



REPUBLIQUE DU SENEGAL

Un peuple – Un but – Une foi

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

UNIVERSITE DE THIES

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRICULTURE (ENSA)



DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS VEGETALES

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Option : Productions Végétales

Diversité de gestion et d'efficacité des nutriments dans les systèmes de culture du mil (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.) pratiqués dans une petite région du bassin arachidier pendant la saison 2014.

Présenté et soutenu publiquement par :

M. Médoune MBENGUE

Avril 2015

Devant le jury :

Pr Abdoulaye DIENG	Directeur de l'ENSA	Président
Dr Khadidiatou Ndoye Ndir	chef de département PV, ENSA	Membre
Dr Dominique MASSE	Directeur LMI IESOL, IRD Dakar	Membre
Dr Cathy Clermont-Dauphin	UMR Eco&Sols, IRD	Membre/ Encadreur
M. Alpha Diallo	Département PV, ENSA	Membre
Dr Ibrahima Diédhiou	Département PV, ENSA	Membre/Rapporteur

Table des matières

DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
RESUME	vii
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES PHOTOS.....	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 :SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1. La plante étudiée : Le mil	5
1.1.1. Origine	5
1.1.2. Physiologie.....	5
1.1.4 Écophysiologie du mil.....	9
1.1.5 Contraintes de la culture du mil	9
1.2 Histoire agraire de la zone.....	10
1.3 Le cycle des nutriments.....	11
1.4 La démarche de diagnostic agronomique pour l'analyse des performances de systèmes de culture in situ.....	12
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODOLOGIE.....	13
2.1 Présentation de la zone d'étude	14
2.1.1 Localisation.....	14
2.1.2 Caractéristiques physiques de la zone d'étude (Diohine)	14
2.1.2.1 Le climat	14
2.1.2.2. Les sols.....	16
2.1.2.3 La végétation	16
2.1.3 Organisation du terroir villageois.....	17
2.2. Dispositif d'étude en réseau de parcelles d'agriculteurs	18
2.2.1 Le choix des agriculteurs et des parcelles suivies	18
2.2.2 Mesures et observations	21
2.3 Variables mesurées	22
2.3.1 Variables plantes	22
2.3.2 Paramètre sol	26
2.4 Efficacités d'utilisation et de conversion des nutriments par la culture	28
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS	31

Résultats :	32
3.1 Conduite de la culture du mil sur les parcelles paysannes étudiées.....	32
3.1.1 Précédent cultural	32
3.1.2 La préparation du sol.....	33
3.1.3 Choix des variétés.....	34
3.1.4 Semis	35
3.1.5 Entretien de la culture.....	36
3.1.5.1 Désherbage.....	36
3.1.5.3 Gestion de la fertilisation	37
3.1.5.4 Protection de la culture.....	40
3.1.6 Récolte et opérations post récolte.....	40
3.2 Effets des modes de gestion de la fertilité sur les sols.....	43
3.2.1 Caractéristiques physiques des sols échantillonnés au début montaison du mil.....	43
3.2.2 Caractéristiques chimiques des sols échantillonnés au début montaison du mil.....	44
3.3 Effet des modes de gestion de la fertilité sur la culture de mil.....	48
3.3.1 Caractéristiques agro-morphologiques des pieds de mil à la récolte.....	48
3.3.2 Le potentiel hydrique de base du mil.....	48
3.3.3 Le rendement en grains du mil.....	49
3.3.3 Relations entre composantes du rendement.....	Erreur ! Signet non défini.
3.3.3.1 Relation entre le nombre de talles/poquet et le nombre de poquets/10m ²	50
3.3.3.2 Relation entre le nombre d'épis et de talles/poquet.....	51
3.3.3.3 Relation entre le nombre de grains/épi et le nombre d'épis/m ²	52
3.3.3.4 Relation entre le poids de mille grains et le nombre de grains/m ²	53
3.3.4 Efficacités d'utilisation et de conversion des nutriments par la culture	53
Discussions :	55
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	59
ANNEXES.....	65

DEDICACE

Ce mémoire est dédié:

A mon Père Samba MBENGUE et à ma grand-mère Mame Sokhna KANE, tous arrachés à notre affection. Je n'oublierai jamais toute l'affection et l'admiration que vous me portiez.

Qu'Allah vous accueille dans ses illustres Paradis, Amen.

REMERCIEMENTS :

Tout d'abord je rends grâce à ALLAH, le Tout Puissant pour m'avoir permis de mener à terme ma formation.

A l'issus de cette étude, nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui de près ou de loin n'ont ménagé aucun effort pour la réussite du stage pendant notre séjour d'une part et à l'élaboration du présent mémoire d'autre part. C'est l'occasion pour nous de leur exprimer notre profonde gratitude et nos reconnaissances.

Ainsi nos remerciements vont particulièrement à:

- Pr Abdoulaye DIENG, directeur de l'ENSA (Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture) de Thiés
- Dr Mamadou Thiam DIOP, Directeurs des études de l'ENSA.
- Dr khadidiatou Ndoye NDIR, Chef du département de productions végétales de l'ENSA et à travers elle tous les professeurs du département des Productions Végétales
- Pr Saliou NDIAYE, Professeur à l'ENSA et à travers lui tous les professeurs de l'ENSA de Thiès
- Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes vifs remerciements à Dr Dominique MASSE directeur du laboratoire écologie microbienne des sols et agro systèmes tropicaux (LEMSAT/IRD) de m'avoir accueilli dans son illustre Laboratoire. Mais également pour ses conseils et sa constante disponibilité. A travers lui, je remercie tout le personnel de l'IRD/LEMSAT pour l'accueil chaleureux et les moyens mis à notre disposition pour la réussite de cette étude.
- Je me dois de faire une mention spéciale à mon encadrant Dr Cathy Clermont DAUPHIN, les mots me manquent pour vous exprimer ma gratitude et ma reconnaissance, je ne peux que prier pour vous. Qu'Allah vous donne longue vie, vous garde en bonne santé et vous couvre de sa grâce. je vous porterai toujours dans mon cœur.
- Dr Ibrahima DIEDHIOU, qui a bien voulu co-encadrer ce mémoire pour sa disponibilité et la promptitude avec laquelle il a toujours répondu à mes sollicitations. Je ne saurais trouver les mots justes pour vous remercier et vous dire combien je vous suis reconnaissant.
- Par avance, je remercie vivement tous les membres de mon jury de soutenance d'avoir accepté d'évaluer mon mémoire.

- A tous les chercheurs de l'ISRA et de l'IRD de Bel Air : Dr Yacine Badiane Ndour, Dr Laurant Cournac, Dr Komi, Dr Laure Talle, Dr Djido Kane, Dr Vayssières, Dr Diéonor, Dr Tine, Dr Badiane ...
- A Mon père Samba MBENGUE et à ma mère Mame Niabass MBENGUE, qui m'ont élevé et inculqué le sens de la responsabilité, de l'honneur et du respect pour les autres. Que Dieu nous aide à aller au-delà de vos espérances sur notre personne.
- Mes frères et sœurs (Pathé, mame laye, Maty, pape, fallou, anta, ndeye sokhna, birane, marame, maimouna, adji, mouhamed) qui n'ont ménagé aucun effort pour ma réussite, qu'ils puissent trouver toute ma reconnaissance. Leurs soutiens et leurs attentions à mon égard tout au long de mes études n'ont d'égal que l'amour fraternel que nos parents ont si bien tissé entre nous; puisse ce sentiment demeurer et se renforcer toute notre vie.
- A mes tantes Ndiawa, ngoné, faty, maguette,
- A toute la famille mbengue de sakal, bakhdar, fass, Dakar
- A toute la famille Ndiaye de LOUGA (Tonton Méthiour, Ma Tante Adji Ndiaye, Tonton Abdou, Mamadou, Pape Dione, Codou, Mamy, Thioro, Coumbis, Maman Aida, Raby ...)
- Mes camarades de promotion. Je ne puis dire combien je vous porte dans mon cœur et aimerais vous voir épanouis et réussir dans vos projets de vie.
- A tous mes collègues stagiaire au LEMSAT (Tidiane, Bécaye, sitor, Ben, Cristian, Adama, Banna, Malou, Tine, Richard, Rachael, Ablaye, Biba, Abibatou, Falilou, Der, Sabaly, Esther, Thibault,)
- Mes amis de l'Isfar de Bambéy (Ass, Améth Diaw, Diba, Djily, Khady, Mariama, Khéwé, Djibril, Mamadou, Bouna, Souléyman Guaye, ...)
- Toute la population du village de Diohine, mention spéciale à Fatou Faye et à toute la famille Faye de Sasséme. et à tous ceux dont les noms n'ont pas pu être cités, je les prie d'y voir l'épanchement d'un cœur rempli de gratitude à leur égard.
- A toutes et à tous, je réitère mes sincères reconnaissances et remerciements.

RESUME

En zone subsaharienne la production est loin de répondre aux besoins de la population, en raison d'un grand nombre de contraintes telles que la dégradation de la fertilité des sols et le déficit hydrique. Dans la petite région du bassin arachidier où ce travail est réalisé, on retrouve la même situation. Des sols à texture sableuse généralement pauvres en matière organique (0,2 à 0,5 %), dont la mise en culture se traduit souvent par une évolution défavorable de leurs propriétés physico-chimiques. L'étude de la diversité de gestion et de l'efficacité des nutriments entre parcelles d'agriculteurs est nécessaire pour comprendre comment elles fonctionnent et pour trouver des voies d'amélioration de la productivité *"in situ"*. L'objectif de ce travail est de caractériser la diversité des modes de gestion de la fertilité des parcelles de mil, d'évaluer et d'analyser les variations de performances de ces modes de gestion vis-à-vis de la production du mil d'une part, et des caractéristiques de sols d'autre part.

Une des originalités de ce travail c'est qu'il est réalisé dans les conditions réelles d'un réseau de 23 parcelles d'agriculteurs. Les enquêtes sur les itinéraires techniques développées sur ces parcelles montrent que les systèmes de culture du mil pratiqués dans le terroir de Diohine sont très variables. La proportion des parcelles recevant soit de l'engrais chimique, soit aucune fumure est très importante en champs de brousse; et la plupart des parcelles ayant bénéficié de parcage d'animaux et d'apport de fumier pailleux sont en champs de case. Les champs de case présentent des rendements nettement supérieurs aux champs de brousse. Les meilleurs rendements ont été obtenus sur ceux qui ont bénéficié de parcage. Un effet positif de l'apport de fumures sur la croissance et la production du mil a été aussi observé en champs de brousse. Les parcelles ayant reçu de la matière organique (fumier pailleux, parcage et déchets de cours) ont des teneurs en azote, carbone, phosphore, etc plus élevées que les parcelles qui n'ont pas bénéficié d'apport de matières organiques. Les sols de champs de case ont des densités apparentes plus faibles que les sols de champs de brousse. Les efficacités de conversion maximales de l'azote, du phosphore et du potassium absorbé en grains sont respectivement de l'ordre de 26 kg de grains/Kg d'N, 252 Kg de grains/Kg de P et 36 Kg de grains/Kg de K.

Mots-clés : Système de culture, Efficacité des nutriments, fumures, Champs de case, champs de brousse, mil, Bassin arachidier.

ABSTRACT

In sub-Saharan area the production is far to respond to the needs of the population, the constraints such as the degradation of soil fertility and water deficit being the main reasons. In the small area of the peanut basin where this work is done, we find the same situation. Soils with sandy texture generally poor in organic matter (0.2 to 0.5%), whose cropping impact is unfavorable to in their physicochemical properties. Thus, the study of diversity management and nutrient efficiency is needed understand how the farmers plots were managed and to find the way to improve productivity " *in situ* ". The objective of this work is to characterize the diversity of fertility management in millet plot, and to evaluate and analyze the performance of these management on millet production on the one hand, and the characteristics of soil and the other hand.

This work is realized in an network of 23 plots. The surveys indicated that the cropping systems of millet is variable in this area . The proportion of plots receiving either chemical fertilizer or no fertilizer is high in outfields; and most plots that benefited from cattle manure where in homefields. The homefields have significantly higher yields than out fields. The best yields were obtained on plot that benefited from manure. The soil nutrients availability (nitrogen, carbon, phosphor, etc) is higher in plots that received manure than in the others. Soil bulk density were lower in the home fields than the out fields. The maximum conversion efficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium uptake for grains yields were, respectively, 26 kg / kg of N, 252 Kg / kg P and 36 kg / g of K.

Key-words: Cropping systems, Efficiency of nutrients, millet, manure, homefields, outfields, peanut basin.

LISTE DES ABREVIATIONS

% : Pourcent

ANOVA : Analyse de variance

ARN : Agence Nationale de la Recherche

CB: Champ de Brousse

CC : Champs de case

CEC ou T: Capacité d'Echange Cationique

DE : Diamètre Epis

DP : Diamètre Plantes

ENSA : Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture

etc. : *et cætera*

ha : Hectare

HP : Hauteur Plantes

IRD : Institut De Recherche pour le Développement

ISRA : Institut Sénégalais de Recherche Agronomique

KGMS : Kilogramme de Matière Sèche

LE : Longueur Epis

LEMSAT : Laboratoire d'Ecologie Microbienne des Sols et Agro Système Tropicaux

NT : Nombre de Talles

PIFIND : champ de case (*pombod en sérère*)

SAU : Surface Agricole Utile

SAUT : Surface Agricole Utile du Terroir

Saltus: pâturage périphérique (zone pastorale)

SOUNA : mil à cycle court (*pod en sérère*)

UBT : Unité Bétail Tropical

UMR : Unité Mixte de Recherche

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Morphologie du mil (NOBA, 2002).....	6
Figure 2 : Diagramme schématique des principales phases de croissance du mil:(Tiré de Maiti et Bidinger, 1981). 9	
Figure 3 : Evolution des systèmes agraires (Lalou).	10
Figure 4: Carte de situation de la zone d'étude: village de Diohine (Source : IRD).....	14
Figure 5: Variation de la pluviométrie du département de fatick de 1983 à 2014.....	15
Figure 6: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (Diohine) de Juillet à Octobre 2014	16
Figure 7 : Carte des unités paysagères (NDIAYE et TIAW, 2013).....	18
Figure 8: Dispositif expérimental.....	22
Figure 9 : L'analyse en composante multiple (ACM) illustrant la corrélation entre les facteurs étudiés (Type de fumure, type de champs et fréquence apport)	30
Figure 10 : Répartition des principaux précédents culturels du mil.....	33
Figure 11: la distribution des pratiques de préparation du sol à l'échelle du réseau de parcelles suivies.....	34
Figure 12: Structure du semis de niébé	36
Figure 13: Structure du semis du sorgho et du mil sanio (matye).....	36
Figure 14: Densité apparente de différentes parcelles en champs de case et en champs de brousse	44
Figure 15: Relation entre la teneur en azote du sol et les doses de fumier apportées.....	45
Figure 16: Potentiel hydrique de base du mil en champs de case (A) et en champs de brousse (B) en fin de cycle (65JAL, 70JAL et 75JAL).	49
Figure 17: Rendement du mil en fonction du type de fumure.	50
Figure 18: Relation entre le nombre de talles/poquet et le nombre de poquets/m ²	50
Figure 19: Relation entre le nombre d'épis et de talles/poquet.....	51
Figure 20: Relation entre le nombre de grains/épi et la teneur en azote du sol.....	52
Figure 21 : Relation entre le nombre de grains/épi et le nombre d'épis/m ²	52
Figure 22: Relation entre le poids de mille grains et le nombre de grains/m ²	53
Figure 23 : Quantités nutriments contenues dans la biomasse et dans les grains en fonction du type de fumure.....	54
Figure 24 : Efficacité de conversion des nutriments absorbés en fonction de l'apport de fumure	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre de parcelles suivies pour chaque combinaison nature de produit x fréquence d'apport x type de champs.....	20
Tableau 2 : le système de notation de l'enherbement.	23
Tableau 3 : la répartition des principaux précédents culturels en fonction du type de champs.	32
Tableau 4: Les différentes pratiques de préparation du sol et les proportions de parcelles en champs de case et en champs de brousse.	34
Tableau 5: Distribution des différents types de fumures entre champs de case et champs de brousses.	37
Tableau 6: Synthèse des principales techniques culturales en milieu réel	42
Tableau 7: Résultats des analyses granulométriques de sols suivant l'effet type de champs	43
Tableau 8: Résultats des analyses chimiques de sols suivant l'effet type de champs.	46
Tableau 9: Résultats des analyses chimiques de sols en fonction de l'apport de fumures.	46
Tableau 10: Caractéristiques agro-morphologiques en fonction de l'apport de fumure et de la fréquence d'apport.	48
Tableau 11: quantités de nutriments contenues dans la biomasse et dans les grains en fonction du type de champ.	54
Tableau 12: Efficacités de conversion des nutriments (Kg de grains/kg d'éléments absorbés) en fonction du type de champs.	55

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo 1 : Mesure du potentiel hydrique de base.....</i>	<i>23</i>
<i>Photo 2: Mesure de la biomasse aeriennne du mil</i>	<i>24</i>
<i>Photo 3: Echantillonnage de sol.....</i>	<i>26</i>
<i>Photo 4: Transport du fumier pailleux du foyer aux champs à l'aide d'une charrette.....</i>	<i>38</i>
<i>Photo 5: Parcage d'hivernage en champs de brousse</i>	<i>39</i>
<i>Photo 6: Apport de déchets de cours en champs de case.....</i>	<i>40</i>

INTRODUCTION

En zone subsaharienne, la production agricole ne permet pas de faire face aux besoins de la population. Cette région a la plus faible productivité du travail et de la terre du monde. L'augmentation de rendement ne dépasse pas 1% par an, soit 10kg/ha/an, alors que la population s'accroît avec une vitesse de 3% par an (Breman et Debrah, 2003). Le poids des contraintes naturelles dans cette situation n'est sûrement pas négligeable : le climat est caractérisé par une pluviométrie faible de 300 à 600 mm (Amin, 2008). Les sols sont peu fertiles, et présentent une faible capacité de stockage des éléments nutritifs indispensables pour un bon développement des cultures. Dans la petite région du bassin arachidier où ce travail est réalisé, on retrouve la même situation. Des sols à texture sableuse généralement pauvres en matière organique (0,2 à 0,5 %), dont la mise en culture se traduit souvent par une évolution défavorable de leurs propriétés physico-chimiques (Pieri, 1989). La fraction argileuse de ces sols composée essentiellement de kaolinite et leur CEC (capacité d'échange cationique) est très faible (1 à 3 meq/100 g de sol).

Cependant, quelques observations incitent à penser que même sous ces conditions naturelles peu favorables, le potentiel de productivité des sols du bassin arachidier en est loin d'être atteint. Une étude réalisée par Affholder en 1991 dans le bassin arachidier montre en effet qu'il existe un rapport de 1 à 10 entre les moins bons et les meilleurs rendements lorsque les conditions hydriques ne sont pas limitantes.

Mais que sait-on de la gestion de la fertilité telle qu'elle est pratiquée par les agriculteurs du bassin arachidier?

Au début du XIX^e siècle, et tant que la pression démographique n'était pas importante, le maintien de la fertilité des sols s'appuyait sur la jachère, l'apport de matières organiques issues de l'élevage et le recyclage des résidus végétaux depuis les parcelles éloignées vers les parcelles plus proches soumises à une intensification. Cette organisation est bouleversée pendant l'époque coloniale par le développement de la culture de l'arachide (Lericollais, 1999). Le processus d'expansion des surfaces cultivées en mil et arachide s'accélère, ce qui aura pour conséquence la disparition progressive des restes de saltus et de la jachère vers les années 80. L'augmentation de la population a progressivement entraîné une réduction de la surface cultivée par exploitation agricole. Une étude réalisée par Lericollais (1999), relate qu'en vingt ans (1965-1985), les superficies cultivées n'ont augmenté que de 15%, alors que la population active agricole s'est

accrue de plus de 50%. Les rendements stagnent, quand ils ne s'effondrent pas du fait de la sécheresse. Il est clair que la production par actif diminue, et que le revenu rural par tête baisse Lericollais (1999).

L'augmentation du nombre d'agriculteurs ne permet plus de pratiquer la jachère sur les parcelles éloignées, ni de maintenir un troupeau important. Le nombre d'UBT bovin du terroir est passé de 0.49 UBT/ha (Léricollais 1990) à 0.42 en 2012 (Odru, 2013), soit une réduction de 14% en 13ans. Les sols des parcelles éloignées se dégradent après plusieurs années de culture continue sans restitution des nutriments absorbés par la culture. Seules les parcelles les plus proches de l'exploitation, les champs de case, reçoivent des apports organiques constitués entre autres des résidus de culture des parcelles éloignées, et des déchets de cours des concessions, des cendres issues de la cuisine, et de la fumure animale. Ils sont donc souvent plus riches en matière organique que les parcelles éloignées (champs de brousse) : Une étude réalisée par Manlay en 2000, montre que dans six parcelles de céréales de case, les stocks de carbone moyens mesurés ($29,9 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$) sont supérieurs à ceux des parcelles de cultures de brousse ($27,8 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Le mil est présent dans toutes les exploitations et occupe selon Odru (2013), près de 67.7% de la surface agricole utile du terroir (SAUT), le reste est occupé par l'arachide, le sorgho et la jachère. Selon Fofana *et al.*, 2011, le rendement moyen de la culture du mil en parcelle paysanne est de l'ordre de 650 kg/ha mais il est possible qu'il existe une grande variabilité autour de cette moyenne. Cette variabilité est d'autant plus probable qu'une enquête récente réalisée par Odru 2013, rapporte l'existence d'une diversité de modes d'apport de nutriments au niveau des parcelles de mil au début de chaque saison culturale.

L'objectif fixé pour ce mémoire est de :

- 1 - Caractériser la diversité des modes de gestion de la fertilité des parcelles de mil : nature des produits apportés, doses, modalités d'apport, fréquence d'apport.
- 2- Mesurer les performances de ces modes de gestion vis-à-vis de la production du mil d'une part, et des caractéristiques de sols d'autre part.
- 3- Analyser les causes de variations de ces performances.

Ce mémoire s'inscrit par ces objectifs dans le cadre du projet ANR CERAO coordonné par Dr Dominique Masse et de façon plus précise dans la tâche 2.2 intitulée analyse des pratiques

agricoles, coordonnée par Dr Cathy Clermont. Le projet CERAO a pour ambition d'évaluer la capacité des systèmes céréaliers développés dans le bassin arachidier à répondre aux défis majeurs d'amélioration de la sécurité alimentaire, et d'adaptation au changement climatique auxquels sont confrontés les pays tropicaux. Ce mémoire s'inscrit aussi dans le cadre de l'UMR (Unités Mixtes de Recherche) ECO&SOLS. L'objectif de cette UMR est de caractériser les évolutions conjointes du fonctionnement des plantes et du sol sous l'effet des changements globaux et des pratiques agronomiques. Les axes de recherche s'organisent autour de trois thèmes : i) le sol, les activités et le réseau biologique ; ii) le cycle des nutriments et l'intensification écologique ; iii) enfin la séquestration de carbone et les changements globaux. Cette étude a été co-financée par l'ANR CERAO et dans le cadre de l'UMR au titre des thèmes 2 et 3.

Notre approche d'étude s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- Les modes de gestion des nutriments sont variables entre parcelles d'une même exploitation agricole et aussi à l'intérieur d'une parcelle. Notre échelle de travail pour l'analyse des performances de la gestion de la fertilité sera donc la partie de terrain considérée à l'issue des enquêtes, comme homogène pour ce critère
- Les variations de production peuvent être liées non seulement aux caractéristiques initiales de sols mais aussi à la gestion courante.
- La nature des produits apportés et les interactions eau/nutriments sont les causes majeures de variation d'efficacité des nutriments.

Le présent document est structuré en trois (3) parties : la première partie consiste en une synthèse bibliographique ; la seconde partie est consacrée à la description du matériel et des méthodes utilisés ; la troisième partie présente les résultats et discussion, et dégage la conclusion et les recommandations.

CHAPITRE 1 :

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette étude sera développée en s'appuyant sur un ensemble de connaissances existantes. Celles-ci ont été ici présentées suivant quatre chapitres :

- ❖ La plante étudiée : le mil;
- ❖ Histoire agraire de la zone;
- ❖ Le cycle des nutriments dans les agrosystèmes;
- ❖ La démarche de diagnostic agronomique pour l'analyse des performances de systèmes de culture in situ;

1.1. La plante étudiée : Le mil

1.1.1. Origine

Le mil pénicilaire aurait été domestiqué au sud du Sahara où existent les centres primaires de diversité renfermant des espèces cultivées et des espèces sauvages fertiles. Cette culture s'est par la suite répandue à travers les zones tropicales semi-arides d'Afrique et d'Asie (Ahmadi *et al*, 2002 in mémento de l'agronomie). Il est vraisemblable que le centre d'origine de l'espèce biologique du mil soit compris dans une zone plus large s'étendant de l'Ouest du Soudan au Sénégal entre le sud du Sahara et le Nord de la zone forestière selon Harlan, 1971. Les plus anciens vestiges de mil cultivé en contact avec du mil sauvage ont été trouvés en Mauritanie et auraient plus de 3 000 ans (Amblard et Pernes, 1989).

1.1.2. Physiologie

Le mil est une plante annuelle à port dressé, généralement touffue (Noba, 2002). La tige est épaisse et robuste à la base et sa taille, à maturité, varie de 1,50 m à 4 m, (Jacquinot, 1972). Elle porte des nœuds où sont logés des bourgeons qui peuvent donner naissance à des talles. Les feuilles mesurent 100 cm de long et 10 cm de large. Elles sont munies d'une gaine glabre, souvent ciliée au sommet. La ligule est réduite à un anneau cilié. Le limbe est arrondi à la base avec des bords scabreux souvent ondulés. Il a une forme linéaire lancéolée, glabre ou pileux à la face supérieure. Les feuilles sont longues, assez minces. Le mil possède un système racinaire fasciculé plus important dans les 50 premiers cm du sol. Le front racinaire peut atteindre dans le cas des sols dior 150 à 200 cm et même 360 cm de profondeur (Siband, 1981, cité par Diallo, 2012). Les racines sont adventives et fasciculées (Rocafremi 2002). Les tiges du mil sont densément values, solides et pleines. Elles peuvent être lisses ou poilues. Les panicules sont raides, compactes, cylindriques et coniques, elles ont 2 à 3 cm de diamètre et sans aucune ramification. Les épillets constitués chacun de 2 glumes : une glume inférieure courte, plus large

que longue et une glume supérieure plus longue qui atteint environ la moitié de la longueur de l'épillet, celle-ci a une forme ovale et montre 3 à 4 nervures. Chaque épillet possède jusqu'à 5 fleurs. Certaines de ces fleurs sont fertiles et forment des caryopses. À l'intérieur d'une même fleur les organes femelles arrivent à maturité avant le pollen. Ce décalage favorise la fécondation croisée. Le mil est une espèce allogame (> 70 %) pour laquelle la pollinisation est essentiellement anémophile et occasionnellement entomophile (Ahmadi *et al*, 2002 in mémento de l'agronomie). Les fruits ou caryopses de la plante sont aussi larges que longues mais peuvent varier d'une forme globulaire à obovale. (Rocafremi 2002). La figure 1 illustre les différentes parties du mil.

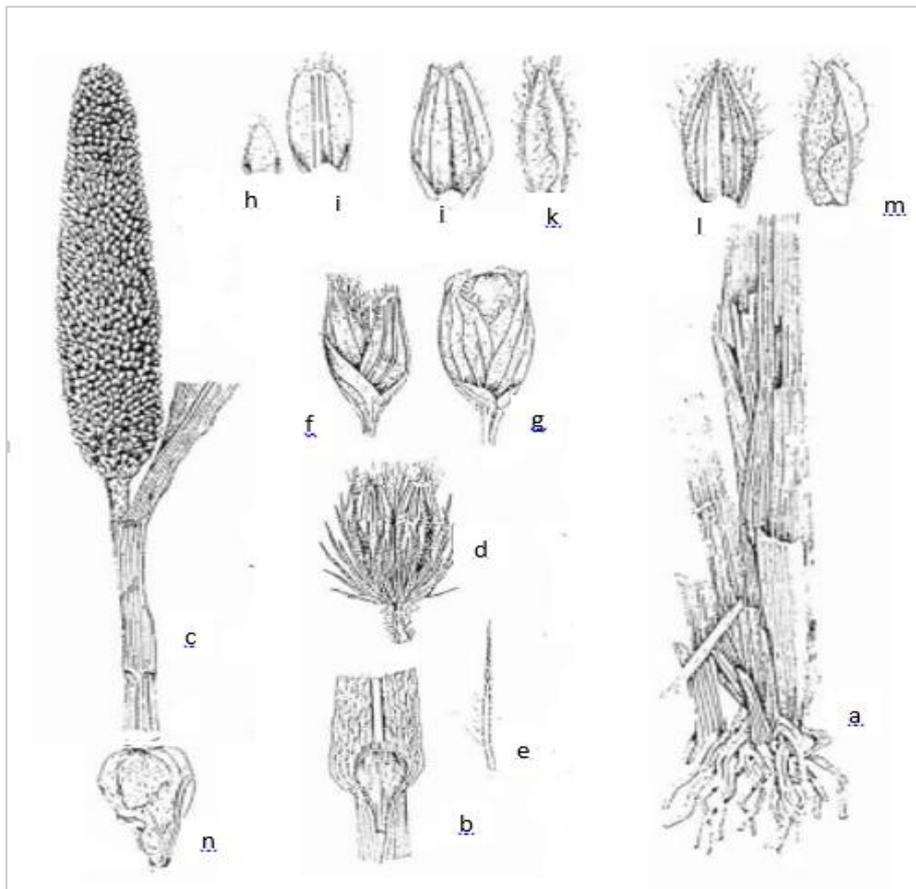


Figure 1 : Morphologie du mil (NOBA, 2002).

Légende: a: base de la plante; b: ligule; c: inflorescence; d: involucre; e:soie interne; f: épillet ; g :épillet et son caryopse; h: glume inférieure; i: glume supérieure; j: lemme de la fleur inférieure ; k: paléole de la fleur inférieure; l et m : lemme et paléole de la fleur supérieure; n: caryopse.

1.1.3. Cycle de développement

Le cycle de développement du mil comprend trois phases : (Maiti et Bidinger, 1981).

- La phase végétative : Elle débute par l'initiation des ébauches de feuilles, et de bourgeons de talles;
- La phase reproductrice : qui est marquée par l'activité du méristème qui s'oriente vers la morphogénèse florale et conduit à la fécondation;
- la phase maturation ou phase de remplissage du grain. Elle commence après la fécondation des ovules, elle-même précédée par la pollinisation (essentiellement anémophile et entomophile);

Cependant les travaux de Noba (2002) sur la variété de Souna décrivent 8 étapes que sont : la germination-levée, le tallage, la montaison, l'épiaison, la floraison, la formation, le remplissage du grain et enfin, la maturation :

❖ Germination-levée :

Elle est particulièrement rapide et suit immédiatement l'imbibition du grain (Diouf, 2000). Selon Dancette (1978), cette étape se réalise avec 6 à 10 mm de pluie suivant le type de sol. Elle se produit entre 1 à 3 jours d'après Chopart (1980a, 1980b).

❖ Tallage :

Il correspond à l'émission de tiges secondaires. Cette étape débute en général 3 semaines après la levée et se poursuit jusqu'à la 4^{ème} semaine (Faye, 1998). Le nombre de talles est fonction des techniques culturales et des conditions de nutrition azotée, carbonée et hydrique (Begg, 1965 ; Carberry *et al*, 1985a, 1985b).

❖ Montaison :

Ce stade phénologique correspond à l'allongement des entre-nœuds, au durcissement des tiges et à l'initiation de l'épi à la base de la tige. La hauteur de l'épi au stade 1 cm est assez difficile à observer. Selon Fofana *et al*.,2011. La plante atteint sa taille maximale à la fin de la montaison.

❖ **Épiaison :**

Elle est caractérisée par la sortie de l'épi, et se produit à des périodes variables suivant les auteurs : 35 JAL (jour après levée) selon CHOPART (1980a, 1980b), 45 JAL selon SIBAND (1981) avec ou sans apport de matière organique. CISSE (1986) rapporte que l'épiaison peut se produire respectivement à 38 JAL et à 43 JAL en présence ou en absence d'apport organique.

❖ **Floraison :**

Après la transformation de l'apex végétatif en bouton floraux qui correspond à l'initiation florale, commence la floraison avec l'apparition de stigmates blancs et plumeux qui sera suivie 3 à 4 jours plus tard par des anthères jaunâtres. Elle est variable et se situe à 52 JAL (Jansen & Gosseye, 1986), 54-57 JAL d'après Chopart (1980) ou 64-67 JAL selon Siband (1981).

❖ **Formation et remplissage du grain :**

Le grain se développe à la suite de la fécondation. Son remplissage est assuré essentiellement par l'activité photosynthétique des 3-4 dernières feuilles (JACQUINOT, 1970).

❖ **Maturation :**

D'après SIBAND (1981) la maturité du grain se fait en trois étapes: la maturité laiteuse, la maturité pâteuse et la maturité complète ou physiologique. Cette maturité complète est atteinte 25 à 55 jours après la fécondation suivant les variétés et les conditions climatiques (DEN BOER, 1987). La durée allant du semis à la maturité complète est généralement fonction du génotype et des conditions écologiques. La figure 2 indique les différents stades de croissance du mil.

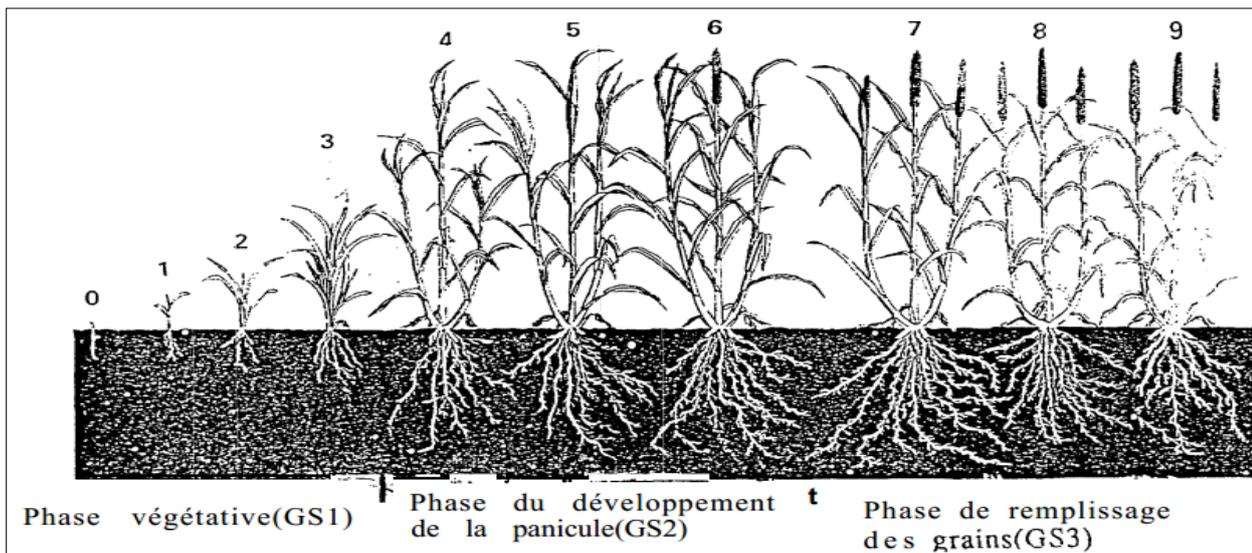


Figure 2 : Diagramme schématique des principales phases de croissance du mil: GSI, GS2 et GS3. Les nombres de 0 à 9 indiquent les différents stades de croissance (Tiré de Maiti et Bidinger, 1981).

1.1.4 Écophysiologie du mil

Le mil est une graminée de zones semi-arides chaudes avec des températures moyennes de 28°C. Il est généralement cultivé dans des zones ayant une pluviométrie variant entre 200 et 800 mm. Il est moins exigeant que le sorgho et est généralement cultivé sur des sols sablo-argileux bien drainés avec un pH faible. Il tolère la sécheresse et des températures élevées (Ahmadi *et al*, 2002 in mémento de l'agronomie).

1.1.5 Contraintes de la culture du mil

La faiblesse de ces rendements résulte de la combinaison de plusieurs contraintes biotique et abiotique (Anonyme, 2005). Selon Mbaye (1993) un des facteurs de la faible productivité du mil dans le Sahel est la perte causée par les maladies : champignons, bactéries, virus, mycoplasmes, nématodes. Les maladies les plus fréquentes sont : le mildiou, le charbon et l'ergot. Par ailleurs selon la FAO (1997), La pression démographique dans les pays sahéliens a entraîné une diminution de la période de jachère et, conséquemment la fertilité des sols, ainsi qu'une expansion de l'aire de culture du mil et l'exploitation de terres plus marginales conduisant à la baisse des rendements. A ces contraintes, s'ajoutent la non-utilisation de technologies appropriées et le manque d'encadrement des producteurs.

1.2 Histoire agraire de la zone

Au début du XIX^e siècle les systèmes de culture de la zone ont été caractérisés par une rotation biennale (mil/jachère) dans l'auréole des champs de brousse et environ la moitié de cette auréole seulement était cultivée. Cette organisation est bouleversée pendant l'époque coloniale par le développement de la culture de l'arachide constituant le fait marquant durant cette période (Lericollais, 1999). On passe donc d'une rotation biennale mil/jachère à une rotation triennale mil/arachide/jachère sur la deuxième auréole. Au niveau des systèmes de culture, le calendrier global agricole s'intensifie. Les sarclages de l'arachide rentrent en concurrence avec les sarclo-binages du mil. Les temps de récolte augmentent également puisque la récolte de l'arachide se décompose en plusieurs étapes entre lesquelles des temps de séchage sont nécessaires (Lericollais, 1969). La période des années 60 est marquée par la généralisation de la culture attelée. Le processus d'expansion des surfaces cultivées en mil et arachide s'accélère, ce qui aura pour conséquence la disparition progressive des restes de saltus et de la jachère. Vers le milieu des années 60, la rotation devient alors biennale, mil/arachide. Dans les années 70, le sahel est ravagé par de grave sécheresse qui vont créer un déficit vivrier et entraîner des fortes perturbations dans l'écosystème qui vont se répercuter sur le système agraire. Cependant la disparition de la jachère et les sécheresses des années 70 provoquent le départ en transhumance du troupeau bovin, ce qui amène la diminution de transfert de fertilité et par conséquent des rendements. C'est ainsi qu'à partir des années 70, le système agraire est gravement menacé par des crises climatiques, fourragères et environnementales (Reiff et Gros, 2004).

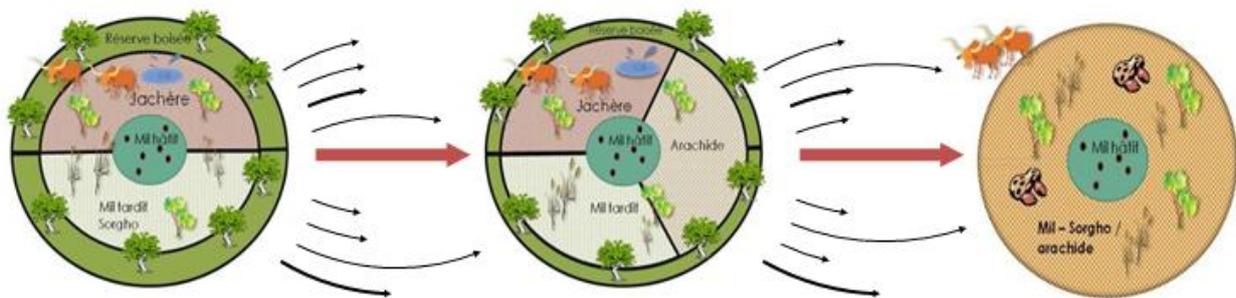


Figure 3 : Evolution des systèmes agraires (Lalou).

1.3 Le cycle des nutriments

La réussite d'une culture dépend de son alimentation minérale en grande partie. Les minéraux indispensables à la plante sont de deux types : les macroéléments qui doivent être présents en grande quantité (H, O, N, K, Ca, Mg, S) et les oligoéléments qui sont indispensables bien que les besoins quantitatifs de la plante en ces éléments soient généralement faibles (Fe, Zn, Mn, B, Mo,) (Guéye, 2002). Les nutriments sont absorbés sous forme d'ions. Ces ions absorbés proviennent de la décomposition de la roche mère, de la minéralisation de la matière organique et des engrais chimiques. Cependant, tous les éléments apportés sur la parcelle ne sont pas absorbés. En reprenant les résultats des expérimentations de Powlson *et al.*, 1992, on constate qu'en moyenne, l'azote apporté à un blé d'hiver se retrouve pour 65 % dans la culture de blé, 18 % se retrouve dans la matière organique du sol, 1 % sous forme d'azote minéral, 10 % de l'azote est dénitrifié et 6 % est lessivé. Au Sénégal, une étude réalisée par Charreau, 1970 montre que les pertes par lixiviation atteignent 8 kg/ha pour l'azote et pour la potasse elles sont de l'ordre de 2 kg/ha. Le lessivage de nutriments, a deux conséquences :

- Appauvrissement et dégradation des sols lessivés ;
- Pollutions des cours d'eau et apports sédimentaires.

Une étude en case lysimétrique effectuée à Bambey, par Charreau 1972, montre que la plupart des principaux nutriments se retrouvent dans de l'eau de drainage, en quantité qui varie avec les précipitations et les caractéristiques naturelles des sols. Il ressort de cette étude que parmi les cations, le calcium et le magnésium sont les plus lessivés, le potassium est légèrement moins lessivé. S'agissant du phosphore, Charreau 1972, signale que la perte est généralement très faible.

Pour l'azote volatilisation de l'ammoniac est souvent la principale voie de perte lorsque des amendements riches en ammonium comme le fumier et l'urée sont appliqués au sol. Elle a des conséquences environnementales, sociales et économiques (Rochette, 2008). Une étude réalisée par Polard Audrey *et al.*, 2012 relate que pour minimiser les pertes, la quantité de nutriments apportée aux cultures par le sol et l'agriculteur (offre) doit être au plus proche des besoins de la plante (demande), en termes de quantité et de moments d'apport.

1.4 La démarche de diagnostic agronomique pour l'analyse des performances de systèmes de culture in situ

Le diagnostic agronomique vise à identifier à *posteriori* les caractéristiques du milieu et du système de culture ayant influé sur la production d'un peuplement végétal cultivé. Appliqué dans une région sur un échantillon représentatif de parcelles d'agriculteurs, il permet d'hierarchiser les facteurs et conditions limitants de la production dans les conditions locales, et donc de définir les actions prioritaires à entreprendre, en matière de conseil technique ou de programmes expérimentaux selon Meynard et David, 1992. Différents indicateurs d'états du milieu d'une part, et de la culture d'autre part, peuvent être utilisés pour le diagnostic agronomique (eau disponible, fourniture minérale, suivi de la croissance, du tallage ; état sanitaire et les composantes du rendement). Pour les composantes du rendement, il est connu que le nombre de poquets défini par l'agriculteur se met en place en premier. Suivi de la mise en place du nombre de talles par poquet qui débute 3 semaines après la levée et se poursuit jusqu'à la 4ème semaine (Faye, 1998). Le nombre d'épis se met en place après le tallage, 45 JAL selon SIBAND (1981). Le nombre de grains par épi ne se forme 6 à 7 après la floraison et est suivi du remplissage des grains, il n'est complète qu'entre 25 à 55 jours après la fécondation (DEN BOER, 1987) La valeur de chaque composante dépend de la composante antérieure d'une part, et des conditions de milieu pendant sa phase de formation d'autre part. Ainsi, la relation entre deux composantes successives (par exemple le poids moyen d'un grain et le nombre de grains) peut être considérée comme un indicateur des conditions de milieu pendant la phase de formation du poids d'un grain (entre fin floraison et récolte).

A l'origine de la démarche se trouve un constat : rendement est peu satisfaisant sur une parcelle, variables entre parcelles, entre années etc (Diouf, 2005). La démarche comprend principalement deux étapes. Une première où l'on étudie la relation entre les variations de rendement observées et les états du milieu (hydrique, minéral), pendant le cycle de la plante. Une deuxième étape où l'on étudie les relations entre le rendement et les pratiques culturales.

CHAPITRE 2 :

MATERIELS ET METHODOLOGIE

2.1 Présentation de la zone d'étude

2.1.1 Localisation

Cette étude est réalisée dans le village de Diohine situé entre 14°30'4" N et 16°30'10" W dans l'arrondissement de Niakhar. Ce dernier est localisé en plein cœur du Bassin arachidier, et dans la région de Fatick. Le Bassin arachidier couvre l'ouest et le centre du pays, correspondant aux régions administratives de Louga, Thiès, Diourbel, Fatick et Kaolack. Il couvre le tiers de la superficie du Sénégal et abrite environ la moitié de la population. La zone sud du Bassin arachidier abrite 19% de la population nationale dont les 82% sont des ruraux. La zone du Centre Nord du Bassin arachidier couvre les régions de Diourbel, Louga et de Thiès et s'étend sur 14 783 km², soit 7,4% du territoire national (ISRA, 1997). La figure 4 donne la situation géographique du bassin arachidier sur la carte du Sénégal.

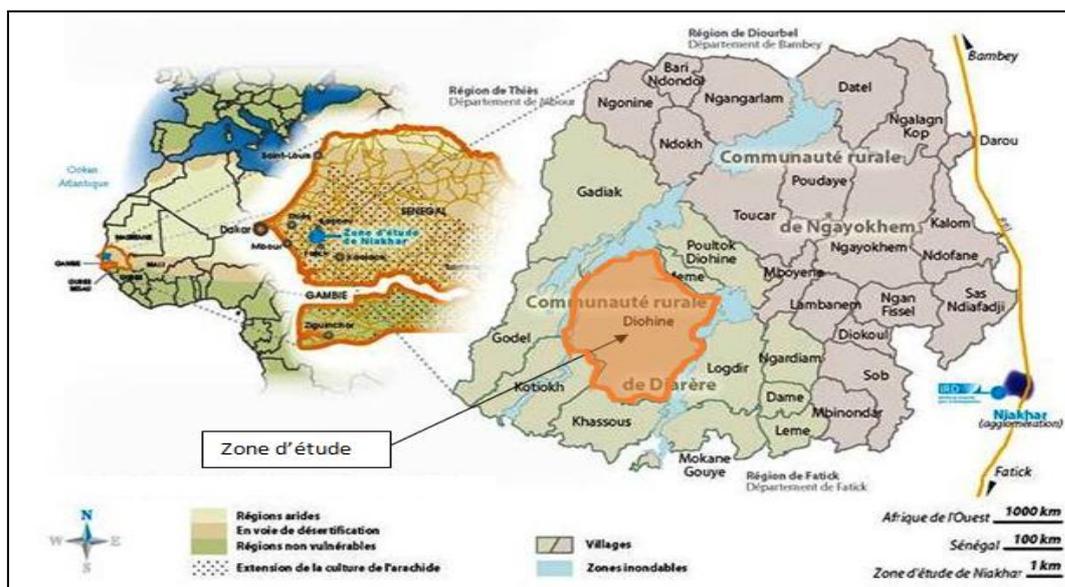


Figure 4: Carte de situation de la zone d'étude: village de Diohine (Source : IRD)

2.1.2 Caractéristiques physiques de la zone d'étude (Diohine)

2.1.2.1 Le climat

Le climat est de type sahélo-soudanien. Diohine connaît deux saisons :

- Une saison sèche d'Octobre à Juillet. Elle est caractérisée par de fortes températures. Nous n'avons pas retrouvé dans la bibliographie des données de températures précises pour le village de diohine. Cependant, selon REIFF et *al.*, 2004 les températures s'élèvent à 39°C pendant cette saison dans le village de sob présentant des caractéristiques climatiques similaires à celles de diohine.

- Une saison pluvieuse de Juillet à Octobre : A diohine en 2014, la pluviométrie au cours de cette période a été de 432 mm. La température est plus basse qu'en saison sèche et l'humidité de l'air plus importante.

La figure 5 présente la variation de la pluviométrie sur plus de 30 ans (1983 à 2014) au niveau du département de fatick dans le quel se situe notre zone d'étude. On constate que les pluviométries annuelles sont très variables, avec des moyennes minimales de 400 et maximales de 1200mm/an.

La figure 6 présente le diagramme ombrothermique du village de Diohine de juillet à octobre. Le graphique montre qu'il ya une répartition décadaire très hétérogène de la pluviométrie durant l'hivernage. Il ressort de ce graphique que la 3^e décade du mois d'aout a été la plus pluvieuse. Les 2^e et 3^e décades du mois de juillet ont été les moins pluvieuses. Ce graphique laisse voir également que les températures sont relativement élevées durant l'hivernage, environ 30°C en moyenne.

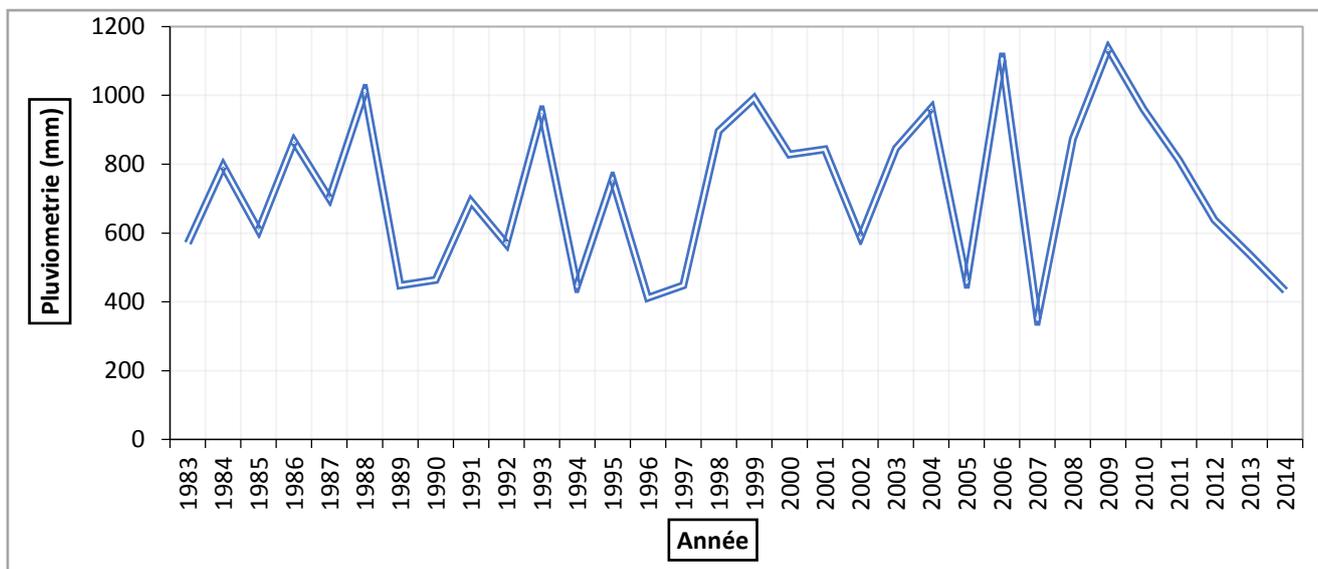


Figure 5: Variation de la pluviométrie du département de fatick de 1983 à 2014

(Source : station météo de fatick, tiré de Sow, 2013.)

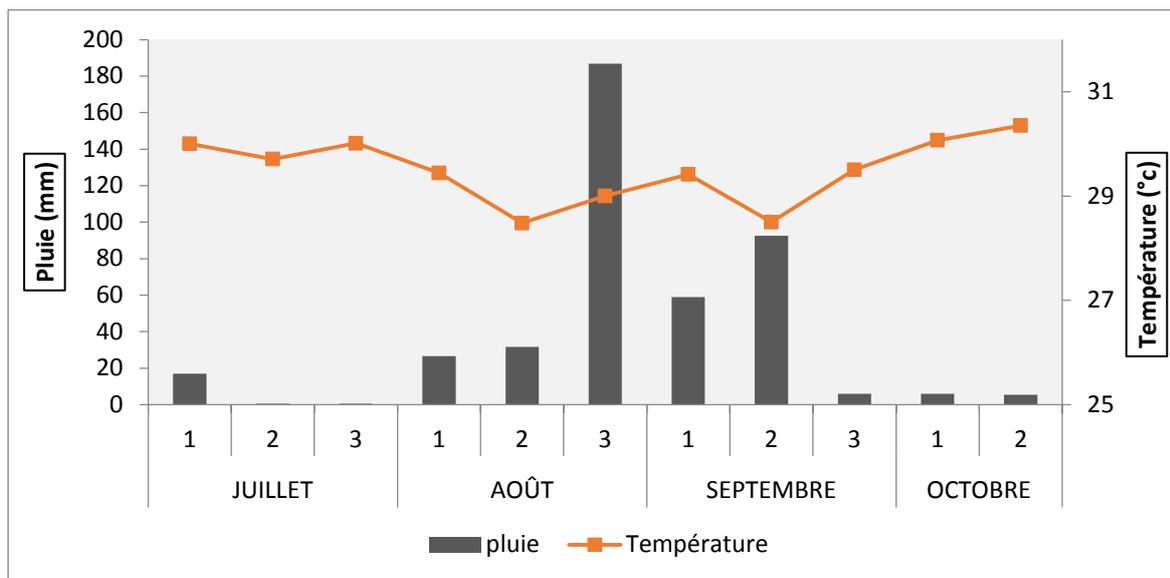


Figure 6: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (Diohine) de Juillet à Octobre 2014

(1= Décade 1, 2= Décade 2 et 3= Décade 3)

2.1.2.2. Les sols

Selon Dione *et al.*, 2008, les sols du bassin arachidier présentent des disparités en fonction des zones mais les plus dominants sont : les sols *Dior*, *Dek* et *Dek-dior*.

- Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (*Dior*) : ils sont situés sur dunes de sables avec un relief plat. La caractéristique commune pour ces sols est leur faible teneur en argile dans les horizons de surface. Ils sont sableux et très perméables avec une faible teneur en matières organiques (BADIANE *et al.*, 2000 ; cité par Dione *et al.*, 2008) ;
- Les sols bruns calcimorphes (*Dek*) : ils sont situés sur les dépressions. Ils sont sableux avec 3 à 8% d'argile, possèdent un horizon humifère, sont mieux structurés que les sols *Dior* mais sont moins répandus.
- les *dek-dior* sont des sols de transition avec les *dior*, encore assez sablonneux pour rester meubles lorsqu'ils se dessèchent, perméables lorsqu'il pleut.

La topographie est plus ou moins bosselée, due à l'existence des plaines imparfaites, surélevée vers l'Est et l'Ouest en bas plateaux recouverts de sable, (Dione *et al.*, 2008).

2.1.2.3 La végétation

La végétation de la zone est caractérisée par le genre *Acacia* avec la prédominance d'*Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Zizyphus mauritiana* et *Adansonia digitata* à l'approche

et autour des villages. Le tapis herbacé y est composé de graminées annuelles où domine *Cenchrus biflorus*. La végétation naturelle y est complètement transformée par les activités agricoles. Il en résulte la disparition des plusieurs espèces. Seul *Acacia albida* reste l'espèce la mieux protégée dans la zone du fait de ses multiples usages dans l'exploitation. L'état de dégradation de cette végétation est dû principalement à l'exploitation clandestine et abusive des produits forestiers, aux feux de brousse, à la sécheresse et aux pratiques culturales.

2.1.3 Organisation du terroir villageois

L'habitat est groupé et les maisons sont disposées en blocs. Les cases sont construites l'une à côté de l'autre de sorte à former un cercle ou un carré, laissant de ce fait une cour centrale vers laquelle toutes les cases se font face. Le terroir peut être divisé en deux auréoles : Autour des cases on trouve des champs cultivés en permanence en mil, ce sont les champs de case. Lorsqu'on s'éloigne de cette auréole, on traverse les champs de brousse où sont généralement cultivées des céréales en rotation avec l'arachide. Une jachère collective est aménagée chaque année dans l'auréole des champs de brousse. Elle est généralement de courte durée (1 année). Son emplacement varie en fonction des années, et est constituée par un ensemble de parcelles disposées côte à côte. Cette jachère sert de zone de pâturage et permet en même temps le renouvellement de la fertilité sur les parcelles qui l'abritent. La figure 7 montre les unités paysagères et l'organisation en auréole du terroir.

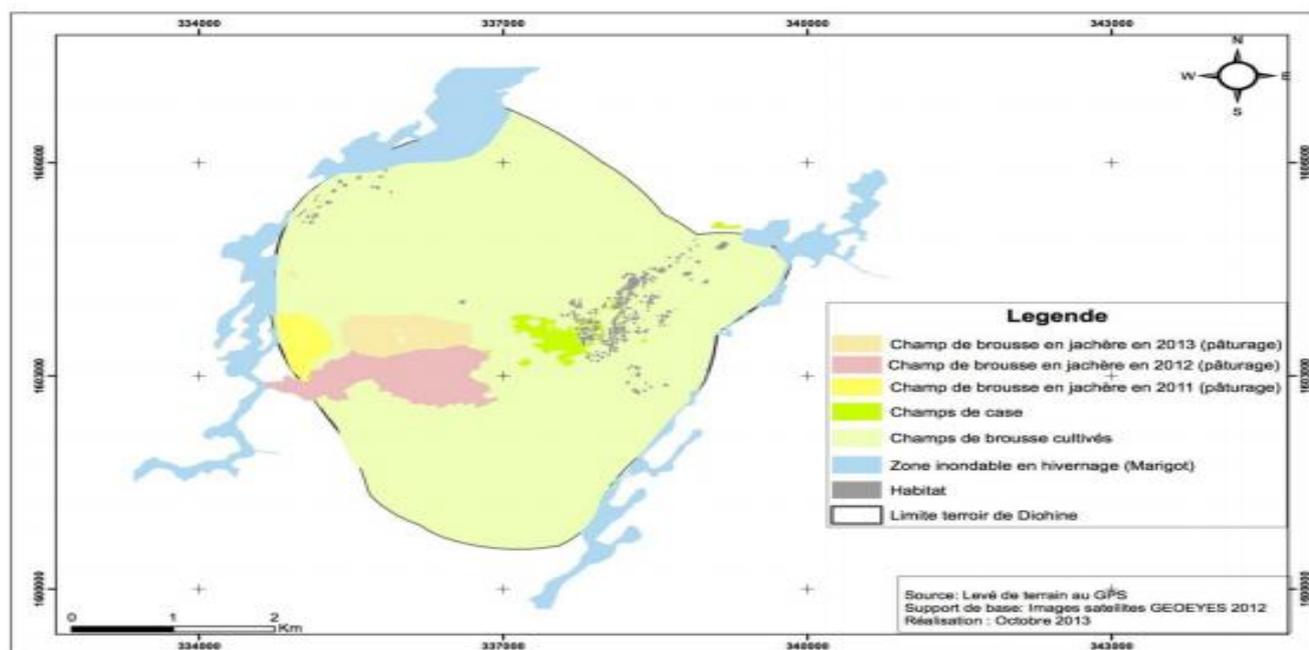


Figure 7 : Carte des unités paysagères (NDIAYE et TIAW, 2013)

2.2. Dispositif d'étude en réseau de parcelles d'agriculteurs

2.2.1 Le choix des agriculteurs et des parcelles suivies

Le travail est réalisé sur un réseau de parcelles d'agriculteurs du village de Diohine. Sur la base d'une enquête réalisée par Odru en 2013, dans la même zone (village de diohine), nous pouvions différencier les systèmes de gestion de la fertilité en fonction de quatre critères : 1) Nature du fertilisant (fumier pailleux, parcage, engrais chimiques et déchets de cours) ; 2) Fréquence des apports (tous les ans, tous les deux ans) ; 3) Quantités apportées ; 4) Proximité à la case (champ de case , champ de brousse). Pour chaque type de produit, nous avons cherché à sélectionner des parcelles croisant ces différents critères.

C'est ainsi que 23 parcelles ont été retenues pour cette étude. Ces parcelles d'agriculteurs ont été suivies durant toute la campagne 2014. Le tableau 1 donnent respectivement le nombre de parcelles suivies pour chaque combinaison de nature de produit x fréquence d'apport et position de parcelle (champ de case ou de brousse). Les doses d'apport de chaque type de fumure a été difficile à acquérir. Plusieurs données sont manquantes, particulièrement dans le cas du parcage. Celles disponibles sont probablement entachées d'erreurs et devront surement être confirmées dans les travaux futurs. Nous ne les avons donc pas considérés. Dans le cadre de

cette étude, nous allons nous limiter au « type fumure », sans considérer la variabilité des doses d'apport entre parcelles.

Tableau 1 : Nombre de parcelles suivies pour chaque combinaison nature de produit x fréquence d'apport x type de champs

Type de champs	Nature du produit apporté x fréquence apport									
	Fumier pailleux		Déchet de cours		Engrais chimique		Parcage		Sans apport de fertilisant	
	Tous les ans	Tous les deux ans	Tous les ans	Tous les deux ans	Tous les ans	Tous les deux ans	Tous les ans	Tous les deux ans	Tous les ans	Tous les deux ans
Champs de case	1	3	3	 	 	1	1	3	 	1
Champs de brousse	 	2	 	 	 	2	 	1	3	2
Total (%)	1	5	3	 	 	3	1	4	3	3

2.2.2 Mesures et observations

Dans le cadre de cette étude, chaque partie de champ « traitée de manière homogène » a été à l'instar de Diouf, 2005, considérée comme une parcelle, dont nous avons mesuré pour chacune la surface et la dose d'apport de produit organique apportée. La quantité de produit organique apportée est estimée par enquête auprès des agriculteurs qui les fournissent en « nombre de charrettes » dans le cas du fumier pailleux, « nombres de bassines dans le cas des déchets de cours. Le poids de fumier par charrette a été fixé à 280 kgMB d'après Odru (2013), le poids d'une bassine a été fixé à 25kgMB par estimation. Dans le cas du parcage, nous avons estimé la quantité de déjections produites après parcage en délimitant un carré de 1m/1m sur toutes les parcelles parcagees et en ramassant avec la main toutes les fèces. Ces dernières sont pesées à l'aide d'une balance et la masse ainsi obtenue est rapportée à l'hectare. Cette opération a été réalisée entre 15-20 jours après la levée du mil. Nous pensons que les données ainsi obtenues pourraient être sous-estimées à cause de l'hétérogénéité de la répartition des bouses et également d'une imperfection lors du ramassage des fèces. Ainsi, Ces mesures mériteraient donc d'être reconduites afin de consolider et d'affiner les premières données que nous avons obtenues. Cette méthode ne prend bien sûr pas en compte les apports d'éléments effectués par les urines. Nous avons délimité sur chacune de ces parcelles, une placette rectangulaire de dimensions 2,60m/2m. L'emplacement de la placette a été fixé immédiatement après la levée de la culture, afin d'éviter un choix influencé par l'aspect de la végétation. La placette a été choisie pour être homogène du point de vue des caractéristiques physiques du sol et du terrain, et de la gestion technique de la culture en place et de son histoire. Chaque placette est donc représentative d'une situation culturale.

Sur chaque placette, on a considéré deux sous échantillons pour la culture :

- Un sous échantillon de cinq (5) poquets (E5) choisis de manière aléatoire sur laquelle on réalise les mesures de composantes du rendement, de quantités d'éléments absorbés, et d'efficacité des éléments absorbés à la récolte.
- Un sous échantillon constitué de l'ensemble des poquets restants (ER), sur laquelle on réalise les suivis d'état sanitaire, de croissance des pieds et les mesures de rendement du mil à la récolte.

La figure 8 montre un schéma de la placette retenue pour chaque parcelle.

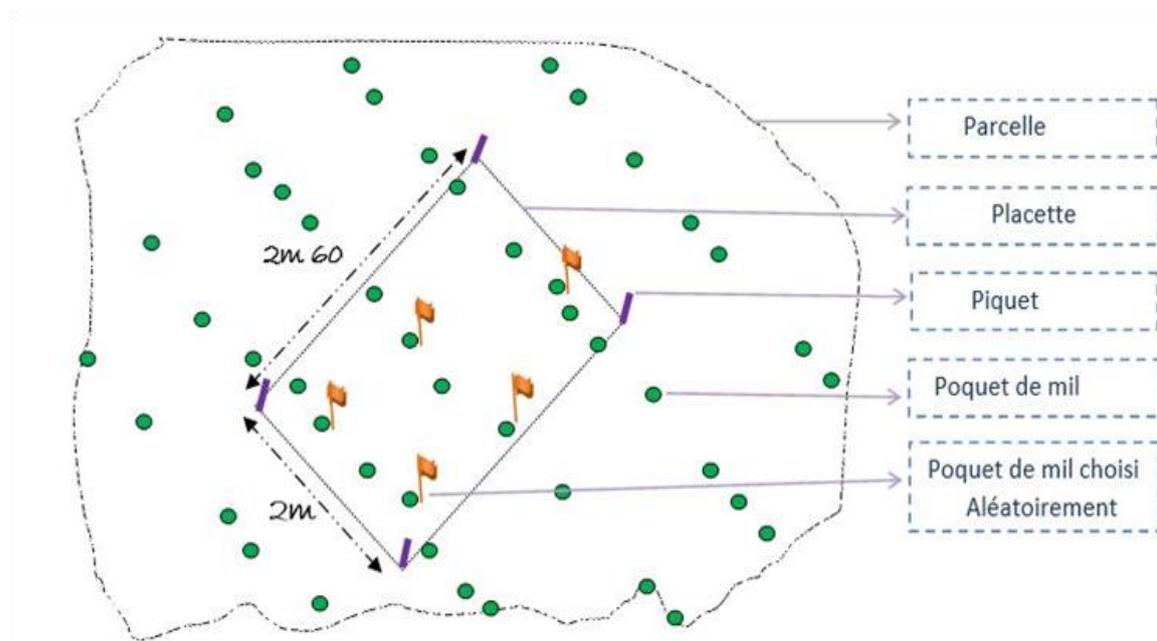


Figure 8: Dispositif expérimental

2.3 Variables mesurées

2.3.1 Variables plantes

❖ *La biomasse végétale*

Elle est mesurée depuis la montaison (environ 36 jours après levée) jusqu'à la maturation physiologique des plants de mil de manière hebdomadaire sur les échantillons E5 de chaque parcelle. En effet, pour ne pas causer des désagréments au près des paysans qui ne supporteraient pas la coupe des plantes de mil, nous avons préféré évaluer la biomasse à travers les mesures de la hauteur, du diamètre et le nombre de feuille par tige. Sur chaque poquet les mesures sont faites sur trois brins-maître. La hauteur de la tige (HT) a été mesurée à l'aide d'un ruban métrique; la mesure s'est faite à la hauteur de la dernière feuille ligulée. Le diamètre de la tige (DT) est mesuré au niveau du collet à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Le nombre de feuilles ligulées (NF) est déterminé par comptage.

❖ *Potentiel hydrique de base*

Le potentiel de base fait référence à un état d'équilibre entre le potentiel hydrique des feuilles, des racines et du sol. Il est mesuré à l'aide d'une chambre à pression. Les mesures du potentiel de base sont faites très tôt le matin (entre 04h et 07h du matin). Les mesures ont porté pour chaque parcelle sur trois pieds proches de la placette, et sur chaque pied la dernière feuille ligulée est choisie.

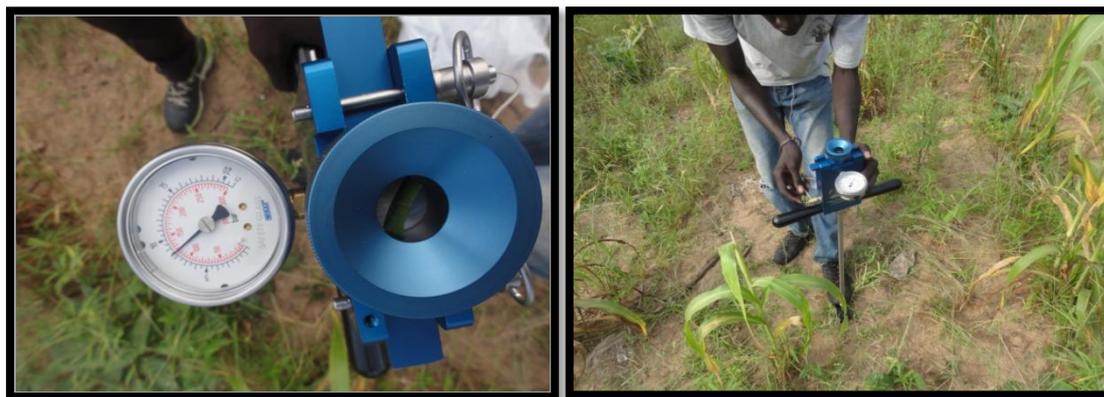


Photo 1 : Mesure du potentiel hydrique de base

❖ *Suivi phytosanitaire*

Pour chaque type de maladie observé au niveau de la placette, nous avons calculé l'incidence comme le pourcentage de plantes infectés au sein d'une parcelle en utilisant la formule ci-dessous :

$$I = \frac{n}{N} \times 100$$

n= nombre de poquets atteint par la maladie et N=nombre total de poquets observés

❖ *Suivi des mauvaises herbes*

Pour estimer l'enherbement des placettes nous avons attribué des notes d'infestation à chaque placette tous les quinze jours. Le tableau 2 rapporte le système de notation qui a été utilisé.

Tableau 2 : le système de notation de l'enherbement.

ECHELLE DE NOTATION		
Surface couverte %	Notes	Niveau d'enherbement
0-25	1	Parcelle peu enherbée
25-75	2	Moyennement enherbée
75-100	3	Très enherbée

Un inventaire floristique a été effectué avant la récolte pour faire ressortir les espèces présentes sur chaque placette. L'identification des mauvaises herbes est faite à l'aide de manuels comme *adventrop*, et à l'aide d'une collection d'herbier de l'ENSA (Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture) de Thiès et auprès de certaines personnes ressources.

❖ *Biomasse aérienne à la récolte*

La biomasse aérienne est obtenue en pesant l'ensemble des pieds (feuilles, tiges, épis et grains) récoltés sur les cinq (5) poquets initialement choisis. Le taux d'humidité auquel les pailles sont pesées, est déterminé en faisant le rapport de la différence entre le poids humide et le poids sec sur le poids sec. Le poids sec est déterminé après séchage des échantillons à l'étuve pendant 72 heures à une température de 65°C.



Photo 2: Mesure de la biomasse aérienne du mil

❖ *Le nombre de talles par poquet*

Sur chacun des cinq (5) poquets choisis de façon aléatoire à l'intérieur de la placette, on compte le nombre de talles présentes. Ainsi, sur chaque placette, on a fait une moyenne arithmétique du nombre de talles par poquet en utilisant la formule ci-dessous :

$$NT = \frac{NT_1 + NT_2 + NT_3 + NT_4 + NT_5}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n NT_i$$

$NT =$ Nombre de talle par poquet $n =$ Nombre de poquet

❖ *Le nombre d'épis par poquet*

Pour évaluer le nombre d'épis par poquet, nous avons compté les épis formés sur chacun des cinq (5) poquets choisis auparavant. De la même manière que le nombre de talles par poquet nous avons fait une moyenne arithmétique pour le nombre d'épis par poquet.

$$NE = \frac{NE_1 + NE_2 + NE_3 + NE_4 + NE_5}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n NE_i$$

$NE =$ Nombre d'épis par poquet $n =$ Nombre de poquet

❖ *La longueur d'un épi*

Cette mesure est effectuée sur l'ensemble des épis de l'échantillon E5. Pour déterminer la longueur des épis nous avons à l'aide d'un ruban métrique mesuré la distance qui sépare la base et le sommet de l'épi. Pour déterminer la longueur moyenne des épis de la parcelle on a utilisé la formule ci-dessous :

$$LE = \frac{LE1+LE2+\dots+LEn}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n LEi$$

LE = Longueur d'un épi n = Nombre d'épis mesurés

❖ *Le diamètre d'un épi*

Cette mesure a été également effectuée sur l'ensemble des épis de l'échantillon E5. Le diamètre a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Nous avons mesuré le diamètre au milieu de l'épi. Comme pour la longueur d'un épi, le diamètre moyen d'un épi de la parcelle est obtenu en faisant une moyenne arithmétique.

$$DE = \frac{DE1+DE2+\dots+DEn}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DEi$$

DE = Diamètre d'un épi n = Nombre d'épis mesurés

❖ *Le poids d'un épi*

Il a été déterminé en faisant la moyenne arithmétique du poids de l'ensemble des épis récoltés sur l'échantillon E5.

$$PE = \frac{PE1+PE2+\dots+PEN}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PEi$$

PE = Poids d'un épi n = Nombre d'épis mesurés

❖ *Le Rendement en épis*

Le rendement en épis a été obtenu en faisant la somme de la masse des épis récoltés sur l'échantillon E5 et ceux de l'échantillon ER. Ainsi, connaissant la surface de la placette, on rapporte la valeur trouvée à l'hectare. En effet, les pesées ont été faites après passage des épis à l'étuve à 65°C pendant 72 heures. Le rendement ainsi obtenu est exprimé en tMS/ha (tonne de matière sèche par hectare).

❖ *Le poids de mille grains*

Pour déterminer ce poids, on a compté 1000 grains de mil avec un compteur de grains puis on les a pesés à l'aide d'une balance de précision. Le poids de mille grains a été déterminé après séchage à l'étuve à 65°C pendant 72 heures.

❖ *Le rendement en grains*

Le rendement en grains est obtenu en faisant la somme de la masse des grains récoltés sur l'échantillon E5 et ceux de l'échantillon ER. Ainsi, connaissant la surface de la placette, on rapporte la valeur trouvée à l'hectare. En effet, les pesées ont été faites après passage des grains à l'étuve à 65°C pendant 72 heures. Le rendement ainsi obtenu est exprimé en tMS/ha (tonne de matière sèche par hectare).

❖ *Quantités d'éléments exportés par la culture de mil*

La quantité d'éléments absorbés ou exportés par la culture de mil est déterminée après broyage des aliquotes de biomasse végétale aérienne prélevée sur l'échantillon E5 des différentes parcelles suivies. Les analyses ont porté sur : le carbone total, l'azote total, le phosphore total, le calcium, magnésium, le sodium et le potassium. Pour la procédure d'analyse confère annexe xx. Le carbone total et l'azote total sont dosés au CHN. Par contre le phosphore total est dosé par la Méthode de Murphey et Riley. En ce qui concerne les cations (Mg, Ca, K, Na,), ils sont dosés au spectrophotomètre d'absorption atomique.

2.3.2 Paramètre sol

Des échantillons de sol ont été prélevés sur chaque parcelle pendant la phase de montaison (environ 36 jours après la levée). En effet, pour que l'échantillon soit le plus représentatif possible, nous avons effectué trois prélèvements de sol tout autour de la placette sur l'horizon de surface (0-10cm) à l'aide d'un cube de prélèvement de 10 cm de côté.



Photo 3: Echantillonnage de sol

❖ **Analyses chimiques**

Les analyses chimiques ont porté essentiellement sur le pH (pH eau et pH kcl), la capacité d'échange cationique (CEC), l'azote total, l'azote minéral, le carbone total, le phosphore total, le phosphore assimilable, les bases échangeables (Ca, Mg et Na) et sur les teneurs en éléments des biomasses aériennes de plantes de mil (grains et pailles). Ces analyses ont été faites au LAMA sauf pour le pH, qui est fait au LEMSAT.

Le carbone, l'azote et le phosphore total ont été dosés par colorimétrie au Technicon. Les bases échangeables sont dosées au spectrophotomètre par absorption atomique. Pour déterminer le pH du sol, on constitue une suspension de sol dans l'eau ou dans l'eau + KCl dans laquelle on mesure le pH à l'aide d'une électrode combinée et un pH-mètre, c'est-à-dire la concentration en ions H⁺ à l'état dissocié, dans le liquide surnageant. Le CEC est déterminé par la méthode de l'acétate d'ammonium.

❖ **Analyses physiques**

Les analyses physiques ont porté essentiellement sur la granulométrie. Elles ont été également réalisées au LAMA. Les analyses physiques ont fait état des proportions d'argiles, limons fins, limons gros, de sables fins et de sables grossiers des sols du terroir. Cette analyse permet de connaître la répartition des différentes tailles de particules constituant le sol suivant cinq classes : les argiles (<2 µm), les limons fins (2µm<Lf<20 µm), les limons grossiers (20 µm<Lg<50 µm), les sables fins (50 µm<Sf<200µm) et les sables grossiers (200µm<Sg<2000 µm). Les éléments les plus fins sont obtenus par sédimentation suivant la loi de Stokes et les autres par tamisage. Sur la base de ces données, la texture de ces sols a été déterminée à l'aide du triangle de Hénin (United states departement of agriculture, 1987).

❖ **Humidité du sol au stade montaison de la culture**

Pour déterminer l'humidité du sol pendant la phase de montaison, nous avons prélevé à l'aide d'une tarière un échantillon de sol sur l'horizon 0-10cm. En effet, sur chaque échantillon nous avons prélevé 10g de sol pesé avec une balance de précision. Cette quantité de sol est placée dans l'étuve à 105°C pendant 72h. À la sortie de l'étuve les échantillons de sol sont refroidis pendant au moins 15 mn dans un dessiccateur contenant du silicate. Après refroidissement chaque échantillon est pesé dès sa sortie. Le taux d'humidité (H) est obtenu en pourcentage (%) en faisant le rapport de la différence du poids de sol humide (Ph) et du poids sec (Ps) sur le poids sec (Ps) le tout multiplié par 100.

$$H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

❖ La Densité apparente des sols

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. Elle est, en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol. Elle permet, d'apprécier ainsi indirectement la perméabilité et la résistance à la pénétration des racines. Elle est mesurée ici par la méthode du cylindre. Cette méthode consiste à enfoncer verticalement dans le sol un cylindre ou un cube de volume connu. Le volume de sol ainsi prélevé, est séché à l'étuve pour en déterminer le poids sec. La densité apparente (D_a) est obtenue en faisant entre le rapport du poids sec de la motte (P_s) et du volume du cylindre ou du cube (V).

$$D_a = P_s / V$$

Ainsi une densité apparente faible indique une porosité importante (ou indice de vides) dans l'unité de volume de sol, alors qu'une densité apparente élevée indique un sol compact, ou la porosité est faible.

2.4 Efficacités d'utilisation et de conversion des nutriments par la culture

L'efficacité d'utilisation des nutriments représente le rapport de la quantité d'éléments absorbés à la quantité apportée. L'efficacité de conversion des nutriments en grains correspond à la quantité grains produite par kg de nutriment absorbé (Kg de grains/Kg de nutriment absorbé). Les quantités de nutriment contenues dans les racines et celles perdues au cours du cycle de la culture ont été négligées. Ces données sont rares, particulièrement en situation de parcelles d'agriculteurs. Elles peuvent être traitées comme des indicateurs privilégiés pour évaluer les services écologiques de ces agrosystèmes et concevoir des options pour leur amélioration. Dans cette étude, seule l'efficacité de conversion a été considérée comme une donnée fiable et analysée.

2.5 Méthodes de traitement et d'analyse des données

Les données brutes ont été saisies avec le tableur Excel. Les analyses de variance ont été réalisées avec le logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 20.lnk) et le logiciel statistica. L'analyse de la variance (ANOVA) permet d'étudier le comportement d'une variable à expliquer en fonction d'une ou de plusieurs facteurs explicatifs catégoriels. Pour cette étude, il était prévu d'utiliser un modèle additif avec 3 facteurs explicatifs : type de fumure, type de champs (champs de case ou champs de brousse) et fréquence apport. Mais la forte corrélation entre ces différents facteurs au

sein du dispositif ne nous permet pas d'étudier séparément les effets de chaque facteur qui caractérise la gestion des nutriments (type de fumure, type de champs et fréquence apport). Une analyse en composante multiple (ACM) sur les critères types de champ, type de produit, et fréquence d'apport illustre bien la corrélation entre ces divers facteurs (figure 9) : la fréquence de parcelles ne recevant pas d'apport (Fumure 5) ou des engrais chimiques (Fumure 3) est très importante dans les champs de brousse (Type champs 2) ; et la plupart des parcelles en parcage (Fumure 4) et fumier pailleux (Fumure 1) sont en champs de case (Type de champs 1) et reçoivent des apports tous les deux ans (Fréquence 2). Il y a donc un risque important de confusion d'effets entre ces différents critères. Derrière un effet type de champ, il y aura donc aussi probablement, un effet « fréquence d'apport » et « type de fumier ». De ce fait, pour l'analyse des données nous avons fait une analyse de variance au seuil de 5% et le test de comparaison des moyennes de Fisher pour le facteur type de champs. Pour le facteur type de fumure nous nous sommes limités à la comparaison des moyennes. Les résultats sont présentés en distinguant dans un premier temps champs de case et champs de brousse, puis les différents types d'apport de fumure.

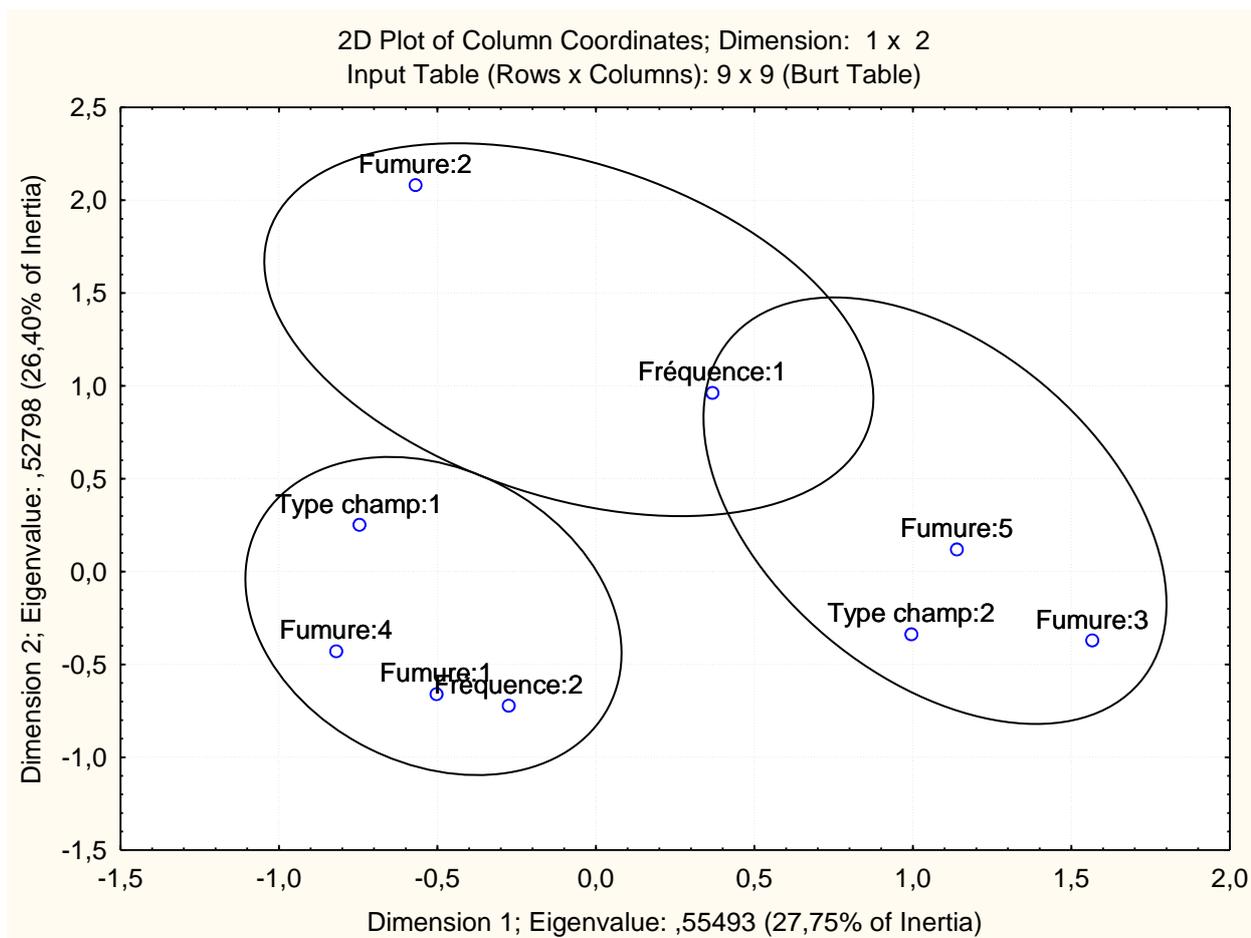


Figure 9 : L'analyse en composante multiple (ACM) illustrant la corrélation entre les facteurs étudiés (Type de fumure, type de champs et fréquence apport)

CHAPITRE 3 :

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats :

3.1 Conduite de la culture du mil sur les parcelles paysannes étudiées

3.1.1 Précédent cultural

Nous retrouvons principalement comme précédent cultural dans nos parcelles d'étude : soit du mil en culture associée (avec du sorgho ou du niébé), soit du mil en culture pure, soit de l'arachide ou de la jachère. Le précédent cultural « mil en culture associée » a été le plus fréquent. En effet, on le retrouve dans 47,06% des cas. Le mil en précédent arachide est rencontré dans 29% des cas. Il est essentiellement rencontré dans les champs de brousse. La succession mil-mil en culture pure est pratiquée dans 18% des parcelles ; Elle est très fréquente dans les champs de case. Enfin la succession jachère-mil a été la moins fréquente, avec seulement 6 % des parcelles concernées. Le tableau 3 ci-dessous présente la répartition des précédents culturaux en fonction du type de champs.

Tableau 3 : la répartition des principaux précédents culturaux en fonction du type de champs.

Type de champs	Mil en culture associée (%)	Mil en culture pure (%)	Arachide (%)	Jachère (%)
Champs de case (n= 12)	55,56	38,89	0	0
Champs de brousse (n= 11)	25,86	22,41	25,86	17,24

Le diagramme en camembert ci-dessous (figure 10) représente la répartition ou la distribution des principaux précédents culturaux du mil sur le réseau de parcelles étudiées.

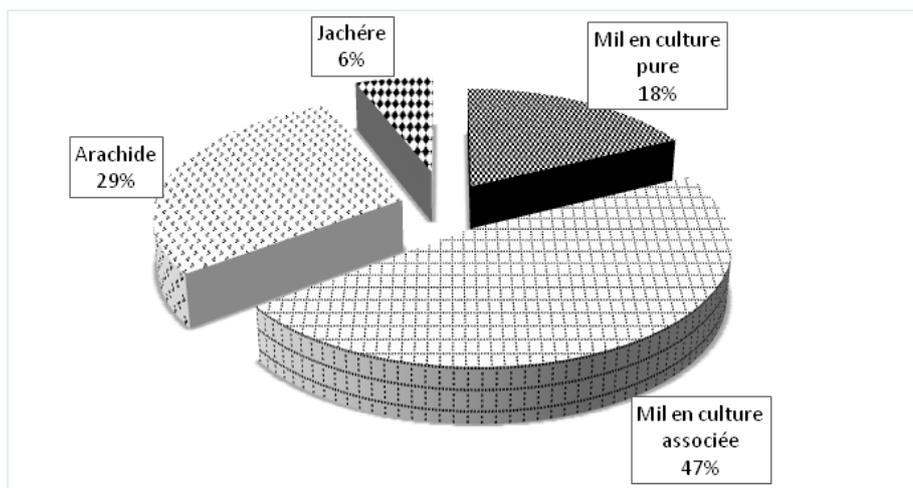


Figure 10 : Répartition des principaux précédents culturaux du mil

3.1.2 La préparation du sol

Le tableau 4 indique les différentes pratiques de préparation du sol ainsi que le pourcentage de parcelles concernées à l'échelle des champs de case et des champs de brousse. Trois cas peuvent se présenter: l'agriculteur peut décider avant le semis de procéder 1) à un labour ; 2) un débroussaillage ou 3) sans préparation. Le débroussaillage consiste à éliminer la végétation naturelle régénérée après la récolte précédente. Ce travail est effectué avec *le Daba, un coupe-coupe ou la hâche*. Il est pratiqué sur 79% des parcelles du terroir. Elle est très fréquente dans les champs de case (83%) de même que dans les champs de brousse (77%). Le labour est réalisé à l'aide de la houe sine et il est généralement très superficiel (moins de 10 cm de profondeur). Il consiste à retourner la couche arable du sol. Le labour est rarement pratiqué dans le terroir. Seulement 4% des parcelles du terroir ont été labourées, 17% des champs n'ont fait l'objet d'aucune préparation du sol avant le semis. Les terres cultivées sans préparation du sol sont plus fréquentes au niveau des champs de brousse (20,69%) que sur l'auréole des champs de case (5,56%). Selon les agriculteurs les parcelles qui ont comme précédent culturel l'arachide, sont généralement cultivées sans préparation. Après le débroussaillage les résidus des cultures de même que la végétation naturelle régénérée sont rassemblés en tas (*NGadji* en sérère) et sont incinérés in situ.

Tableau 4: Les différentes pratiques de préparation du sol et les proportions de parcelles en champs de case et en champs de brousse.

Type de champs	% parcelles labourées	% parcelles débroussaillées	% parcelles Sans préparation	Total (%)
Champs de case (n= 12)	11,11	83,33	5,56	100
Champs de brousse (n= 11)	1,72	77,59	20,69	100

n : représente le nombre de parcelles suivies pour chaque situation.

Le diagramme en camembert (figure 11) représente la distribution ou la répartition des pratiques de préparation du sol à l'échelle du réseau de parcelles considéré.

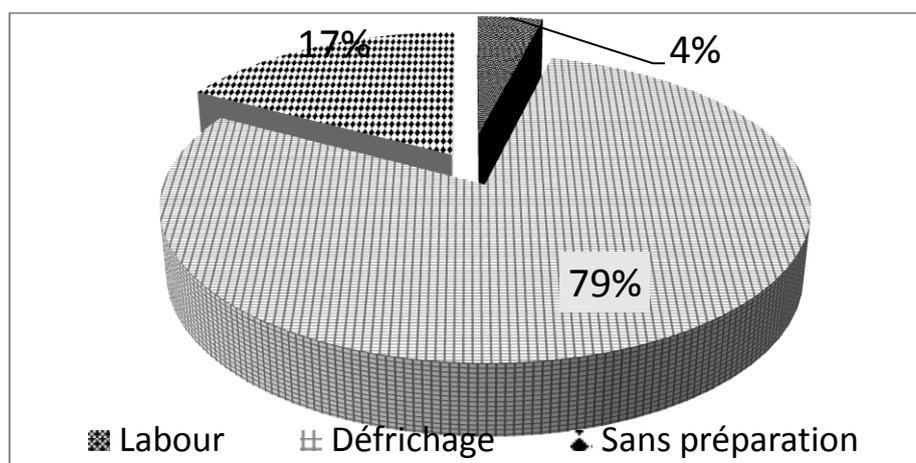


Figure 11: la distribution des pratiques de préparation du sol à l'échelle du réseau de parcelles suivies.

3.1.3 Choix des variétés

Plusieurs variétés de mil sont cultivées dans la zone d'étude. Néanmoins, en se basant sur la longueur du cycle cultural, on peut en retenir deux types: les variétés à cycle court (70 à 100 jours) et celles à cycle long (120 à 150 jours). Les premières citées sont les plus cultivées (100% en champs de case et environ 73% en champs de brousse). La variété à cycle long (*matye* ou *sanio*) est très rarement cultivée en culture pure. Elle est souvent associée à la variété à cycle court (*pod* ou *souna*), au sorgho ou avec du niébé. Selon les paysans, la diminution des champs cultivés en *matye* s'explique d'une part par la baisse de la pluviométrie qui fait que la culture

peine à boucler son cycle et d'autre part par le fait que la culture soit très sensible à certains bio-agresseurs. Pour la plupart des agriculteurs enquêtés les semences sont tirées des récoltes de la campagne précédente.

3.1.4 Semis

Le semis est effectué entre le 15 mai et le début du mois de juillet. Dans la zone d'étude cette opération est faite au même moment ou simultanément par l'ensemble des paysans du terroir. En effet, avant le démarrage des semis une cérémonie traditionnelle est organisée pour faire des libations à leurs divinités. Cette cérémonie marque le début des semailles du mil. Les semis sont faits à sec, une semaine après les libations. Cette opération est effectuée à l'unanimité de manière mécanique (traction animale). La traction du semoir est généralement asine ou équine. Cette dernière est plus efficace et plus rentable en temps de travail. La densité de semis varie fortement en fonction des agriculteurs (8000 à 22000 poquets/ha). Le nombre de grains par poquet varie de 10 à 20 environ. Cette année la totalité des agriculteurs enquêtés ont ressemé le mil. L'échec des premiers semis a été occasionné par une sécheresse qui est intervenue après la première pluie utile.

En cas de culture associée, les espèces associées sont semées après la levée du mil, en humide et manuellement. Le niébé précoce et le sorgho sont semés dans les champs de case une semaine après la levée du mil. Le sorgho est parfois semé en sec à la même date que le mil. Les cultures associées sont faites selon les agriculteurs pour gagner en temps et en espace. Différents types d'associations sont faites dans le terroir (pod+matye; pod+matye+sorgho; pod+matye+sorgho+niébé; sorgho+niébé; matye+niébé; pod+sorgho; pod+sorgho+niebé, entre autres). Une forte variabilité de la structure des semis est notée dans le terroir. Les agriculteurs peuvent semer les espèces associées sur la ligne ou entre les lignes de mil. Le niébé est semé soit sur la ligne de mil, entre les poquets de mil (Figure 12a) soit entre deux lignes de mil distant généralement de 90 cm (Figure 12b). Le sorgho et le *matye* (sanio) sont semés entre les lignes de mil, la plupart du temps ils se placent entre quatre lignes de mil successives (Figure 13a et 13b).

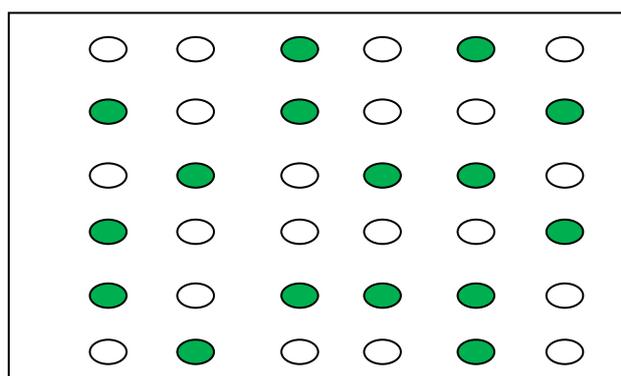


Figure 12a: Niébé semé entre les poquets de mil

● Poquet de niébé ○ Poquet de mil

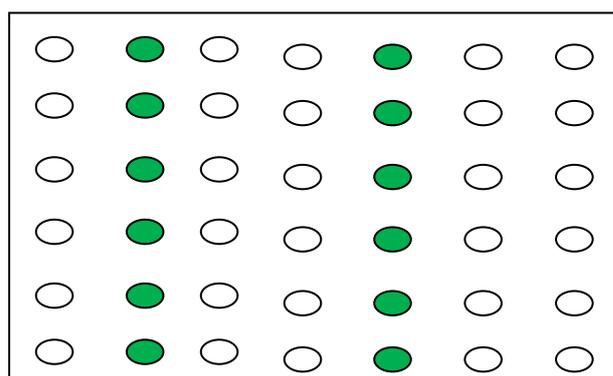


Figure 12b : Niébé semé entre deux lignes de mil

● Poquet de niébé ○ Poquet de mil

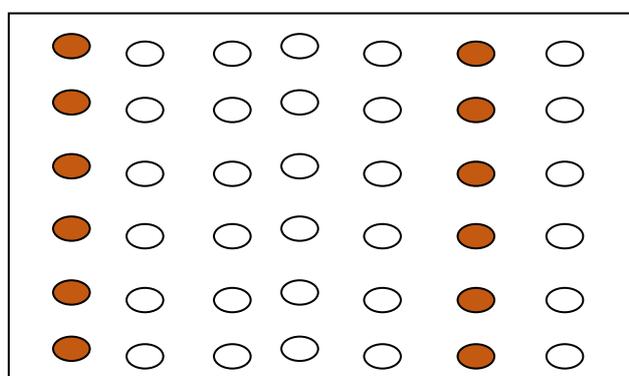


Figure 13a: Sorgho semé entre 4 lignes de mil

● Poquet de sorgho ○ Poquet de mil

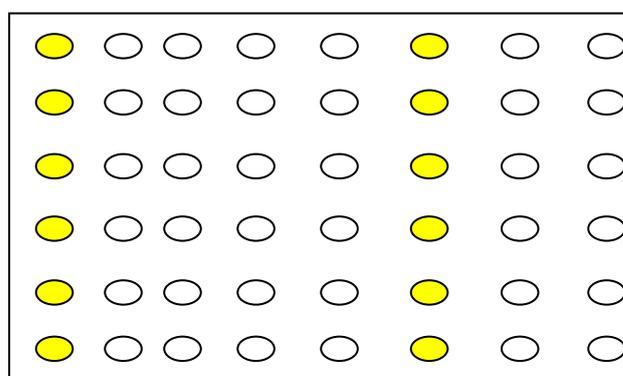


Figure 13b: Matye (sanio) semé entre 4 lignes de

● Poquet de matve (sanio) ○ Poquet de mil

3.1.5 Entretien de la culture

3.1.5.1 Désherbage

Le désherbage est réalisé en traction équine ou asine. La majeure partie des agriculteurs enquêtés désherbent deux fois au cours de la campagne. Cette opération est réalisée manuellement avec l'hilaire ou à l'aide d'une houe sine ou occidental. Dans le terroir étudié les champs de case sont désherbés en premier. Le sarclage des champs de case à lieu généralement une semaine après la levée. Cette opération qui demande beaucoup de main d'œuvre et de temps, varie d'une exploitation à l'autre. En général, le premier désherbage est à la fois mécanique et manuel. Il permet d'éliminer avec l'hilaire les mauvaises herbes qui ont poussé sur la ligne du mil et qui sont difficilement arrachés par la machine. Par contre le deuxième désherbage à lieu environ un mois après la levée chez certains producteurs et il est entièrement mécanique. Il permet d'éliminer des mauvaises herbes et d'ameublir la partie superficielle du sol afin de

favoriser le développement racinaire de la culture. Dans la zone d'étude, la principale technique utilisée pour lutter contre les adventices est l'arrachage mécanique et manuel. Aucun agriculteur n'a utilisé un herbicide pour lutter contre les adventices.

3.1.5.2 Démariage

Le démariage consiste à réduire à 3-5 plantes le nombre de plantules du poquet. En effet, le mil semé en poquet lève en constituant des touffes souvent épaisses de plusieurs plantules. Cette opération est réalisée généralement en même temps que le premier désherbage, environ 7 jours après levée au niveau des champs de case. C'est une opération manuelle très couteuse en temps et en main d'œuvre. Tous les actifs de la concession (*mbind*) sont mobilisés et parfois même des enfants de moins de 10 ans y participent. Ainsi, suivant la superficie cultivée en mil et l'importance de la main d'œuvre familiale de l'exploitation il dure 3 à 5 semaines. La priorité pour le démariage est donnée aux champs de case.

3.1.5.3 Gestion de la fertilisation

Ce point a constitué le principal critère de structuration de notre dispositif d'étude en parcelles d'agriculteurs. La fertilité des parcelles suivies est gérée de différentes manières selon qu'on est en champs de brousse ou en champs de case mais également selon les ressources disponibles pour l'exploitant. Pour fertiliser leurs champs de mil, les paysans ont recours soit au fumier pailleux, à l'engrais chimique, au parcage d'animaux et aux déchets de cours. La distribution des différents types de fumures entre champs de case et champs de brousses (tableau 5) montre que les fumiers pailleux et le parcage sont fortement associés aux champs de cases, alors que le non apport est fortement associé aux champs de brousses.

Tableau 5: Distribution des différents types de fumures entre champs de case et champs de brousses.

Type de champs	% parcelles avec fumier pailleux (n=6)	% parcelles avec parcage (n=5)	% parcelles avec déchets de cours (n=3)	% parcelles avec engrais chimique (n=3)	% parcelles Sans apport de fumures (n=6)
Champs de case	66,67	80	100	0	16,67
Champs de brousse	33,33	20	0	100	83,33

n: représente le nombre de parcelles suivies pour chaque situation.

- *Les fumiers pailleux*

Le fumier pailleux est un mélange de fumier et de paille. La composition ainsi que le pourcentage de chaque élément peut varier selon les paysans. Les déjections d'une ou de plusieurs espèces animales (ovin, caprin, équin, bovin, asine etc.) peuvent être utilisées et les doses apportées dans les champs sont très variables. Nous avons estimé à partir des observations réalisées que 70% du fumier pailleux est constitué de déjections animales et 30% de pailles. Le fumier est collecté chaque jour et accumulé en tas à l'intérieur ou à proximité des concessions. Il est apporté en champs de case de même qu'en champs de brousse et les apports sont faits généralement en saison sèche (janvier à juillet). Néanmoins certains agriculteurs apportent le fumier après la levée du mil dans des bassines sur les endroits où ils jugent le niveau de fertilité insuffisante et/ou le mil présente un mauvais développement. Les résultats des enquêtes révèlent que les doses apportées sont très variables en fonction des agriculteurs, en moyenne 9,85 tMB ($\pm 8,47$ tMB) sont apportées à l'hectare selon les dires des agriculteurs. Ces doses sont apportées soit tous les ans soit une fois tous les deux ans. L'étude de la relation entre la teneur en azote du sol et les doses de fumier apportées suggère que les données recueillies lors des enquêtes pourraient être sur estimées. C'est pour quoi nous pensons que ces enquêtes mériteraient donc d'être reconduites sur un échantillon plus large afin de consolider et d'affiner les premières données que nous avons obtenues.



Photo 4: Transport du fumier pailleux du foyer aux champs à l'aide d'une charrette

- *le Parcage d'animaux*

Le parcage consiste à stabiliser le cheptel (bovin, ovin, caprin, etc.) dans le champ afin de régénérer la fertilité du sol. Il peut se faire en hivernage ou en saison sèche. Le parcage en saison sèche est souvent pratiqué sur les champs de cases. Ce parcage dure généralement 4 à 5 mois (décembre à mai), Si les ressources fourragères du terroir s'épuisent les animaux sont amenés en transhumance dans le ferlo ou au Saloum. Par contre sur l'auréole des champs de brousse le parcage est effectué pendant l'hivernage sur la jachère collective. En effet, chaque producteur

parque ces animaux dans son champ la nuit. Le parcage d'hivernage permet non seulement aux animaux de pâturer sur la jachère mais également de fumer les parcelles pour la prochaine culture. Les paysans qui ont un champ sur la jachère collective et qui n'ont pas d'animaux peuvent le confier à un éleveur ; mais ce dernier après le parcage a le droit de cultiver en premier la dite parcelle avant de la remettre au propriétaire. Au cours de la vaine pâture les animaux peuvent uriner et déposer sur des parcelles appartenant à d'autres exploitants, ce qui constitue des flux de nutriments entre exploitations. Le parcage est pratiqué essentiellement par les agriculteurs qui ont un grand troupeau, environ 10 à 20 UBT (Unité de Bétail Tropical). Ainsi, le troupeau outre son rôle économique et social est une composante essentielle des flux de nutriments à l'échelle du terroir.



Photo 5: Parcage d'hivernage en champs de brousse

- **les engrais chimiques**

La formule d'engrais chimique la plus utilisée est le 10/10/20. Les doses sont relativement faibles (100 à 150 Kg/ha), les apports sont faits généralement à la montaison. Moins de 20% des agriculteurs du réseau étudié ont recours à l'engrais chimique. Ce dernier, est consacré généralement aux champs de brousse. Pour la majeure partie des agriculteurs suivis l'apport de la fumure minérale est fait tous les deux ans. Le plus souvent, la fertilisation minérale est faite sur les champs de mil cultivés en précédent arachide.

- *les déchets de cours*

Ces derniers sont constitués généralement d'ordures ménagères, de cendres de cuisine et de poudrettes de parc. La poudrette de parc est un mélange de déjections animales, d'urine et de terre. Les déchets de cours sont apportés exclusivement sur les champs de case. L'intensité des apports varie considérablement suivant la distance de la parcelle par rapport au village. En effet,

les parcelles jouxtant les concessions ont reçu plus de déchet de cours. L'écrasante majorité des agriculteurs qui se limitent aux déchets de cours pour fertiliser sont généralement les moins nantis du terroir. Ils ont un nombre UBT très limité 1,55 en moyenne et dans certaines concessions le cheptel n'est constitué que de porcs dont le fumier est considéré aux dires des agriculteurs, néfaste pour le mil.



Photo 6: Apport de déchets de cours en champs de case

3.1.5.4 Protection de la culture

Malgré la diversité des insectes nuisibles et l'incidence des attaques constatées, plus de 90% des agriculteurs affirment n'avoir appliqué aucune méthode de lutte. Les raisons sont principalement l'indisponibilité, la cherté des produits et matériels de traitement et le déficit de formation.

3.1.6 Récolte et opérations post récolte

Les principaux indicateurs de la maturité du mil pour les agriculteurs sont le jaunissement et le dessèchement de la plante. Cette année les premières récoltes ont été faites au 78^e jour après la levée du mil. Elle a été faite manuellement. La récolte se fait sur pied c'est-à-dire en coupant les épis et en laissant les tiges sur place ou après dessouchage des pieds de mil (récolte par terre). La majorité des producteurs suivis ont récoltés leurs champs de case après dessouchage. Tandis que les champs de brousse sont récoltés sur pieds. Après la récolte les épis sont séchés pendant 3 à 7 jours au soleil avant d'être attachés en bottes et exportés à la maison. Les épis ainsi récoltés sont conservés dans des greniers après séchage. Les greniers sont soumis à un traitement d'insecticide avant usage. Chez certains paysans, les épis sont triés avant de les ranger dans le grenier. Les épis qui sont bien formés et très bien remplis de grains (*Kaff mague* en sérère) sont déposés au fond. Ceux qui sont moins bien remplis avec des grains de petite taille (*ondoule* en sérère) forment la couche superficielle et sont consommés en premier lieu. Au

moment de la récolte les agriculteurs sélectionnent les “meilleurs” épis pour constituer la réserve de semence pour la prochaine campagne. Après la récolte une partie des tiges est stockée en meules, une partie reste sur le sol. Cette dernière est pâturée par le bétail puis consommée par les termites.

Tableau 6: Synthèse des principales techniques culturales en milieu réel

TRAVAIL DU SOL	SEMIS	DESHERBAGES	DEMARIAGE	FERTILISATION	RECOLTE ET OPERATIONS POSTES RECOLTE
<p>Période : Mai-juin</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Débroussaie Eliminer la végétation naturelle (arbustes et herbes) avant semis. Daba, Hilaire, Manchette, 78, 95% des parcelles du terroir. ○ Labour (Retourner la couche arable du sol) ; Houe sine, 3,95% des parcelles du terroir, ○ Sans préparation Généralement si précédent arachide. 17,11% des parcelles du terroir. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Période : Mai-début juillet. Réalisé au même moment par l'ensemble des agriculteurs du terroir. ○ Semis en sec pour le souna (variété précoce : 90j), parfois en humide après la première pluie. ○ Mécanique ou manuel ○ Densité : très variable en fonction des agriculteurs, 8000 à 22000poquets/ha de mil (environ 10 à 20 grains/poquets) ○ Re-semis si échec (début juillet) <p>Culture associée (pod+matye;pod+matye+sorgho; pod+sorgho; pod+matye+sorgho+niébé ; sorgho+niébé; matye+niébé; pod+sorgho+niebé, entre autres)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Période : 7 à 10 JAL ○ Nombre : 2 ○ Outils : houe (traction équine et asine) et hilaire ○ Les champs de case sont désherbés en premier, généralement 7 jours après levée. ○ Les champs de brousse ne sont désherbés qu'après les champs de case. ○ 1^{er} désherbage est à la fois mécanique et manuel ○ 2^e désherbage est mécanique : 30JAL 	<p>Réduire le nombre de plantules du poquet à 3-5plantules.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Période : En même temps que le 1^{er} désherbage ○ Opération manuelle ○ Couteuse en temps ○ Beaucoup de main d'œuvre généralement tous les actifs de la concession sont mobilisés ○ Priorité champs de case ○ Durée dépend de la surface agricole utile de l'exploitation et de la main d'œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Organique et minérale ○ Minérale : NPK formule 10-10-20 à la dose de 100à150 Kg/ha, ○ Organique : soit : Fumier pailleux : apporté en saison sèche, la dose d'apport est très variable en fonction des producteurs. Parcage : peut se faire en hivernage et en saison sèche. En hivernage sur la jachère en champs de brousse au bout de 3 mois environ. En saison sèche en champs de case et s'étale sur 5 mois environ. Déchets de cours : en champs de case seulement Engrais chimique : en champs de brousse seulement 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Période : donner les dates en nombre de jours après levée ○ La récolte est manuelle : elle se fait sur pied ou après dessouchage des pieds de mil (par terre) ○ Les champs de case sont récoltés en premier et le sont sur pieds ○ Séchage des épis au soleil (3à7j) ○ Chez certains agriculteurs les épis sont triés avant d'être ranges dans le grenier. ○ Dans certains cas les épis sont égrenés et les grains conservés dans des sacs. ○ Les tiges sont exportées hors de la parcelle pour l'alimentation du bétail, la confection de cases et de clôtures.

3.2 Effets des modes de gestion de la fertilité sur les sols

3.2.1 Caractéristiques physiques des sols échantillonnés au début montaison du mil

➤ *Granulométrie*

Le tableau 7 montre que le pourcentage de sable constitue la fraction dominante avec environ 90% en moyenne, suivi du pourcentage de limon 5,5%. Ils révèlent également que la texture des sols du terroir est majoritairement sableux (86,95%), seulement 13,04% des parcelles étudiées ont une texture sablo limoneuse. Ce pendant les argiles représentent une faible fraction (seulement 3% en moyenne) dans les sols. Le test d'analyse de variance montre qu'il n'y a pas un effet significatif du type de champ sur les pourcentages d'argile, de limon et de sable.

Tableau 7: Résultats des analyses granulométriques de sols suivant l'effet type de champs

Type de champs	Nombre d'observations	% Argiles	% Limons	% Sables
Champs de case	12	3,43	5,65	90,44
Champs de brousse	11	4,34	5,35	90,23
Probabilité		ns	ns	Ns

L'analyse de variances de l'effet type de champs est effectuée en considérant les niveaux de probabilité statistique suivante : Non significatif ($ns = P > 0,05$) ; Significatif ($** = 0,01 < P < 0,05$) ; Hautement significatif ($*** = P < 0,001$).

➤ *Densité apparente des sols*

La figure 14 montre que la densité apparente est plus faible en champs de case qu'en champs de brousse. La densité apparente est aussi plus élevée dans les situations sans apport de fertilisant (parcelles numéro 292 ; 115 et 142) et dans les situations où la parcelle ne reçoit que de l'engrais chimique (parcelles numéro 8 et 150). Par contre, sur les sols qui ont reçu des apports de matières organiques, des valeurs de densité apparente plus basses ont été obtenues (parcelles numéro 1 ; 147 ; 338 ; 236 ; 139a ; 297 ; 114 et 290). Ceci suggère que la matière organique joue beaucoup sur l'aération du sol.

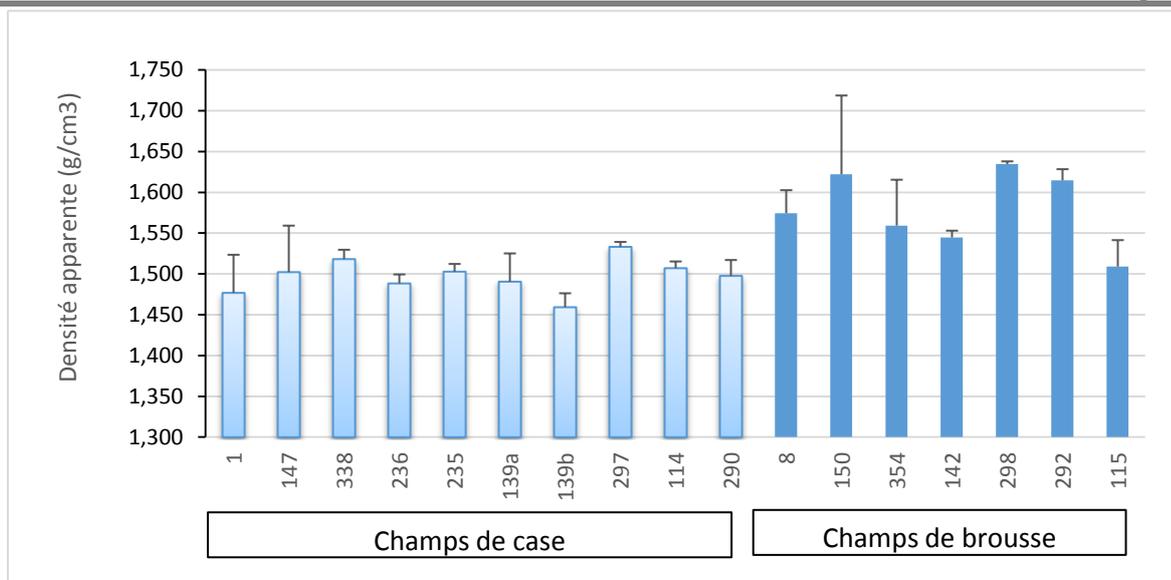


Figure 14: Densité apparente de différentes parcelles en champs de case et en champs de brousse

Chaque donnée correspond à une parcelle d'agriculteur et les chiffres en abscisse correspondent aux codes utilisés pour identification des parcelles.

3.2.2 Caractéristiques chimiques des sols échantillonnés au début montaison du mil

Le test d'analyse de variance montre un effet significatif du type de champs sur les variables (azote (N), Carbone (C), Potassium (K), et Magnésium (Mg)). D'après le tableau 9, les sols de champs de case présentent des teneurs en N,C,K, et Mg significativement plus élevées que celles mesurées dans les sols de champs de brousse à la fois par leurs teneurs en N, C, K, et Mg. Les champs de case présentent des valeurs de pH eau, phosphore (P), Capacité d'échange cationique (CEC) et un taux de saturation (S/T) plus élevés qu'en champs de brousse. Le tableau 8 présentant les résultats des analyses chimiques en fonction du type de fumure suggère que les parcelles recevant des déchets de cours sont en moyenne les plus fertiles au niveau chimique ; et les parcelles recevant une fertilisation chimique ainsi que celles ne recevant jamais d'apport de fumure, les moins fertiles. La comparaison des doses rapportées par les agriculteurs pour chaque type de fumure avec les pourcentages d'azote (N) fournis par les analyses chimiques (figure 15), montre que la teneur en azote du sol augmente avec la dose de fumure apportée quelque soit le type de fumure (fumier pailleux et parcage). Mais, on constate qu'elle diminue de manière drastique si la dose de fumure dépasse 5t/ha et se maintient à environ 0,03-0,04% même si les doses de fumure augmentent. Ceci suggère qu'il est possible que les doses supérieures à 5t/ha soient une sur estimation de la dose réelle apportée.

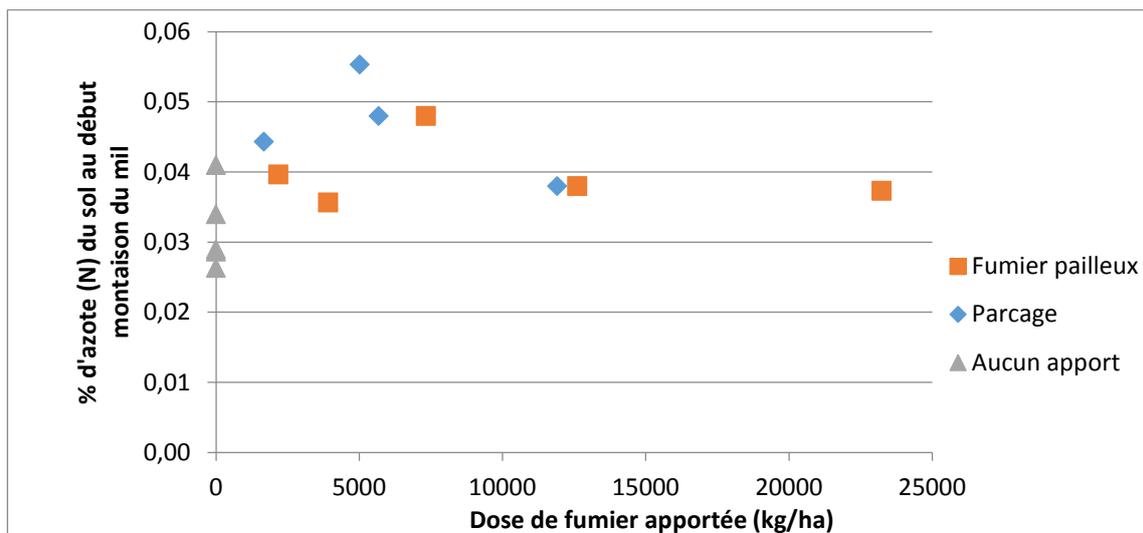


Figure 15: Relation entre la teneur en azote du sol et les doses de fumier apportées

Tableau 8: Résultats des analyses chimiques de sols suivant l'effet type de champs.

Type de Champs	Nombre d'observations	pH eau	N tot (%)	C tot (%)	C / N	P total (mg/kg)	P assim (mg/kg)	Ca (mé%)	Mg (mé%)	Na (mé%)	K (mé%)	CEC (mé%)	S/T (mé%)
Champs de case	12	6,72	0,05 a	0,46 a	8,96 a	157,22	41,11	3,63	0,64 a	0,03	0,31 a	2,00	188,45
Champs de brousse	11	6,16	0,03 b	0,25 b	8,08 b	65,52	11,67	1,13	0,34 b	0,02	0,18 b	1,50	110,00
Probabilité		ns	***	**	**	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	Ns

L'analyse de variances de l'effet type de champs est effectuée en considérant les niveaux de probabilité statistique suivante : Non significatif (ns = $P > 0,05$) ; Significatif (**= $0,001 < P < 0,05$) ; Hautement significatif (***= $P < 0,001$). Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher

Tableau 9: Résultats des analyses chimiques de sols en fonction de l'apport de fumures.

Type de fumures	Nombre d'observations	pH eau	N tot (%)	C tot (%)	C / N	P total (mg/kg)	P assim (mg/kg)	Ca (mé%)	Mg (mé%)	Na (mé%)	K (mé%)	CEC (mé%)	S/T (mé%)
Sans apport de fumure	6	6,14	0,03	0,26	8,17	60,60	9,67	1,07	0,31	0,02	0,17	1,39	111,94
Parcage	5	6,50	0,04	0,36	8,29	61,60	9,13	1,73	0,50	0,02	0,27	1,71	146,19
Engrais chimique	3	5,85	0,03	0,23	7,91	52,67	6,83	1,15	0,36	0,01	0,16	1,61	101,23
Déchets de cours	3	7,35	0,05	0,49	9,08	154,83	41,17	2,92	0,66	0,04	0,30	2,27	172,73
Fumier pailleux	6	6,58	0,04	0,33	8,65	92,11	18,17	1,64	0,45	0,02	0,24	1,64	142,85

3.3 Effet des modes de gestion de la fertilité sur la culture de mil

3.3.1 Caractéristiques agro-morphologiques des pieds de mil à la récolte

Une variation hautement significative ($P < 0,01$) de la hauteur et du diamètre des tiges sont observées en fonction du type de champs. Les parcelles jouxtant les habitats ont en moyenne une hauteur et un diamètre au collet des tiges, et des diamètres et longueurs d'épis supérieurs à ceux récoltés dans les champs situés sur l'auréole périphérique (champs de brousse) (Tableau 10)

Tableau 10: Caractéristiques agro-morphologiques en fonction de l'apport de fumure et de la fréquence d'apport.

Type de champs	Nombre d'observations	NT	HP (m)	DP (mm)	LE (m)	DE (mm)
Champs de case	12	10,65	1,32	11,21	0,45	88,30
Champs de brousse	11	10,40	0,91	8,95	0,40	78,27
Probabilité		Ns	***	***	**	**

NT : Nombre de talles, HP : Hauteur plantes, DP : Diamètre plantes, LE : Longueur épis, DE : Diamètre épis ;

Les niveaux de probabilité statistique sont indiqués de la manière suivante : Non significatif ($ns = P > 0,05$) ; Significatif ($** = 0,001 < P < 0,05$) ; Hautement significatif ($*** = P < 0,001$) au seuil de 5%. Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher.

3.3.2 Le potentiel hydrique de base du mil

La figure 16 représente la variation du potentiel hydrique de base du mil en fin de cycle, correspondant à la période de mise en place de la composante du rendement « poids moyen d'un grain ». Il ressort que le potentiel hydrique de base a été moins stable en champs de brousse (B) qu'en champs de case (A) et que le statut hydrique des plantes a été en moyenne plus élevé (moins de stress hydrique) en champs de case qu'en champs de brousse.

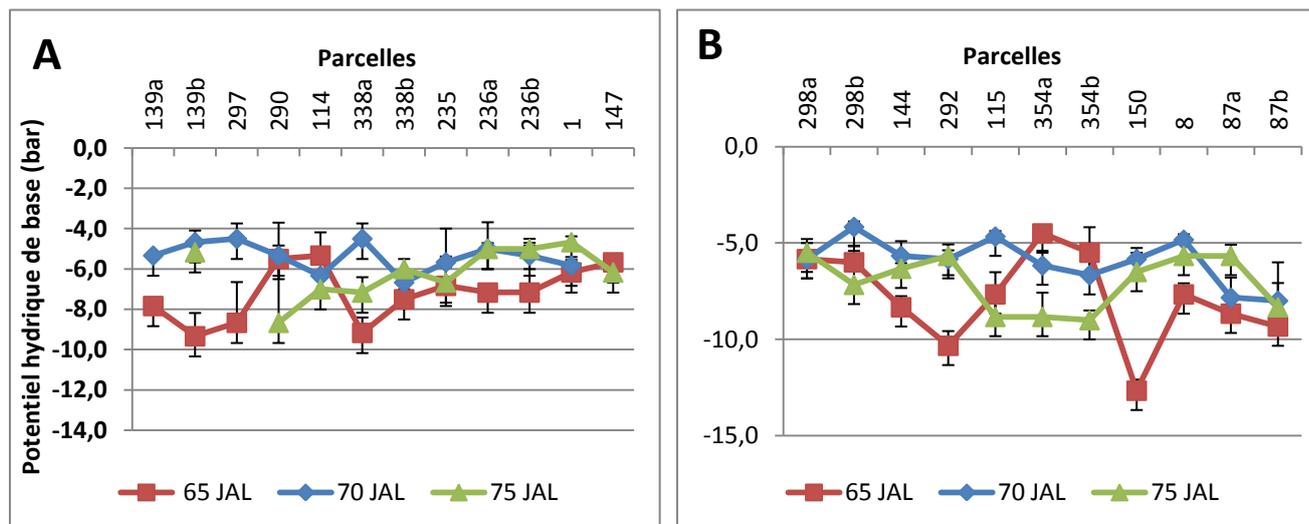


Figure 16: Potentiel hydrique de base du mil en champs de case (A) et en champs de brousse (B) en fin de cycle (65JAL, 70JAL et 75JAL).

JAL : Nombre de jours après levée. Les chiffres en abscisse correspondent aux codes utilisés pour identification des parcelles. A : Champs de case, B : Champs de brousse,

3.3.3 Le rendement en grains du mil

Les résultats d'ANOVA montrent que le type de champs a un effet hautement significatif sur le rendement ($P < 1\%$). Les champs de case ont en moyenne un rendement plus élevé ($1,24 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1} \pm 0,51$) que les champs de brousse ($0,60 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1} \pm 0,55$). Les plus fortes productions ($1,49 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$) ont été obtenues sur les parcelles où des animaux ont été parqués. Par contre le plus faible rendement ($0,34 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$) est obtenu sur des parcelles n'ayant fait l'objet d'aucun apport de fertilisants. La Figure 17 présente la variation du rendement en fonction de l'apport de fumure.

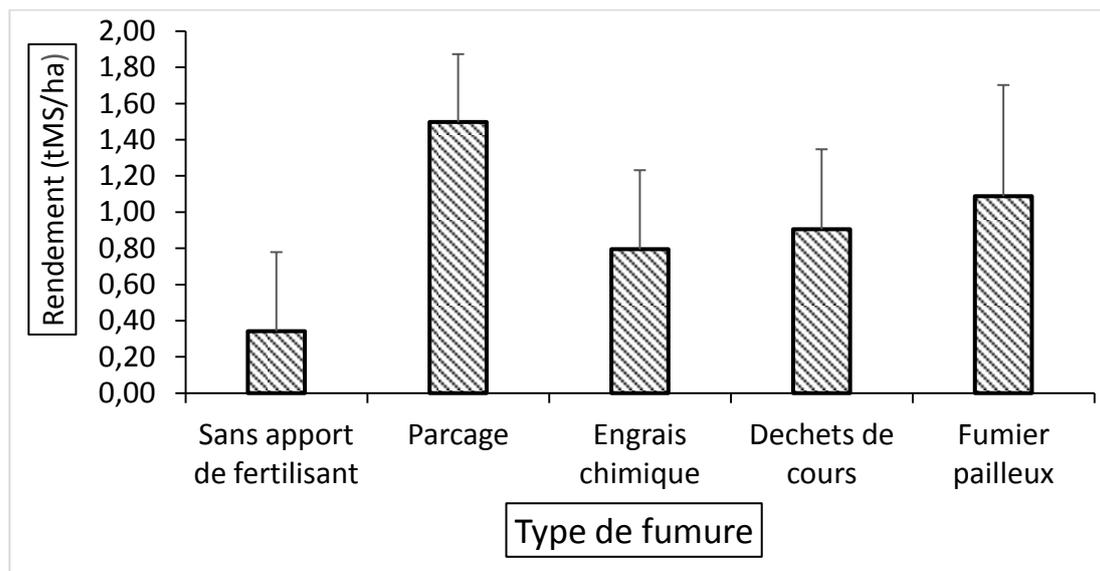


Figure 17: Rendement du mil en fonction du type de fumure.

Chaque histogramme est la moyenne du nombre de parcelles suivies pour cette situation, les barres représentent les écart-types.

3.3.3.1 Relation entre le nombre de talles/poquet et le nombre de poquets/10m²

L'analyse de la relation entre le nombre de talles par poquet et le nombre de poquets sur 10m² (figure 18) ne montre pas une influence du type de champs sur ces variables. Elle révèle également que la densité de poquets joue peu sur le tallage. Ce qui suggère que la compétition entre poquets est très faible dans la gamme de densité de poquets couverte dans cette étude.

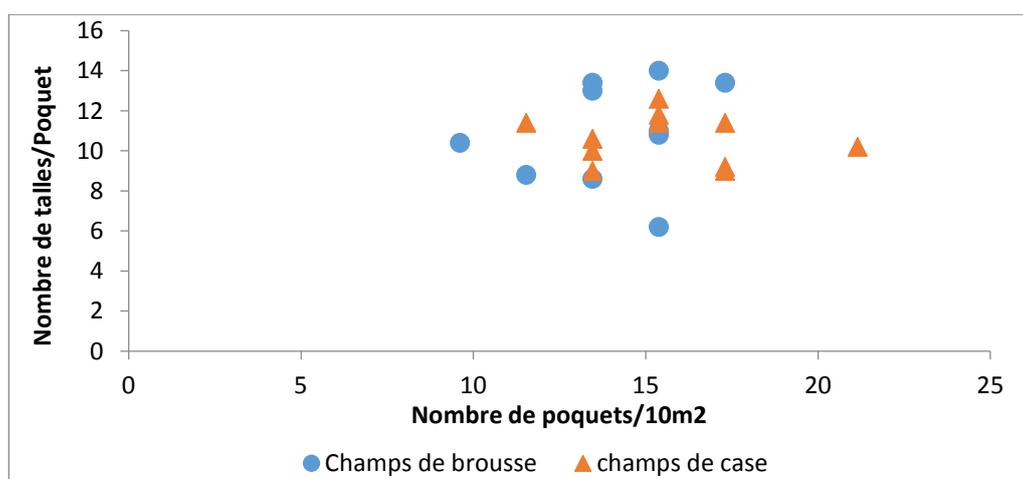


Figure 18: Relation entre le nombre de talles/poquet et le nombre de poquets/m²

3.3.3.2 Relation entre le nombre d'épis et de talles/poquet

La figure 19 présente la variation du nombre d'épis par poquet en fonction du nombre talles formés par poquet. Elle montre que le nombre de talles reste une composante clé pour le nombre d'épis/poquet : plus il y a de talles/poquets, plus il y a d'épis/poquet. Néanmoins, on remarque que seulement 40% environ des talles montent en épi. Ce graphique laisse apparaître une influence du type de champs sur le nombre d'épis formés par poquet. En effet, on remarque que pour un même nombre de talles par poquet, les champs de case ont un nombre d'épis relativement plus élevé que les champs de brousse. En conclusion, ce graphique indique que pour augmenter le rendement, il n'est pas indispensable d'augmenter le nombre de poquets/m² en vue d'obtenir une augmentation du nombre de talles (cf Figure précédente : 16), dans les conditions actuelles de ces systèmes de culture. Il est possible en effet, même avec les nombres de poquets/m² les plus faibles enregistrés ici, d'augmenter le nombre d'épis/poquet, grâce à une amélioration de la fertilité des sols, comme il a été permis en champ de case par exemple.

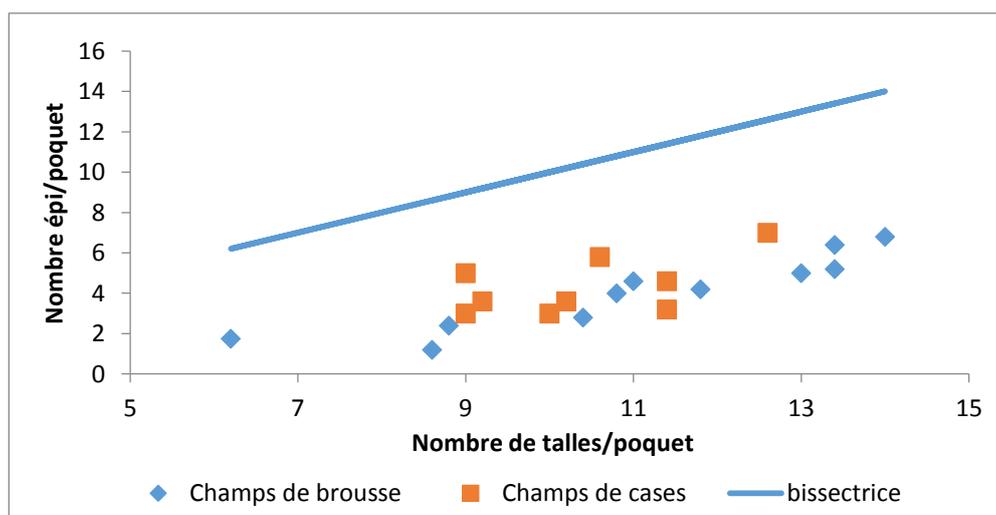


Figure 19: Relation entre le nombre d'épis et de talles/poquet

La figure 20 confirme le rôle clé de la disponibilité d'azote du sol. En effet, elle montre qu'il existe une relation positive entre les teneurs en N du sol au début montaison et le nombre de grains/épi formés sur la plupart des parcelles nous avons excepté les parcelles recevant des déchets de cours car, les données disponibles, semble aberrantes. Il s'agit soit d'une erreur dans la détermination de la teneur en azote (N) du sol, soit d'une erreur dans l'estimation de la dose des déchets de cours apportés.

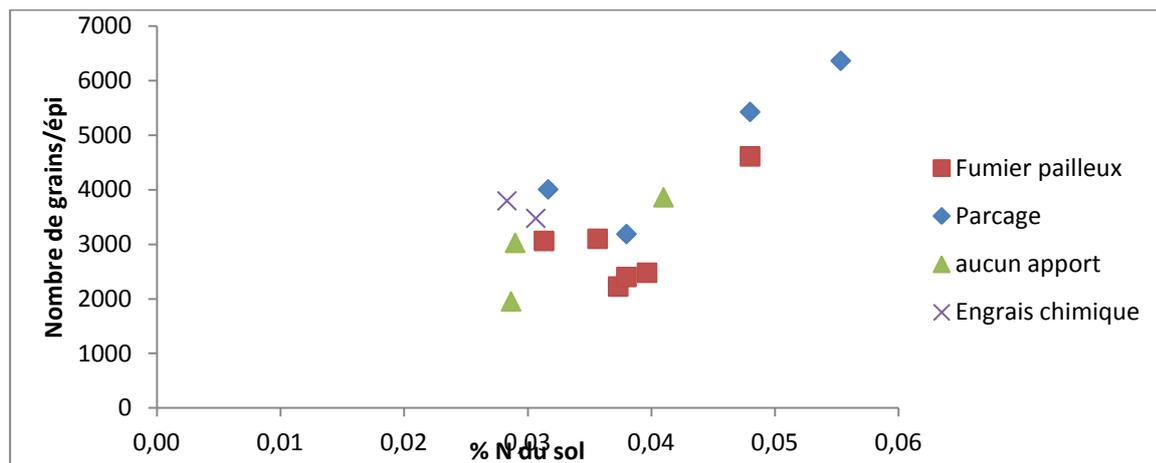


Figure 20: Relation entre le nombre de grains/épi et la teneur en azote du sol

3.3.3.3 Relation entre le nombre de grains/épi et le nombre d'épis/m²

L'analyse de la figure 21, laisse apparaître une très grande variabilité du nombre de grains/épis en fonction du nombre d'épis/m². L'effet du type de champs sur ces facteurs n'est pas net.

Néanmoins, on remarque que les parcelles parquées prennent souvent le dessus. Celles qui n'ont pas été fertilisées, présentent un nombre de grains/épi très faible. La relation tend à être négative entre les deux composantes, suggérant qu'on a une relation de compétition entre le nombre d'épis produite et le nombre de grains formés. Autrement dit, plus la plante produit des épis plus le nombre de grains/épis serait faible.

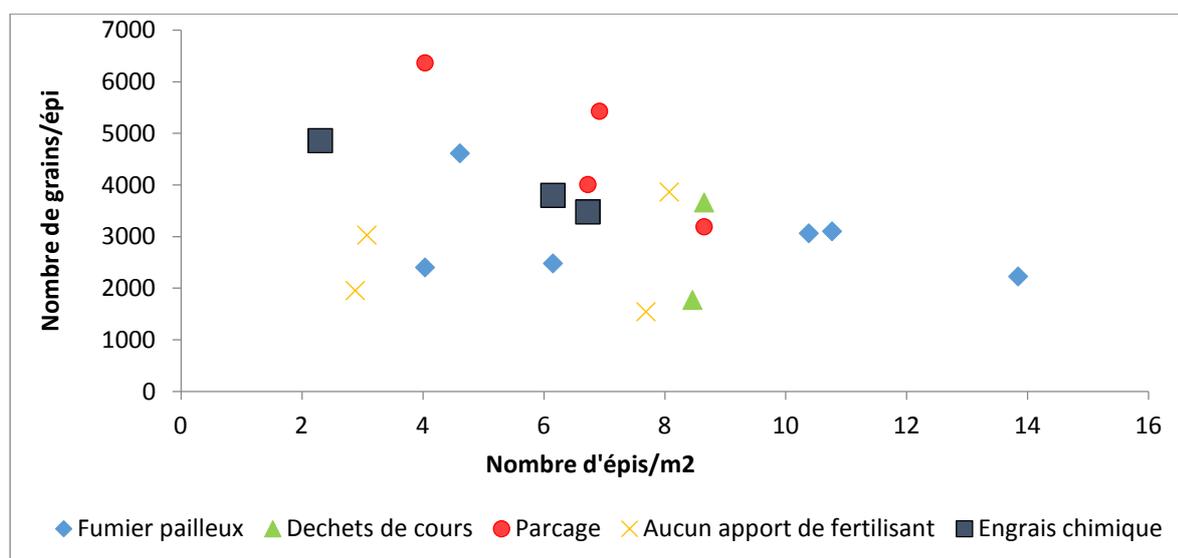


Figure 21 : Relation entre le nombre de grains/épi et le nombre d'épis/m²

3.2.3.4 Relation entre le poids de mille grains et le nombre de grains/m²

La figure 22 présente la variation du poids de 1000 grains en fonction du nombre de grains/m². Sur cette figure nous avons confronté les données recueillies sur nos parcelles d'agriculteurs et celles obtenues en station par Diouf 2005, dans des conditions favorables au développement du mil. La courbe obtenue est cohérente avec le modèle de Diouf, 2005. Cette figure laisse apparaître qu'on se situe dans la partie de la courbe de Diouf, 2005 où il existe un effet dépressif du nombre de grains formés sur le poids d'un grain. Quelques unes des parcelles suivies sont placées sur, ou non loin de la courbe de référence. La majeure partie se situe nettement en dessous du modèle de Diouf, 2005. Ces résultats, suggèrent que les parcelles situées en dessous de la courbe de référence sont confrontées à un déficit hydrique. Toutefois, on remarque que les parcelles en champs de case sont plus proches du modèle de Diouf, 2005 comparé aux parcelles de champs de brousse.

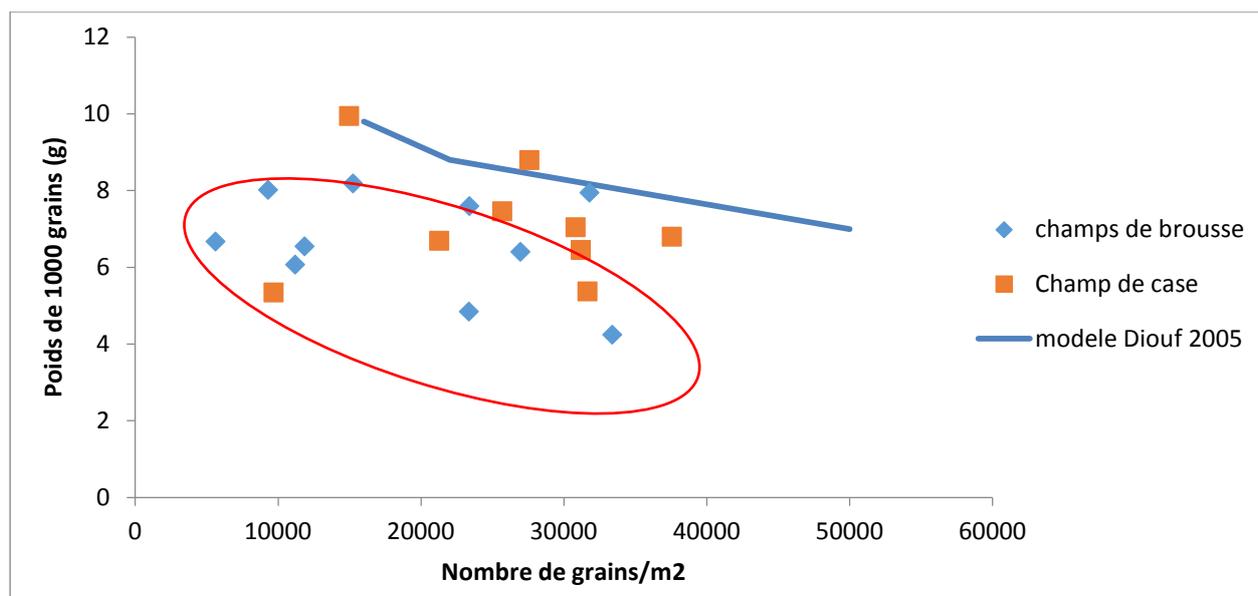


Figure 22: Relation entre le poids de mille grains et le nombre de grains/m²

3.3.4 Efficacités d'utilisation et de conversion des nutriments par la culture

Le tableau 11 présente les quantités de nutriments contenues dans la biomasse et dans les grains du mil (Azote, phosphore et potassium) en fonction du type de champs. Ce tableau laisse voir que les quantités de nutriments contenues dans la biomasse aérienne au moment de la récolte sont significativement plus élevées en champs de case qu'en champs de brousse. La figure 23 présente les quantités de nutriments dans la biomasse aérienne à la récolte en fonction du type de fumures. Pour l'azote les quantités absorbées semblent plus importantes sur les parcelles qui ont bénéficié d'un apport de fumure et les plus faibles quantités exportées ont été retrouvées sur des parcelles

sans fertilisation. Les mêmes observations sont faites sur le phosphore et le potassium. Suivant le type de champs, les résultats montrent que les quantités d'éléments contenues dans la biomasse ont été plus importantes en champs de case qu'en champs de brousse quelque soit la variable (N, P et K).

Tableau 11: quantités de nutriments contenues dans la biomasse et dans les grains en fonction du type de champ

Type de champs	Nombre d'observation	Azote (N) Kg/ha	Phosphore (P) Kg/ha	Potassium (K) Kg/ha
Champs de case (CC)	12	47,22 a	5,27 a	49,48 a
Champs de brousse (CB)	11	24,98 b	2,82 b	20,86 b
Probabilité		***	**	***

L'analyse de variance de l'effet type de champs est effectuée en considérant les niveaux de probabilité statistique suivante : Non significatif (ns = $P > 0,05$) ; Significatif (** = $0,001 < P < 0,05$) ; Hautement significatif (***) = $P < 0,001$). Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher.

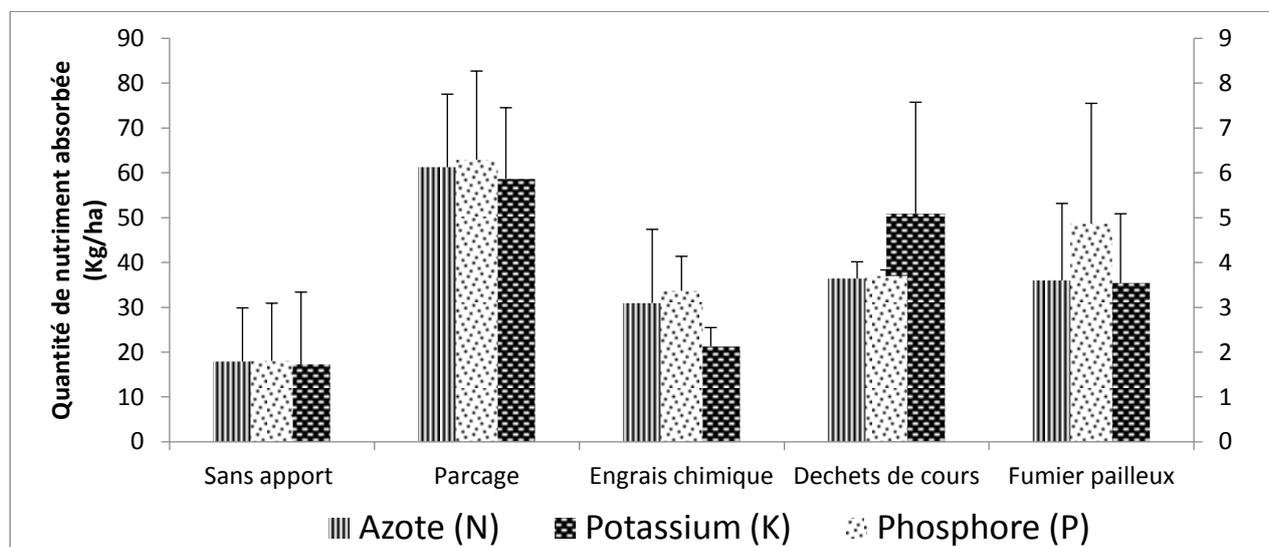


Figure 23 : Quantités nutriments contenues dans la biomasse et dans les grains en fonction du type de fumure

La figure 24 présente l'efficacité de conversion des nutriments absorbés en fonction de l'apport de fumure. Ce graphique montre que l'efficacité de conversion des nutriments est plus élevée sur les parcelles qui ont été fertilisées que sur celles qui n'ont bénéficié d'aucun apport de fertilisant.

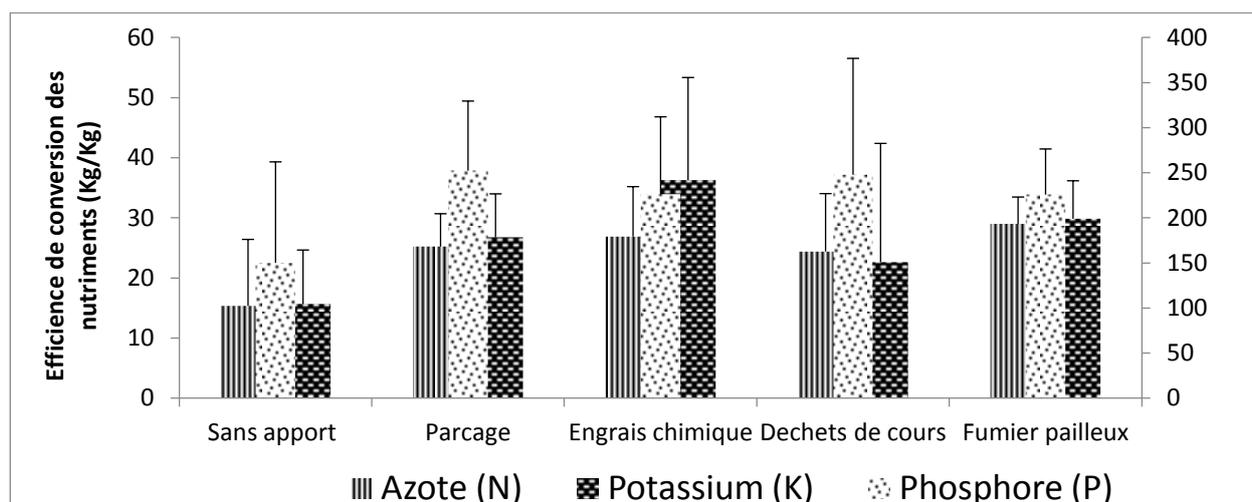


Figure 24 : Efficacité de conversion des nutriments absorbés en fonction de l'apport de fumure
Le tableau 12 montre que l'efficacité de conversion n'est pas significativement différente en champs de case et champs de brousse pour toutes les variables étudiées (N, P et K).

Tableau 12: Efficacités de conversion des nutriments (Kg de grains/kg d'éléments absorbés) en fonction du type de champs.

Type de champs	Nombre d'observation	Azote (N) Kg Grs/Kg N	Phosphore (P) Kg Grs/Kg P	Potassium (K) Kg Grs/Kg K
Champs de case (CC)	12	26,64	243,37	26,72
Champs de brousse (CB)	11	20,80	183,14	24,28
Probabilité		ns	ns	Ns

L'analyse de variance de l'effet type de champs est effectuée en considérant les niveaux de probabilité statistique suivante : Non significatif (ns = $P > 0,05$) ; Significatif (** = $0,001 < P < 0,05$) ; Hautement significatif (***) = $P < 0,001$).

Discussions :

- **Conduite de la culture du mil sur les parcelles paysannes étudiées**

Au terme de cette analyse, il apparaît que les systèmes de culture pratiqués dans le terroir de Diohine se différencient non seulement par l'historique de la fertilisation (type de champ, fréquence d'apport) et le type de fertilisant utilisé en 2014, mais aussi par les précédents culturaux, les travaux de préparation des sols, la densité de semis, les cultures associées et la date de démariage du mil. Cette variabilité se manifeste d'une exploitation à l'autre, entre parcelles d'une même exploitation, ou à l'intérieur d'un même champ. Ainsi, en classant et comparant nos

parcelles par la gestion des apports organiques ou minéraux, on fait l'hypothèse que celle-ci constitue la source majeure de variabilité des performances entre parcelles, loin devant la variabilité qui pourrait être due aux autres facteurs de variation des systèmes de culture au sein du dispositif. Il ressort de cette étude une hiérarchisation des pratiques en fonction du type de champs au sein d'une même exploitation. Les champs de case assurant une bonne partie de l'alimentation familiale sont prioritaires pour l'affectation de la fumure, du désherbage et du démariage entre autres. Plusieurs auteurs ont observé cette hiérarchisation parcellaire dans le bassin arachidier, Lericollais 1992, Diouf 2005, Odru 2013. La diversité de gestion observée à l'intérieur des parcelles pourrait être liée à la disponibilité de la fumure. C'est probablement ce qui a amené les agriculteurs à réorganiser de plus en plus la répartition de la fumure à l'intérieur du champ. La tendance actuelle chez certains agriculteurs est que ce n'est plus tout le champ qui est couvert par la fumure mais juste une partie (environ la moitié) est fumée de manière moins fréquente (une année sur deux). En confrontant nos résultats avec ceux de Lericollais 1999, on constate que le modèle agricole ancien n'a pas beaucoup changé dans le terroir de Diohine. Cependant ce qu'il faut signaler c'est probablement une diminution drastique de l'intensité des restitutions organiques. Le temps de parcage ainsi que la taille du troupeau nous semble être très en deçà des performances observées dans les années 80. Lericollais 1999, rapporte qu'en 1989-90 un effectif moyen par troupeau était de 29 bovins dans la communauté rurale de Ngayokhem. Alors que le plus grand effectif bovin que nous avons enregistré cette année dans le terroir de Diohine est de 16 bovins/troupeau d'après les enquêtes. Ces résultats corroborent ceux de Odru 2013, qui signalaient que le nombre d'UBT bovin du terroir est passé de 0.49 UBT/ha en 1990 à 0.42 en 2012.

Il ressort de cette étude que la succession mil sur mil est la mieux représentée (65% des cas). Ce résultat n'est pas en phase avec les recommandations de l'ISRA, 2011 qui stipule que le mil est un mauvais précédent pour lui-même et que l'arachide, le niébé ou la jachère constituent les meilleurs précédents pour le mil. Ce choix des agriculteurs pourrait être expliqué par le manque de moyens pour payer les semences d'arachide.

- Effets des modes de gestion de la fertilité sur les sols

Les résultats des analyses chimiques de sol montrent que les parcelles recevant de la matière organique (fumier pailleux, parcage et déchets de cours) ont des teneurs en azote, carbone plus élevées que les parcelles qui n'ont pas bénéficié d'apport de matières organiques. Ce résultat corrobore ceux de Cisse 1988, Sarr 1990, Feller *et al.*, 1981 qui soulignaient que l'apport de

matière organique plus ou moins évoluée sur des sols tropicaux entraîne une augmentation des teneurs en C et N des horizons de surface, de la somme des bases échangeables, du pH. Il ressort de ces résultats que les sols des champs de case sont plus riches en C, N ; et en base échangeable (Ca, Mg, Na, K) que les champs de brousse. Ceci peut être lié au fait que les champs de case reçoivent de grande quantité de fumure depuis des années. Zingore *et al.*, 2008, ont obtenu des résultats similaires au Zimbabwe. Ces résultats confirment également ceux de Manlay, 2000 qui montrent dans six parcelles de céréales de case, que les stocks moyens de carbone, d'azote, et de phosphore mesurés (29,9 tC, 2,30 tN et 83 kgP ha⁻¹) sont supérieurs à ceux des parcelles de cultures de brousse (27,8 tC, 2,03 tN et 17,3 kgP ha⁻¹). Les valeurs des rapports de C/N sont dans la même gamme que celles qu'avaient observées Charreau 1966, dans le terroir de Sob. Les résultats des analyses de densité apparente montrent que les champs de case ont des densités relativement plus faibles que les champs de brousse. Cette différence pourrait être imputée à l'accumulation de la matière organique en champs de case qui serait à l'origine de l'aération au niveau des dits champs.

- **Effet des modes de gestion de la fertilité sur la culture de mil**

Les résultats révèlent un effet type de champs sur le rendement : les champs de case présentent des rendements nettement supérieurs aux champs de brousse. Ils montrent également que le rendement en grain du mil est fortement lié à l'apport de fumure. Les meilleurs rendements ont été obtenus sur des parcelles qui ont été fertilisées et plus précisément sur celles parcourues malgré le déficit hydrique observé en fin de cycle. Les niveaux de fertilité élevés et les systèmes de cultures particuliers observés en champs de case expliquent les bonnes performances obtenues sur cette auréole. Ce résultat, confirme notre 2^e hypothèse qui stipule que les variations de production peuvent être liées non seulement aux caractéristiques initiales de sols mais aussi à la gestion courante. Les faibles performances observées en champs de brousse s'expliquent d'une part par un épuisement de plus en plus prononcé des stocks de nutriments dans les sols de ces champs et plus particulièrement sur celles qui n'ont bénéficié qu'aucun apport d'éléments fertilisants. D'autre part, elles pourraient s'expliquer par la gestion courante qui nous semble dans certaines situations très limitante. Les retards observés dans l'exécution de certaines opérations culturales clés telle que le démariage, le désherbage sont susceptibles d'impacter sur le rendement.

Les meilleurs rendements ont été obtenus sur des parcelles parcourues et les plus faibles rendements ont été obtenus sur des sols qui n'ont pas été fertilisés. Ce résultat corrobore ceux de Dieye *et al.*, 1998 qui signale que le parcage se confirme comme une bonne pratique de fertilisation des

céréales maïs et mil dans un système de culture continue. Des résultats similaires ont été obtenus par Sangare *et al*, 2002.

- **Efficiences d'utilisation et de conversion des nutriments par la culture**

Il ressort également de cette étude que l'absorption des nutriments est beaucoup plus importante sur les parcelles qui ont été fertilisées que sur celles qui n'ont pas bénéficié d'apport de fumure. Par ailleurs, les résultats obtenus indiquent que les champs de case exportent plus de nutriments que les champs de brousse. Ces résultats laissent penser que la matière organique apportée induit une augmentation des quantités d'éléments disponibles pour les racines. Cette étude met également en évidence des effets fumures similaires à ceux observés par Cisse *et al.*, 1988 lors d'apports de matière organique sur la culture de mil sur les sols sableux au nord du Sénégal. Il ressort de ces résultats que les efficacités de conversion de l'azote obtenues sont inférieures à celles obtenues par Van Duivenbooden *et al.*, 1996 sur le mil en situation optimale (35 Kg/Kg d'N) pour la plupart de nos parcelles.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

A la lumière de cette étude, il apparaît que les systèmes de culture pratiqués dans le terroir de Diohine sont très variables et se différencient non seulement par l'historique de la fertilisation et le type de fertilisant utilisé, mais aussi par les précédents culturaux, les travaux de préparation des sols, la densité de semis, les associations culturales et la date de démariage du mil. Les modes de gestion des nutriments sont variables entre champ d'une même exploitation agricole et même à l'intérieur d'un même champ. Les meilleures performances en termes de productions du mil d'une part et des caractéristiques physicochimiques des sols d'autre part ont été obtenues dans les champs de case. Les apports de matière organique ont une influence très nette sur la croissance et la production du mil. Ces apports améliorent le niveau de fertilité du sol, notamment par la réduction de l'acidité, l'accroissement des réserves en éléments échangeables et de la teneur en azote. Les efficacités de conversion des nutriments absorbés en grains est relativement faible sur certaines parcelles du réseau, les valeurs maximales obtenues pour l'azote, le phosphore et le potassium sont respectivement de l'ordre de 26 kg/Kg d'N, 252 Kg/Kg de P et 36 Kg/Kg de K. Le type de fumure apporté et l'interaction eau/nutriments semble être les causes majeures de la variation des efficacités de conversion.

Sur la base des résultats obtenus et tenant compte des limites de ce travail, nous formulons les recommandations suivantes pour approfondir les recherches sur la gestion de la fertilité dans le bassin arachidier.

- Poursuivre l'étude sur un réseau de parcelles plus large afin de consolider et d'affiner les premières données que nous avons obtenues; en particulier, nécessité de structurer le réseau de parcelle afin de mieux séparer l'effet de la gestion organique passée (champ de case recevant régulièrement depuis plusieurs années des amendements organiques/ champ de brousse historiquement peu ou pas amendés) et de la gestion présente (quantité et type de fumure apportée pour la saison d'observation). Peut-être sera-t-il nécessaire d'installer des essais simples sur certaines parcelles afin d'étudier l'effet type ou dose de fumure dans des situations où « toutes choses égales par ailleurs ».
- Améliorer la méthode d'estimation des doses apportées; en combinant à la fois la méthode d'enquête (à dire d'acteurs) et la méthode directe c'est-à-dire délimiter une petite superficie (1m²) et ramasser à la main toutes les déjections produites et l'extrapoler sur la superficie totale.

- Étudier la vitesse de minéralisation des produits apportés afin de connaître leur dynamique et de mieux raisonner la gestion de la fertilité à partir de ces produits.
- Déterminer les quantités de nutriments perdus par volatilisation et par lessivage et les moyens de les limiter.
- Suivre de manière plus détaillée la disponibilité en eau à différentes phases du cycle du mil afin d'identifier de façon précise la ou les périodes où des déficits hydriques ont entraîné des baisses d'efficacité des nutriments apportés.
- Mener une étude plus affinée sur l'impact de l'apport de fumure organique sur la dynamique de l'eau. Est-ce que les parcelles recevant des quantités importantes de matière organique ne seraient pas les plus affectées par un déficit hydrique en fin de cycle compte tenu de l'augmentation de la demande en eau pendant la phase végétative? Est-ce que la baisse de densité apparente des sols permise par la fumure permet un stockage d'eau plus important dans les sols, susceptibles de limiter le risque de déficit hydrique sur les parcelles en champs de case?

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

AFFHOLDER F., 2001. Modélisation de culture et diagnostic agronomique régional. Mise au point d'une méthode et application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central. Thèse : Institut National Agronomique Paris-Grignon, 218p.

AHMADI N., J. CHANTEREAU, C. HEKIMIAN LETHEVE, J.L. MARCHAND, B. OUENDEBA., 2002. Memento de l'agronome. Agriculture spéciale. 1698p.

ALI A. K., 2012. Caractérisation du comportement agro-morphologique et physiologique de sept (7) variétés de mil dans deux (2) zones à pluviométrie contrastée. Mémoire d'ingénieur agronome : Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, 57p.

AMBLARD s., PERNES J., 1989. The identification of cultivated pearl millet (*Pennisetum*) amongst plant impressions on pott eryfrom Oued Chebbi (DharOu aJata, Mauritania). *African Archeological Review*, 7 : 117-126.

AMINE, 2008. Collecte des eaux de ruissellement et utilisation des eaux de ruissellement et réutilisation des eaux usées en agriculture en Afrique subsaharienne. Consulter le 20/01/2015 sur : http://www.memoireonline.com/08/09/2451/m_Collecte-des-eaux-de-ruissellement-et-reutilisation-des-eaux-usees-dans-lagriculture-en-Afrique-S3.html.

ANONYME, 2005. Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal ; réalisé grâce à un financement du ministère français des Affaires étrangères, dans le cadre du projet Joko (projet FAC n° 98004900). 520p

ANONYME, 2013 . Etude des pratiques agro-écologiques au Bénin. Projet de Soutien à l'Extension de l'Agriculture Agro-Ecologique au Bénin. 63p.

AUDREY P., 2012. Un contrôle efficient des émissions d'azote et de phosphore dans le bassin de l'Escaut. Thèse : Université libre de Bruxelles, faculté des sciences. p297.

BADIANE A. N., KHOUMA M., SÈNE M., 2000. Gestion et transformation de la matière organique. Synthèse des travaux de recherches menées au Sénégal depuis 1945. Edition ISRA, novembre 2000, 115 p.

BEGG J.E, 1965. The growth and development of crop or bulrush millet (*P. typhoides* S. et H.). *J Agric. Sei.*, 65 : 341-349.

- BONO M. , 1973.** Contribution à la morpho systématique des *Pennisetum* annuels cultivés pour leur grain en Afrique occidentale francophone. *L'Agronomie tropicale*.
- BRUNKEN J.N., 1977.** A systématique sud of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Graminée). *American Journal of Botany*.
- CARBERRY P.S. & CAMPBELL L.c., 1985a.** The growth and development of millet as affected by photoperiod. *Field CropRes.*, II: 207-217.
- CARBERRY P.S., CAMPBELL L.c. & BIDERGER F.R., 1985b.** The growth and development of pearl millet as affected by plant population. *Field CropRes.*, 11: 193-205.
- CHOPART J.L., 1980a.** Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). *Inst. Nat. Polytech., Toulouse Doctorat Ing.*, 160 p.
- CHOPART, J.L., 1980/1981.**Caractéristiques et effets du labour en sec et en milieu paysan dans le département de Bambey, Résultats 1980 (ISRA, CNRA Bambey).
- CISSE L., 1986.**Etudes des effets d'apport de matière sur les bilans hydriques et minéraux ctla production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre Nord du Sénégal.*INP de Lorraine, Doctorat*, 184 p.
- CISSE L., 1988.** Effect of organique amendement on cultivation of millet and groundnut in a degraded soil of north Senegal. II. Plant developpement and nutrient uptake. 7p.
- DANCETTE, 1978.**Besoin en eau et adaptation du mil à la saison des pluies au Sénégal. In *Proc. AgroclimatologicalRes. Needr; oftheSemi-AridTropic. ICRISAT, Nov. 1978, 211226.*
- DEN BOER L., 1987.**Entomologie appliquée Tome 1 département de Formation enProtection des Végétaux, CILSS/CentreAghrymet, Niamey Niger 130 pp.
- Diallo S., 2012.** Caractérisation des cycles de développement de dix variétés de mil de diverses origines sur trois sites situés le long d'un gradient latitudinal. Mémoire d'ingénieur agronome : Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, 43p
- DIONE M. et al., 2008.** Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales du Sénégal, tome 3, Bassin arachidier ; Maquette et mise en page: Moustapha Niang – ISRA/UNIVAL, 31p.

- DIOUF O., 2000.** Réponses agrophysiologiques du mil (*Pennisetum glaucum*) (L.) R. Br.) à la sécheresse: influence de la nutrition azotée, Thèse de Doctorat, Université libre de Bruxelles. 159 p.
- FELLER C., 1981.** Transformation de résidus de récolte marqués (paille 14C 15N, compost 14C) et devenir de l'azote-engrais (urée 15N) dans un agrosystème tropical. Rapp. mult., Antenne ORSTOM Cadarache, 64 p., 7 annexes.
- FOFANA et al., 2011.** Fiche technique pour la culture du mil. Institut Sénégalaise de Recherche Agricole (ISRA). 11p,
- HARLAN, J.R. 1971.** "Agricultural origins : centers and noncenters", *Science*, CLXXIV : 468-474.
- ISRA, 1996 :** Rapport annuel d'activités. ISRA Centre Nord Bassin Arachidier.
- ISRA, 1997.** Plan stratégique sud bassin arachidier. Troisième partie : besoin de recherche ISRA _ Sénégal.
- JACQUINOT L., 1970.** La nutrition carbonée du mil (*Pennisetum typhoides* Staph&Hubb.)1. Migrations des assimilât carbonés durant la formation des grains. *Agron. Trop.*, 25 : 1088-1095P ;
- JACQUINOT L., 1972.** Résultats et perspectives des recherches effectuées au Sénégal sur la potentialité du mil céréalière (*P. typhoides*). *L'Agronomie tropicale*, 25 : 1088-1095.
- LERICOLLAIS (A.). 1969.** Un terroir sereer du Sine (Sénégal) :Sob (arrondissement de Niakhar).
- LERICOLLAIS (A.). 1999.** Paysans sereer. Dynamiques agraires et mobilités au Sénégal. 681p.
- Maiti R.K. and Bidinger FR., 1981.** Growth and development of the pearl millet plant Research Bulletin No 6. Patancheru, A P., India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Pastures and fields Crops.
- MBAYE D.F., 1993.** Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel:Etat des connaissances et perspectives, ISRA/CNRA de Bambey, *Sénégal*.
- MEYNARD et DAVID, 1992.** Diagnostic et élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures* 1992; 1 : 9-19.

- NDOYE M. et al., 1984.** Les problèmes phytosanitaires du mil dans le sahel, [extrait de compte rendu du séminaire international du projet CILSS de lutte intégrée à Niamey (Niger) 6-13 Décembre 1984, 17p].
- NOBA K., 2002.** La flore adventice dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal) : structure, dynamique et impact sur la production du mil et de l'arachide, Thèse, 141p.
- Papa Nuhine DIEYE , Ambroise DIATTA, Adama Fuyez, Abdou Aziz DIALLO , Daniel BABENE ; 1998** .Impact de la technique de stabulation sur l'augmentation des performances de production animale, céréalière et l'amélioration des revenus des agropasteurs en zone subhumide du Sénégal,50p.
- REIFF C., GROSS C., 2004.** Analyse diagnostic du système agraire des paysans séréres au cœur du « bassin arachidier » Sénégal, Mémoire de fin d'études, IRD, 79p.
- ROCAFREMI, 2002.** Recueil des méthodes d'analyse du mil, P5-ROCAFREMI. Première édition. Niamey : Réseau Ouest et Centre Africain de la Recherche sur le Mil.98p
- ROCHETTE, 2008.** Gestion des engrais minéraux et organiques : volatilisation de l'ammoniac. Colloque en agroenvironnement. 7p.
- SANGARE, M., FERNANDEZ-RIVERA, S., BATIONO, A., HIERNAUX, P., PANDEY, V.S. 2002.** Effets de différents types d'amendements sur le rendement du mil et la fertilité du sol au Sahel. Institut de Médecine Tropicale Prince.
- SIBAND P., 1981.** Croissance nutrition et production du mil (*Pennisetum typhoides*) en zone sahélienne. Agron. Trop., 38 (1) : 27-35.

ANNEXES

Annexe 1 : Potentiel hydrique de base

potentiel de base moyenne (bar)					
EA	No Parcelle	type de champs	MOYENNE SEMAINE 1	MOYENNE SEMAINE 2	MOYENNE SEMAINE 3
1	1	1	-6,2	-5,3	-4,7
1	8	2	-7,7	-4,8	-5,7
11	114	1	-5,3	-5,3	-7,0
14	144	2	-8,3	-5,7	-6,3
15	147	1	-5,7	-5,8	-6,2
15	150	2	-12,7	-5,8	-6,5
24	235	1	-6,8	-6,7	-6,7
30	290	1	-5,5	-4,5	-8,7
31	297	1	-8,7	-4,7	DM
14	139a	1	-7,8	DM	DM
14	139b	1	-9,3	-5,3	-5,2
24	236a	1	-7,2	-5,7	-5,0
24	236b	1	-7,2	-5,0	-5,0
31	298a	2	-5,8	-5,8	-5,5
31	298b	2	-6,0	-4,2	-7,2
37	338a	1	-9,2	-6,3	-7,2
37	338b	1	-7,5	-4,5	-6,0
38	354a	2	-4,5	-6,2	-8,8
38	354b	2	-5,5	-6,7	-9,0
8	87a	2	-8,7	-7,8	-5,7
8	87b	2	-9,3	-8,0	-8,3
11	115	2	-7,7	-4,7	-8,8
30	292	2	-10,3	-5,8	-5,7

DM : Données manquantes

1 : Champs de case

2 : champs de brousse

Annexe 2 : Pluviométrie de Diohine de juillet à octobre (Hivernage 2014)

DATE	MOIS	PLUIE (mm)	DATE	MOIS	PLUIE (mm)
1	JUILLET	4,5	4	SEPTEMBRE	7
4	JUILLET	12,5	8	SEPTEMBRE	15
17	JUILLET	0,5	9	SEPTEMBRE	12
23	JUILLET	0,5	10	SEPTEMBRE	25
5	AOÛT	14	11	SEPTEMBRE	5
6	AOÛT	12,5	15	SEPTEMBRE	45
14	AOÛT	5,2	17	SEPTEMBRE	35
17	AOÛT	10	19	SEPTEMBRE	0,5
18	AOÛT	9,5	20	SEPTEMBRE	7
19	AOÛT	7	24	SEPTEMBRE	6
24	AOÛT	35	9	OCTOBRE	6
25	AOÛT	37	20	OCTOBRE	5,5
26	AOÛT	10,2			
27	AOÛT	55			
29	AOÛT	0,6			
31	AOÛT	49			

Annexe 3 : mesure des paramètres agromorphologiques

EA	Parcelle	Type champ	Fumure	Fréquence	HP (m)	DP (mm)	LE (m)	DE (mm)	NT	NE	NP
1	1	1	4	1	1,44	10,62	0,43	77,57	12,6	7	8
11	114	1	2	1	1,37	9,37	0,41	79,14	9	5	9
15	147	1	1	1	1,18	10,57	0,36	75,61	11,8	4,2	8
24	235	1	4	2	1,24	12,81	0,55	118,84	10	3	7
30	290	1	2	1	1,41	11,63	0,40	79,73	10,2	3,6	11
31	297	1	2	1	1,12	10,53	DM	DM	11,4	DM	6
14	139a	1	1	2	1,39	9,66	0,39	71,18	11,2	DM	12
14	139b	1	5	2	1,67	11,90	0,49	82,79	10,6	5,8	7
24	236a	1	4	2	1,37	14,55	0,55	112,15	9,2	3,6	9
24	236b	1	1	2	1,16	11,85	0,50	102,23	11,4	3,2	8
37	338a	1	4	2	1,37	12,09	0,48	99,68	11,4	4,6	9
37	338b	1	1	2	1,11	8,99	0,41	72,40	9	3	7
1	8	2	3	2	1,18	9,83	0,46	87,26	13	5	7
11	115	2	5	1	0,42	7,60	DM	DM	8,6	1,2	7
14	142	2	5	1	0,72	8,31	0,50	93,71	6,2	1,75	8
15	150	2	3	1	1,14	10,42	0,33	71,63	10,8	4	8
30	292	2	5	1	0,29	5,51	DM	DM	4,8	DM	7
31	298a	2	1	2	1,48	10,67	0,36	83,59	13,4	6,4	9
31	298b	2	5	2	0,80	8,43	0,39	70,45	10,4	2,8	5
38	354a	2	4	2	1,29	10,65	0,40	86,80	13,4	5,2	7
38	354b	2	1	2	0,99	8,69	0,35	59,24	14	6,8	8
8	87a	2	3	2	0,82	9,48	0,47	83,28	8,8	2,4	6
8	87b	2	5	2	0,91	8,84	0,30	68,50	11	4,6	8

HP : hauteur plante, DP : Diamètre de la plante, LE : longueur épi, DE : Diamètre épi , NT : nombre de talle, NE : nombre d'épis, NP : nombre de poque

Annexe 4 : Rendement et les composantes du rendement

EA	Parcelle	Type champ	Fumure	Fréquence	PMG (g)	BM (KgMS/ha)	NP/m2	NE/poquet	NG/epi	P1G (g)	Rdt (t/ha)
1	1	1	4	1	7,08	1899,11	1,538	7	5938,200193	0,0071	2,09
11	114	1	2	1	5,37	1140,08	1,731	5	3658,765382	0,0054	1,22
15	147	1	1	1	8,18	860,52	1,538	4	2479,108885	0,0082	0,61
24	235	1	4	2	7,46	1967,11	1,346	3	6363,721956	0,0075	1,32
30	290	1	2	1	9,94	1087,63	2,115	4	1770,392432	0,0099	0,59
31	297	1	2	1	DM	903,04	1,154	DM	DM	DM	DM
14	139a	1	1	2	7,04	1501,84	2,308		2226,599917	0,0070	1,65
14	139b	1	5	2	6,45	1867,06	1,346	6	3862,478867	0,0065	1,20
24	236a	1	4	2	6,80	2009,31	1,731	4	5426,522198	0,0068	1,53
24	236b	1	1	2	6,69	1505,96	1,538	3	4612,252175	0,0067	1,54
37	338a	1	4	2	8,79	1678,64	1,731	5	3188,80301	0,0088	1,46
37	338b	1	1	2	5,34	574,74	1,346	3	2401,5599	0,0053	0,42
1	8	2	3	2	7,59	1774,83	1,346	5	3476,514149	0,0076	1,23
11	115	2	5	1	4,86	571,30	1,346	1	DM	0,0052	0,03
14	142	2	5	1	8,02	569,68	1,538	2	3026,651103	0,0080	0,28
15	150	2	3	1	4,84	1000,40	1,538	4	3797,197093	0,0048	0,80
30	292	2	5	1	4,76	590,00	1,346	DM	DM	0,0051	0,03
31	298a	2	1	2	7,94	1736,38	1,731	6	3062,484848	0,0079	1,74
31	298b	2	5	2	6,67	587,31	0,962	3	1953,396756	0,0067	0,21
38	354a	2	4	2	6,40	1489,19	1,346	5	4007,121775	0,0064	1,08
38	354b	2	1	2	4,24	1198,97	1,538	7	3101,178566	0,0042	0,58
8	87a	2	3	2	6,07	499,95	1,154	2	4856,84465	0,0061	0,36
8	87b	2	5	2	6,54	813,16	1,538	5	1542,637274	0,0065	0,30

BM : biomasse aérienne, NP : nombre de poquet, NE : nombre d'épis, NG : nombre de grains, P1G : poids d'un grain, Rdt : rendement en grain

Annexe 5 : Quantités de nutriments exportés

EA	Parcelle	Type champ	Fumure	Fréquence	N absorbé	P absorbé	K absorbé	Efficience conversion N	Efficience conversion P	Efficience conversion K
1	1	1	4	1	70,51	7,69	62,57	29,71	272,59	33,48
11	114	1	2	1	39,02	3,59	33,28	31,22	339,12	36,61
15	147	1	1	1	23,03	3,69	22,27	26,42	165,10	27,34
24	235	1	4	2	75,44	7,90	67,54	17,54	167,45	19,59
30	290	1	2	1	33,70	3,79	68,42	17,60	156,53	8,67
31	297	1	2	1						
14	139a	1	1	2	54,53	5,59	48,08	30,25	295,31	34,31
14	139b	1	5	2	42,03	3,73	49,58	28,58	322,31	24,23
24	236a	1	4	2	71,72	7,60	67,80	21,34	201,45	22,57
24	236b	1	1	2	42,48	8,38	47,10	36,26	183,90	32,71
37	338a	1	4	2	50,56	3,96	64,56	28,89	369,00	22,63
37	338b	1	1	2	16,42	2,03	13,04	25,27	204,26	31,84
1	8	2	3	2	35,79	4,24	22,37	34,38	290,55	55,02
11	115	2	5	1	10,98	0,58	5,78	2,68	50,99	5,10
14	142	2	5	1	12,47	1,18	13,93	22,12	234,43	19,80
15	150	2	3	1	44,36	3,08	24,77	17,99	259,42	32,22
30	292	2	5	1	12,35	0,91	9,26	2,59	34,97	3,45
31	298a	2	1	2	55,61	7,36	49,96	31,27	236,12	34,80
31	298b	2	5	2	16,32	1,34	11,14	13,15	160,40	19,26
38	354a	2	4	2	37,76	4,30	30,42	28,65	251,40	35,57
38	354b	2	1	2	23,58	2,14	31,72	24,45	270,07	18,18
8	87a	2	3	2	12,63	2,78	16,58	28,35	128,88	21,58
8	87b	2	5	2	12,97	3,08	13,60	23,15	97,35	22,09

N : azote ; P : phosphore ; K :potassium

Type de champs: 1 champs de case ; 2 champs de brousse/ **Fumure** : 1 fumier pailleux ; 2 :déchets de cours ; 3engrais chimique ; 4 parcase ; 5 sans apport / **Fréquence** : 1 tous les ans ; 2 tous les 2ans ;