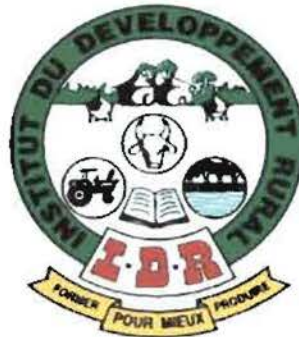


# BURKINA FASO

UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO  
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

**THEME : Effet à long terme du travail du sol et des amendements organiques sur le rendement du sorgho et la dynamique du phosphore sur un sol ferrugineux tropical lessivé du Burkina Faso (Saria).**

Présenté par :

OUEDRAOGO Sibri

Maître de stage : Dr OUATTARA Korodjouma

Dr GNANKAMBARY Zacharia

Directeur de mémoire : Dr BACYE Bernard

N° :.....-2010/(AGRO)

JUIN 2010

# DEDICACE

*Je dédie le présent travail à :*

**La mémoire de mon père, OUEDRAOGO Nonraogo Paul,**

**Rappelé à DIEU, le 13 septembre 1993**

**La mémoire de ma mère OUEDRAOGO Yempogbi Justine,**

**Décédée le 18 mai 1998**

**mes frères et sœurs, qu'ils voient en ce mémoire, un exemple**

# TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE.....	I
TABLE DES MATIÈRES.....	II
REMERCIEMENT.....	V
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES FIGURES.....	IX
RESUME.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCTION.....	1
<b>CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>4</b>
1.1. Problématique du phosphore au Burkina Faso.....	4
1.2. Rôle et fonction du phosphore.....	5
1.3. Cycle et forme du phosphore dans le sol.....	5
1.4. Méthode d'extraction du phosphore.....	7
1.5. Facteurs influençant la dynamique du phosphore dans le sol.....	8
1.5.1. Les amendements organiques.....	8
1.5.2. Le travail du sol.....	9
Conclusion.....	11
<b>CHAPITRE 2 : MILIEU D'ETUDE.....</b>	<b>12</b>
2.1. La Situation géographique.....	12
2.2. Le climat.....	12
2.2.1. Les précipitations.....	12
2.2.2. Les températures.....	14
2.2.3. La demande évaporative.....	14

2.2.4. Les vents .....	14
2.3. La végétation.....	14
2.4. Les sols.....	15
2.4.1. Les caractéristiques générales des sols .....	15
2.4.2. Les caractéristiques physico-chimiques des sols .....	15
<b>CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODE .....</b>	<b>18</b>
3.1. Matériel d'étude.....	18
3.1.1. Le dispositif d'étude.....	18
3.1.2. Gestion des parcelles .....	19
3.2. Méthode d'étude .....	19
3.2.1. Mesure du pH .....	19
3.2.2. Dosage du carbone .....	20
3.2.3. Dosage du phosphore assimilable.....	20
3.2.4. Le fractionnement du phosphore .....	20
3.2.5. Evaluation du rendement du sorgho.....	21
3.2.6. Analyse des données .....	22
<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>23</b>
4.1. Effet du travail du sol et des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol.....	23
4.1.1. Résultat .....	23
4.1.1.1. Effet sur le pH .....	25
4.1.1.2. Effet sur le carbone et la matière organique .....	25
4.1.1.3. Effet sur le phosphore assimilable .....	25
4.1.2. Discussion .....	26
4.1.3. Conclusion.....	28

4.2. Effets du travail du sol et des amendements organiques sur le rendement des cultures .....	28
4.2.1. Résultats.....	28
4.2.2. Discussion .....	29
4.2.3. Conclusion.....	30
4.3. Effets du travail du sol et des amendements organiques sur les fractions du phosphore .....	31
4.3.1. Résultats.....	31
4.3.1.1. P extrait à la résine .....	33
4.3.1.2. P extrait au bicarbonate .....	33
4.3.1.3. P extrait avec NaOH .....	33
4.3.1.4. P extrait avec le HCl.....	34
4.3.2. Discussion .....	34
4.3.3. Conclusion.....	35
4.4. Effets des propriétés chimiques du sol sur les fractions du phosphore	36
4.4.1. Résultat .....	36
4.4.2. Discussion .....	37
4.4.3. Conclusion.....	38
4.5. Effet des formes de phosphore sur le rendement .....	38
4.5.1. Résultat .....	38
4.5.2. Discussion .....	38
4.5.3. Conclusion.....	40
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>43</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>A</b>

## REMERCIEMENT

*Au moment de mettre un point final à ce travail je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.*

Mes remerciements vont d'abord au Pr SEDOGO P. Michel, chercheur à l'INERA/Kamboinsé, pour nous avoir accepté dans son laboratoire ;

Je porte toute ma gratitude au Dr Korodjouma OUATTARA, chercheur à l'INERA/Saria, notre maître de stage, pour l'encadrement qu'il nous a assuré, et aussi pour son soutien matériel et financier ;

J'exprime ma reconnaissance au Dr Zacharia GNANKABARY, chercheur à l'INERA/Kamboinsé notre co-maître de stage, qui nous a suivi avec rigueur tout au long de ce stage ;

Au Dr Bernard BACYE, enseignant à l'IDR, notre directeur de mémoire, qui n'a ménagé aucun effort pour l'aboutissement de notre travail.

J'exprime ma reconnaissance à tout le corps enseignant de l'IDR, pour nous avoir fournis un enseignement de qualité ;

Nous adressons nos sincères remerciements à :

- M. RAMDE Martin, M. KABORE Jean-Paul, M. OUEDRAOGO Alain, M. SAKANDE Ali, Mme OUEDRAOGO Antoinette, qui nous ont assistés pendant les différentes manipulations au laboratoire ;
- M. OUANDAOGO Noufou responsable technique au laboratoire Sol-Eau-Plante de Kamboinsé, pour son soutien multiforme ;
- M. MOYENGA Moumini pour son assistance lors des analyses au laboratoire et aussi dans la présentation du document ;
- M. OUEDRAOGO Adama, technicien au laboratoire de physique des sols à l'INERA/Saria, pour son soutien sur le terrain ;
- Aux aînés : SOMA Mariam, POUYA Mathias, SANON Bassirou, NARE Alice, SAMA Fousseni, pour leur soutien et encouragement ;

- Aux camarades stagiaires à Kamboinsé : la Sœur SOMDA Beatrice, TRAORE Abidine Youssef, MAGNINI Eric, pour le soutien qu'ils nous ont apporté pour la réalisation de ce mémoire ;
- Mes amis : Lisoumayla, Fidèle, Saïdou, Ferdinand, mes camarades de la promotion et à tous ceux qui m'ont toujours soutenu durant mon parcours scolaire et académique.

## SIGLES ET ABREVIATIONS

- BUNASOLS** : Bureau National des Sols
- CNRST** : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique
- CRREA** : Centre Régional de Recherches Environnementales et  
Agricoles
- FAO** : Fond des Nations Unies pour l'Agriculture;
- GRN/ST** : Gestion des Ressources Naturelles/Système de production
- IDR** : Institut du Développement Rural
- INERA** : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
- UPB** : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques physico-chimiques du sol (0-20 cm) de la station de Saria.....	16
<b>Tableau 2</b> : Fractionnement du phosphore selon HEDLEY et al (1982) .....	21
<b>Tableau 3</b> : Effet du travail du sol et des amendements organiques sur le pH, la teneur en carbone et en phosphore assimilable avant semis, après fertilisation et après récolte .....	24
<b>Tableau 4</b> : Rendement et composantes du rendement en fonction des traitements	29
<b>Tableau 5</b> : Matrice de corrélation entre paramètre chimiques et les formes de phosphore du sol.....	36
<b>Tableau 6</b> : corrélation entre les formes de phosphore et le rendement grain de sorgho .....	38

## **LISTE DES FIGURES**

- Figure 1** : Cycle du phosphore dans le sol d'après KAREMANGINGO (2004) 7
- Figure 2** : Evolution de la pluviométrie de 2000 à 2009 à *Saria*..... 13
- Figure 3** : Evolution mensuelle de la pluviométrie en 2009 à *Saria* ..... 13
- Figure 4**: Répartition des fractions de phosphore dans les traitements .....32

## **RESUME**

L'insuffisance des terres cultivables, induite par les conditions climatiques précaires, l'explosion démographique et les modes de gestions des sols a conduit à la mise en place de techniques nouvelles. Ces techniques visent à une réhabilitation des terres et des modes de gestion de la fertilité. Afin d'évaluer l'effet de ces techniques sur le phosphore, un essai de longue durée a été installé à Saria, au centre de Burkina Faso (12°16'N de latitude, 2°9'W de longitude). La présente étude a porté sur la dynamique du phosphore dans un sol ferrugineux tropical lessivé, sous l'effet du travail du sol et des amendements organiques. Pour ce faire, un dispositif en blocs simples randomisés avec quatre traitements (grattage ; grattage+fumure ; labour ; labour+fumure) en trois répétitions a été utilisé. Des échantillons de sol ont été prélevés avant semis, après apport de fertilisants, et après récolte pour des analyses.

Les résultats obtenus montrent que les apports annuels de 10 t ha<sup>-1</sup> de fumure améliorent les propriétés chimiques du sol (pH, teneur en carbone, le phosphore disponible). Elle permet aussi l'augmentation des fractions P-membrane, P-NaHCO<sub>3</sub> et P-HCl, tout en réduisant celle de P-NaOH. Toutefois, une réduction des différentes fractions de phosphore est constatée sur les parcelles labourées par rapport à celles qui ont été grattées. La combinaison labour annuel et amendement organo-minéraux présente le rendement grains le plus élevé 2643Kg ha<sup>-1</sup> contre 2594Kg ha<sup>-1</sup> pour la combinaison grattage amendement organo-minéral et 358Kg ha<sup>-1</sup> pour le labour.

Ainsi nous retenons de cette étude que les apports d'amendement organo-minéral apparaissent comme la technique pouvant augmenter la quantité du phosphore dans le sol et la rendre plus disponible à la plante.

**MOTS CLES**: travail du sol, amendement organo-minéral, dynamique du phosphore, rendement du sorgho, Saria, Burkina Faso.

## **ABSTRACT**

The lack of arable land, induced by difficult climatic conditions, the population explosion and land management methods has led to the introduction of new techniques. These techniques aim at land rehabilitation and managing soil fertility. In order to assess the effect of these techniques on phosphorus, research was conducted in Saria, at a research station which is located in the center of Burkina Faso (12 ° 16'N latitude, 2 ° 9 'east longitude). This study focused on the dynamics of phosphorus in leached ferruginous tropical soil under the effect of tillage and organic amendments. A randomized block design with four treatments (hand hoeing, hand hoing + manure; ploughing; ploughing + manure) in three replications was used. Soil samples were taken before sowing, after addition of fertilizer, and after harvest for analysis.

The results showed that the annual inputs of 10 t/ha of manure improve soil chemical properties (pH, carbon, available phosphorus). It also increases P-membrane fractions, P-NaHCO<sub>3</sub> and P-HCl, while reducing the P-NaOH. However, the annual plowing enables rapid mineralization of soil organic matter. Also a reduction of different fractions of phosphorus is observed on the tilled plots than on those hoed. The combined annual tillage and soil organo-mineral shows the highest grain yield 2643 Kg/ha 2594 Kg/ha cons for combining hand hoeng amendment organo-mineral and 358 Kg / hectare for tillage.

We learned from this study that the intake of organo-mineral amendments appear as the technique that can increase the amount of phosphorus in the soil and make it available to the plant

**Key words**: ploughing, organic inputs, dynamics of phosphorus, scratching

## INTRODUCTION

La population mondiale compte plus de 8 milliards d'habitants et atteindra 9,5 milliards en 2050 (LAL, 2002). Par ailleurs l'évolution de la population s'accompagne d'une dégradation des ressources naturelles, en particulier celle des sols. Les phénomènes de dégradation des sols sont causés par la conjugaison des modes de gestion de l'espace agricole et des conditions climatiques (PIERI, 1989 ; MANDO *et al.*, 2000). La perte de la qualité des sols entraîne des baisses de rendements qui compromettent sérieusement les chances de l'agriculture à faire face aux besoins des populations en croissance continue (MANDO, 1998). Ceci impose de résoudre les problèmes qui touchent la production agricole, d'aménager et préserver les ressources naturelles, dont le sol.

Le Burkina Faso n'est pas en reste de cette situation. Occupant environ 84,5% de la population active (INSD, 2008), ce secteur d'activité évolue dans un environnement socio-économique défavorable et dans un milieu physique contraignant (LOMPO *et al.*, 1994). En effet, les conditions climatiques précaires, et l'explosion démographique ont contribué à une aggravation du problème de disponibilité des terres cultivables. Plus de 24% des terres arables du pays sont fortement dégradées, et cela menace de nuire à la qualité du milieu naturel et à la sécurité alimentaire à moyen et long terme (MAATMAN *et al.*, 1998).

Devant une telle situation d'insuffisance de terres cultivables, des techniques de réhabilitation des terres et de gestion de la fertilité ont été alors initiées par les producteurs et développées par certains chercheurs. Il s'agit entre autres des méthodes de conservation des eaux et des sols (ZOUGMORE *et al.*, 2000, 2004), du travail du sol (NICOU *et al.*, 1990 ; BARRO, 1997), des amendements organiques (SEDEGO, 1993 ; OUATTARA *et al.*, 1998).

En effet, de nombreux chercheurs ont montré le rôle joué par la matière organique dans la restauration des sols, l'amélioration des propriétés physiques, chimiques, et biologiques (SEDOGO, 1993 ; OUATTARA *et al.*, 1998 ; FELLER, 1994). Les effets du travail du sol sur l'augmentation de la disponibilité en eau, l'aération du sol ont été également mis en évidence (NICOU *et al.*, 1990).

Ces techniques ont pour but d'augmenter et de rendre disponible les éléments minéraux de base dont le phosphore. En effet, lorsque le phosphore du sol qui est prélevé par les plantes (phosphore biodisponible) devient limitant, l'agriculture peut être considérée comme non durable ; donc un système agricole durable veut que le phosphore apporté au sol maintienne ou accroisse les niveaux de phosphore disponible (COMPAORE, 1996).

La carence du phosphore dans les sols ferrugineux tropicaux provient de la nature du substratum géologique, l'évolution au cours de la formation du sol, mais aussi la faible teneur en matière organique et l'épuisement rapide de ces sols après leur mise en culture (SEDOGO, 1991). Cela nécessite alors un apport en matière organique et d'engrais, afin de compenser ce manque. En effet les apports en matière organique et le travail du sol sont considérés comme les moyens de maintien et/ou d'amélioration de la fertilité et de contrôle de la dégradation des sols (SANCHEZ et *al.*, 1989 ; SEDOGO, 1993 ; OUATTARA et *al.*, 1998).

Il serait très important d'étudier le statut du phosphore, sa dynamique et sa disponibilité dans les sols subissant ses différentes techniques, afin d'identifier la technique adéquate à la disponibilité et à la préservation du phosphore dans le sol. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude intitulée : « **Effet à long terme du travail du sol et des amendements organiques sur le rendement du sorgho et la dynamique du phosphore sur un sol ferrugineux tropical lessivé au Burkina** ».

L'objectif général de cette étude est de comprendre l'évolution du phosphore sous l'effet du travail du sol et des amendements organiques. De façon spécifique nous poursuivons les objectifs suivants :

- Evaluer les caractéristiques du sol susceptible d'évoluer à long terme sous l'action du travail du sol et des amendements organiques ;
- Evaluer l'influence du travail du sol et des amendements organiques, sur la disponibilité et la dynamique du phosphore dans le sol ;
- La détermination des effets à long terme du travail du sol et des amendements organiques sur les rendements du sorgho.

Les hypothèses soutenant notre travail sont :

- Les amendements organiques et/ou minéraux, augmentent les teneurs en phosphore et sa biodisponibilité dans le sol, en fonction de leur nature ;
- Le travail du sol influence la dynamique du phosphore, car agissant sur les propriétés du sol.
- Le travail du sol combiné aux amendements organiques et/ou minéraux a un effet sur les rendements du sorgho.

Le présent mémoire est bâti en quatre chapitres. Le premier est consacré à la synthèse bibliographique, le second localise et présente la zone d'étude, le troisième présente les matériels d'étude et la méthodologie utilisée, et enfin le quatrième chapitre porte sur les résultats obtenus et la discussion.

# CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

## **1.1. Problématique du phosphore au Burkina Faso**

Les sols du Burkina sont dans leur majorité (39%) des sols ferrugineux tropicaux (BUNASOLS, 1985). Ces sols manifestent une carence générale en phosphore. En effet, 20 à 80% de cet élément dans ces sols peut être sous forme de phosphore organique, ce qui le rend moins disponible à la plante. Ensuite, ces sols sont susceptibles à une mauvaise structuration dès lors qu'ils sont mis en culture (BERGER *et al.*, 1987 ; CALLIMAN, 1990 ; HARTMAN, 1991).

D'un point de vue pédogénétique, les sols du Burkina se sont développés, pour la plupart sur un matériau parental pauvre en éléments nutritifs majeurs (P, K) et ont une faible teneur en matière organique. En effet, les études ont révélé que les teneurs en matière organique de ces sols ont décru jusqu'en dessous d'un seuil critique, estimé à 1% (BUNASOLS, 1985; SEDOGO, 1993, BATIONO *et al.*, 1998). Par ailleurs ils sont souvent peu profonds et très sensibles à l'érosion hydrique du fait de leur forte instabilité structurale (GUILLOBEZ *et al.*, 1993).

Il faut ajouter que dans les conditions de température élevée et d'alternance humectation-dessiccation, caractéristique du climat tropical, la minéralisation de la matière organique est rapide (NACRO, 1997 ; ANDREN *et al.*, 2007). Il en découle un appauvrissement du sol, et par la suite une fixation du phosphore apporté par les engrais. En effet, lorsqu'on apporte des engrais phosphatés solubles, une faible partie du phosphore demeure comme ion phosphaté soluble dans la solution du sol; les ions phosphatés sont rapidement adsorbés par les particules du sol et sont précipités sous forme de phosphate calcique, de fer et d'aluminium, ou convertis sous forme organique (BARBER, 1977 ; PIERI, 1989 ; FIRDAUS, 2001).

En plus, ces sols sont aussi bien fournis en hydroxydes de fer et d'aluminium qui ont un pouvoir fixateur du phosphore, supérieur à celui des argiles. Ce processus est si prononcé que l'alimentation phosphatée des cultures devient difficile (SOLTNER, 1994). La faible disponibilité du phosphore dans ces sols limite alors l'efficacité des engrais minéraux azoté et potassique (M.A, 1999).



## 1.2. Rôle et fonction du phosphore

Le phosphore joue plusieurs rôles dans la nature. Il assure le développement et la croissance de la plante. Il est l'un des nutriments indispensable à la production agricole. Les composés phosphatés sont indispensables pour l'accumulation et la libération de l'énergie nécessaire au métabolisme cellulaire, à la formation de la graine, au développement du système racinaire et à la maturation de la culture (SOLTNER, 1994). Ce qui contribue à améliorer la qualité et la quantité de la production agricole.

Aussi, une bonne nutrition phosphatée des cultures réduit-elle le risque d'attaque des ravageurs et des maladies. En effet, en absence de phosphore, les autres éléments nutritifs ont des effets limités sur la croissance et le développement de la plante. Ainsi, en cas de déficience prononcée en phosphore, les légumineuses deviennent incapables de fixer l'azote atmosphérique car cette fixation par les bactéries symbiotiques exige du phosphore.

En plus de ce rôle lié au végétal, le phosphore permet l'accroissement de la biomasse et de l'activité des micro-organismes.

Le phosphore est un élément naturellement présent dans l'environnement, les organismes vivants, l'eau et dans le sol. Dans la nature il est généralement présent sous forme organique et minérale (SOLTNER, 1994). Selon la nature du sol (acide ou basique), les ions phosphatés dans la solution du sol peuvent être sous forme  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (condition acide) ou sous forme de  $\text{HPO}_4^{2-}$  (condition basique) (BUSMAN *et al.*, 2002).

Le phosphore est absorbé par la plante pendant la phase de croissance végétative et sera stocké pendant la reproduction, par la suite dans les graines (MARSCHNER, 1995)

## 1.3. Cycle et forme du phosphore dans le sol

Dans la nature, le phosphore existe sous différentes formes et la connaissance de son évolution pourrait aider à prévoir sa disponibilité pour les plantes. En effet, dans la solution du sol, les deux principales formes d'ions

phosphatés sont le  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (milieu acide) et le  $\text{HPO}_4^{2-}$  (milieu alcalin) (BUSMAN et al, 2002). Les ions subissent des transformations comme l'absorption, la précipitation, et la réorganisation microbienne (DERMERS, 2008).

Le cycle du phosphore (figure 1) comprend le processus de prélèvement du phosphore par la plante, les transformations des formes organiques du phosphore et les réactions chimiques de fixation et d'immobilisation du phosphore dans le sol. Ce qui permet d'avoir selon STEVENSON (1986) le classement suivant par catégories :

- formes solubles inorganiques et organiques présents dans la solution du sol ;
- phosphates inorganiques faiblement retenus (labile) ;
- phosphate de fer (Fe) et d'aluminium (Al) insolubles (dans les sols acides) et phosphate de calcium (Ca) insolubles (dans les sols calcaires et alcalins) ;
- phosphates fortement retenus par les oxydes hydratés de Fer et d'Al ;
- phosphates fixés par les minéraux silicates ;
- formes organiques insolubles contenues dans la biomasse microbienne du sol, dans les résidus végétaux et animaux non décomposés et dans la matière organique du sol (humus).

Le phosphore labile est une fraction d'importance en agriculture puisqu'elle est facilement disponible aux plantes et peut être facilement lessivée (HEDLEY et al, 1982 ; SHARPLEY et MOYER, 2000). Il représente le phosphore présent dans la solution du sol, le phosphore organique facilement minéralisable et les phosphates faiblement retenus sur les colloïdes argileux (DEMERS ; 2008).

Cependant, la majeure partie du phosphore du sol (> 90%) est sous forme insoluble ou fixée (STEVENSON, 1986), ce phosphore non labile est peu disponible pour la plante.

Il convient aussi de noter que le phosphore est concentré en grande partie dans les graines des cultures et est perdu du sol par les exportations. Le phosphore,

contrairement à l'azote et au potassium, est difficilement entraîné par le lessivage. Les pertes sont essentiellement dues à l'érosion et au ruissellement.

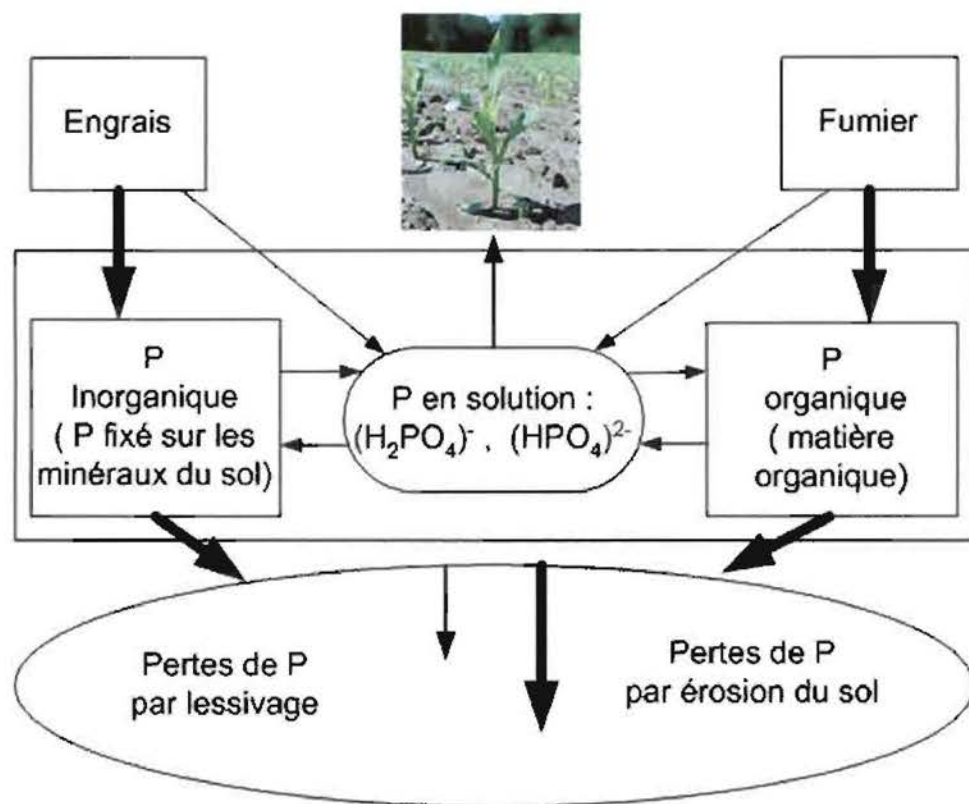


Figure 1 : Cycle du phosphore dans le sol d'après KAREMANGINGO (2004)

#### 1.4. Méthode d'extraction du phosphore

Les formes de phosphore dans le sol, sont très nombreuses et variées. La présence de l'une ou l'autre dépend des propriétés du sol : acidité, alcalinité, activité microbienne etc. De nombreuses méthodes d'extraction sont utilisées avec chacune ses avantages et ses limites.

Des méthodes spécifiques sont utilisées pour extraire le phosphore assimilable par les plantes. Parmi ces méthodes nous pouvons citer la méthode de «TRUO», basé sur l'utilisation de  $H_2SO_4$ ; celles de «MEHLICHE 3» et «BRAY 1» qui utilisent le mélange  $HCl - NH_4F$ ; celle de «OLSEN» qui utilise le  $NaHCO_3$ ; etc.

En fonction des propriétés de nos sols (sols acides), la méthode de BRAY 1 (BRAY et KURTZ, 1945) serait la mieux indiquée pour l'extraction de cette forme de phosphore. Cette méthode donne de bonne corrélation avec la réponse à la fertilisation dans les sols neutres à légèrement acide. En effet le fluorure déplace le phosphate et ainsi il évite sa réabsorption. L'acidité de l'extractif (pH=2) contribue aussi à la dissolution du phosphore lié à l'Al, Fe, et Ca dans la plus part des sols (KUO, 1996).

Ces méthodes ont été développées afin de répondre aux besoins des milieux agricoles. Bien qu'elles aient démontré leurs performances dans la pratique, elles ne permettent pas de comprendre la dynamique des formes de phosphore dans le sol.

Pour mieux suivre la dynamique des formes de phosphore dans le sol, les analyses doivent permettre d'évaluer les changements non seulement quantitatifs mais aussi qualitatifs. Pour atteindre cet objectif, des fractionnements plus précis sont utilisés. La méthode HEDLEY (HEDLEY et *al.*, 1982) permet le fractionnement du phosphore. Dans ce fractionnement le phosphore est d'abord extrait par des résines échangeuses d'ions (jouant le rôle des racines). Ensuite, un extractif de force moyenne, le  $\text{NaHCO}_3$  est utilisé pour retirer les formes labiles de phosphore adsorbées sur les minéraux du sol. Le  $\text{NaOH}$  libère les formes de phosphore retenues plus fortement par les composés de Fe et d'Al et enfin le  $\text{HCl}$  libère le phosphore retenu par les minéraux de type apatite.

## **1.5. Facteurs influençant la dynamique du phosphore dans le sol**

### **1.5.1. Les amendements organiques.**

Les amendements organiques sont de nature diverse et ont une influence sur la disponibilité et les formes de phosphore dans le sol. En effet, cette diversité serait liée à la nature et à la qualité des substrats apportés, à leurs effets sur les caractéristiques du sol, mais aussi à leur aptitude à la biodégradabilité (LOMPO, 1997).

La matière organique a plusieurs effets bénéfiques sur les sols agricoles. D'une part, elle augmente la rétention de l'eau dans le sol, et stimule l'activité microbienne du sol (DEMERS, 2008). La baisse de la teneur en matière organique

du sol entraîne une mauvaise structuration du sol, limitant ainsi, la profondeur d'enracinement (SIBAND, 1974; SEDEGO et *al.*, 1994 ; OUATTARA et *al.*, 2008), et rendant le sol impropre aux cultures. Il en résulte une augmentation du ruissellement et de l'érosion sous toutes ses formes (VALENTIN, 1994).

D'autre part, elle représente également une source d'éléments nutritifs. La valeur nutritive potentielle à court terme en azote et en phosphore est cependant dépendante de la source des matériaux qui la constituent (GAGNON et SIMARD, 1999).

La matière organique contribue à augmenter la disponibilité du phosphore pour les plantes. En effet les acides organiques issus de la décomposition de la matière organique entre en compétition avec le phosphore pour les sites de fixation (SWENSON et *al.*, 1949). Par conséquent, l'attraction électrostatique du phosphore est alors réduite, ce qui favorise son maintien dans la solution du sol (LYAMUREMYE et DICK, 1996).

Il convient de souligner que la matière organique représente une source de carbone d'une part, stimulant l'activité des micro-organismes. Cette activité libère les ligands rendus disponibles pour les réactions d'adsorption, de précipitation et de solubilisation du phosphore dans le sol (DEMERS, 2008). Par ailleurs, la matière organique représente une source de phosphore organique minéralisable (LYAMUREMYE et DICK, 1996).

En somme, la matière organique par sa minéralisation et en solubilisant le phosphore insoluble, fournit du phosphore assimilable aux cultures, et protège ce phosphore assimilable contre les risques de fixation en le réorganisant momentanément sous forme de corps microbiens ou en le combinant à l'humus, sous forme d'humophosphate (SOLTNER, 1994).

### **1.5.2. Le travail du sol**

Le travail du sol peut se définir comme la manipulation, généralement mécanique, des propriétés physiques du sol, considéré comme nécessaire pour une meilleure production agricole (HOOGMOED, 1999). Il a pour rôle de créer une fissuration en vue d'augmenter la porosité totale des horizons superficiels du sol

(MANDO et *al.*, 2000), qui pourrait augmenter l'accroissement de la profondeur racinaire.

Les techniques de travail du sol sont nombreuses, on peut citer entre autre le grattage et le labour à plat.

Le grattage est un travail du sol qui consiste à gratter la couche superficielle avec un outil à dents (VLAAR, 1992). Cette technique n'apporte pas de modifications profondes au profil cultural, mais lorsqu'il est assez profond, il améliore dès les premières pluies, certaines propriétés hydrodynamiques du sol tel que l'infiltration. Son action sur le développement racinaire se limite à la zone travaillée (OUATTARA, 1994)

Le labour à plat, est une technique conventionnelle de travail du sol et d'économie d'eau à l'échelle de la parcelle (NICOU et *al.*, 1990). Il consiste en un retournement du sol à l'aide d'une charrue. Il améliore l'état physique du sol en augmentant sa rugosité et sa porosité (ZOUGMORE, 1991 ; VLAAR, 1992).

Les techniques de travail du sol influencent le mode de distribution du phosphore apporté dans le sol, par les engrais, la matière organique exogène et les résidus de cultures. En effet, dans l'horizon de surface les opérations culturales qui réalisent un retournement ou un malaxage du sol tendent à homogénéiser le phosphore dans le volume travaillé. Par contre celle qui n'engendre pas de mélange des couches travaillées, conduit à l'instauration d'un gradient de teneur décroissant avec la profondeur (SHARPLEY, 2003).

La technique de travail du sol qui influence l'aération du sol, peut avoir des conséquences sur la dynamique du phosphore. En effet, l'anaérobiose peut induire, dans certains cas, à la formation de composés amorphes du fer, qui malgré l'état réduit de celui-ci, peut résulter de l'accroissement du pouvoir fixateur pour le phosphore (FROSSARD et *al.*, 1995). A l'inverse, en condition aérobie, cas le plus fréquent pour les sols cultivés, la fixation de certains anions organiques peut se substituer en partie à celle des ions phosphoriques, conférant ainsi au phosphore du sol une plus grande disponibilité pour les organismes vivants, mais également une grande aptitude à passer en solution (FROSSARD et *al.*, 1995).

Cependant, dans la plupart des études, l'absence de travail du sol pour implanter les cultures, ou l'emploi d'outils à dents visant à maintenir les résidus de culture en surface, ont engendré des transferts de phosphore dissous par le ruissellement, plus important que ceux observés dans les parcelles labourées (PUUSTINEN *et al*, 2005).

## **Conclusion**

Il est ressorti des travaux antérieurs que la plupart des sols du Burkina Faso sont pauvres en phosphore. En effet, le phosphore joue un rôle primordial dans la croissance, le développement, et la reproduction de la plante, de même que dans l'activité microbienne du sol.

Le phosphore existe dans le sol sous diverses formes en constant équilibre entre les phases solides et dissoutes. Cet équilibre dépend notamment de la nature de la liaison entre le phosphore et les particules du sol, et des conditions du milieu.

Les amendements organiques de nature diverse constituent des sources de phosphore phytodisponible par sa minéralisation d'une part, et d'autre part, par la solubilisation de la forme insoluble. Cette dernière action est facilitée par le travail du sol qui contribue à l'amélioration de la vie microbienne du sol.

## CHAPITRE 2 : MILIEU D'ETUDE

### 2.1. La Situation géographique

L'étude a été menée à la station expérimentale de Saria, implantée depuis 1923, dans le centre-ouest du Burkina Faso. Cette station est le siège du Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles (C.R.R.E.A) de l'INERA dans la zone centre. Située à 80Km au nord-ouest de Ouagadougou et à 23Km à l'est de Koudougou, les coordonnées géographiques de la station de Saria sont: 12°16' latitude nord, 2°09' longitude ouest et 300 m d'altitude.

### 2.2. Le climat

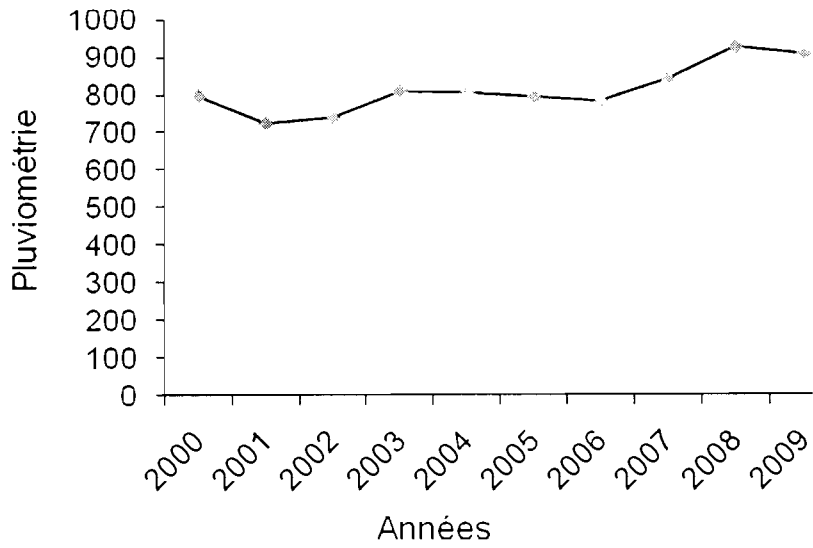
Le climat de Saria est de type soudano-sahélien (FONTES et GUINKO, 1995) caractérisé par une alternance d'une saison sèche plus longue d'octobre en avril et d'une saison pluvieuse qui s'étend de mai en septembre (OUATTARA et al., 2005)

#### 2.2.1. Les précipitations

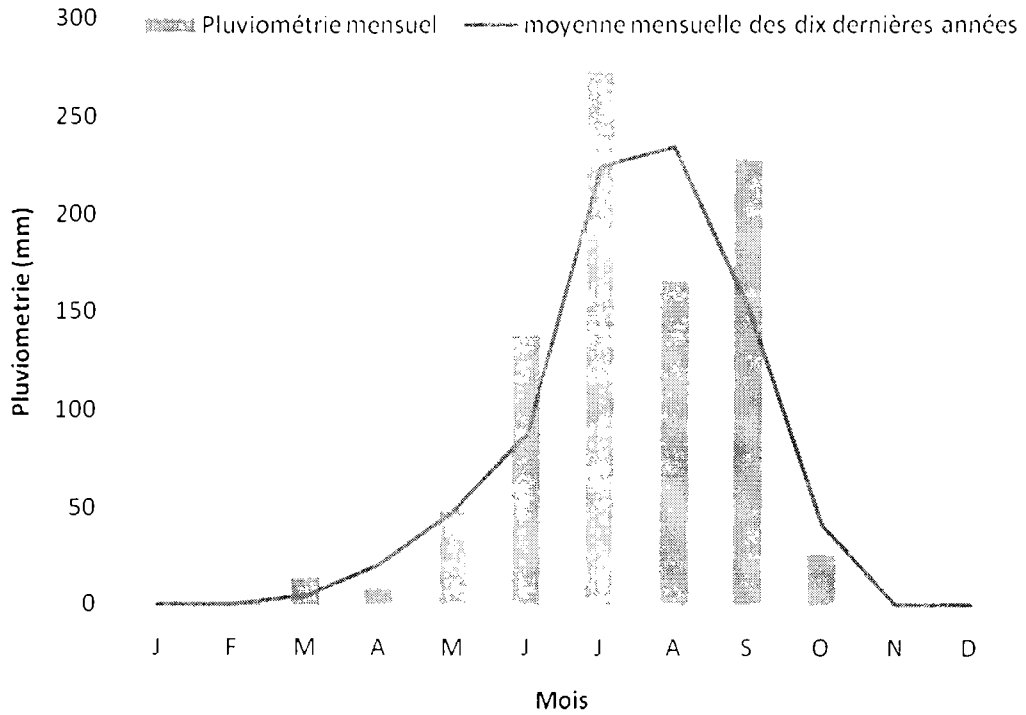
La moyenne pluviométrique annuelle avoisine 800 m (SOME, 1989 ; ZOUGMORE et al., 2004). Les pluies se manifestent sous forme de « ligne de grains » et se caractérisent par de fortes intensités pouvant atteindre 60 à 120 mm/h. Ainsi, elles sont érosives par l'effet splash et ont un rôle prépondérant dans le processus de formation des croûtes de surface (ROOSE, 1981 ; BOIFFIN, 1984 ; CASNAVE et VALENTIN, 1989). Les figures 2 et 3 présentent respectivement l'évolution de la pluviosité de la zone pendant les dix dernières années et les pluviosités mensuelles de la campagne 2009.

p => Saria





**Figure 2 :** Evolution de la pluviométrie de 2000 à 2009 à Sarria



**Figure 3 :** Evolution mensuelle de la pluviométrie en 2009 à Sarria *Très. (may.)*

### **2.2.2. Les températures**

Les températures sont caractérisées par des variations diurnes plus importantes par rapport aux variations mensuelles et annuelles. Les températures journalières se situent entre 25 et 30°C pendant la saison pluvieuse et peuvent atteindre 35° en avril et mai (ZOUGMORE et *al.*, 2004).

### **2.2.3. La demande évaporative**

L'évapotranspiration moyenne annuelle est de 2000 mm en année sèche (de faible pluviosité) et de 1720 mm en année de bonne pluviosité (ZOUGMORE et *al.*, 2004 ; OUATTARA et *al.*, 2005). Les fortes valeurs s'observent en saison sèche avec 7 mm/jr ; en saison pluvieuse, elles baissent de 4 mm/jr environ). Ainsi en fonction du degré de couverture végétative l'évaporation joue sur l'humidité du sol.

### **2.2.4. Les vents**

Le régime des vents est dominé par des alizés: la mousson, un vent humide, apportant les pluies; et l'harmattan, un vent continental, soufflant pendant la saison sèche. Il peut occasionner l'érosion éolienne des sols laissés découverts après les récoltes.

## **2.3. La végétation**

Le terroir de Saria appartient au secteur nord-soudanien caractérisé par des savanes à graminées annuelles, à arbres et arbustes (FONTES et GUINKO, 1995).

Cette savane fortement marquée par l'activité humaine, à relief plat et monotone, est dominée par les espèces telles que le néré (*Parkia biglobosa*), le Karité (*Vitellaria paradoxa*). On y rencontre également d'autres espèces arborées protégées comme *Faidherbia albida*, le résinier (*Lannea microcarpa*), le tamarinier (*Tamarindus indica*), le baobab (*Adansonia digitata*), le caïcédrat (*Khaya senegalensis*) et aussi des épineux (GUIRA, 1988).

La strate arbustive est dominée par des fourrés de Combrétacées dont *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*.

Quant au tapis herbacé, il est principalement composé de *Andropogon gayanus*, *Loudecia togoensis* et *Schoenfeldia gracilis* (FONTES et GUINKO, 1995).

Il convient de noter que, compte tenu des multiples facteurs de dégradation de l'environnement (élevage extensif, coupe abusive du bois, etc.), cette végétation subit de jour en jour des modifications importantes, et son état actuel n'est que le reflet de ces facteurs de dégradation.

## **2.4. Les sols**

### **2.4.1. Les caractéristiques générales des sols**

Les sols de Saria sont du type ferrugineux tropical lessivé, issus d'une roche mère granitique. Ils présentent des horizons supérieurs de texture limono sableuse à sablo argileuse et à structure généralement continue et massive.

Ces sols sont meubles en saison des pluies, boueux lorsqu'ils sont engorgés et se prennent en masse dès qu'une période de sécheresse intervient (NICOU, 1975 ; NICOU, 1978).

### **2.4.2. Les caractéristiques physico-chimiques des sols**

Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-20 cm des sols des sites de Saria

**Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol (0-20 cm) de la station de Saria**

CARACTERISTIQUES	TENEURS
<b>Granulométrie (%) :</b>	
Sables grossiers	22
Sables fins	31
Limons grossiers	28
Limons fins	8
Argile	11
<b>Carbone total (mg Kg<sup>-1</sup>)</b>	0,39
<b>Azote total (g Kg<sup>-1</sup>)</b>	0,03
<b>Complexe absorbant (cmol Kg<sup>-1</sup>)</b>	
Ca <sup>++</sup>	1,99
Mg <sup>++</sup>	0,67
Na <sup>++</sup>	0,00
K <sup>+</sup>	0,09
Somme des bases (S)	2,75
Capacité d'échange cationique	4,96
Saturation (S/T X 100)	57,00
<b>pH eau</b>	6,4
<b>Phosphore total (mg Kg<sup>-1</sup>)</b>	67,28

Source : OUATTARA, 1994

A l'image de la majorité des sols ferrugineux tropicaux, les sols de Saria sont caractérisés par une faible teneur en azote, phosphore et matière organique. Ils ont une faible capacité d'échange cationique. La teneur, la nature des argiles de ces sols (teneurs en argile inférieures à 11% avec une prédominance de la kaolinite) et leur pauvreté en matière organique expliquent la faiblesse de leur capacité d'échange cationique (CEC). SEDOGO (1981) et GUIRA (1988) ont montré que ces sols s'acidifient rapidement sous les effets de la culture continue et des apports d'engrais essentiellement minéraux.

## **CHAPITRE 3: MATERIEL ET METHODE**

### **3.1. Matériel d'étude**

#### **3.1.1. Le dispositif d'étude**

Le support de cette étude est un essai pérenne «Essai Etude Physique» de la station de recherche de Saria.

Le dispositif utilisé est un bloc randomisé implanté depuis 1990 à Saria. Il comprend trois blocs de 15m X 5m qui intègrent chacun deux paramètres de traitement. Il s'agit du travail du sol et de l'amendement organique et/ou minéral. Chaque bloc se divise en quatre parcelles élémentaires (traitement) où deux types de préparation du sol (labour à plat aux bœufs et grattage à la daba) ont été combinés avec deux niveaux de fumures organiques (apport et non apport de fumier). La profondeur moyenne des labours se situe entre 15 et 20 centimètres, celle du grattage est d'environ 5 centimètres. La combinaison des deux facteurs a abouti aux traitements suivants :

- T1: Grattage du sol à la daba + NPK + urée;
- T2: Grattage du sol à la daba + fumier+ NPK + urée;
- T3: Labour à la traction bovine + NPK + urée;
- T4: Labour à la traction bovine + fumier + NPK +urée;

A cela s'ajoute :

- Une jachère vieille de 48 ans qui nous a servi de milieu de référence ;
- La parcelle témoin : sorgho continu sans apport d'engrais de l'Essai

Entretien de la fertilité du sol.

Le fumier a été apporté à la dose de  $10\text{t ha}^{-1}\text{ an}^{-1}$ . Le NPK (14-23-14-6S-1B) et l'urée ont été apportés aux doses respectives de  $100\text{ Kg ha}^{-1}$  et  $50\text{ Kg ha}^{-1}$ .

Un échantillon composite obtenu à partir de trois (3) points de prélèvement a été fait pour chaque traitement. Les prélèvements ont été faits en trois périodes à savoir :

- avant la mise en culture, le 11 mai 2009 ;
- après fertilisation, le 4 août 2009 ;
- et après récolte, en février 2010.

Les prélèvements ont été faits à la profondeur de 0-15 cm à l'aide d'une tarière.

### **3.1.2. Gestion des parcelles**

#### ***- Matériel végétal***

Les parcelles sont semées chaque année avec la variété ICSV 1049 de sorgho (*Sorghum bicolor*), dont les valeurs agronomiques sont jugées satisfaisantes : productivité élevée et assez régulière ; et une excellente valeur fourragère.

#### ***- Opérations culturales***

Le semis a été effectué selon les modalités suivantes :

- semis en ligne et en poquets avec des écartements de 0,40 m entre les poquets et 0,80 m entre les lignes ;
- profondeur de semis : 3 cm environ.

Le démariage s'est fait à 3 plants par poquet, donnant une densité de semis de 31 250 plants par hectare.

Les opérations culturales effectuées dans le cadre de l'entretien sont résumées en l'annexe 1.

## **3.2. Méthode d'étude**

Les différentes analyses ont été faites dans le laboratoire « Sol Eau Plante » de Kamboinsé. Les échantillons de sol ont été séchés et tamisés à 2 mm pour la détermination du pH, du phosphore assimilable et pour le fractionnement du phosphore, et à 0,5mm pour la détermination du carbone.

### **3.2.1. - Mesure du pH**

Le pH du sol a été mesuré après agitation pendant 1 h de 20 g d'échantillon de sol tamisé à 2 mm dans 50 ml d'eau distillée pour le  $pH_{\text{eau}}$  et 50 ml d'une solution

molaire de chlorure de potassium (KCl) pour le  $pH_{KCl}$  (AFNOR, 1981). Le pH a été mesuré au pH-mètre HANNA à électrodes en verre.

### 3.2.2. Dosage du carbone

Le dosage du carbone organique s'est fait par la méthode de Walkley et Black (WALKLEY and BLACK, 1934). Le principe de cette méthode repose sur la propriété du dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1N à oxyder le carbone de la matière organique en milieu acide sulfurique. La quantité de dichromate réduite est proportionnelle à la teneur en carbone. Le dosage, en retour, de l'excès de dichromate de potassium se fait avec une solution de sel de Mohr 0,5 N ( $Fe(SO_4)_2(NH)_2$ ) en présence d'un indicateur coloré à base de phénanthroline. Le pourcentage de carbone dans le sol a été déterminé par la formule :

$$C (\%) = ((V_1 - V_2) \times N \times 0,3 \times 1,33) / P$$

*V<sub>1</sub> et V<sub>2</sub> désignent les volumes de sel de Mohr utilisés respectivement pour le blanc (sans carbone) et pour l'échantillon ; N = normalité du sel de Mohr et P = prise d'essai*

### 3.2.3. Dosage du phosphore assimilable

La méthode Bray I (BRAY et al., 1945) a été utilisée pour déterminer le P assimilable. Cette méthode consiste à extraire, à un pH= 3,5, les formes de phosphore solubles dans les acides, en grande partie celle liée au calcium et une portion liée à l'aluminium et au fer par l'acide chlorhydrique (HCl) en présence de fluorure d'ammonium ( $NH_4F$ ). Le rapport prise d'essai de sol/solution d'extraction de 1/7 a été utilisé et le mélange a été agité durant 05 minutes. Les filtrats obtenus sont alors dosés au colorimètre à 882 nm en présence de molybdate d'ammonium et d'acide ascorbique.

### 3.2.4. Le fractionnement du phosphore

Le fractionnement du phosphore a été effectué selon la méthode de Hedley (HEDLEY et al., 1982). Le phosphore a été extrait de façon séquentielle comme l'indique le tableau n°2:



**Tableau 2** : Fractionnement du phosphore selon HEDLEY et al (1982)

Etape	Procédé d'extraction	Fraction	Pools de P extrait
1	4g de sol sont mis en agitation pendant 16h dans 20 ml d'eau distillée avec 2 membranes anioniques saturées au bicarbonate. Les membranes ont une superficie de 2 cm <sup>2</sup> (1 cm × 2 cm) chacun. Pour libérer le P fixé par les membranes, celles-ci sont retirées et agitées dans 20 ml de HCl 0,5 N pendant 30 minutes.	Membrane-P	Phosphore aisément échangeable (P inorganique le plus disponible pour les plantes)
2	Le culot précédent est agité pendant 16 h dans 20 ml de NaHCO <sub>3</sub> 0,5 M tamponnée à pH 8,5. Après centrifugation et filtration, le P est déterminé dans le filtrat.	NaHCO <sub>3</sub> -P	Phosphore labile rapidement disponible
3	Le culot précédent est agité pendant 16 h dans 20 ml de NaOH 0,1 M tamponnée à pH 8,5. Après centrifugation et filtration, le P est déterminé dans le filtrat.	P-NaOH	Phosphore lié au Fe et à Al (P disponible à moyen terme pour les plantes)
4	Le culot précédent est agité pendant 16 h dans 20 ml de HCl 1,0 M. Après centrifugation et filtration, le P est déterminé dans le filtrat.	P-HCl	Phosphore lié au Ca

### 3.2.5. Evaluation du rendement du sorgho

Les rendements ont été évalués en prenant en compte tous les plants du dispositif sans les bordures. Les panicules sèches ont été battues et ont permis

l'estimation des rendements grains. La paille coupée a permis d'estimer les rendements en paille.

Les moyennes des résultats obtenus à partir des parcelles élémentaires sont extrapolées sur une superficie d'un hectare. Pour le calcul, la formule suivante a été appliquée :

$$\text{Rdt (Kg/ha)} = \frac{\text{nombre de pieds/ha} \times \text{nombre d'épis/pieds} \times \text{Poids grains/épis}}{10000}$$

### 3.2.6. Analyse des données

La compilation des données et la réalisation des graphiques ont été faites à l'aide de Microsoft Excel. Par contre, les analyses de variance ont été effectuées sur toutes les variables mesurées au seuil de 5%, à l'aide des logiciels GENSTAT et XLSTAT version (7.5.2).

## CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 4.1. Effet du travail du sol et des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol

#### 4.1.1. Résultat

Les résultats de l'effet du travail du sol combiné à la fumure minérale ou organo-minérale sur le pH du sol, et les teneurs en carbone et en phosphore assimilables sont consignés dans le tableau 3.



**Tableau 3:** Effet du travail du sol et des amendements organiques sur le pH, la teneur en carbone et en phosphore assimilable avant semis, après fertilisation et après récolte

Traitement	pH <sub>eau</sub>			C (mg Kg <sup>-1</sup> )			P-Bray (mg Kg <sup>-1</sup> )		
	Avant semis	Après fertilisation	Après récolte	Avant semis	Après fertilisation	Après récolte	Avant semis	Après fertilisation	Après récolte
Grattage+FM	5,43 <sup>b</sup>	5,35 <sup>bc</sup>	4,63 <sup>b</sup>	3,10 <sup>b</sup>	2,55 <sup>b</sup>	3,02 <sup>b</sup>	32,32 <sup>a</sup>	27,69 <sup>ab</sup>	32,32 <sup>a</sup>
Grattage+FMO	6,65 <sup>a</sup>	6,75 <sup>a</sup>	6,25 <sup>a</sup>	7,54 <sup>a</sup>	8,89 <sup>a</sup>	5,98 <sup>a</sup>	32,53 <sup>a</sup>	33,59 <sup>ab</sup>	26,21 <sup>ab</sup>
Labour+FM	5,57 <sup>b</sup>	5,03 <sup>c</sup>	5,20 <sup>ab</sup>	2,42 <sup>b</sup>	1,45 <sup>b</sup>	3,03 <sup>b</sup>	25,89 <sup>ab</sup>	28,81 <sup>ab</sup>	22,11 <sup>abc</sup>
Labour+FMO	6,62 <sup>a</sup>	6,65 <sup>a</sup>	5,95 <sup>a</sup>	5,08 <sup>a</sup>	6,24 <sup>ab</sup>	4,16 <sup>ab</sup>	31,92 <sup>a</sup>	41,17 <sup>a</sup>	20,69 <sup>bc</sup>
Témoin		6,12 <sup>ab</sup>	6,39 <sup>a</sup>		2,45 <sup>b</sup>	2,14 <sup>b</sup>		8,64 <sup>b</sup>	3,07 <sup>c</sup>
Jachère	6,01 <sup>ab</sup>	5,28 <sup>bc</sup>	5,08 <sup>ab</sup>	8,34 <sup>a</sup>	6,55 <sup>ab</sup>	7,80 <sup>a</sup>	10,61 <sup>b</sup>	6,15 <sup>b</sup>	4,27 <sup>c</sup>
Probabilité	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,005	0,007	< 0,0001

FM= fumure minérale ; FMO = fumure minérale et organique. Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différent au seuil de 5%

#### **4.1.1.1. Effet sur le pH**

Les résultats montrent une différence significative entre les traitements. Le traitement grattage+FMO et le traitement labour+FMO présentent les valeurs de pH les plus élevées quelque soit la date de prélèvement. L'analyse de variance montre que l'effet du travail du sol sur le pH n'est pas significatif (Tableau 3).

D'une manière générale les valeurs de pH des traitements à fertilisation organo-minérale augmentent après fertilisation pour décroître en fin de campagne. Les valeurs de pH varient de 4,67 à 6,75

Après récolte le témoin présente le pH le plus élevé. La tendance est à la diminution des pH, surtout sur les traitements qui n'ont reçu que de la fertilisation minérale.

#### **4.1.1.2. Effet sur le carbone et la matière organique**

La jachère présente le taux de carbone le plus élevé par rapport aux parcelles sous culture. Elle est suivie des traitements grattage+FMO (7,54 mg kg<sup>-1</sup>), du labour+FMO (5,08 mg kg<sup>-1</sup>). Les parcelles labourées ont des teneurs en matière organique moins élevées comparativement à celle qui ont subit le grattage.

Après apport de la fumure il y a une hausse du taux de carbone sur les parcelles Grattage+FMO et Labour+FMO. Sur les deux autres parcelles cultivées une baisse est observée en mi-campagne et une légère croissance en fin de campagne.

#### **4.1.1.3. Effet sur le phosphore assimilable**

Avant le semis il n'y a pas de différence significative entre les traitements, mais tous les traitements ont une valeur de phosphore assimilable nettement supérieure à celle de la parcelle non cultivée qui est de 10,6 mg P Kg<sup>-1</sup> de sol (tableau n°3). L'analyse des résultats montre que la teneur en phosphore assimilable est légèrement plus élevée dans les parcelles grattées que celles qui ont subit le labour annuel (32,4 contre 28,9 mg P Kg<sup>-1</sup>). De même, sur les parcelles ayant reçu l'amendement organique et minéral, les teneurs en P assimilable sont plus élevées

que celles qui n'ont reçu que la fertilisation minérale seule. Elles sont, respectivement de 32,2 et de 29,1 mg P/Kg de sol.

En fin campagne tous les traitements ont un P assimilable supérieur au témoin et à la jachère. Les traitements non labourés présentent toujours des valeurs plus élevées, mais l'apport minéral seul a le P assimilable le plus élevé. Les analyses de variance montrent plutôt une différence significative en ce qui concerne le type du travail du sol sur le P assimilable en fin de campagne

#### **4.1.2. Discussion**

La dégradation des sols dans les zones soudanaises et sahéniennes entraîne des baisses de rendements qui compromettent sérieusement les chances de l'agriculture à faire face aux besoins des populations (MANDO, 1998). Cette dégradation se traduit sur le plan chimique, par une baisse des teneurs en bases échangeables, une acidification du sol, une dépréciation du complexe argilo humique et un déséquilibre de l'état ionique du sol.

Il est reconnu que la matière organique permet la restauration des propriétés chimiques du sol telles que : l'évolution du carbone, de l'azote, l'effet tampon sur les variations du pH, et la réduction de l'aluminium échangeable. Cependant il s'avère nécessaire de connaître ses interactions avec le type de travail du sol, afin de trouver le meilleur moyen d'amélioration et ou de maintien de la fertilité des sols.

Les résultats sur le pH montrent une amélioration due à la fertilisation organo-minérale (Grattage +FMO et Labour +FMO) par rapport à la fertilisation à base d'engrais minéraux seul (Labour +FM et Grattage +FM). En effet, la matière organique exerce un rôle tampon sur le pH du sol lors de sa minéralisation. Au cours de ce processus, elle empêche la lixiviation des cations, réduit l'aluminium échangeable par complexation et par conséquent augmente le pH du sol (SEDOGO, 1993).

La tendance à l'acidification des sols, observée sur toutes les parcelles étudiées, est due à l'action de la culture continue. La culture continue entraîne une désaturation du complexe absorbant en calcium et en magnésium, avec comme corollaire l'acidification, l'apparition de l'aluminium échangeable (HIEN, 1990). En plus, cette acidification est accentuée sur les sols ne recevant que la fertilisation

minérale. Ce qui justifie le fait que ces sols présentent les différences  $pH_{\text{eau}}-pH_{\text{KCl}}$  les plus élevées. Selon SEDOGO (1993), ces sols ont une forte acidité potentielle donc sensible à l'acidification.

Les résultats obtenus au niveau du carbone montrent que la dose de fumure apportée pendant la préparation du sol, à contribuer à augmenter la teneur en carbone du sol dans les parcelles Grattage+FMO et Labour+FMO. La tendance à la baisse constatée sur les traitements qui n'ont reçu que la fertilisation minérale peut s'expliquer par une minéralisation du carbone, agissant comme source d'énergie pour les micro-organismes. Cette minéralisation qui survient dès la mise en culture, peut être atténuée par la fumure organo-minérale (SEDOGO, 1993). La baisse du taux de carbone sur les parcelles à fertilisation minérale seule a été évoquée par plusieurs auteurs dont SEDOGO (1981) et BADO et al. (1997).

Cependant, une comparaison entre type de travail de sol, laisse apparaître que le labour réduit la teneur du carbone du sol. En effet, les meilleures conditions d'humidité et d'aération créées par le labour stimulent l'activité des micro-organismes du sol, augmentant la vitesse de dégradation des composées organiques (ANDREN et al., 2007). L'effet du labour pourrait aussi être expliqué par une désagrégation des particules du sol qui tend à une libération de la matière organique du sol initialement protégé au sein des agrégats. Le labour fragilise donc la protection physique de la matière organique (OADES, 1995).

Le traitement des données sur le phosphore disponible montre que les valeurs en P disponible des parcelles cultivées sont nettement supérieures à celle de la jachère. Cela s'explique par l'apport de fertilisant sur ces parcelles. En effet, les apports de P sous forme d'engrais solubles ont pour effet d'augmenter la quantité de P assimilable du sol et de contribuer à l'alimentation minérale des cultures. Ces observations ont été faites par DEMERS (2008), LOMPO et al (2008), qui travaillant sur des sols différents, ont montré que l'application de la fertilisation minérale et organo-minérale amélioreraient le stock de phosphore par rapport au témoin sans apport.

Cependant, la différence entre les moyennes avant semis n'est pas significative. Cela est dû au fait que l'application de la matière organique ainsi que le travail du sol ont été faits après le prélèvement des échantillons de sol.

Outre cela, la tendance générale du phosphore assimilable est à la baisse au cours de la campagne. Cette baisse est plus influencée par le travail du sol. En effet, selon SEDOGO (1993), HIEN (1990), la baisse des teneurs en matière organique du sol, constatée après la mise en culture, aggravée avec les labours annuels, peut conduire à une modification du statut du phosphore des sols. Cela est dû au rôle que joue la matière organique sur la biodisponibilité du phosphore. L'effet de la matière organique sur le phosphore assimilable des parcelles a été masqué par la fertilisation minérale.

#### **4.1.3. Conclusion**

Les résultats obtenus montrent que la mise en culture modifie les propriétés chimiques du sol par rapport à la jachère. Le labour annuel permet une dégradation rapide de la matière organique du sol par rapport au grattage, d'où sa disponibilité et sa perte par lixiviation. Toute fois, les amendements organiques augmentent le pH, et le taux des différents éléments nutritifs du milieu.

## **4.2. Effets du travail du sol et des amendements organiques sur le rendement des cultures**

### **4.2.1. Résultats**

Le rendement du sorgho et ses différentes composantes sont consignés dans le tableau 4. Les composantes de rendements concernées sont le poids de mille grains, et le poids des panicules. De tous les traitements étudiés, le Témoin présente le rendement le plus bas. L'application de la fumure organique (Grattage+FMO et Labour+FMO) a augmenté les rendements et les composantes de rendements du sorgho comparativement aux parcelles n'ayant pas reçu de fumure organique (Grattage+FM et Labour+FM). Toutefois, les rendements obtenus sont très bas par rapport au rendement potentiel de la variété utilisée (ICSV 1049) qui est de 4000 Kg ha<sup>-1</sup>.



**Tableau 4 : Rendement et composantes du rendement en fonction des traitements**

Traitement	poids 1000 grains (g)	poids panicules (g)	Rdt paille (Kg/ha)	Rdt grains (Kg/ha)
Grattage+FM	1,07 <sup>b</sup>	2,15 <sup>b</sup>	1199,77 <sup>b</sup>	581,28 <sup>b</sup>
Grattage+FMO	3,02 <sup>a</sup>	5,01 <sup>a</sup>	2799,479 <sup>a</sup>	2594,86 <sup>a</sup>
Labour+FM	0,98 <sup>b</sup>	1,86 <sup>b</sup>	1041,66 <sup>b</sup>	358,07 <sup>b</sup>
Labour+FMO	3,24 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	3125 <sup>a</sup>	2613,46 <sup>a</sup>
Témoin	0,15 <sup>c</sup>	0,32 <sup>c</sup>	262,89 <sup>c</sup>	47,12 <sup>c</sup>
Probabilité	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différent au seuil de 5%

#### 4.2.2. Discussion

Outre les conditions climatiques et la qualité de la semence, la fertilité du sol est une composante principale du rendement des cultures.

D'une manière générale, on observe des rendements assez faibles par rapport au rendement potentiel de la variété. Cette faiblesse pourrait s'expliquer d'une part, par la mauvaise repartition des pluies, et d'autre part, par la durée de la mise en culture qui entraîne une baisse de la matière organique du sol (SEDOGO , 1993).

Tout d'abord La fumure organique permet d'avoir de bon rendement q'elle soit combinée au labour (T4) ou au grattage (T2). La meilleure performance des cultures sur ces parcelles ( rendement grains, rendement paille, poids 1000 grains, poids panicules) découle des effets bénéfiques de la matière organique sur les propriétés physique, chimique et biologique du sol et donc sur la nutrition minérale de la plante. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par SEDOGO (1990) à Saria. La décomposition de la matière organique libère des éléments minéraux tels que l'azote, le phosphore, le potassium et aussi des micro-éléments indispensables à la croissance des cultures.

Ensuite, les meilleurs rendements s'observent au niveau du traitement Labour+FMO. Ce qui pourrait s'expliquer par l'effet nutritif de la matière organique, mais aussi par les conditions de minéralisation de cette matière organique, l'augmentation de la porosité, et l'amélioration des caractéristiques hydrodynamiques créées par le labour.

Cependant une analyse entre paramètres composant les traitements nous montre un faible effet du labour sur la production. En effet, en considérant le travail du sol comme seul facteur d'analyse, nous nous apercevons qu'il a, au contraire un effet dépressif sur la production. Les parcelles labourées avec ou sans fumier présentent les écarts les plus élevés entre les traitements (T4 :2613,46 Kg ha<sup>-1</sup> et T3: 358,07 Kg ha<sup>-1</sup>). En plus de cela T1 (grattage+FM) présente un rendement supérieur à celui de T3 (labour+FM). On pourrait donc penser que l'effet néfaste du labour a été masqué par l'apport du fumier au niveau de T4. Alors en suivant cette logique on devrait s'attendre à ce que le rendement de T2 soit supérieur à celui de T4, compte tenu du fait que le taux de carbone est plus élevé a ce niveau. Le cas contraire observé pourrait avoir comme explication, les conditions créées par le labour dans la parcelle T4 qui favorisent la minéralisation de la matière organique, l'enracinement des plantes que le traitement T2. Selon OUATTARA et al (1998), la teneur en carbone relativement plus élevée sur les parcelles ayant reçu la fumure organique, permet d'affermir la structure du sol soumise à une dépréciation par les labours annuels. Le moins de carbone sur les parcelles T1 et T3 permet de mieux apprécier l'effet du travail du sol.

Enfin les amendements organo-minéraux et minéraux permettent d'avoir de bons rendements par rapport à une culture sans amendement. En effet, ces amendements apportent les éléments nutritifs majeurs à la plante, donc permettent une production agricole durable (LOMPO, 2005).

#### **4.2.3. Conclusion**

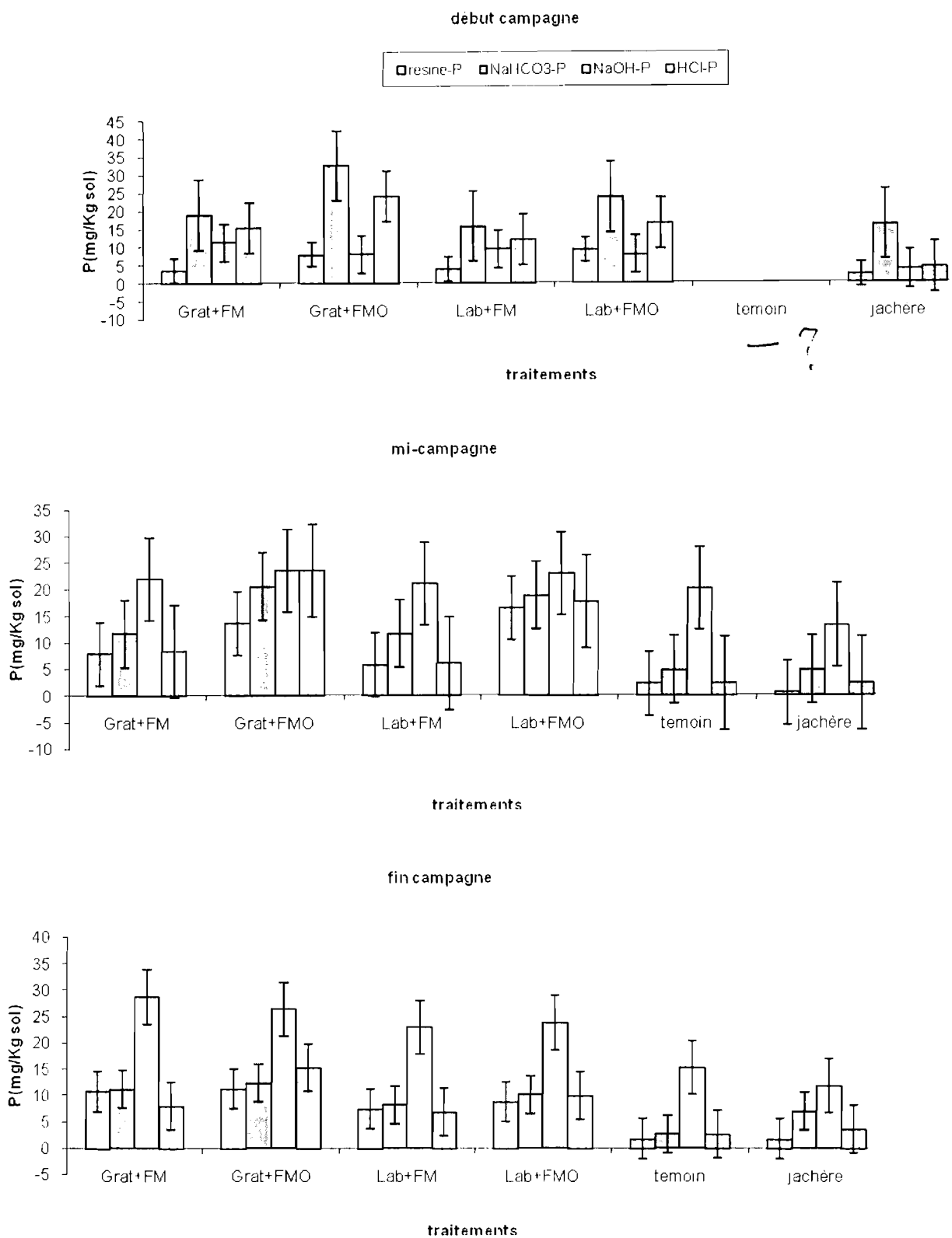
Il ressort de ses résultats que la matière organique améliore nettement les rendements des cultures, le labour du sol par contre a un effet néfaste sur la production lorsque le sol est pauvre en matière organique.

## 4.3. Effets du travail du sol et des amendements organiques sur les fractions du phosphore

### 4.3.1. Résultats

La figure 6 représente les teneurs des différentes fractions du P des différents traitements au cours de la campagne. Les analyses statistiques révèlent des différences significatives entre les traitements et entre les différentes formes de phosphore, exception faite de la forme extraite au NaOH en début campagne et de celle extraite au bicarbonate et à la membrane en fin campagne.

Avant le semis, les formes de phosphore identifiées dans les différents traitements se présentent en terme de quantité de la manière suivante :  $\text{NaHCO}_3\text{-P} > \text{HCl-P} > \text{NaOH-P} > \text{résine-P}$  pour les parcelles grattage+FM et grattage+FMO et  $\text{NaHCO}_3\text{-P} > \text{HCl-P} > \text{résine-P} > \text{NaOH-P}$  pour les parcelles labour+FM et labour+FMO. En fin de campagne la fraction NaOH-P présente la valeur la plus élevée dans tous les traitements.



**Figure 4:** Répartition des fractions de phosphore dans les traitements

(Les barres d'erreur représentent l'erreur standard n=3 pour chaque moyenne)

#### **4.3.1.1. P extrait à la résine**

Avant la mise en place de la culture, la différence entre les traitements est hautement significative. La membrane-P est plus élevée dans toutes les parcelles cultivées par rapport à la jachère.

Une analyse inter traitements montre que la différence est plutôt significative au niveau de la fertilisation. En effet, les traitements à FMO (labour+FMO: 9,22mg P Kg<sup>-1</sup> et grattage+FMO: 7,97mg P Kg<sup>-1</sup>) ont les valeurs de résine-P les plus élevées par rapport aux traitements de FM. Cette même tendance s'observe après fertilisation.

Cependant, après récolte nous notons que le phosphore membrane est plus élevé dans les traitements que dans la jachère et le témoin. Quoique ces valeurs ne soient pas significativement différentes, les traitements grattage+FMO et grattage+FM contiennent plus de P-membrane respectivement de 11,189 et de 10,724mg P Kg<sup>-1</sup>. Enfin, une augmentation de la quantité de P-membrane s'observe dans tous les traitements.

#### **4.3.1.2. P extrait au bicarbonate**

La fraction P inorganique extraite avec le bicarbonate présente en début campagne et après fertilisation les valeurs les plus élevées dans les traitements Grattage+FMO puis Labour+FMO (32.57mg P Kg<sup>-1</sup> et 23.69 mg P Kg<sup>-1</sup>).

Cependant, Après récolte, les parcelles cultivées présentent des valeurs en P-bicarbonate supérieures à la jachère et au témoin. Toutefois, ces différences ne sont pas significatives. Dans tous les traitements nous observons une diminution des valeurs de P-NaHCO<sub>3</sub>.

#### **4.3.1.3. P extrait avec NaOH**

La fraction de phosphore extraite avec le NaOH ne montre pas de différence significative entre les traitements avant semis et près fertilisation. Cependant, après récolte le traitement Grat+FM présente la valeur de P-NaOH la plus élevée (28,71mg. Kg<sup>-1</sup>). D'une manière générale, les teneurs de cette fraction de phosphore sont plus élevées dans les parcelles étudiées que sur la jachère et le témoin. A cela

s'ajoute une augmentation de cette forme de phosphore dans tous les parcelles étudiées, tout au long de la campagne.

#### **4.3.1.4. P extrait avec le HCl**

La forme de phosphore extraite avec le HCl montre des valeurs significative tout au long de la campagne. Tout d'abord, les valeurs de P-HCl des traitements étudiés sont supérieures à celles de la jachère et du témoin. Ensuite, les traitements qui ont reçu des amendements organo-minéraux, c'est-à-dire Grat+FMO et Lab+FMO, présentent les meilleures valeurs de P-HCl. Enfin, nous constatons une diminution de cette forme de phosphore sur toutes les parcelles étudiées.

#### **4.3.2. Discussion**

Le phosphore est présent dans le sol sous plusieurs formes organiques et inorganiques. Le fractionnement du phosphore du sol selon la méthode de HEDLEY (HEDLEY et *al.*, 1982), nous a permis d'identifier quatre fractions de phosphore.

En effet, le phosphore extrait par la membrane représente le phosphore immédiatement disponible pour la plante. D'une manière générale les valeurs de P-membrane dans les traitements étudiés sont supérieures au témoin et à la jachère. Et cela tout au long de la campagne. Cela s'explique par l'effet de la fertilisation sur cette fraction du phosphore. GAGNON et *al.*, (2003), cité par DEMERS (2008), DIARRA (2009) ont montré que la fraction de P en solution est la plus affectée par les apports de fumier et de compost. Une comparaison entre traitements montre des différences significatives dues à la fumure organique. La décomposition de la matière organique libère le P disponible pour la plante. Cet effet de la matière organique est accentué par le labour, qui en favorisant les conditions de minéralisation augmente la disponibilité du phosphore. Ces résultats sont en conformité avec ceux de HAFNER et *al* (1993) qui montre que l'incorporation des résidus culturaux en présence de fertilisants minéraux améliore la quantité de phosphore en solution dans le sol.

L'augmentation des valeurs de P-membrane en mi-campagne est probablement due à l'apport de la fertilisation minérale qui s'est fait quatre jours avant le prélèvement des échantillons du sol.

Ensuite, le phosphore extrait à la  $\text{NaHCO}_3$  dit labile, est adsorbé sur les minéraux du sol. Cette fraction est facilement disponible à la plante. L'apport de fertilisation organo-minérale a permis d'accroître les valeurs de cette fraction de phosphore. En revanche le labour a un effet néfaste sur cette fraction en provoquant sa minéralisation vers la solution du sol, donc sa lixiviation ou son prélèvement par les plantes. Tout au long de la campagne nous constatons une diminution de ces valeurs. Cela atteste que le phosphore de cette fraction est soit résorbé dans la solution du sol, soit adsorbé par les minéraux du sol.

Le phosphore extrait au  $\text{NaOH}$  ou phosphore moyennement labile lié au fer et à l'aluminium est le plus abondant de toutes les formes de phosphore extraites, après récolte. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par SHAHEEN et *al.* (2007) sur les entisoils, LOMPO et *al.*, (2008) sur les Lixisols et les Ferralsols, DIARRA (2009) sur les sols ferrugineux dans la zone soudanienne du Burkina Faso. Les résultats observés au niveau de cette fraction ne sont pas significativement différents d'un traitement à l'autre, mais nous constatons une augmentation de ces valeurs au cours de la campagne. Cette augmentation pourrait s'expliquer par la régression du pH (NWOKE et *al.*, 2003), qui peut s'accompagner d'une libération des ions  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Al}^{3+}$  qui vont précipiter le phosphore.

Le phosphore extrait au  $\text{HCl}$  représente le phosphore peu labile et fortement fixé au calcium. Au cours de la campagne, les teneurs de P-HCl diminuent dans toutes les parcelles. Cette diminution pourrait s'expliquer par la régression de la concentration de Ca dans la solution du sol, due à la baisse du pH. L'augmentation de la teneur en P-HCl sur les traitements ayant reçu une fertilisation organo-minérale s'explique par l'effet tampon de cette fertilisation sur le pH et sur la quantité de Ca du sol.

#### **4.3.3. Conclusion**

Sur les traitements étudiés, la mobilité du phosphore est en faveur de la forme liée au fer et à l'aluminium due à l'abondance de ces minéraux dans le sol d'une part, et d'autre part, au pouvoir fixateur très élevé des sols ferrugineux par rapport au calcium (SOLTNER, 1994).

## 4.4. Effets des propriétés chimiques du sol sur les fractions du phosphore

### 4.4.1. Résultats

Le phosphore existe dans le sol sous plusieurs formes, et ces formes sont influencées par les propriétés physiques et chimiques du sol. Le tableau 5 montre les différentes corrélations qui existent entre les formes de phosphore mesurées et les propriétés chimiques du sol.

**Tableau 5 :** Matrice de corrélation entre paramètre chimiques et les formes de phosphore du sol

	pH	Carbone	P-Bray	résine-P	NaHCO <sub>3</sub> -P	NaOH-P	HCl-P
pH	1						
Carbone	0,430	1					
P-Bray	0,197	-0,015	1				
résine-P	0,384	0,201	<b>0,811</b>	1			
NaHCO <sub>3</sub> -P	0,497	<b>0,412</b>	<b>0,715</b>	0,474	1		
NaOH-P	-0,179	<b>-0,290</b>	0,293	0,576	-0,341	1	
HCl-P	<b>0,587</b>	<b>0,388</b>	<b>0,796</b>	<b>0,704</b>	<b>0,873</b>	0,014	1

Nous observons de ce tableau 5 de fortes corrélations entre P-résine et P-Bray ( $r = 0,811$ ), entre P-NaHCO<sub>3</sub> et P-Bray ( $r = 0,71$ ), entre P-Bray et HCl-P ( $r = 0,79$ ), P-résine et HCl-P ( $r = 0,704$ ), NaHCO<sub>3</sub>-P et HCl-P ( $r = 0,873$ ) une moyenne corrélation entre pH et HCl-P ( $r = 0,587$ ), entre le taux de carbone et le NaHCO<sub>3</sub>-P ( $r = 0,41$ ) et le taux de carbone et le HCl-P ( $r = 0,38$ ) une corrélation négative entre le taux de carbone et le NaOH-P ( $r = -0,29$ ).



#### 4.4.2. Discussion

Le phosphore existe dans le sol sous forme organique et minérale, mais seule la forme présente dans la solution du sol est assimilable par la plante. Les engrais incorporés au sol, même s'ils sont solubles, s'immobilisent rapidement par interaction avec la phase solide (MARSCHNER, 1995). L'état du phosphore dans le sol est alors conditionné par les caractéristiques physico-chimiques du sol.

Le phosphore biodisponible est le phosphore susceptible de devenir assimilable par les plantes en séjournant dans la solution du sol. Pour cela des méthodes existent pour extraire chimiquement cette forme en vue d'évaluer sa quantité.

Dans la présente étude, la méthode Bray1 a été utilisée pour estimer le phosphore biodisponible. Nous constatons une forte corrélation entre le P-Bray et P-membrane et P-NaHCO<sub>3</sub> qui sont considérés comme phosphore labile dans la méthode de HEDLEY et *al* (1982). Cette forme de phosphore est similaire à l'action de la plante à absorber le phosphore légèrement retenu à la surface des cristaux (TIESSEN et MOIR, 1993). Cette forte corrélation entre les formes disponibles de ces deux méthodes a été soulignée par les chercheurs (TIESSEN et *al.*, 1984 ; SHARPLEY et *al.*, 1987).

Il existe aussi une bonne corrélation entre le phosphore extrait au HCl et celui considéré comme bio-disponible. En effet le phosphore extrait au HCl correspond à celui lié au calcium qui, comme nous l'avons souligné plus haut est plus élevé sur les traitements ayant reçu de la fertilisation organo-minérale. La matière organique forme des complexes stables avec les ions métalliques du sol (Fe, Al et Ca) dans une moindre mesure (LEVESQUE et SCHNITZER, 1969). Ce qui réduit le taux de Fe et Al dans la solution du sol, et facilite la fixation du phosphore au calcium. En plus, la matière organique en décomposition fournit du phosphore assimilable et des acides organiques qui compétissent avec les ions phosphates pour les sites d'absorption du P à savoir les sesquioxydes de fer et d'aluminium et éventuellement sur les argiles (HUE, 1991). Ce dernier rôle de la matière organique pourrait expliquer la corrélation négative entre le taux de carbone et le phosphore lié au Fe et à l'Al (NaOH-P). Par contre une corrélation positive est observée entre cette fraction de phosphore et la

matière organique ( $r= 0.388$ ), preuve que la matière organique augmente cette fraction de phosphore. Des corrélations similaires ont été observées par SHAHEEN et *al.*, (2007).

#### 4.4.3. Conclusion

On retient de ces résultats que les fractions de phosphore biodisponibles sont sous la dépendance de la matière organique, de part ses actions sur les propriétés du sol. Le phosphore lié au calcium représente le phosphore de réserve qui alimente la solution du sol en cas de déficit.

### 4.5. Effet des formes de phosphore sur le rendement

#### 4.5.1. Résultats

Le rendement d'une culture est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs dont les propriétés du sol, qui agiront sur sa fertilité. Dans ce paragraphe nous ferons la comparaison entre les différentes formes de phosphore et les rendements grains du sorgho.

De fortes corrélations positives sont constatées entre toutes les formes de phosphore et le rendement à l'exception du phosphore extrait au NaOH qui présente une corrélation fortement négative comme le montre le tableau 6.

**Tableau 6** : corrélation entre les formes de phosphore et le rendement grain de sorgho

Forme de phosphore	P-Bray	membrane-P	NaHCO <sub>3</sub> -P	NaOH-P	HCl-P
coefficient de corrélation	0,5988	0,9924	0,7925	-0,8406	0,6776

#### 4.5.2. Discussion

Le membrane-P a la corrélation la plus élevée par rapport au rendement grain. C'est le phosphore dissout dans la solution du sol, forme ionisée de l'acide phosphorique H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ; HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, dont les proportions dépendent du pH du

milieu concerné. Ces formes sont à l'origine de la nutrition phosphatée des cultures (MOREL, 1996).

Ces ions phosphatés peuvent se déplacer de la solution du sol vers la fraction solide sur laquelle ils se fixent. Lorsque la solution du sol est appauvrie en cet élément, le phosphore est libéré de la phase solide à la phase liquide (FARDEAU, 1993). Le P-NaHCO<sub>3</sub> représente la fraction de phosphore légèrement lié aux particules solides du sol, susceptible de rejoindre la solution du sol. En utilisant du phosphore radioactif, VILAIN (1997) a montré que les ions adsorbés et libres s'échangent continuellement jusqu'à l'instauration d'un équilibre. Cette fraction dite labile assure facilement le renouvellement du phosphore dans la solution du sol. Cela justifie le fait que cette fraction soit la deuxième plus forte corrélation avec le rendement.

La forte corrélation négative entre le phosphore extrait au NaOH c'est-à-dire le phosphore lié au Fe et à l'Al, s'explique par le fait que cette forme de phosphore est modérément labile. En plus, elle est plus retenue par le Fe et l'Al quand la solution est plus acide. Par conséquent la forte concentration de ces ions métalliques dans le sol entraîne une diminution du pH du milieu et une fixation du phosphore qui devient très peu disponible. Plusieurs auteurs ont montré que le faible niveau de phosphore dans la solution des sols de l'Afrique de l'ouest est dû aux réactions qui lient ce dernier aux oxydes d'Al et de Fe (NWOKE et *al.*, 2003 ; AGBENIN et ANUMONYE, 2006 ; DOSSA et *al.*, 2008).

La fraction de phosphore lié au calcium (P-HCl) évolue avec la concentration de Ca dans la solution. Plus cette concentration est élevée plus la solution est moins acide et il y aura une dissolution du phosphore lié au Fe et à l'Al vers la solution. Par ailleurs, dans la présente étude l'élévation du pH est synonyme d'un apport de matière organique. Ce qui augmenterait non seulement le phosphore disponible, mais aussi les autres éléments nutritifs, gage d'une bonne croissance végétale et d'un bon rendement. Il convient aussi de noter que l'apport de Ca par la fertilisation peut causer la précipitation du phosphore ajouté sous forme de phosphate de calcium, provoquant ainsi un transfert des formes liées au Fe et à l'Al (P-NaOH) vers celle liée au calcium (P-HCl) (Mc KENZIE et *al.*, 1992).

### **4.5.3. Conclusion**

De ces observations nous retenons que les fortes corrélations entre le phosphore disponible (membrane-P et  $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ ) sont la preuve que le phosphore est indispensable à la production agricole. Aussi, les pratiques culturales qui arrivent à diminuer le phosphore lié au Fe et à l'Al, assureront une bonne production.

## **CONCLUSION GENERALE**

L'étude de l'influence du travail du sol et des amendements organiques sur la dynamique du phosphore sur sol ferrugineux tropical lessivé a permis de tirer les conclusions suivantes :

D'abord, sur les propriétés chimiques du sol, les amendements organo-minéraux améliorent le pH, le taux de matière organique, et aussi le phosphore assimilable par la plante. Cependant, le labour annuel par rapport au grattage du sol a un effet néfaste sur le pH, permet une minéralisation rapide de la matière organique, et une disponibilité du phosphore.

Ensuite sur la production du sorgho, la combinaison labour associé à la fertilisation organo-minérale produit les meilleurs effets. Mais parmi les types de travail de sol, le labour a un effet dépressif par rapport au grattage. Alors pour assurer la durabilité des systèmes agricoles la pratique des labours annuels doit être associée à des apports de fertilisation organo-minérale.

Enfin sur la dynamique du phosphore, d'une manière générale la mise en culture des sols étudiés entraîne la mobilité des formes de phosphore. Cette mobilité est en faveur de celui lié au Fe et à l'Al. Outre cette forme de phosphore, la fertilisation organo-minérale permet l'augmentation de toutes les autres formes de phosphore étudiées, par rapport à la fertilisation minérale seule. La comparaison entre les deux types de travail de sol ne laisse pas apparaître de différence significative sur les différentes formes de phosphore.

Il convient aussi de noter que la mobilité du phosphore dans le sol est fonction des propriétés de celui-ci. Outre, la corrélation du phosphore disponible mesuré par les deux méthodes (BRAY1 et HEDEY), le taux de carbone corrobore avec le phosphore disponible et le phosphore lié au Ca. Il en est de même entre cette fraction de phosphore et le pH.

L'abondance du phosphore disponible dans le sol est l'œuvre de plusieurs facteurs qui agissent aussi sur les autres éléments nutritifs de la plante. Cela se matérialise par la forte corrélation entre ces formes de phosphore avec les différentes composantes du rendement.

Il serait maintenant intéressant d'élargir le fractionnement des différentes formes de phosphore en intégrant la forme organique afin de comprendre la contribution de celle-ci dans la nutrition de la plante. Et aussi faire la comparaison de ces différentes formes en fonction de la dose de fertilisation, de la pratique culturale. Ainsi que de proposer des solutions au problème de la faible disponibilité du phosphore dans les sols ferrugineux tropicaux.

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

**AFNOR, 1981.** Détermination du ph. (Association française de normalisation).NF ISO 103 90. in : afnor qualité des sols, paris, pp 339-348.

**AGBENIN J. O., ANUMONYE M., 2006.** Distribution and sorption of phosphate in savanna soil under improved pastures in northern Nigeria. *Comm. Soil Sci Plant Anal* 37:493-511.

**ANDREN O., KIHARA J., BATIONO A., VANLAUWE et KATTERER T 2007.** Soil climate and decomposer activity in sub-saharan Africa estimated from standard Weather Station Data a Simple climate index for soil carbon balance calculations. *Ambio* 36, 379-386.

**BADO B.V., SEDEGO M.P., CESCAS M.P., LOMPO F. ET BATIONO A.;1997b.** Effets à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina-Faso. *Cahiers Agricultures*. Vol 6 n°6.

**BARRO A., 1997.** Effet du travail du sol en sec à la dent Rs8 sur l'amélioration de la production d'un sorgho au Burkina Faso. In : PIVOT R., RENET S., MANICHON H. (Eds). *Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux*. Collection colloques, CIRAD- Sar, Montpellier, France, p 61-63.

**BATIONO A., LOMPO F., KOALA S., 1998.** Research on nutrients flows and balances in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 71. P 19-35.

**BERGER M., BELEM P.C., DAKOUO D. ET HIEN V. 1987.** Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Cot. Fib. Trop.*, Vol. 42, N°3, pp. 201-211.

**BOIFFIN J., 1984.** La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Doctorat Ingénieur, INAPG, Paris-Grignon, 320p.

**Bray R. H. And Kurtz L. T., 1945.** Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59. pp 39-45.

**BUNASOLS, 1985.** Etat de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso, document technique, n°1. 50p.

**BUSMAN, L., LAMB. J, RANDALL G., RELM G., ET SCHMITT M. 2002**, the nature of phosphorus in soil. 2005-01-27.

**CASENAVE A. ET VALENTIN C., 1989**. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Ed. ORSTOM, 230p.

**CHARLES KAREMANGINGO, 2004**. Problème environnemental lié au phosphore dans les sols. Ministère de l'agriculture et de l'aquaculture Canada Brunswick MAPA-2004-P001

**DEMERS I., 2008**. Formes et disponibilité du phosphore de composts utilisés comme amendements de sols agricoles. Mémoire maître ès sciences (M.Sc). Faculté des études supérieures de l'université Laval. 92p

**DIARRA B. G. 2009**. Influence du phosphore, de l'azote et du houppier sur les rendements du sorgho (*Sorghum bicolor*), les fractions du phosphore et l'activité des microorganismes du sol d'un parc agroforestier de la zone soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude. IDR, UPB, 70p.

**DOSSA E. L., DIEDHIOU S., COMPTON J. E., ASSIGBETSE K. B., DICK R. P., 2008**. Spatial patterns of fractions and chemical properties in soils of two native shrub communities in Senegal. Plant Soil (2010) 327:185-198.

**FARDEAU J. C., 1993a**. Le devenir du phosphore assimilable dans le et dans les systèmes sol-plante, perspective agricole, N°181. XVII – XXII.

**FIRDAUS, 2001**. Interaction H-Al-P dans la rhizosphère du maïs en sol acide tropical. Thèse de Doctorat, ENSA, Montpellier. 101p.

**FONTES J. ET GUINKO S., 1995**. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du burkina Faso. Notice explicative, 67p.

**FROSSARD, E., BROSSARD, M., HEDLEY, M. J. ET METHERELL, A., 1995**. Reaction controlling the cycling of P in soils. Dans : phosphorus in global environment, ed. T. H., t.2. John Wiley & Sons ltd., Paris. V54: 108-137.



**GAGNON B. et. SIMARD RR., 1999.** Nitrogen and phosphorus release from on. Farm and industrial composts. Can J. Soil Sci. 79: 481-489.

**GUIRA T., 1988.** Intensification de la culture de sorgho en sol ferrugineux. Etudes des effets induits des techniques culturales sur la fertilité des sols. Mémoire d'ingénieur du développement rural, IDR, Université de Ouagadougou. 96p.

**HAFNER H., GEORGES E., BATIONO A. ET MARSCHNER H. 1993.** Effects of crop residues on root growth and phosphorus acquisition of pearl millet in an acid sandy soil in Niger. Plant and Soil, N° 150, pp.117-127.

**HEDLEY M. J., STEWART J.W.B., CHAUHAN B.S. 1982.** Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am.J. 46: 970-976.

**HIEN V., 1990.** Pratique culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, INPL, NANCY. 148p.

**HOOGMOED B.W., 1999.** Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics. Tropical resource Management Papers, 24. Wageningen Agriculture University, Wageningen. 184p.

**HUE N. H., 1991.** Effect of organic acid/anions on phosphorus sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. Soil. Sci, 152 N°6, p: 463-471.

**INSD. 2008.** Recensement General de la population et de l'habitat de 2006. Résultats définitifs. 52p.

**KAREMANGIGE C., 2004.** Problème environnemental lié au phosphore dans les sols du N-B. ministère de l'Agriculture et de l'Aquaculture. Canada MAPA. 2004-P0001.

**KUO S. 1996.** Phosphorus. In D.L. sparks. (ed) Methods of soil analysis: part3. Chemical methods. SSSA. Madison. WI.869-919

**LAL R., 2000.** Soil management in the developing countries. Soil Sci, 165 (1): 57-72.

**LEVESQUE, M. et SCHNITZER, M., 1969.** Characterization of model and soil organic matter metal. Phosphate complexes. Can. J. soil. Sci., N°49: 365-375

**LOMPO F., BONZI M., BADO B. V., GNANKAMBARY Z., OUANDAOGO N., SEDOGO P. M., ASSA A., 2008.** Influence à long terme des modes de gestion de la fertilité sur les états, les formes, les fractions et le bilan du phosphore d'un lixisol du Burkina en culture de sorgho. International Journal of Biological and Chemical Sciences 2, 175 – 184

**LOMPO T.T., 1997.** Diagnostic des états structuraux des sols en fonction des Systèmes de culture en zone cotonnière ouest du Burkina (Région de Bondoukui). Mémoire de fin d'études, IDR. 74p.

**Lompo, D.P., 2005.** Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'ouest du Burkina Faso: Evaluation des effets Agronomiques et de rentabilité économique de trois formules de fumure. Mémoire de fin d'études IDR, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 60 p.

**LYAMUREMYE, F. et. DICK R.P, 1996.** Organic amendements and phosphorus sorptions by soils. Ad agron 56: 139-185.

**M.A., 1999.** Stratégie nationale et plan d'action de gestion intégré de la fertilité des sols. 102p

**MAATMAN A., SAWADOGO H., SCHWEIGMAN C. ET OUÉDRAOGO A., 1998.** Application of zaï and rock bunds in nord west region of the Burkina Faso. Study of its impact on household level by using a stochastic linear programming model. Netherlands journal of agriculture science. 46: 123-133

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

**MANDO A., ZOUGMORE R., ZOMBRE N.P, et HIEN V., 2000.** Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In la jachère en Afrique , Floret CH., et pontanier R., (Eds), John Lebbey, Paris (sous press).

**MARSHNER H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. London. Academic Press. 889.

**MCKENZI, R.H, STEWART J.W.B., DORMAAR J.F. et SCHNALJE G.B.. 1992.** Long term crop rotation and fertilizer effects on phosphorus transformations. II. In a luviselle soil. Can j. soil Sci: 72: 581-589.

**MOREL R., 1996.** Les sols cultivés. Ed Lavoisier. 378p

**NACRO H.B. 1997.** Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lanto, Cote d'Ivoire) : caractérisation chimique et étude in vitro des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie. Paris III. 302p.

**NICOU R., 1975.** Le problème de la prise en masse à la dessiccation des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Agron. Trop. XXX(4) : 325-343.

**NICOU R., OUATTARA B., et SOME L., 1990.** Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, mil, maïs) au Burkina Faso. Agron., XXIX(11) : 1101-1126.

**NICOU, 1978.** La prise en masse des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale ouest-africaine. Doc. Multigr., IRAT/Montpellier, 13p.

**NWOKE O. C., VANLAUWE B., DIELS J., SANGINGA N., OSONUBI O., MERCKX R., 2003.** Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. Agriculture Ecosystems and Environment 100, 285 – 294.

**OUATTARA B., 1994.** Contribution à l'étude des propriétés physiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture : pratiques culturales et état structuraux du sol.

Thèse de docteur-ingénieur, mention sciences agronomiques, Université nationale de Cote d'Ivoire, 153p.

**OUATTARA B., OUATTARA K., SEDOGO P.M., ASSA A., LOMPO F. et FORTIER M., 1998.** Modification de la porosité du sol après trente trois années de labours et d'enfouissement de fumier au Burkina Faso. Cahiers agricultures, 7 : 9-14.

**OUATTARA K., OUATTARA B., ASSA A., AND SEDOGO P.M., 2005.** Long-term effect of ploughing and organic matter input on soil moisture characteristics of a Ferric lixisol in Burkina Faso. Soil and Tillage Research doi: 10.1016/J. still.2005.06-003.

**OUATTARA K., OUATTARA B., NYBERG G., SEDOGO M.P., MALMER A., 2008.** Effects of ploughing frequency, compost and mineral fertiliser applications on soil aggregate stability in a cotton-maize (*Gossypium hirsutum-Zea mays* ) rotation system in Burkina Faso. Soil Use and Management, 24, 19–28

**PIERI C., 1989.** Fertilité des terres de savanes, bilan de trente ans de recherches et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD-IRAT, 444p.

**PUUSTINEN M., KOSKIAHO J., PELTONEN K., 2005.** Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 565-579

**ROOSE E., 1981.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et doc de l'ORSTOM, n°30, 569p.

**SEDOGO M.P., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures. Thèse de Docteur Ingénieur, INPL, NANCY. 195p.

**SEDOGO M.P., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat Es-sciences, FAST, Abidjan, 295p.

**SEDOGO P. M., LOMPO F., OUATTARA B., 1994.** Le carbone et l'azote dans différentes fractions granulométrique d'un sol ferrugineux tropical; effet de quatre types d'amendements organiques. Sciences et technique 20: 110-120.

**SHAHEEN M. S., TSADILAS C. D., STAMATIADIS S., 2007.** Inorganic phosphorus forms in some entisols of Egypt. Geoderma 142, 217 – 225

**SHARPLEY A.N., 2003.** Soil mixing to decrease surface stratification of phosphorus in manured soils. Journal of Environmental Quality 32: 1375-1384

**SHARPLY, A.N., ET B. MOYER, 2000.** Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. J. Environ. Qual. 29: 1462-1469.

**SIBAND P., 1974.** Evolution des caractéristiques de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. Agron. Trop., Sér. Agron. Générale, 24(12) ; 1228-1248.

**SOLTNER D., 1994.** Les bases de la production végétale. TOME1 : le sol. 467p.

**SOME L., 1989.** Diagnostic agropédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance sur les cultures de sorgho, de mil et maïs. Thèse de Doctorat U.S.T.L. Montpellier, 268p.

**STEVENSON F.J., 1986.** Cycle of soil- Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley Sons Inc. 380p.

**SWENSON, R.M., COLE C.V. et STELING D.H. 1949.** Fixation of phosphate by iron and aluminium and replacement by organic and inorganic ions. Soil Sci. 67: 3-22.

**TIESSEN H., MOIR J.O. 1993.** Characterization of available P by sequential extraction. Dans: M.R. carter (ed) soil sampling and methods of analysis. Canadian society of soil science, Lewis publishers. 75-86.

**TIESSEN H., STEWART J.W.B., COLE C.V. 1984.** Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. Soil science Society of America. 48: 853-858.

**VALENTIN, 1994.** Sealing, crusting and hardsetting soils in sahelian agriculture. H.B. SO et al. (Eds), seating, crusting, hardsetting soils: productivity and conservation, Australian Society of science soil Inc. (Queeland Branch), Brisbane, Australia pp.53-76.

**VLAAR J.C.J. (Eds), 1992.** Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du sahel. Rapport d'étude CIEH-UAW, Wageningen, Pays-Bas. 99p.

**WALKLEY A. AND BLACK J. A., 1934.** An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromatic acid titration method. Soil Science 37. pp 29-38.

**ZANGRE B.V.C.A., 2000.** Effet combinés du travail du sol et des amendements organiques sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical lessivé dans la region de Saria (Zone centre du Burkina Faso). Mémoire de fin d'études, IDR, UPB, 81p.

**ZOUGMORE R., 1991.** Contribution à l'étude du ruissellement et de l'érosion à la parcelle ; influence des parametres principaux : precipitation, rugosité du sol, etat de surface, humidité du sol en surface. Mémoire de fin d'études, ISN/IDR, U.O., 89p.

**ZOUGMORÉ R., GUILLOBEZ S., KAMBOU N. F., SON G., 2000.** Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid sahelian zone. Soil & tillage research 56: 175-183.

**ZOUGMORE R., MANDO A., STROONJIDER L., AND OUEDRAOGO E., 2004.** Economic benefits of combining soil and water conservation measures with nutrient management in semi arid Burkina Faso. *Nutrient in Agro ecosystem* 70, 261-269.

## ANNEXES

### Annexe 1: opération culturale effectuées sur l'essai

Opération culturale	T1	T2	T3	T4
<b>Etiquetage</b>	10 /06/2009	10 /06/2009	10 /06/2009	10 /06/2009
<b>Travail du sol</b>	Grattage à la daba en début de campagne 08/07/2009	Grattage à la daba en début de campagne 08/07/2009	Labour à plat aux bœufs 07/07/2009	Labour à plat aux bœufs 07/07/2009
<b>Fumure organique</b>	Pas d'apport	Fumier 10tonnes 09/07/2009	Pas d'apport	Fumier 10tonnes 09/07/2009
<b>Semis</b>	10/07/2009	10/07/2009	10/07/2009	10/07/2009
<b>Ressemis</b>	15/07/2009	15/07/2009	15/07/2009	15/07/2009
<b>Désherbage</b>	1 <sup>er</sup> sarclage +100Kg/ha de NPK 30/07/2009	1 <sup>er</sup> sarclage +100Kg/ha de NPK 30/07/2009	1 <sup>er</sup> sarclage +100Kg/ha de NPK 30/07/2009	1 <sup>er</sup> sarclage +100Kg/ha de NPK 30/07/2009
	2 <sup>ème</sup> sarclage 16/08/2009	2 <sup>ème</sup> sarclage 16/08/2009	2 <sup>ème</sup> sarclage 16/08/2009	2 <sup>ème</sup> sarclage 16/08/2009
	3 <sup>ème</sup> sarclage 26/08/2009	3 <sup>ème</sup> sarclage 26/08/2009	3 <sup>ème</sup> sarclage 26/08/2009	3 <sup>ème</sup> sarclage 26/08/2009
	4 <sup>ème</sup> sarclage +urée 50Kg/ha 17/09/2009	4 <sup>ème</sup> sarclage +urée 50Kg/ha 17/09/2009	4 <sup>ème</sup> sarclage +urée 50Kg/ha 17/09/2009	4 <sup>ème</sup> sarclage +urée 50Kg/ha 17/09/2009
<b>Récolte</b>	17/10/2009	17/10/2009	17/10/2009	17/10/2009