechnie. ENSA/ABIDJAN. 44pp.

TAGNAN T.A.; 1986. Etude du comportement des variétés améliorées de maïs en milieu paysan. Mémoire. Ingénieur du Développement Rural. Institut du Développement Rural (IDR)..

TRAORE S.; GIGOU J.; 1991. Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière : l'expérience de la Côte d'Ivoire. in, A.U.MOKWUYE (Ed), *Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa*, 125-129. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

VELLY J.; LATRILLE E.; 1967. Influence de la date d'apport et de la dose d'azote sur l'efficacité de l'azote et du phosphore en rizière. *Agronomie Tropicale*, n°4, Avril 1967. 352-363.

VELLY P.J., 1967. Influence de la localisation de l'azote et du phosphore en rizière sur leur absorption étudiée avec les isotopes ^{15}N et ^{32}P . *Agronomie tropicale*, n°4, avril 1967, 364-374.

YEMBOUA K.; N'GUETTIA R. Y.; GOUE B. D.; COULOUDE J. Y.; 1996. Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains du maïs (*Z. mays L.*). *Cahiers d'Agricultures*, vol 5, n°3, p. 189-193.

ZOURE G.; 1997. Evolution du potentiel de rendement des variétés de maïs précoces et extra précoces dans les conditions de semis tardif en zone ouest du Burkina Faso. Rapport de stage de technicien supérieur . INERA.

ANNEXES

Annexe 1: CALENDRIER CULTURAL

Dates	Activités
21-27 juillet 1999	Planage et piquetage du terrain
27-29 juillet 1999	Semis
1-11 Août 1999	Réalisation des diguettes
10-16 Août 1999	Prélèvement des échantillons de sol
12 Août 1999	- Première application d'urée (date 1) - Epannage du NPKMgO
12-17 Août 1999	1 ^{er} Sarclage et demariage à 2 plants/poquet
27 Août 1999	Deuxième application d'urée (date 2)
3-8 Septembre 1999	Deuxième sarclage
6 Septembre 1999	Troisième application d'urée (date 3)
9 Septembre 1999	Epannage du TSP et du KCl
9-22 Septembre 1999	Buttage
15 Septembre 1999	Relever du nombre de plantes/parcelle utile
16 Septembre 1999	Quatrième application d'urée (date 4)
16 Novembre 1999	Récolte de la variété extra-précoce (V3)
17 Novembre 1999	Récolte de la variété précoce (V2)
23 Novembre 1999	Récolte de la variété intermédiaire (V1)
2 Décembre 1999	Récolte de la paille

Annexe 2 : Fiche de relevé pluviométrie de l'année 1999 de Farako-bâ.(mm)

Dates	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	N	D
1							25.0	47.0		17.7		
2							TR		12.8			
3						4.3	9.6		TR	24.0		
4					12.6			0.4	2.8			
5								21.1	3.5			
6							7.6		14.7	30.8		
7				TR	2.9		0.8	5.2	5.9	14.7		
8						0.7		6.4	0.1			
9									5.5	7.0		
10							11.7	14.1	7.4			
11						5.0		3.1				
12							0.6	0.4				
13					11.5		0.8	2.3	8.0			
14				80.4	3.3		0.5	18.0	8.0	18.4		
15			47.9						15.6	8.0		
16			0.4		0.2			37.4		4.4		
17				5.5	28.7	28.0	TR	0.7	8.9		TR	
18					0.3			2.1			TR	
19							21.4					
20				TR			0.2		33.4			
21							3.2	8.1				
22							13.7	24.3	6.5			
23				33.2		2.1	2.3					
24							1.4		41.1			
25			17.3		5.3		4.5	6.8				
26						21.7	0.3	14.0				
27				34.8	0.5	47.3	14.3	6.0	15.0			
28							8.8	2.0	1.0			
29				TR								
30					14.3	2.6		3.2	8.5			
31							35.1	23.7				
Total mois	Nt	Nt	65.6	153.9	79.6	111.7	167.8	246.3	191.5	118.7	Nt	Nt
Total annuel	Nt	Nt	65.6	219.5	299.1	410.8	578.6	824.9	1016.4	1254.1		
Nbre jrs/mois	Nt	Nt	3	4	10	8	19	21	17	8		
Nbre jrs/an	Nt	Nt	3	7	17	25	44	65	82	89		

Total annuel 1135.1mm Nombre de jours de pluies : 90

Annexe 3: Pluviométrie moyenne annuelle de 1994 à 1999 à Farako-bâ

Années	Pluviométrie moyenne annuelle (mm)
1994	1065.5
1995	1160.4
1996	1020.
1997	1179.1
1998	1225.1
1999	1135.1
Moyenne	1131.5

Annexe4 : Température et humidité moyennes mensuelles de Farako-bê en 1999

Mois	Température (°c)	Humidité (%)
Janvier	24.5	28.6
Février	25.4	26.7
Mars	28.7	38.4
Avril	28.7	52.1
Mai	29.2	59.6
Juin	27.5	70.3
Juillet	25.6	76.0
Août	25.25	80.4
Septembre	25.5	77.0
Octobre	26.3	67.3
Novembre	25.6	45.0
Décembre	22.8	24.6