

**BURKINA FASO**  
**Unité-Progress-Justice**

\*\*\*\*\*

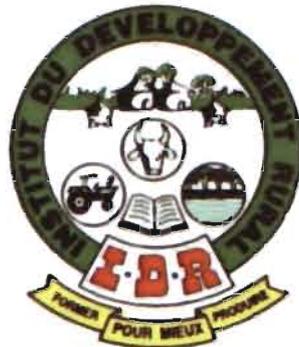
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)**

\*\*\*\*\*

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO DIOULASSO (UPB)**

\*\*\*\*\*

**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)**



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE**  
**PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU**  
**DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL**  
**OPTION: AGRONOMIE**

**Thème:**

**Options de fertilisation pour une production  
durable du maïs et du sorgho dans la province  
du Ziro / Burkina Faso**

Présenté par: Pawindé Alain GUISSOU

Maître de stage: Dr. Hugues Roméo BAZIE  
Directeur de mémoire: M. Bèguè DAO

N° d'ordre

Juillet 2016

## **Dédicace**

Je dédie ce mémoire à:  
Mon père Guissou Y. Michel  
Ma défunte mère Guissou R. Céline  
Mes frères et sœurs!

## Remerciements

Ce mémoire est le fruit de labeur de plusieurs personnes dont nous tenons à remercier certaines. Ainsi nous disons merci :

- à toute la Direction de l'IDR/UPB et l'ensemble du corps professoral pour leur disponibilité et la qualité de l'enseignement dispensé;
- au chef du Département Environnement et Forêts (DEF) pour nous avoir accordé le stage dans sa structure ;
- à M. Bèguè DAO, Ingénieur Agronome, Enseignant à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB) à l'Institut du Développement Rural (IDR), notre Directeur de mémoire, pour avoir accepté de nous encadrer malgré ses multiples occupations ;
- au Dr Hugues Roméo BAZIE, Agro-Eco-Physiologiste, enseignant-chercheur à l'Université de Ouagal Pr Joseph Ki-Zerbo, notre maître de stage qui, non seulement nous a accepté comme stagiaire malgré ses multiples occupations, mais aussi par sa rigueur dans le travail, la qualité de son encadrement et ses encouragements qui nous ont permis d'élaborer ce présent mémoire ;
- au Dr Josias SANOU Agro -Eco-physiologiste, chargé de recherche à l'Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole (INERA), Coordonnateur national du projet « Biodev » pour avoir mis à notre disposition le matériel technique et financier pour la bonne conduite de notre stage ;
- à Monsieur Palin BAZIE pour son soutien sur le terrain, et ses conseils,
- au personnel du Département de l'Environnement et de la Forêt pour leur conseil et leur bonne collaboration au cours de notre stage ;
- à tous les producteurs avec qui nous avons travaillé et ceux qui ont accepté nous prêter leur champ pour les différentes expérimentations ;
- à mon oncle Honoré K. Guissou, pour son soutien et ses conseils,
- à tonton Eric N. Guissou, pour son soutien et ses conseils ;
- à nos frères, cousins, sœurs, amis et camarades de classe pour leur collaboration et leur soutien ;
- à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'aboutissement de cette œuvre.

## Résumé

Le maïs et le sorgho sont les principales céréales produites au Burkina Faso. Elles constituent la base de l'alimentation des populations. Cependant, leurs rendements connaissent une baisse considérable ces dernières années. Les raisons de cette chute sont entre autres la dégradation des sols, accompagnée des effets de variabilités climatiques et des pratiques culturales inappropriées. Ainsi, pour parvenir à un usage équitable et raisonné des engrais, des combinaisons d'engrais ont été testées sur quatre villages du Ziro. L'objectif global était de rechercher comment maintenir une fertilité optimale des sols pour une production durable du sorgho et du maïs. Le dispositif général utilisé est un bloc complet randomisé où chaque producteur représente un bloc (répétition). A 5 répétitions, chacune avait douze (12) parcelles. Les traitements étaient: T1 (céréale + NPK + Niébé + FO), T2 (céréale + NPK + Niébé), T3 (céréale + Niébé), T4 (céréale + N), T5 (céréale + P), T6 (céréale + K), T7 (céréale + (N + P)), T8 (céréale + (N + K)), T9 (céréale + (P + K)), T10 (céréale + (N + P + K)), T11 (céréale + NPK), T12 (céréale). Les résultats ont révélé une meilleure croissance du maïs à Dao ( $164,89 \pm 3,47$  cm) et celle du sorgho à Vrassan ( $223,14 \pm 2,54$  cm). Au niveau des formules d'engrais, la croissance en hauteur la plus élevée a été observée sur les plants de T11 ( $182,08 \pm 5,51$  cm), pour le maïs. Au niveau du sorgho, c'est, T11 ( $215,44 \pm 9,96$  cm), comparable statistiquement de T5, T10, T7. T1. Le village de Vrassan a enregistré les rendements grains et pailles respectivement ( $578,48 \pm 115,46$  kg ha<sup>-1</sup>,  $2280,88 \pm 93,94$  kg ha<sup>-1</sup>) les plus élevés en sorgho, Dao, a obtenu les rendements grains les plus élevés du maïs ( $929,71 \pm 45,90$  kg ha<sup>-1</sup>), tandis que les rendements pailles les plus élevés sont obtenus à Kou. Le traitement, T1 a amélioré significativement les rendements grains ( $1092,41 \pm 161,53$  kg ha<sup>-1</sup>) et pailles ( $4411,19 \pm 372,90$  kg ha<sup>-1</sup>) du maïs. Les résultats de ce dernier sont similaires à ceux des traitements T2, T10, T7. Pour le sorgho les formules d'engrais n'ont pas eu d'effets significatifs sur ses paramètres de rendement excepté le paramètre rendement paille où T1 enregistre le rendement le plus élevé ( $2277,61 \pm 207,44$  kg ha<sup>-1</sup>). Le niébé, associé au maïs donne les rendements en fane et grain plus élevés. Les traitements T3 améliorent significativement les rendements grain et fane du niébé. Les formules d'engrais n'ont pas eu un effet significatif sur le taux d'humidité du sol. Les traitements T3 et T5 se sont révélés être les plus rentables économiquement quel que soit la spéculation.

Les mots clés: Maïs, Sorgho, Rentabilité économique, Participatif, Durable.

## Abstract

Corn and sorghum are the main cereals produced in Burkina Faso. They form the basis of people's diet. However, their yields experiencing a significant drop in recent years. The reasons for this fall are among other soil degradation, together with the effects of climate variability and inappropriate farming practices. Thus, to achieve a fair and reasonable use of fertilizers, fertilizer combinations were tested in four villages of the Ziro. The overall objective was to investigate how to maintain optimum soil fertility for sustainable production of sorghum and maize. The general device used in this study was a randomized complete block where each producer is a block (repeat). Each repetition had each twelve (12) plots. The treatments were: T1 (cereal + NPK + Cowpea + FO), T2 (cereal + NPK + cowpea), T3 (cereal + cowpea), T4 (cereal + N), T5 (grain + P), T6 (cereal + K ), T7 (cereal + (N + P)), T8 (cereal + (N + K)), T9 (cereal + (P + K)), T10 (cereal + (N + P + K)), T11 (cereal + NPK), T12 (cereal). The results revealed better growth corn Dao ( $164.89 \pm 3.47$  cm) and that of sorghum Vrassan ( $223.14 \pm 2.54$  cm). In terms of fertilizer formulas, the highest height growth was observed on the plants of T11 ( $182.08 \pm 5.51$  cm), for corn. At the sorghum is, T11 ( $215.44 \pm 9.96$  cm), comparable statistically T5, T10, T7. T1. The village of Vrassan recorded grain yields and straw respectively ( $578.48 \pm 115.46$  kg ha<sup>-1</sup>,  $2280.88 \pm 93.94$  kg ha<sup>-1</sup>) highest in sorghum, Dao, received grain yields the higher corn ( $929.71 \pm 45.90$  kg ha<sup>-1</sup>), while the highest yields are obtained at straws in Kou. The treatment, T1 significantly improved grain yield ( $1092.41 \pm 161.53$  kg ha<sup>-1</sup>) and straw ( $4411.19 \pm 372.90$  kg ha<sup>-1</sup>) corn. The results thereof are similar to those of the treatments T2, T10, T7. For sorghum fertilizer formulas had no significant effect on its performance parameters except the straw yield parameter or T1 record the highest yield ( $2277.61 \pm 207.44$  kg ha<sup>-1</sup>). Cowpea with maize gives yields and higher grain fades. T3 treatments significantly improved grain yields and fades cowpea. The fertilizer formulas have not had a significant effect on soil moisture. T3 and T5 treatments have proven to be the most profitable economically whatever speculation.

Keywords: Corn, Sorghum, economic profitability, Participatory, Sustainable.

## TABLE DES MATIERES

<b>DEDICACE.....</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>X</b>
<b>SIGLES ET ABREVIATIONS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Définition des concepts.....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Notion de fertilité du sol.....	4
1.1.2 Association .....	4
1.1.3 Facteur limitant .....	4
1.1.4 Approche participative .....	5
1.2. Généralités sur le Maïs.....	5
1.2.1 Origine et botanique .....	5
1.2.2 La plante et son mode de vie.....	6
1.2.2.1 Morphologie générale du maïs.....	6
1.2.3 L'écologie du maïs .....	7
1.2.4 La culture du maïs .....	7
1.2.4.1 Préparation du sol.....	7
1.2.4.2 Semis .....	7
1.2.4.3 Fertilisation.....	7
1.2.4.4 Désherbage du maïs .....	8
1.2.4.5 Le maïs dans la rotation .....	9
1.2.5 Production et consommation de Maïs au Burkina Faso .....	9
1.2.6 Contraintes à la culture du maïs .....	9
1.2.6.1. Variabilité climatique.....	9
1.2.6.2 Baisse de la fertilité des sols .....	10
1.2.7 Maladies .....	10

1.2.8 Insectes .....	10
1.2.9 Mauvaises herbes .....	10
<b>1.3 Généralités sur le Sorgho.....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Origine.....	11
1.3.2 Taxonomie.....	11
1.3.3 Morphologie du sorgho .....	11
1.3.4 La biologie du sorgho.....	12
1.3.4.1 Germination et développement de la plantule.....	12
1.3.5 Ecologie du sorgho.....	12
1.3.6 La culture du sorgho.....	13
1.3.6.1 Semis .....	13
1.3.6.2 Démariage ré-semis et repiquage .....	14
1.3.6.3 Sarclo-binages .....	14
1.3.6.3 Fertilisation.....	14
1.3.7 Usage du sorgho .....	14
1.3.8 Importance du sorgho au Burkina Faso.....	15
1.3.9 Les contraintes liées à la production du sorgho .....	15
1.3.9.1 Les mauvaises herbes .....	15
1.3.9.2 Contraintes pédoclimatiques .....	15
1.3.9.3 Contraintes socio-économiques.....	16
1.3.10 Maladies du sorgho .....	16
1.3.10.1 Insectes .....	16
<b>1.4 Généralités sur le niébé.....</b>	<b>17</b>
1.4.1 Zones de culture du niébé.....	17
1.4.2 Systèmes de culture intégrant le niébé .....	17
1.4.3 Facteurs influençant le rendement du niébé.....	17
1.4.4 Exigences de la culture du niébé .....	18
1.4.5 Contraintes à la culture du niébé .....	18
1.4.6 Les maladies et les insectes.....	18
1.4.7 Les mauvaises herbes .....	19
<b>CHAPITRE 2: MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Le matériel .....</b>	<b>24</b>
2.2.1 Le matériel végétal .....	24
2.2.2 Les fertilisants .....	24
2.2.3 Autres matériels.....	24
<b>2.3 La Méthodologie.....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Le dispositif expérimental.....	27
2.3.2 Les différentes doses d'engrais appliqués .....	28
2.3.3 Suivi et collecte des données.....	29

2.3.3.1 Conduite des essais.....	29
2.3.3.2 Collecte des données .....	30
2.3.3.2.1 Suivi de la phénologie des cultures .....	30
2.3.3.2.2 Estimation de l'humidité du sol .....	30
2.3.3.2.3 Les récoltes.....	30
2.3.3.2.4 Rentabilité économique des fumures testées.....	31
2.3.3.2.5 La collecte des données socio-économiques .....	32
2.3.4 Traitement des données et analyse statistique.....	32
<b>CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Résultats .....</b>	<b>33</b>
3.1.1 Paramètres de croissance des différentes cultures.....	34
3.1.2 Paramètres de rendement .....	37
3.1.2.1 L'effet des différents traitements sur les composantes de rendement du maïs et du sorgho .....	37
3.1.3 L'effet des différentes formules sur les composantes de rendement du niébé associé au maïs et au sorgho. ....	43
3.1.4 L'analyse des effets des différentes formules d'engrais sur l'humidité du sol. ....	44
3.1.5 L'analyse économique.....	45
3.1.6 Les résultats de l'analyse socio-économique .....	47
<b>3.2 Discussion .....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAPHIES.....</b>	<b>56</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>I</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1: les caracteristiques des varietes de maïs, sorgho et niebe etudiees .....	24
Tableau 2: differents traitements appliques dans les essais de diagnostic .....	28
Tableau 3: les doses d'engrais preleves en kg ha <sup>-1</sup> pour le maïs et le sorgho. ....	29
Tableau 4: les doses des differentes combinaisons en (g/50m <sup>2</sup> ) pour le maïs et le sorgho. ....	29
Tableau 5: les caracteristiques chimiques des sols dans les quatre (4) sites .....	33
Tableau 6: les resultats de l'analyse de variance sur les parametres de croissance .....	35
Tableau 7 : moyenne des parametres de croissance des plantes du maïs et du sorgho en fonction des villages. ....	35
Tableau 8: les resultats de l'analyse de variance sur les parametres de productivite des sols en fonction de la speculation, le village d'etude, la formule de fumure. ....	38
Tableau 9: moyenne du nombre d'epis, du poids des epis, et de l'indice de recolte et du sorgho .....	41
Tableau 10: resultats d'analyse de variance sur les parametres de rendement du niebe. ....	43
Tableau 11: comparaison des moyennes des rendements grain et fane du niebe en fonction de la speculation .....	43
Tableau 13: resultat de l'analyse de variance du taux d'humidite des sols de chaque formule en fonction des villages, la profondeur, les differents fertilisants. ....	44
Tableau 14: comparaison des moyennes des taux d'humidite des sols en fonction des profondeurs .....	45
Tableau 15: effet des options de fertilisation sur la rentabilite economique pour du maïs .....	46
Tableau 16: effet des options de fertilisation sur la rentabilite economique pour du sorgho ..	46
Tableau 17: les principales cultures et leur superficie, la quantite de production .....	47
Tableau 18: les prix du kg des principales cultures en fonction du lieu de vente .....	48

## Liste des figures

Figure1: localisation des sites pilotes du projet biodev dans la province du ziro. ....	20
Figure 2: la pluviometrie moyenne annuelle du ziro de 2005-2014. ....	22
Source: direction generale de la meteorologie .....	22
Figure 3: pluviosite mensuelle en (mm) et nombre de jours de pluies de cassou (a) et dao (b) au cours de la saison pluvieuse de 2015.....	22
Figure 4: presentation de la repartition des champs sur les quatre sites : vrassan (a), cassou (b), dao (c), kou (d). ....	26
Figure 5: dispositif experimental au niveau de chaque producteur.....	27
Figure 6: l'evolution de la croissance en hauteur du maïs (a) et du sorgho (b) en fonction du temps. ....	34
Figure 7: l'evolution des hauteurs moyennes des plantes du maïs (a) et du sorgho (b).....	36
Figure 8: l'evolution des diametres au collet des plantes du maïs (a) et du sorgho (b) .....	37
Figure 9: les moyennes des rendements en grain des deux speculations en fonction des villages. ....	39
Figure 10: les moyennes des rendements en paille des deux speculations en fonction des villages. ....	40
Figure 11: graphe illustrant la difference des moyennes en rendement grain du maïs (a) et du sorgho (b). ....	42
Figure 12: graphe illustrant la difference des moyennes en rendement paille du maïs (a) et du sorgho (b) .....	42

## Liste des annexes

Annexe 1: moyenne des parametres de croissance en fonction des plantes du maïs et du sorgho en fonction des traitements.....	I
Annexe 2: moyenne des rendements en grain et en paille du sorgho et maïs.....	I
Annexe 3: comparaison des moyennes du taux d'humidite en fonction du village.....	II
Annexe 4: questionnaire d'enquete.....	II

## **Sigles et abréviations**

**ANOVA:** Analysis of variance.

**Biodev:** bio-carbone et développement rural en Afrique de l'Ouest.

**CIMMYT:** Centre International pour l'amélioration du maïs et du blé.

**CTA:** Le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale.

**DAP:** Le Di-Ammonium Phosphaté.

**DGPER:** Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale.

**FAO:** Food and Agriculture Organisation.

**FCFA:** Francs des Colonies Françaises d'Afrique.

**FO:** Fumure organique.

**GPS:** Global Positioning System.

**IITA:** International Institute of Tropical Agriculture.

**INERA:** Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

**INSD:** Institut National de la Statistique et de la Démographie.

**KCI:** Chlorure de Potassium.

**MAHRH:** Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques.

**MECV:** Ministère de l'environnement et de cadre de vie.

**NPK:** Azote, Phosphore et de Potassium.

**PIB :** Produit Intérieur Brut.

**PNGT2 :** Programme National de Gestion des Terroirs phase 2.

**SOFITEX :** Société des fibres textiles du Burkina Faso.

**RCV :** Ratio des Coût Variables.

**UNPCB :** Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina.

**UPB :** Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.

**IDR :** Institut du Développement Rural

**DEF :** Département de l'Environnement et de la Forêt

## Introduction générale

La baisse de la productivité des terres dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne est le résultat de la forte pression démographique sur les ressources naturelles. Cette démographie croît plus vite que dans les autres régions du monde (FAO, 2000). Dans ces pays, les terres agricoles s'appauvrissent plus vite en raison de leurs mauvaises exploitations (Steiner, 1996) engendrant des pertes annuelles moyennes de la couche arable en N, P et K respectivement de 22 kg ha<sup>-1</sup>, 2,5 kg ha<sup>-1</sup> et 15 kg ha<sup>-1</sup> (Stoorvogel et al, 1993).

Au Burkina Faso, l'agriculture est la principale activité économique. C'est un secteur qui, occupe 80% de la population active, représente plus du tiers du PIB et contribue pour près de 80% dans les exportations totales du pays (Hema, 2003). Une grande diversité de cultures est pratiquée et les céréales occupent une place de choix dont les principales sont le sorgho, le maïs et le mil. Les céréales occupent plus de 80% des superficies agricoles et représentent plus de 60% de la base alimentaire de la majorité des populations (DGPER, 2010).

Cependant, au Burkina Faso comme dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne, l'augmentation de la production agricole, résulte, surtout de l'augmentation des surfaces cultivées plus que de l'intensification (utilisation de semences améliorées, d'engrais chimiques et organiques, amélioration des pratiques culturales etc.). Ceci en plus de la forte croissance démographique contribuent à augmenter la pression sur les forêts et les pâturages naturels. Cela engendre des conséquences à moyen et long terme sur les écosystèmes tels que la diminution de la reproduction, la baisse de la fertilité des sols, la perte de la biodiversité ainsi que la diminution du couvert végétal qui influe sur le climat (Maranz, 2009); (Gonzalez et al., 2012). En effet, Les superficies emblavées pour les céréales sont passées de 2 519 800 ha en 1990 à 4 291 496 ha en 2010, soit une augmentation de 70% (MECV, 2010). De 1996 à 2005, les superficies emblavées pour le coton, la principale culture de rente, ont augmenté de 210% soit une moyenne annuelle d'environ 21%. La quantité des engrais augmente d'année en année et les cultures de rente s'avèrent être les plus grandes consommatrices d'engrais chimiques. Selon les données de la DGPER, de 1995 à 2005, l'utilisation de l'urée est passée de 13 044 867 Kg à 39 831 795 Kg soit une augmentation de 205%, l'engrais NPK de 30 233 663 Kg à 114 080 800 Kg soit 277%, et le Burkina-phosphate de 112 447 Kg à 18 648 776 Kg, soit 165%. Par contre, l'utilisation de la fumure organique reste encore marginale. La part de superficie recouverte de fumure organique en pourcentage de la superficie totale sur une moyenne de dix ans (1995 à 2004) pour différentes espèces est: mil (31%), maïs (43%), riz (4%), sorgho (30%), coton (19%), arachide (5%) (MECV, 2010). En outre, malgré la disponibilité de semences améliorées pour les cultures principales, le

taux d'adoption des variétés améliorées au niveau national reste très faible et est estimé à seulement 8,4% (Compaoré *et al.*, 2008).

Il est vrai qu'il faut produire suffisamment pour une population sans cesse croissante, mais cette production doit être durable. Alors, il faudra améliorer les pratiques agricoles et faire abandonner la persistance de certaines pratiques telles que l'usage abusif ou non raisonné des engrais chimiques et les pesticides, dont la seule finalité est l'augmentation des rendements sans se soucier des effets néfastes sur l'environnement. Quoique importante pour une croissance économique, ces pratiques n'intègrent pas toujours l'esprit de durabilité. Par conséquent, l'amélioration de la fertilité des sols nécessite une analyse profonde du moment où une mauvaise option de fertilisation des sols pourrait engendrer des conséquences négatives et aggraver le processus de dégradation des sols.

Conscient de la situation qui prévaut, les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, les institutions financières, œuvrant pour le développement du monde rural s'évertuent depuis longtemps à travers des actions multiples et des technologies mises en œuvre qui sont entre autres, l'encouragement des producteurs pour une diversification des productions végétales; l'utilisation accrue des semences améliorées; la mécanisation de la production; l'augmentation de la productivité des terres par l'utilisation de la fumure organique et l'usage raisonné des engrais chimiques, afin de booster de façon durable la production céréalière. Mais, force est de constater que ces actions et technologies ont connu moins d'engouement vis-à-vis du public cible qu'est le monde rural. Cela pourrait se justifier par la non-participation de ces derniers à la conception de certaines technologies: c'est le « développement clé en main » ou « parachuté » (Gouba, 2009). Un nouveau concept, la recherche participative a de ce fait vu le jour et demeure incontournable dans la recherche pour le développement de l'agriculture, et de l'agroforesterie en Afrique. C'est dans cette optique que le projet bio-carbone et développement rural en Afrique de l'Ouest en abrégé «Biodev» est né. En effet, ce projet vise à permettre aux communautés rurales de l'Afrique de l'Ouest dont notamment ceux du Burkina Faso et de la Sierra-Léone de bénéficier d'une gestion améliorée des ressources naturelles à partir desquelles elles peuvent tirer des avantages tels que la production à moindre coût, une grande diversité biologique, une forte productivité agricole et donc, des revenus agricoles décents qui puissent leur donner accès à l'éducation, à l'alimentation, l'eau et l'énergie. C'est dans ce cadre que s'insère cette étude intitulée " Option de fertilisation pour une production durable du maïs et du sorgho dans la province du Ziro".

Cette étude avait pour objectif global de rechercher de façon participative comment, maintenir une fertilité optimum des sols pour une production durable du maïs et du sorgho par l'utilisation des formules de fertilisation économique, acceptables socialement et soucieuse de l'environnement dans les quatre villages de la province du Ziro: Cassou, Dao, Vrassan et Kou. Il s'agissait spécifiquement de:

- Identifier le facteur limitant en termes d'éléments nutritifs pour la production du maïs et du sorgho dans les quatre villages (Cassou, Vrassan, Kou et Dao);
- Comparer la croissance et le rendement des cultures en fonction des sites d'études et les formules d'engrais proposées
- Trouver la formule d'engrais la plus efficiente du point de vue agronomique, environnemental, économique et social.
- Faire une analyse socio-économique en comparant les pratiques des agriculteurs avec les approches de gestion intégrée des terres.

Pour cela, nous avons formulé les hypothèses de recherche suivantes :

1. Ils existent des éléments nutritifs non disponibles qui limitent la production du maïs et du sorgho dans la zone d'étude.
2. Les différentes formules d'engrais proposées et les sites influencent chacun la croissance et la production du maïs et du sorgho et permettent une bonne rétention de l'eau du sol.
3. Il existe une formule d'engrais parmi celles proposées, économiquement rentable, et de coût abordable par les petits producteurs.
4. Il existe des contraintes auxquelles les paysans font face dans la production et la gestion de la fertilité des sols.

Le présent mémoire comporte trois (03) chapitres. Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique qui traite des généralités sur le maïs, le sorgho et fertilisation au Burkina Faso. Le deuxième chapitre présente le matériel et méthodes utilisés dans la conduite de l'étude, le troisième chapitre présente les résultats saillants et une discussion de ces résultats et se termine par une conclusion générale qui s'ouvre sur des perspectives et des recommandations.

# Chapitre I : Synthèse bibliographique

## *1.1 Définition des concepts*

### *1.1.1 Notion de fertilité du sol*

Les principaux facteurs qui déterminent la fertilité du sol sont: la matière organique du sol (y compris la biomasse microbienne), la texture du sol, sa structure, sa profondeur, sa teneur en éléments nutritifs, sa capacité de stockage (capacité d'adsorption), sa réaction et l'absence d'éléments toxiques (aluminium libre, par exemple). Ainsi donc, la fertilité des sols est présentée comme étant la résultante de trois composantes qui agissent en interaction. Il s'agit de la fertilité chimique (pH, teneur en composés minéraux, en matière organique), la fertilité physique (texture et structure du sol, granulométrie) et la fertilité biologique (Bachelier, 1973; Chaussod, 1996 et Zombre, 2006).

### *1.1.2 Association*

L'association culturale consiste à mettre sur la même parcelle deux ou plusieurs cultures en croissance simultanée. Les avantages de l'association culturale sont multiples; elle permet d'obtenir une multitude de produits agricoles en peu de temps et sur un même espace. Elle permet également d'améliorer la disponibilité de l'azote (N) dans l'association des céréales avec les légumineuses (niébé). Elle permet un gain de temps lors des opérations culturales et donc une meilleure gestion de la main d'œuvre pendant la pleine saison agricole (Kaboré et al., 1995). Elles offrent un moyen de diversification et de stabilisation des ressources alimentaires (Kranjac-Berisavlejevic et al., 1998). Enfin, les cultures associées offrent une meilleure couverture de la surface du sol, notamment lorsqu'elles mêlent une céréale comme le sorgho ou le maïs avec des plantes rampantes comme le niébé.

### *1.1.3 Facteur limitant*

Le facteur limitant est le facteur qui va conditionner la vitesse ou l'amplitude d'un phénomène plurifactoriel à un moment précis. A ce moment-là, tous les autres facteurs permettant la réduction de ce phénomène sont en excès par rapport au facteur limitant. Le concept de quantité est très important, une modification des propriétés peut changer la nature du facteur limitant.

Cette notion serait apparue en XIX<sup>ème</sup> siècle dans le cadre des recherches agricoles mais est utilisée dans de multiples domaines (en agriculture, en alimentation, en chimie en écologie etc.).

En agriculture, elle désigne les composantes du sol et a été formalisée en 1912 par la loi de Liebig sur le minimum.

La loi du minimum ou loi des facteurs limitants, est l'un des principes les plus importants de l'agronomie pratique. Sous sa forme théorique initiale, donnée par Liebig vers 1850 dans sa théorie de l'alimentation minérale des plantes, elle énonce que « le rendement d'une culture est limité par celui des éléments fertilisants qui le premier vient à manquer (soit N ou P, K, Mg etc.) et qu'il convient de compenser le manque par un apport, sous forme d'engrais minéral, complétant le ou les éléments en quantité suffisante».

#### ***1.1.4 Approche participative***

Le principe de l'approche participative est basé sur le privilège qu'elle accorde aux populations de s'impliquer à la définition des problèmes locaux, l'identification des solutions et leur mise en œuvre, afin de contribuer à donner plus d'efficacité et de durabilité aux actions qui en résultent. C'est dans ce sens que (Boukhari, 1995) affirme que « le principe fondamental de la participation : c'est le partage de savoir et de pouvoir ». Pour lui « Dans une approche participative la population n'est pas un gisement d'informations mais un partenaire avec qui il faut échanger et partager l'information utile ; la participation, c'est penser et faire avec et non pour, c'est la responsabilisation, la concertation et la négociation ». Ce concept découle du constat des limites et des échecs des stratégies de développement adoptées par des approches qui ne laissaient aucune place à une participation des populations aux processus de prise de décisions. Au contraire, les acteurs se sont positionnés comme étant en mesure de définir eux-mêmes les besoins des populations et de décider des actions nécessaires pour les satisfaire. Pourtant, pour réussir quelque chose il faut la confier à ceux qui ont intérêt à ce qu'elle réussisse.

### ***1.2. Généralités sur le Maïs***

#### ***1.2.1 Origine et botanique***

Le Maïs est une plante tropicale herbacée. Son origine reste encore imprécise mais des auteurs comme Rouanet., 1984 et Gay., 1984 attestent qu'il est originaire de l'Amérique centrale plus précisément des hauts plateaux mexicains où de nombreux échantillons témoignent de sa présence à plus de 5000 ans avant Jésus-Christ.

Le maïs (*Zea mays*) est la classe des monocotylédones, sous-classe des commélinidaes, l'ordre des cypéales, de la famille des poacées (ou graminées) et la sous-famille des panicoidées.

En Afrique subsaharienne, la culture du maïs est toujours extensive alors que dans les pays industrialisés; c'est une culture intensive mécanisée et hautement productive.

## ***1.2.2 La plante et son mode de vie***

### ***1.2.2.1 Morphologie générale du maïs***

Le plant de Maïs se compose d'une tige unique, de gros diamètres, pleine, et formée de plusieurs entrenœuds d'une vingtaine de centimètres chacun, séparés par des nœuds. Il a une taille variable; pour les variétés couramment cultivées, la taille varie généralement de 1 à 3 m. Au niveau de chaque nœud, de manière opposée, s'insèrent les feuilles à limbe allongé et aux nervures parallèles. Selon les variétés, chaque plante porte entre 15 et 20 feuilles, de grandes tailles (jusqu'à 10cm de large et 1 mètre de long) (GNIS, 2007).

Sa pollinisation est dite croisée parce que les inflorescences femelles (épis) et les inflorescences mâles (panicules) sont disposées à des endroits distincts sur la plante, c'est une plante monoïque. Sur chaque pied on a souvent un seul épi. Les épis sont formés d'un nombre variable de rangées de grains (de 12 à 16) autour de la rachis, qui fournissent entre 300 à 1000 grains.

La graine de maïs est formée d'un embryon, d'un tissu de réserve, l'albumen et d'une enveloppe fine et translucide, le péricarpe. L'albumen est constitué essentiellement de grains d'amidon; c'est l'amidon corné qui donne sa couleur aux grains de Maïs, généralement jaune, blanc, rouge ou noir.

Le système racinaire du Maïs est composé d'un grand nombre de racines adventives situées sur les nœuds à la base de la tige. Il est caractérisé par des racines traçantes (dites racines de surface), qui prélèvent l'eau et les nutriments nécessaires à la plante dans les couches les plus superficielles du sol. Ce type d'exploitation des ressources du sol fait que la plante est très exigeante en azote et en eau, proportionnellement aux rendements élevés qu'elle permet; ce qui pose de graves problèmes environnementaux dans les régions tempérées.

Le maïs a les fleurs mâles et femelles qui sont portées par la même plante mais placées à des endroits différents: l'inflorescence femelle (l'épi) se développe latéralement à partir d'un bourgeon axillaire, inséré à la base d'une feuille située au milieu de la plante. L'épi possède 12 à 20 rangées d'ovules surmontées de longs styles (les soies). L'inflorescence mâle (la panicule) est constituée d'épillet composé de deux fleurs. Ramifiée, elle est située à l'extrémité de la tige

Le maïs est une plante allogame c'est-à-dire que la fécondation est majoritairement croisée (dans 90% des cas) et a lieu entre deux plantes distinctes. Les fleurs femelles sont fécondées par le pollen d'une autre plante, l'hybridation est naturelle chez le maïs (GNIS, 2007).

### ***1.2.3 L'écologie du maïs***

Le Maïs ainsi que d'autres graminées tropicales (comme la canne à sucre ou le sorgho), fait partie des plantes dites en C4. (GUY, 1984). Ce métabolisme particulier confère au maïs un meilleur rendement pour la photosynthèse c'est-à-dire pour la conversion de l'énergie lumineuse en matière organique que les céréales de nos latitudes qui sont des plantes en C3. La culture du Maïs nécessite une température minimum de 10°C pour une germination active et au moins 18°C pour sa floraison. Son rendement dépend de la satisfaction de ses besoins en eau en particulier dans les deux (02) semaines précédant et suivant la floraison (période critique). C'est une culture qui préfère les sols profonds et riches mais qui peut s'accommoder à de conditions plus difficiles comme les sols sableux ou argileux voire calcaires, sous réserve d'assurer les apports d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires (GUY, 1984)

### ***1.2.4 La culture du maïs***

#### ***1.2.4.1 Préparation du sol***

Le maïs est doté d'un puissant système racinaire. Il est donc très sensible à l'amélioration des propriétés physiques du sol. Le labour permet une augmentation de rendement de l'ordre de 2 %. Pourtant en culture extensive, le labour n'est pas toujours pratiqué. Le semis est fait directement. C'est en culture intensive que le labour est réalisé en traction animale ou motorisé. Un travail superficiel est ensuite repris après le labour à l'aide d'un pulvérisateur ou une herse.

#### ***1.2.4.2 Semis***

Pour le semis, il est souvent effectué de façon manuelle au Burkina Faso ou fait à l'aide de semoir motorisé dans les cultures intensives. La densité de semis varie selon la richesse du sol, la fumure, la pluviométrie, la possibilité d'irrigation et la précocité. Les densités optimales sont généralement comprises entre 40 et 60 000 pieds /ha. Le poids de semence est de l'ordre de 15 à 25 kg /ha. Les écartements sont de 80 cm entre les lignes et 40 à 50 cm sur les lignes. La profondeur de semis varie de 2 à 6 cm selon la qualité du sol.

#### ***1.2.4.3 Fertilisation***

La fertilisation du maïs dépend des variétés en général des exigences de la variété et des conditions de la zone de culture. Cependant, il est à noter que le maïs est l'une des céréales les plus exigeantes et répondant le mieux aux fumures et entretiens culturaux. L'apport de fertilisants

est utile pour obtenir de bons rendements et éviter d'épuiser le sol. Il est conseillé d'associer la fumure organique à la fertilisation minérale (éléments minéraux N, P, K) nécessaire au développement de la culture. Pendant la préparation du sol, apporter selon le niveau de fertilité du champ 10 à 20 tonnes de fumier bien décomposé à enfouir au moment du labour. Dans les régions où l'élevage est absent, enfouir les résidus de récolte ou les produits de la jachère car le maïs réagit très bien à la fumure organique. On peut aussi apporter 100 kg à 250 kg/ha d'engrais N P K S Mg 15-15-15-6-1 (CTA, 2012)

La fertilisation peut aussi se faire par apport de compost, de fumier de ferme ou autres déjections d'animaux au moment du labour, à raison de 20 à 50 tonnes (200 à 500 sacs de 100 kg) par hectare tous les deux ans, soit un épandage de 2 à 5 sacs sur 100 m<sup>2</sup>. Coupler le sarclage 3 à 4 semaines après le semis avec l'engrais de couverture. La fumure de fond est appliquée au labour par l'engrais complet 20.10.10 à la dose de 150 kg par ha, ou constituée de compost, de fientes de poules ou autres déjections d'animaux à raison de 20 à 50 tonnes par hectare (200 à 500 sacs de 100 kg), soit un épandage de 2 à 5 sacs sur 100 m<sup>2</sup>. La deuxième fertilisation, encore appelée fumure de couverture est appliquée à 6 semaines du labour (apporter de l'urée à raison de 100-150 kg/ha, soit 1 à 1,5 kg d'urée autour de chaque poquet) pour la première moitié. La deuxième application de fumure de couverture intervient à l'apparition des fleurs mâles. Toujours tenir compte de la rentabilité de l'exploitation, lors du choix des options pour la fertilisation et favoriser autant que possible, la fumure organique. (CTA, 2012)

Au Burkina Faso les engrais utilisés généralement pour le maïs sont le NPKSB dosant 14-23-14-6-1 et l'urée dosant 46% de N. Ainsi pour une culture extensive les doses utilisées sont: NPK 100 kg ha<sup>-1</sup> et 100kg ha<sup>-1</sup> d'Urée, pour un rendement attendu de 2 à 3 t ha<sup>-1</sup>. Pour une production semi-intensive il est recommandé 200kg ha<sup>-1</sup> de NPK, 50kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 100kg ha<sup>-1</sup> pour Urée 1 et 50kg ha<sup>-1</sup> pour Urée 2, avec un rendement escompté de 3,5 à 6 t/ha. Enfin pour une production intensive il faut 300kg ha<sup>-1</sup> de NPK, 50kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 100kg ha<sup>-1</sup> d'Urée1 et 50kg ha<sup>-1</sup> d'Urée (INERA, 2000).

#### ***1.2.4.4 Désherbage du maïs***

Deux à trois sarclages sont nécessaires. Le 1<sup>er</sup> intervient au démariage-épandage d'engrais et la date des autres est fonction de l'enherbement.

Les désherbants chimiques peuvent être employés en pré-semis, au semis, en post semis, pré levée et en post levée du maïs ou des mauvaises herbes. Le traitement peut être réalisé en plein c'est-à-dire sur toute ou partie de la surface du sol ou en localisé sur les rangs et les entre lignes

non traitées seront nécessairement binées. Il peut être également réalisé en traitement dirigé entre les lignes de maïs.

#### ***1.2.4.5 Le maïs dans la rotation***

Le maïs est une plante exigeante qui vient après une plante améliorante (légumineuse, culture fertilisée). Il peut également venir en tête de rotation.

Dans les pays cotonniers, le maïs vient souvent après le cotonnier pour profiter du reliquat de fumure du coton. En culture extensive, le maïs est souvent cultivé en association avec le niébé, l'arachide, le coton et le riz. La monoculture de maïs est possible bien qu'elle présente les risques de dégradation du sol (tassement, érosion). En effet, la rotation permet un bon développement des plantes et aide le sol à garder ses substances minérales et favorise le maintien de la fertilité.

#### ***1.2.5 Production et consommation de Maïs au Burkina Faso***

Au Burkina Faso, le Maïs est une culture essentiellement pluviale (IDDI, 1987). La région ouest du pays avec une superficie de près de 58000 km<sup>2</sup> soit 20% du territoire national est la zone par excellence de production du maïs en raison des conditions climatiques qui lui sont favorables. En vue d'une intensification de la culture du Maïs, des efforts sont entrepris ces dernières années avec la vulgarisation de la petite irrigation. Il y a aussi l'utilisation des cultivars qui ont généralement un cycle court qui se rencontrent dans tout le pays (Sanou, 1996). En effet, grâce à la recherche, les producteurs disposent des variétés à haut rendement atteignant 5 à 6 T/ha. La production nationale de maïs a atteint 1133384 T en 2010 contre 606291 T en 2001 (FAO, 2011). Selon une étude réalisée par le (MAHRH, 2001) sur la consommation des céréales sèches en zone urbaine, le Maïs est la plus appréciée en ville. Il représente 54% de la consommation de céréales dans les deux grandes villes: Ouagadougou et Bobo-Dioulasso et un peu moins de (30%) dans les autres villes.

#### ***1.2.6 Contraintes à la culture du maïs***

##### ***1.2.6.1. Variabilité climatique***

Le Maïs en conditions tropicales est en grande partie cultivé en pluviale, même dans les zones où la sécheresse est considérée comme étant la contrainte abiotique la plus importante (Dozsi, 2002). Selon (Kambire et al., 2010) la période de sécheresse la plus cruciale du maïs est de 5 jours avant la floraison femelle. Selon le (CIMMYT, 1991), durant cette période critique (20 jours avant la floraison et 10 jours après), la plante absorbe 45% des besoins en eau. Un stress hydrique à cette période entraîne des pertes de rendement qui peuvent atteindre 60%.

### **1.2.6.2 Baisse de la fertilité des sols**

La baisse de la fertilité des sols se montre de plus en plus préoccupante par suite de la quasi-disparition des jachères imputable à une pression démographique de plus en plus forte sur la terre et surtout de leur exploitation continue. Ce qui entraîne une diminution de la teneur en matière organique et minérale relativement dans ces sols. La teneur en matière organique des sols est inférieure à 1% pour 55% des sols, de 1 à 2% pour 29% et supérieure à 2% pour seulement 16% des sols (PNUD FAO, 2008). (Pieri, 1989) observe des taux de MO de l'ordre de 0,7% dans les sols ferrugineux tropicaux sous culture et inférieures à 3% sous végétation.

Le faible taux de matière organique de ces sols ne permet pas de rentabiliser l'apport d'engrais minéraux; ce qui constitue un facteur limitant pour la productivité de ces terres.

### **1.2.7 Maladies**

Les maladies causées par des champignons, des bactéries, des virus entraînent d'importantes pertes de rendement au champ. Des rapports épidémiologiques (CIMMYT, 2000) indiquent que les pertes de rendement peuvent atteindre 80% dans le cas du Mildiou. Au Burkina Faso, la maladie de la striure du maïs provoquée par le Maize Streak Virus (MSV) est l'une des principales causes des pertes de rendements du maïs (Sere, 1990; Traore, 1993). En 1983, les pertes occasionnées par l'explosion de la maladie ont été estimées selon (Sere, 1990) à 30% de la production dans la zone maïsicole du pays.

Cependant l'utilisation des variétés résistantes a permis de réduire l'incidence de la maladie de 6% en 1983 et 3% en 1990 (Traore, 1997).

### **1.2.8 Insectes**

Les insectes par leurs attaques causent de multiples dégâts aux cultures au champ entraînant des dégâts sur les tiges (borers), les racines, les feuilles (aphides, et criquets). C'est le cas aussi des insectes vecteurs de maladie dont les travaux conduits par (Traore et al. 1996) au Burkina Faso ont permis d'identifier l'espèce *Cicadulina mbila* Naudé (*Homoptera Cicadellidae*) comme l'espèce la plus redoutable dans la transmission du MSV. A la post production, les dégâts sont causés par les charançons, les grands capucins rendant parfois inutilisables les grains en entrepôt.

### **1.2.9 Mauvaises herbes**

La compétition des mauvaises Herbes avec les cultures pour l'eau, les nutriments, la lumière explique pourquoi leur incidence néfaste sur les rendements peut atteindre des niveaux très importants (Doztsi, 2002). Selon (ITA 2001), dans les savanes nigérianes, les pertes de rendement infligées par les mauvaises herbes atteignent 92% de la production. Le striga est une véritable peste

en Afrique subsaharienne. Chaque année, il cause un manque à gagner correspondant à 7 milliards de dollar US à l'économie africaine (FAO, 2001).

### ***1.3 Généralités sur le Sorgho***

#### ***1.3.1 Origine***

Le sorgho a une origine incertaine, ainsi que la période de sa domestication. En effet, (De Wet et al., 1970) ont étudié des documents archéologiques, mais n'ont trouvé que peu d'informations sur le sorgho. Ils suggèrent alors que le sorgho a des origines diverses. Les études relatives à l'introggression montrent que les sorghos cultivés sont probablement apparus à la faveur d'une sélection disruptive (Dogget, 1988). Ils dériveraient de la sous espèce *Arundinaceum* et la race *Verticilliflorum*

#### ***1.3.2 Taxonomie***

Le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), est une herbacée annuelle de la famille des poaceae (ex-Graminées), sous famille des *Panicoïdeae*, tribu des *Andropogoneae* et du genre *Sorghum* (Dogget, 1988). C'est une espèce monoïque préférentiellement autogame.

#### ***1.3.3 Morphologie du sorgho***

Le système racinaire du sorgho est développé, et avec de nombreux poils radiculaires (presque deux fois plus que le maïs, par exemple). Au moment de la germination apparaît la racine primaire ou embryonnaire. Les racines secondaires se forment à partir du premier nœud; ce sont ces racines qui en se développant constituent le système racinaire abondant de la plante (House, 1987).

Le chaume ou la tige est constitué de séries de nœuds alternant avec des entre-nœuds. La tige est glabre et robuste, mesurant de 0,5 cm à 5 cm de diamètre près de la base, s'amenuisant vers l'extrémité terminale et ayant une longueur de 0,5 m à 4 m.

Les feuilles sont distribuées de façon variable le long de la tige chez le sorgho. La longueur des feuilles peut atteindre 1 m et plus, pour 10 à 15 cm de largeur. Leur nombre varie grandement suivant les plants. Les feuilles naissent le long de la tige en alternant sur deux lignes et se composent d'une gaine et d'un limbe. La nervure médiane est saillante, verdâtre ou blanchâtre, aplatie ou légèrement concave sur la face supérieure et convexe sur la face inférieure (House, 1987).

### **1.3.4 La biologie du sorgho**

#### **1.3.4.1 Germination et développement de la plantule**

Lorsqu'une graine est enfouie dans un sol humide, elle s'imbibe d'eau et gonfle. La germination se produit rapidement et dans les sols chauds, le coléoptile apparaît le premier au-dessus du sol au bout de trois à quatre jours (le temps est plus long, jusqu'à dix jours dans des sols plus froids -13 -20° C). Les plantes du sorgho restent en phase végétative environ 30 à 40 jours, durant lesquels toutes les feuilles sont formées. Après cette période, la croissance se fait par élancement cellulaire (House, 1987).

#### ➤ **Tallage du sorgho**

La plante de sorgho n'a généralement qu'une seule tige. Certains sorghos tallent abondamment en particulier le *sudangrass* et les sorghos fourragers. Les sorghos-grains ont une capacité de tallage variable mais en général ils ne tallent que si l'humidité du sol est convenable. Les talles prennent naissance à partir de bourgeons adventifs au nœud basal aussitôt après la sortie des racines secondaires. L'inflorescence de la tige principale fleurit en même temps que celles des talles, ou bien ces dernières fleurissent après (House, 1987).

#### **L'inflorescence**

L'inflorescence est une panicule qui peut être courte et compacte ou bien lâche et ouverte : de 4 à plus de 25 cm de long sur 2 à plus de 20 cm de large. L'axe central de la panicule ou rachis peut se trouver complètement masqué par la densité des branches secondaires et tertiaires de la panicule ou être complètement exposé.

La ramification ultime des branches secondaires ou tertiaires, est un racème qui consiste toujours en un ou plusieurs épillets. Un épillet est toujours sessile et l'autre pédicellé à l'exception de l'épillet terminal qui est sessile et flanqué de deux épillets pédicellés. Chaque épillet est constitué d'une paire de glumes et de glumelles. L'épillet a deux pistils et trois étamines.

Les fleurs de sorgho s'ouvrent pendant la nuit ou commencent le matin. Ceux au sommet de la panicule s'ouvrent en premier et il prend approximativement 6 à 9 jours pour que la panicule entière fleurisse. La graine de sorgho est un caryopse composé principalement d'enveloppe qui constitue le péricarpe ; d'un tissu de réserve ou albumen encore appelé endosperme; et d'un embryon.). Le poids de 1000 grains se situe entre 60 à 85 grammes (House, 1987).

### **1.3.5 Ecologie du sorgho**

#### ➤ **Température**

Le sorgho est cultivé dans les régions tempérées et sous les tropiques jusqu'à 2300 m d'altitude. Il a une large tolérance des températures. Cependant, la température optimale est de 25-31°C, mais des températures aussi faibles que 21°C n'ont pas d'incidence grave sur la croissance et le rendement. Mais si la température nocturne tombe en dessous de 12-15°C au cours de la période de floraison, cela peut entraîner la stérilité. (Ouédraogo, 2014)

### **Lumière**

Le sorgho est photopériode: c'est une plante de jour court. A des latitudes élevées, certains cultivars tropicaux ne fleurissent pas ou ne produisent pas de graines. Le sorgho est une plante en C4, ce qui lui confère une meilleure efficacité en conditions chaudes et sèches. Des variétés sont sélectionnées en fonction de ces contraintes climatiques. (Ouédraogo, 2014)

#### ➤ **Besoins en eau**

Le sorgho est surtout une plante des milieux tropicaux chauds et semi-arides qui sont trop secs pour le maïs. Il est particulièrement adapté à la sécheresse en raison d'un ensemble de caractéristiques morphologiques et physiologiques, notamment son système racinaire étendu, et son aptitude à interrompre sa croissance pendant les périodes de sécheresse et à la reprendre une fois le stress disparu. Des précipitations de 500-800 mm bien réparties pendant la saison de production conviennent généralement au sorgho. (Ouédraogo, 2014)

#### ➤ **Exigences du sol**

Le sorgho est bien adapté sur les vertisols lourds que l'on trouve couramment dans les tropiques, mais les sols sableux légers lui conviennent tout autant. C'est toutefois sur les limons et les limons sableux que sa culture réussit le mieux. La fourchette de pH du sol supportée par le sorgho est de 5,0-8,5. Il est adapté aux sols pauvres et peut produire du grain sur des sols où beaucoup d'autres cultures échoueraient (Ouédraogo, 2014).

### **1.3.6 La culture du sorgho**

Plusieurs types de culture du sorgho existent en fonction de l'alimentation en eau: culture de décrue, culture de bas-fond, culture pluviale. Le sorgho est produit soit en culture pure, soit en association avec le maïs, l'arachide, le niébé. Il est souvent cultivé en rotation après le cotonnier ou le maïs.

#### **1.3.6.1 Semis**

Le semis est fait soit directement sans labour (culture manuelle) soit après un labour (culture mécanisée). La date de semis doit être précoce pour permettre une augmentation du cycle végétatif, la date d'épiaison étant fixe.

La profondeur de semis est de 3 cm avec une dose de 4 à 5 graines par poquet. Les écartements sont de 80 à 100 cm entre les lignes et 25 à 40 cm sur les lignes. La densité de semis varie fortement selon la variété et l'intensité culturale

Les variétés de bas-fond de 120 jours seront semées le plus tôt possible, fin mai début juin. A partir du 1er juillet, on évitera de semer du sorgho, sauf les variétés précoces de 90 jours que l'on peut utiliser jusqu'au 15 juillet.

#### ***1.3.6.2 Démariage ré-semis et repiquage***

Une bonne densité est un gage de réussite de la culture du sorgho. Le démariage du sorgho est une opération cruciale à effectuer 15 jours à trois semaines après le semis. On gardera trois pieds par poquet. Un ou des ré-semis précoces sont possibles. Le repiquage de sorgho est possible et a de grandes chances de réussite, sauf en cas de sécheresse prolongée. Il faut donc attendre fin juillet début août que la saison des pluies soit bien installée et repiquer après une grosse pluie supérieure à 30 mm (Ouédraogo, 2014)

#### ***1.3.6.3 Sarclo-binages***

Deux à trois sarclages sont nécessaires. Le premier intervient 8 à 10 jours après la levée. Le second 3 semaines après le semis. Les sarclo-binages permettent une augmentation du stock d'eau tout en détruisant les adventices.

#### ***1.3.6.3 Fertilisation***

Les quantités d'éléments fertilisants exportés dépendent du niveau de production et des conditions de culture. Au Burkina Faso, en tenant compte des exportations, plusieurs formules ont été recommandées suivant différentes zones agro-climatiques. En générale, il est recommandé 100 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK au 15<sup>ème</sup> jour après semis et 50 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée au 45<sup>ème</sup> jour après semis. Quant à la fumure organique, la dose qui permet d'obtenir des rendements acceptables est de 5 t.ha<sup>-1</sup> de fumier bien décomposé ou de compost tous les deux ans.

Cependant, la culture du sorgho est mise au second plan quant à la fertilisation. Généralement, que ce soit l'engrais organique ou minéral, il est utilisé dans la plupart des cas pour la fertilisation des champs de maïs, car le producteur suppose que le sorgho n'est pas exigeant en terme de fertilisants.

#### ***1.3.7 Usage du sorgho***

La consommation totale de sorgho dans le monde correspond géographiquement d'assez près à sa production, puisqu'il est pour l'essentiel consommé dans les pays où il est cultivé. Le sorgho a deux usages distincts: l'alimentation humaine et l'alimentation animale. Au début des années 60, une très grande partie de la production servait directement à l'alimentation humaine,

mais depuis cette proportion n'a cessé de baisser. En fait, la consommation de sorgho pour l'alimentation animale a plus que doublée depuis le début des années 60, passant de 30 à 60%, alors que le volume de l'utilisation totale pour l'alimentation humaine est resté inchangé ou a même légèrement diminué (FAO, 1991). Si dans les principales régions productrices d'Afrique et d'Asie, plus de 70% du sorgho sont consommés par l'Homme, en Amérique du Nord, Amérique centrale, Amérique du Sud et Océanie par contre la plus grande partie de la production sert à l'alimentation animale. La culture a également une vocation industrielle orientée sur la production de la pâte à papier, la production du fuel.

### ***1.3.8 Importance du sorgho au Burkina Faso***

Le sorgho est la première céréale alimentaire au Burkina Faso. La production en grain est estimée en moyenne à 1,2 million de tonnes, soit 47% de la production céréalière nationale. Le rendement moyen est de l'ordre de 850 kg/ha (Barro-Kodombo, 2010). Le sorgho est inscrit comme plante prioritaire dans les stratégies de recherche et de sécurité alimentaire.

Au Burkina Faso, le sorgho grain sert à la préparation de plusieurs mets locaux: *tô* (pâte préparée à partir d'une bouillie), couscous, beignets locaux, galettes, bière locale (*dolo*), sirop et biscuits. Le grain est également consommé frais ou bouilli.

D'autres utilisations du sorgho au Burkina Faso sont :

- l'utilisation de la paille comme fourrage ;
- l'utilisation de la paille dans le compostage ;
- l'utilisation des tiges pour la confection de nattes ;
- etc.

### ***1.3.9 Les contraintes liées à la production du sorgho***

#### ***1.3.9.1 Les mauvaises herbes***

Appelé *sêgê* en jula, *zeeme* ou *waongo* en moore, le striga (*Striga hermonthica*) est de loin la mauvaise herbe qui parasite le sorgho au Burkina Faso. Il est même un facteur limitant de la production du sorgho dans certaines régions du pays. Il est associé aux conditions de faible fertilité des sols.

#### ***1.3.9.2 Contraintes pédoclimatiques***

Les contraintes pédoclimatiques sont essentiellement la pauvreté des sols, la faible pluviométrie et la mauvaise pluviosité, ainsi que les poches de sécheresses cycliques dues au phénomène récurrent des changements climatiques. Les variétés locales de sorgho qui ont

essentiellement des cycles longs et ne tolérant pas la sécheresse n'arrivent plus à donner de bon rendement.

### **1.3.9.3 Contraintes socio-économiques**

Ces problèmes sont liés, d'une part, à l'étroitesse du marché des produits agricoles, à l'enclavement des zones de production dans un pays lui-même enclavé. En plus de cela, il y a le coût élevé des intrants, au manque d'organisation de la commercialisation des produits vivriers, le manque d'unités de transformation, à la faiblesse du système de vulgarisation, à l'insuffisance de crédit agricole et des moyens de stockage, à la non existence d'un réseau bien organisé de distribution de semences améliorées, et d'autre part à la faible productivité des variétés locales, au problème récurrent de la divagation des animaux dont les conséquences sont les conflits agriculteurs - éleveurs, etc.

### **1.3.10 Maladies du sorgho**

Il s'agit surtout de l'antracnose causée par *Colletotrichum graminicolum* qui provoque une pourriture rouge. Le moyen de lutte constitué par résistance variétale.

En plus de l'antracnose causée par *Colletotrichum graminicolum*, on observe l'helminthosporiose (*Helminthosporium turcicum*) qui provoque des taches bronzées à rougeâtres. Le moyen de lutte est la résistance variétale.

Enfin nous avons les maladies des panicules dont les plus importantes sont : les charbons causés par *Sphacelotheca sp* ; l'ergot causé par *Sphacelia sorghi*; les moisissures des grains causées par *Fusarium sp* et *Curvularia sp*. Les moyens de lutte sont la désinfection des semences et la résistance variétale.

#### **1.3.10.1 Insectes**

Les plus importants insectes du sorgho sont:

La cécidomyie (*Contarinia sorghicola*) qui est l'ennemi le plus constant pour des dégâts les plus importants. Les borers ou foreurs de tiges; il s'agit de larves d'insectes *Busseola fusca*, *Eldana saccharina*, *Chilo partellus*, etc.

**Moyen de lutte** : brûlis ou enfouissement des pailles attaquées.

Les insectes des panicules, surtout les panicules compactes. Il s'agit de pucerons et de punaises.

La mouche des pousses (*Atherigona soccata*). L'Utilisation de variétés résistantes ou tolérantes un moyen de lutte.

## ***1.4 Généralités sur le niébé***

### ***1.4.1 Zones de culture du niébé***

Le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) est de la famille des Fabacées. sa morphologie varie selon les variétés. On distingue généralement le type érigé; le type semi-érigé; le type rampant et le type grimpant. Le port peut cependant varier au cours de la croissance et du développement de la plante (Coulibaly, 1984). Selon (Dugje *et al.*, 2009), le niébé peut être cultivé en conditions pluviales, sous irrigation ou avec l'humidité résiduelle du sol le long des fleuves, ou dans les plaines lacustres en saison sèche, pourvu que les minima et maxima de températures (nocturnes et diurnes) soient dans une fourchette de 28 à 30° C pendant la campagne culturale. Le niébé affiche une bonne performance dans les zones agro-écologiques où la pluviométrie est de 500 à 1200 mm/an.

Cependant, grâce aux variétés précoces et extra précoces, il peut pousser dans le sahel où la pluviométrie est inférieure à 500 mm/an. Il tolère la sécheresse et s'adapte bien aux sols sablonneux et pauvres. Toutefois, les meilleurs rendements sont obtenus sur des sols bien drainés, sableux-limoneux à limoneux-argileux, à pH 6 ou 7.

### ***1.4.2 Systèmes de culture intégrant le niébé***

Le niébé peut être semé en culture pure ou en association avec d'autres cultures (céréales ou légumineuses). Dans ces associations de cultures, les paramètres tels que la densité de semis, la date de semis, le nombre de cultures en association (2 à 3) varient d'une région à l'autre.

Ces paramètres tiennent compte de la fertilité des sols, de la disponibilité de semences et des besoins alimentaires des ménages. Selon (César, 2004), le paysan connaît depuis longtemps l'avantage des cultures associées graminées-légumineuses. Il ressort dans les travaux de (Coulibaly *et al.* 2012) que sur la sole d'association maïs/légumineuse, la biomasse produite peut être augmentée de plus 22% comparativement à la sole de culture pure de maïs.

### ***1.4.3 Facteurs influençant le rendement du niébé***

#### **➤ La date de semis**

La plupart des variétés semi-érigées sont photosensibles. Un semis précoce empêche la floraison, mais favorise une croissance végétative abondante et, par conséquent, le risque d'une baisse du rendement en grain (Dugje *et al.*, 2009).

#### ***1.4.4 Exigences de la culture du niébé***

Le choix du site compte beaucoup pour la culture du niébé. Pour le niébé pluvial, il faut opter pour un sol sableux-limoneux bien drainé. Le niébé ne tolère pas les sols trop humides ou engorgés et ne doit pas être cultivé sur les sols mal drainés.

Egalement il est important de choisir des variétés adaptées à la zone agro-écologique en tenant compte des conditions climatiques et des systèmes de cultures prédominants. Le choix de la variété se fonde sur le cycle cultural, le potentiel de rendement, la tolérance à la sécheresse, la réactivité à la longueur du jour et la résistance aux maladies et aux ravageurs.

L'établissement d'un champ de niébé, nécessite un semis tardif afin d'éviter que le niébé n'arrive à maturité pendant les pluies. Il faut cependant éviter les plantations trop tardives afin de se prémunir du risque d'un arrêt prématuré des pluies. Cela implique une bonne prévision du début et de la durée de la saison pluvieuse et, de surcroît la connaissance du cycle de la variété mise en culture.

Avant le semis, il est nécessaire de traiter les semences avec du Benomyl 50%, Carbenzine, Captan ou Thirame à la dose de 3 g/kg (1 sachet) de semences, ou Apron Pus à raison de 10g/4-5 kg de semences (1 sachet) ou Apron Star 42 WS à la dose de 10 g/8 kg de semences /1 sachet. Ce traitement favorisera une bonne germination et protégera les plantules contre les attaques d'insectes et de champignons dès la levée.

#### ***1.4.5 Contraintes à la culture du niébé***

La culture du niébé est soumise à plusieurs contraintes au Burkina Faso comme dans la plupart des pays sahéliens. Parmi ces contraintes, on peut citer l'archaïsme des moyens de production et des techniques de culture qui sont généralement inadaptés aux conditions du climat, la pauvreté des producteurs, ainsi que les maladies et les ravageurs qui occupent une grande place dans ces contraintes.

#### ***1.4.6 Les maladies et les insectes***

Le niébé est soumis à des attaques de champignons, de bactéries et de virus. Différentes maladies touchent différentes parties de la plante à divers stades de sa croissance. Les plus importantes et les plus courantes sont l'antracnose, la pourriture de la tige (*Sclerotium*), la pourriture des racines du collet, la fonte des semis, la *cercosporiose*, les taches foliaires (*Septoria*), le flétrissement fusarien et les gales.

Les insectes nuisibles constituent des contraintes majeures à la production du niébé en

Afrique de l'Ouest. A chaque phase de sa croissance, le niébé est sévèrement attaqué par une multitude d'insectes. Alors, l'emploi des variétés résistantes et d'insecticides appropriés s'avère obligatoire.

#### ***1.4.7 Les mauvaises herbes***

Les mauvaises herbes servent souvent d'abri pour les ravageurs, et sont en compétition avec la culture pour les éléments nutritifs, la lumière et l'eau. Ainsi, leur mauvaise gestion peut réduire considérablement les rendements en quantité et en qualité. Les deux types d'adventices du niébé sont le *Striga sup* et le *Alectra sp.*

## Chapitre 2: Matériels et Méthodes

### 2.1 Présentation de la zone d'étude

L'étude a été conduite sur les quatre sites pilotes du projet BIODÉV dans la région du centre ouest précisément dans la province du Ziro au Burkina Faso. Les villages concernés sont : Cassou, Kou, Vrassan et Dao (figure1).

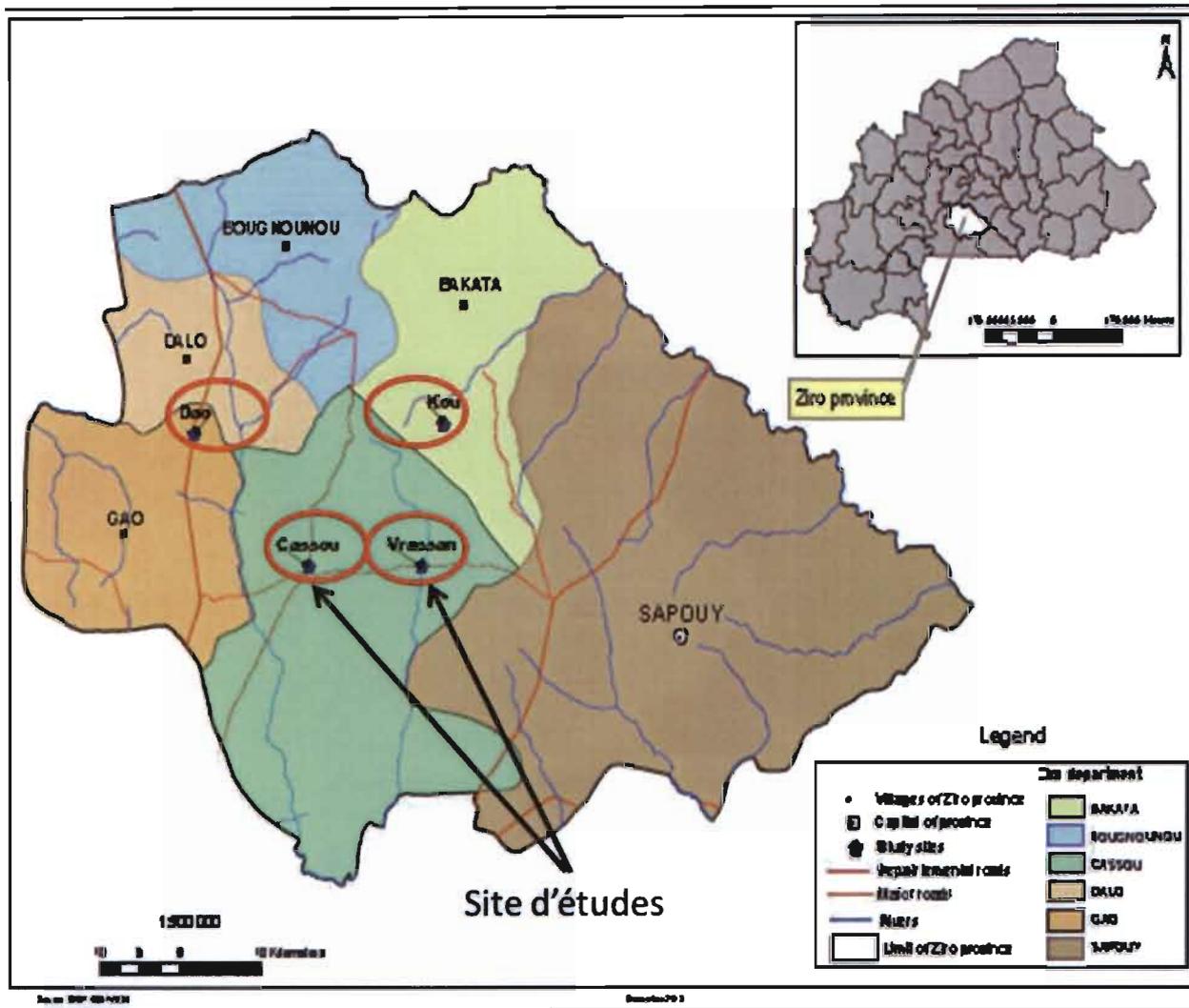


Figure1: Localisation des sites pilotes du projet BIODÉV dans la province du Ziro.

Source: (BIODEV, 2013)

Cassou est le chef-lieu de la Commune de Cassou, il est distant de 30 km de Sapouy, chef-lieu de la province du Ziro dont relève administrativement la commune. Elle est située à 110 km de Koudougou, Chef-lieu de la région. Sa position géographique entre les isohyètes 800 et 900 mm lui confère un avantage sur le plan agropastoral. Sa population est estimée selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (INSD, 2006) à 40 038 personnes dont 50,48% sont des femmes.

Le village Kou relève de la commune rurale de Bakata située dans la province du Ziro. Le village est à 30 km du chef-lieu de la province Sapouy et à 11 km du chef-lieu de la commune de Bakata dont il relève. La population de la commune de Bakata était estimée à 1923 habitants répartie dans 269 ménages ; les femmes représentant 52,5% de la population (INSD, 2006).

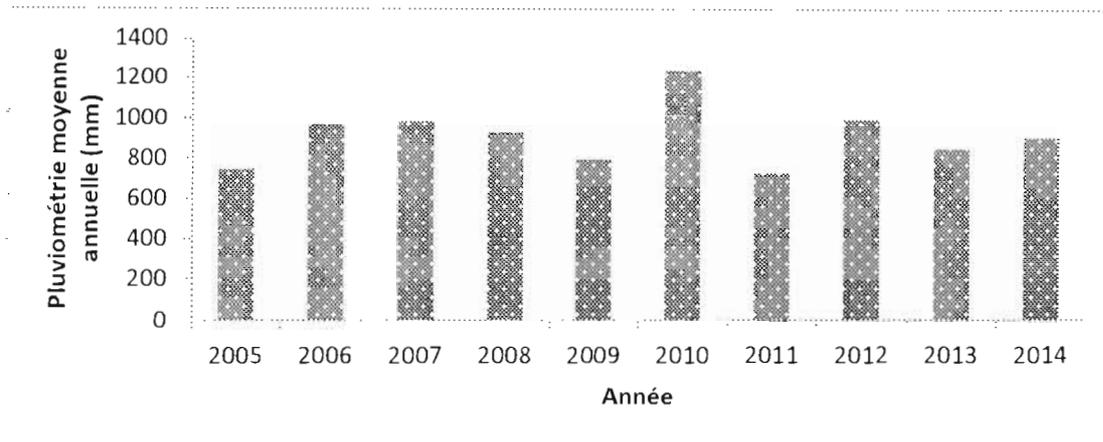
Le village de Dao est un village de la Commune Rurale de Gao dans la province du Ziro. La commune rurale de GAO héberge une population de 1982 habitants répartis dans 258 ménages avec les femmes représentant 53,8% de la population.

Le village de Vrassan est situé à mi-chemin entre Sapouy et Cassou, c'est-à-dire à 15 km de chacune. A l'instar de Cassou, Vrassan relève de la commune rurale de Cassou. Vrassan a une population de 1011 habitants, répartie dans 155 ménages. Les femmes représentent 50,7% de la population totale (INSD, 2006).

Ces 4 villages pilotes du projet BIODÉV sont tous riverains à la Forêt Protégée de Cassou. CAF: Chantier d'Aménagement Forestier, le paysage est composé d'une végétation variant entre des faciès de savanes boisée, arborée et arbustive. Les principales espèces d'arbres et d'arbustes sont: *Detarium micropum*, *Vitellaria paradoxa*, *Lannea microcarpa*, *Acacia* sp. *Anongéius leiocarpus*, *Prosopice africana*, *Bombax costatum*, *Balanitès aegyptiaca*. Le long des cours d'eau est occupé par des formations ripicoles dominées par les essences telles que *Khaya Senegalensis*, *Daniellia oliveri* et *Mitragyna inermis*. Sur les endroits non encore exploités, le tapis graminéen est important et constitué d'espèces vivaces telles que *Andropogon gayanus*, *andropogon pseudapricus*. On y rencontre également des espèces annuelles telles que *Pennisetum pedicellatum*, *Panicetum americanum*, *Loudetia togoensis* etc. Cette végétation autrefois dense est de plus en plus sous l'emprise humaine. En effet, les défriches pour l'agriculture, la coupe souvent anarchique du bois de chauffe et les feux de brousse ont considérablement réduit le couvert végétal au point d'être à l'origine des menaces de disparition de certaines espèces ligneuses comme *Khaya senegalensis*, *Bombax costatum*, *Lannea microcarpa*, *Parkia biglobosa*, etc.

Le climat de la zone d'étude est du type sud soudanien ou soudanien caractérisé par l'alternance de deux saisons: une saison sèche qui dure 6 mois et une saison pluvieuse qui s'étend sur 6 mois. Deux types de vents soufflent dans la région: l'harmattan et la pseudo mousson.

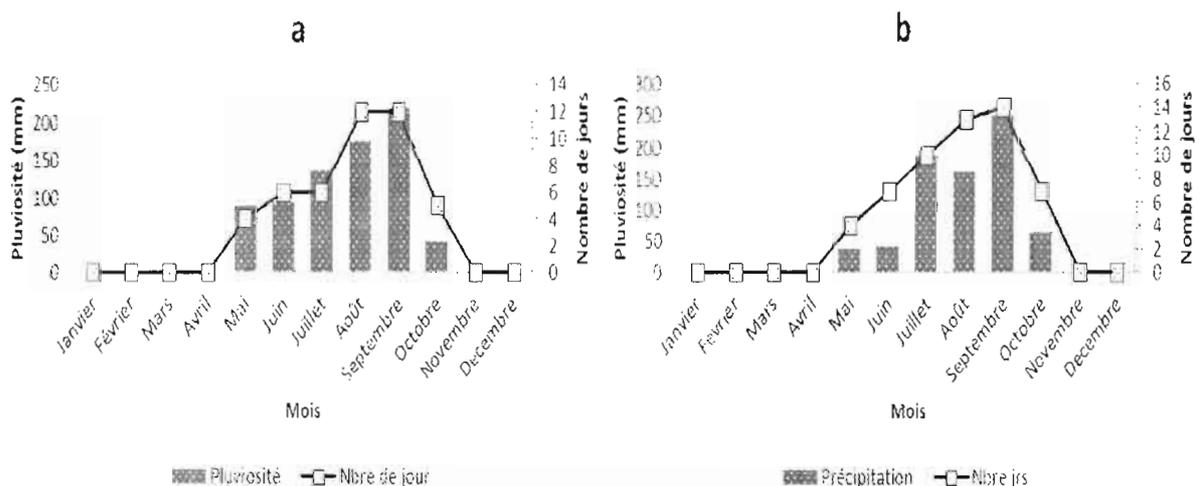
Sur la période de 2005 à 2014, la province du Ziro a enregistré une pluviométrie moyenne de 900 mm. (figure 2).



**Figure 2: La pluviométrie moyenne annuelle du Ziro de 2005-2014.**

**Source:** Direction Générale de la Météorologie

Au cours de la saison pluvieuse de l'année 2015, les quatre sites Cassou, Dao, Kou et Vrassan ont enregistré respectivement, 754,6mm, 747mm, 778mm et 754,6mm.avec une moyenne de 758,55mm contre 901,3mm en 2014. Donc une baisse de 142,75mm. La figure 3 présente les pluviosités et les nombres de jours de pluie des villages de Cassou (a) et Dao (b). On remarque que les pluies ont débuté au mois de mai et le mois de septembre a enregistré la plus grande quantité de pluies 250 mm à Dao et 217,7 à Cassou repartis respectivement sur 14 et 12 jours (**figure 3**).



**Figure 3: Pluvisité mensuelle en (mm) et nombre de jours de pluies de Cassou (a) et Dao (b) au cours de la saison pluvieuse de 2015**

**Source:** Direction départementale de l'agriculture de Cassou

### **Les sols**

On retrouve quatre types de sols dans la province du Ziro à savoir:

- **Les lithosols sur cuirasse:** il s'agit de sols superficiels, très peu épais avec un recouvrement gravillonnaire et une faible capacité de rétention d'eau ;
- **Les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris :** sols profonds et qui se caractérisent par une texture sableuse en surface et argilo-sableuse dès les 40 à 50 cm, une faible capacité de rétention d'eau.
- **Les sols peu évolués d'érosion gravillonnaire :** se caractérisent par une épaisseur restreinte avec une texture graveleuse à sableuse, une faible capacité de rétention en eau ;
- **Les vertisols à drainage externe possible :** sols profonds à texture argilo-sableuse à argileuse avec une bonne capacité de rétention en eau, avec un drainage externe lent (Bunasols, 1998).

L'agriculture dans les quatre (4) villages est de type extensif et marquée par la disparition progressive de la jachère. On note une baisse et une irrégularité des précipitations au fil des ans. Les principales espèces végétales cultivées dans les villages d'étude sont le sorgho, le mil, le maïs, le riz, le sésame, le coton, l'arachide, le voandzou, la patate, l'aubergine, la pastèque, le niébé, le fabirama, igname, le taro, le manioc.

## **2.2 Le matériel**

### **2.2.1 Le matériel végétal**

Le matériel végétal était composé: des variétés améliorées de maïs (massongo), de sorgho (kapelga) et du niébé (Coomcalé). Ces variétés améliorées sont utilisées par les producteurs des zones d'étude.

Les caractéristiques des variétés étudiées sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous.

*Tableau 1: Les Caractéristiques des variétés de maïs, sorgho et niébé étudiées*

spéculation	Maïs (massongo) (Sanou, 2003)	Sorgho (kapelga) (Brocke et al., 2008)	Niébé (Coomcalé) (Ouédraogo et al., 2009)
Durée du cycle	100 jours	100 à 105jours	70 jours
Rendement escompté	5 à 6 t/ha	1,5 à 1,6 t/ha	800 kg à 1,5 t/ha
Zone (mm de pluie)	>900mm	600-900 mm	400-800 mm

### **2.2.2 Les fertilisants**

Au cours de l'expérimentation, les fertilisants minéraux et organiques qui ont été utilisés pour constituer différentes fumures, Il s'agit de :

- Urée dosant 46% d'azote (N)
- Chlorure de potassium (KCl) dosant 60% de potassium ( $K_2O$ )
- Di-Ammonium Phosphaté (DAP) composé de 18% de N, 46% de  $P_2O_5$
- Triple super phosphaté (TSP) dosant 45% de  $P_2O_5$ :
- Engrais complexe NPK de formule 14-23-14
- Et du fumier de bovin bien composté produit directement par les producteurs.

### **2.2.3 Autres matériels**

Le matériel utilisé au cours des activités de cette étude était composé de:

- un GPS pour la localisation des parcelles expérimentales dans les 4 villages ;
- un pied à coulisse pour mesurer le diamètre des plants de sorgho et de maïs ;
- une balance pour peser des quantités d'engrais à apporter par parcelle et pour le pesage des échantillons de sol ;
- un peson pour peser la paille, les grains, les épis des cultures ;
- une tarière pour le prélèvement des échantillons de sol ;

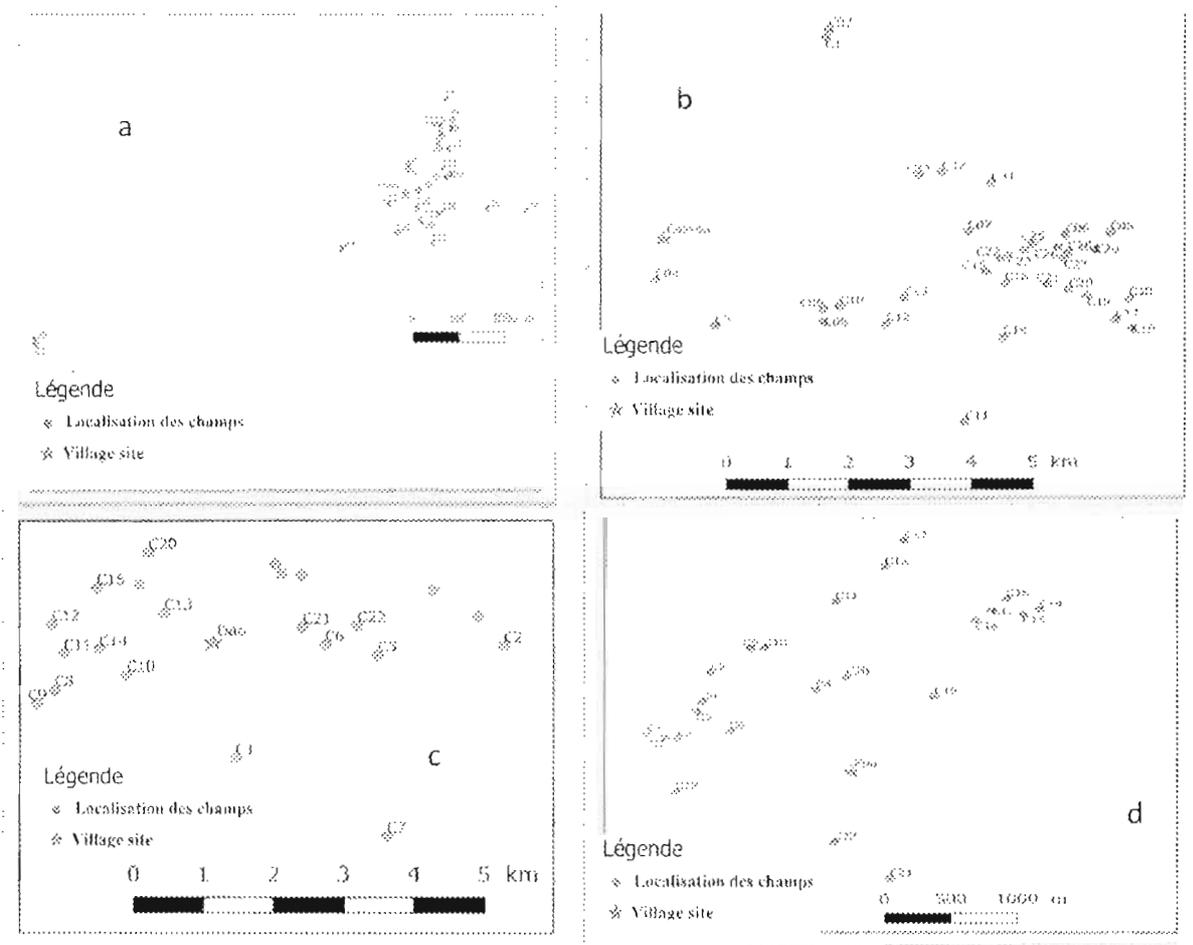
- une règle graduée pour la mesure de la hauteur des plants de sorgho et de maïs ;
- une étuve pour le séchage des échantillons de sol prélevés.

### ***2.3 La Méthodologie***

La méthodologie est basée sur des tests de différentes formulations d'engrais en milieu paysan afin de trouver la bonne formule qui permettra de gérer au mieux la fertilité des sols dans les zones concernées. Pour cela, les essais ont été menés dans les champs de producteurs dans les 4 villages.

Afin de faire le choix des différents champs sur lesquels seront menés les essais, une rencontre a été initiée dans chaque village d'intervention du projet BIODEV pour connaître les pratiques culturales et ainsi choisir, présenter et discuter avec l'ensemble des producteurs partenaires du protocole et des itinéraires techniques cultureux qui seront appliqués. Au cours de cette rencontre, les modalités organisationnelles des expérimentations ont été définies, entre l'équipe de recherche et les producteurs. Sur cette base, des producteurs volontaires ont été identifiés pour la conduite des expérimentations. Par conséquent, dans chaque village considéré comme un groupe, nous avons retenu cinq (5) producteurs par village. Le type de sol, la position du terrain dans le paysage, l'accessibilité pour faciliter le suivi et la collecte des données et la sécurité des cultures (protection contre les animaux) étaient les critères du choix. Ainsi, dans les champs de ces producteurs, nous avons délimité (en présence de ceux-ci) les parcelles de test et expliqué l'itinéraire technique à suivre. Par la suite, le nombre de champs par village a été scindé en deux lots. Dans les champs du premier lot de producteurs a été affectée la culture du maïs et le second lot la culture du sorgho.

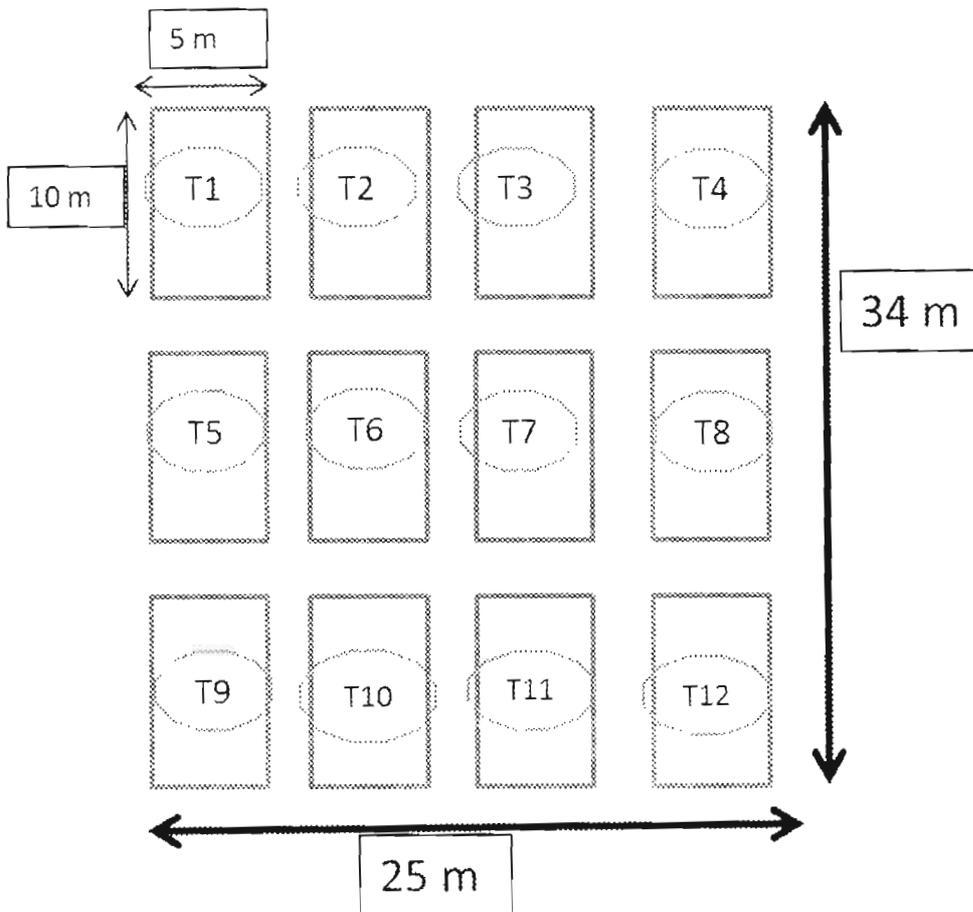
Au niveau des champs de producteurs, une superficie de 850 m<sup>2</sup> a été délimitée par producteur pour la conduite des essais. L'ensemble de ces parcelles a été suivi rigoureusement du piquetage jusqu'à la récolte. Tous les champs ont été géo référenciés à l'aide d'un GPS, pour avoir une vision d'ensemble de la répartition des champs et la distance d'un champ à l'autre dans les zones d'étude (village). La figure ci-dessous donne la répartition des parcelles dans les champs des producteurs par village.



**Figure 4: Présentation de la répartition des champs sur les quatre sites : Vrassan (a), Cassou (b), Dao (c), Kou (d).**

### 2.3.1 Le dispositif expérimental

Le dispositif général utilisé au cours de cette étude est un bloc complet randomisé où chaque producteur représente un bloc (répétition) avec comme facteur étudié, les différentes formules d'engrais testées et le village. Chaque bloc était constitué de 12 parcelles élémentaires couvrant une superficie totale de 850 m<sup>2</sup> et les parcelles étaient espacées de 1 m entre elles. Chaque parcelle élémentaire avait une superficie de 50 m<sup>2</sup> (5m x 10m) (figure 5).



**Figure 5: Dispositif expérimental au niveau de chaque producteur.**

Chaque parcelle élémentaire comptait 08 lignes espacées de 70 cm, et les céréales étaient sur ces lignes espacées de 40 cm (entre les poquets). Chaque parcelle élémentaire constituait un traitement. Ce qui a donné le nombre total de traitements à 12 correspondant au nombre de parcelles élémentaires. Les 12 traitements ont été constitués à partir des engrais chimiques et organiques et de l'association avec le niébé sur la base de l'apport de chaque engrais en des éléments minéraux N, P, K. Le niébé a été associé en tenant compte du fait qu'il est une légumineuse capable de fixer l'azote atmosphérique et l'engrais complexe NPK.

Les traitements constitués (combinaison des différents engrais) sont présentés dans le tableau 2.

*Tableau 2: Différents traitements appliqués dans les essais de diagnostic*

Traitement	Description
T1	Céréale/Niébé + NPK + Fumier
T2	Céréale/Niébé + NPK
T3	Céréale/Niébé
T4	Céréale + N
T5	Céréale + P
T6	Céréale + K
T7	Céréale + N + P
T8	Céréale + N + K
T9	Céréale + P + K
T10	Céréale + N + P + K
T11	Céréale + NPK
T12	Céréale

### **2.3.2 Les différentes doses d'engrais appliqués**

Les doses d'engrais appliqués par parcelle et par type de traitement sont présentées dans le **tableau 3**. Les différents traitements constitués ont été appliqués en fumure de fond 21 jours après semis (JAS). A la phase végétative soit 45 JAS, les 12 parcelles élémentaires ont reçu de l'urée (N 46%) à la dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> (soit 500g/parcelles) pour le maïs et 50 kg ha<sup>-1</sup> (soit 250g/parcelle) pour le sorgho comme fumure d'entretien.

Les différents engrais ont été appliqués aux pieds des plants dans chaque poquet au niveau des parcelles élémentaires.

*Tableau 3: Les doses d'engrais prélevés en kg ha<sup>-1</sup> pour le maïs et le sorgho.*

		Maïs	Sorgho
<b>nutriments</b>	<b>Source</b>	<b>dose (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>dose (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>N</b>	<b>Urée</b>	<b>100</b>	<b>50</b>
<b>P</b>	<b>DAP/TSP</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>K</b>	<b>KCl</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
<b>NPK</b>	<b>Engrais complexe</b>	<b>200</b>	<b>100</b>
<b>N+P+K</b>	<b>Engrais constitué</b>	<b>39+28+55</b>	<b>19+5+25</b>
<b>Fumure organique</b>	<b>Fumier de bovin</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>

*Tableau 4: Les doses Des Différentes combinaisons en (g/50m<sup>2</sup>) pour le maïs et le sorgho.*

	Maïs	Sorgho
<b>nutriments</b>	<b>dose (g/50m<sup>2</sup>)</b>	<b>dose (g/50m<sup>2</sup>)</b>
<b>N+P</b>	<b>500+150</b>	<b>250+150</b>
<b>N+K</b>	<b>500+300</b>	<b>250+300</b>
<b>P+K</b>	<b>300+150</b>	<b>150+300</b>
<b>N+P+K</b>	<b>195+140+275</b>	<b>95+25+125</b>
<b>Fumure organique</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>

### **2.3.3 Suivi et collecte des données**

#### **2.3.3.1 Conduite des essais**

Pour la préparation du sol, un labour à plat a été effectué en traction animale, sur tous les champs et dans les quatre Villages.

Les semis ont été effectués du 1<sup>er</sup> au 5 Aout 2015 pour le maïs et le sorgho. En ce qui concerne les deux spéculations, nous avons réalisé des semis en ligne et en poquets avec une profondeur de semis d'environ 3cm, écartements de 70cm entre les lignes et de 40cm entre les poquets. Dans chaque parcelle élémentaire on avait 8 lignes soit vingt-cinq (25) poquets par ligne. Trois à quatre graines ont été semées par poquet. Lors du démariage, deux (02) plants de maïs et trois (03) plants pour le sorgho ont été laissés par poquet, soit quatre cents (400) plants et 600 plants par parcelle élémentaire respectivement pour le maïs et le sorgho.

Chaque parcelle a bénéficié de deux sarclages: le premier a été effectué 10 à 15 jours après les semis et le second 20 à 30 jours après le semis ou 10 à 15 jours après le 1<sup>er</sup> sarclage.

Arrivée à maturité, la récolte a été faite par traitement (parcelle élémentaire) par parcelle et par producteur dans chaque village.

### ***2.3.3.2 Collecte des données***

#### ***2.3.3.2.1 Suivi de la phénologie des cultures***

Durant la phase végétative de culture, nous avons procédé au suivi de la croissance (hauteur), du nombre de feuilles et le diamètre au collet des plants. Les observations et les mesures ont été faites deux semaines après la première application de l'engrais et ainsi tous les sept (07) jours pour chaque parcelle. Dans chaque parcelle (traitement), Quatre (4) plants ont été choisis suivant les quatre points cardinaux. Les plants ont été choisis à la l'intérieur des parcelles (deuxième ligne et 4<sup>ème</sup> poquets) élémentaires pour éviter les effets de bordure. Les feuilles qui ont été comptées sont celles qui sont épanouies c'est-à-dire complètement verte et qui réalisent la photosynthèse.

#### ***2.3.3.2.2 Estimation de l'humidité du sol***

Après le semis et l'application des différents traitements, deux prélèvements de sol ont été réalisés afin de déterminer l'humidité du sol et d'évaluer l'effet des différents traitements sur la capacité de rétention du sol. L'estimation de l'humidité a été faite dans 5 champs par culture et par village. Le premier prélèvement a été fait 24h après une grande pluie et le second après 05 jours sans pluie. Des échantillons ont été prélevés à la tarière puis pesés immédiatement et après séchage à l'étuve à 105 ° C pendant 48h afin de déterminer le taux d'humidité. Les prélèvements ont été effectués en milieu de parcelle élémentaire sur deux horizons à savoir l'horizon 0-10 cm et l'horizon 10-30 cm. La détermination du taux d'humidité s'est effectuée par la formule ci-dessous.

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{\text{masse d'eau(g)}}{\text{masse du sol frais(g)}} \times 100$$

La masse de l'eau a été obtenue par le calcul suivant:

$$\text{Masse d'eau (g)} = \text{masse du sol frais (g)} - \text{masse du sol après séchage (g)}$$

#### ***2.3.3.2.3 Les récoltes***

Dans chaque parcelle élémentaire (traitement), la totalité des pieds a été récoltée. La technique de récolte a consisté à détacher l'épi ou la panicule de la tige. Après la récolte, des épis (maïs) et des panicules (sorgho), les tiges de chaque parcelle élémentaire ont été coupées. Les tiges ont été attachées par des ficelles auxquelles ont été associées des étiquettes comportant le numéro de la parcelle et les initiales du nom du producteur ainsi que la première lettre du

nom du village. Les tas ainsi obtenus ont été étalés dans des arbres pour certains des producteurs et d'autre sur des hangars pour le séchage. Les tiges ont été séchées au soleil pendant 2 semaines. Les épis ont été mis dans des sacs avec les étiquettes comportant les mêmes références et séchés au soleil. Après le séchage, les tiges ont été pesés, les épis ont été aussi pesés, puis égrainés. Les grains obtenus ont été pesés.

Pour le niébé, le ramassage des gousses a été fait au fur et à mesure de la maturation. Ainsi, à chaque passage, on comptait le nombre de poquets contenant toujours du niébé. A la fin, les fanes de niébé sont coupées au niveau du collet séchées puis pesées. Le poids des grains de chaque parcelle a été déterminé après battage et vannage des gousses préalablement séchées et pesées.

Des observations notoires étaient faites si nécessaire (maladies, attaques de toutes sortes, destruction de la parcelle.) avant de procéder à la récolte.

De façon spécifique, pour l'évaluation des rendements, les paramètres suivants pour chaque parcelle ont été considérés : le poids des grains et la matière sèche aérienne (la paille ou fanes).

Les rendement ont été évalués de la façon suivante :

$$\text{Rendement (kg ha}^{-1}\text{)} = (\text{quantité (kg)} * 10000 \text{ m}^2) / 50 \text{m}^2$$

La biomasse aérienne sèche totale a été déterminée en additionnant le rendement grains au rendement pailles pour les céréales ou fanes pour le niébé.

L'indice de récolte a été obtenu par le rapport entre le rendement grains et la production en biomasse aérienne sèche totale:

$$\text{Indice de Récolte (IR)} = \text{Rendement grains kg ha}^{-1} / \text{Biomasse sèche totale kg ha}^{-1}$$

#### **2.3.3.2.4 Rentabilité économique des fumures testées**

La rentabilité économique est évaluée pour déterminer la combinaison ou le type de formule économiquement efficace c'est-à-dire qui donne à la fois un rendement additionnel par rapport au témoin et un accroissement de gain monétaire acceptables. Elle correspond au rapport entre la valeur de la production totale et le coût de la fertilisation (Aune et *al.*, 2007). Ce rapport s'obtient par la formule suivante :

$$\text{RVC} = \text{Valeur de la production totale} / \text{Coût des fertilisants.}$$

Ce ratio permet d'identifier la combinaison optimale sur le plan économique. Selon Delville (1996), c'est le ratio le plus pertinent pour évaluer la rentabilité économique d'une technologie.

Si  $RVC < 2$ , la technologie n'est pas économiquement rentable. Le producteur enregistre une perte d'argent. Si  $RVC = 2$ , la technologie n'est pas rentable, mais il n'y a pas de perte d'argent. Le gain de rendement permet de couvrir tout juste les dépenses effectuées pour l'achat des fertilisants. Dans ce cas, la combinaison est sans intérêt économique. Si  $RVC > 2$ , la combinaison est considérée comme économiquement rentable. Elle permet au producteur de couvrir les dépenses et de dégager un bénéfice brut car les autres charges liées aux fertilisants ne sont pas pris en compte.

#### ***2.3.3.2.5 La collecte des données socio-économiques***

Une enquête a été menée auprès de vingt (20) agriculteurs dans chaque village, pour permettre de connaître les pratiques culturales ainsi que la manière dont ces derniers gèrent la fertilité des sols et les rendements obtenus. Le questionnaire est présenté en **annexe 5**. Ces résultats comparés au prix des engrais et de la vente des produits issus en rapport avec les différentes fumures testées permettront d'estimer la rentabilité économique de chaque traitement. Nous avons au total 80 producteurs à raison de 20 producteurs par village. L'échantillon était constitué en majorité par des hommes 60%.

#### ***2.3.4 Traitement des données et analyse statistique***

L'ensemble des données collectées ont été saisies à l'aide du logiciel Excel. Les données de l'enquête ont été analysées avec le logiciel SPSS version 20. Les données sur la phénologie et les paramètres agronomiques ont été soumises à une Analyse de Variance (ANOVA) avec le logiciel XLSTAT version 7.5.2 au seuil de 5% en prenant en compte les différents facteurs étudiés. Le test de Fisher a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsqu'il y avait des différences significatives.

## Chapitre 3 : Résultats Et Discussions

### 3.1 Résultats

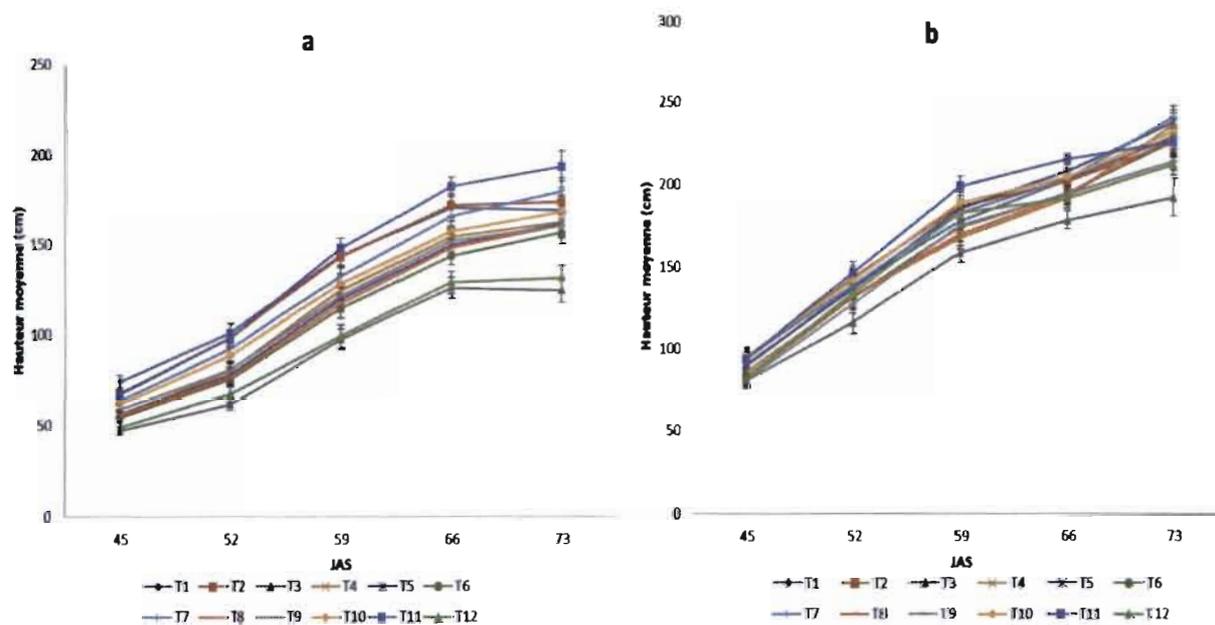
Le tableau 4 présente les caractéristiques chimiques des sols des différents sites d'étude avant la mise en place des essais. Lorsqu'on considère les trois éléments N, P et K, leur teneur décroît avec la profondeur. Par ailleurs l'azote (azote total) a les teneurs les plus faibles avec un maximum de 0,09% rencontré à Cassou. La faible teneur est enregistrée à Kou (0,065%). Le village de Dao a la teneur en phosphore assimilable (P) la plus élevée avec une valeur moyenne de 10,79 ppm. Tandis que les faibles teneurs son observées à Kou avec une valeur moyenne de 8,53 ppm. Quant au potassium (K<sup>+</sup>), le village de Dao enregistre encore la teneur moyenne la plus élevée, elle est de 0,24 cmol kg<sup>-1</sup>, la plus faible teneur se rencontre à Kou elle est de 0,065 cmol kg<sup>-1</sup>.

Tableau 5: Les caractéristiques chimiques des sols dans les quatre (4) sites

village	Cassou		Vrassan		Kou		Dao	
	0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50
Horizon (cm)	0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50	0-20	20-50
Potassium (K <sup>+</sup> )	0,14	0,12	0,17	0,15	0,06	0,07	0,25	0,22
Carbone total (%)	1,22	1,20	1,05	1,08	0,98	0,78	1,20	1,11
Capacité d'échange (T)	6,54	5,98	8,23	8,22	7,78	8,21	7,13	7,10
MO Total (%)	2,10	2,07	1,80	1,85	1,70	1,34	2,08	1,92
pH eau	6,14	5,94	6,28	6,29	6,36	6,30	6,28	6,25
Calcium (Ca <sup>2++</sup> )	1,99	1,85	3,74	3,74	2,66	2,40	3,22	2,99
Taux de saturation (T/S) %	61,00	60,94	61,30	60,25	55,87	53,50	63,50	60,50
Somme des bases	3,97	3,64	5,18	5,10	4,35	4,34	4,54	4,27
Sodium (Na <sup>+</sup> )	0,04	0,04	0,03	0,03	0,13	0,16	0,06	0,05
Magnesium (Mg <sup>++</sup> )	1,80	1,64	1,24	1,18	1,50	1,72	1,02	1,01
Phosphore total (ppm)	663,76	639,29	1984,35	1943,65	831,14	806,21	857,55	933,40
Phosphore assimilable (ppm)	8,62	8,54	9,24	9,47	8,66	8,39	11,43	10,15
Azote total (%)	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,09	0,08
C/N	13,82	14,03	13,82	13,56	13,44	13,43	13,73	14,12

### 3.1.1 Paramètres de croissance des différentes cultures

Les données sur les paramètres de croissance montrent une variation de la croissance en hauteur des plants de maïs (a) de sorgho (b) dans le temps (Figure 6). L'analyse de ces courbes de croissance au niveau des deux spéculations nous montre des allures générales croissantes des courbes dans le temps. Cependant, au 45<sup>ème</sup> JAS nous observons une croissance presque identique de tous les plants des deux spéculations. Après cette date, on remarque une croissance disparate des courbes selon les formules d'engrais. Dans la figure 6 (a), la courbe du traitement T11 (maïs + NPK) se retrouve aux dessus de toutes les courbes, à l'opposé, les courbes des traitements T3 (maïs + niébé) et T12 (maïs) sont en dessous de toutes les courbes. Dans la figure 6 (b), la courbe du traitement T11 (sorgho + NPK) se retrouve aux dessus des autres courbes mais après le 66<sup>ème</sup> JAS c'est le traitement T7 (sorgho + (N + P)) qui prend le dessus. En bas de l'échelle, c'est la courbe du traitement T3 (sorgho + niébé) qui se retrouve en dessous des autres courbes. Pour mieux discerner les différences à travers une analyse de variance nous avons pris les données d'une seule date de mesure.



**Figure 6: L'évolution de la croissance en hauteur du maïs (a) et du sorgho (b) en fonction du temps.**

JAS: jour après semis, T1: Maïs + NPK + Niébé + FO, T2: Maïs + NPK + Niébé, T3: Maïs + Niébé, T4: Maïs + N, T5: Maïs + P, T6: Maïs + K, T7: Maïs + (N+P), T8: Maïs + (N+K), T9: (P+K), T10: Maïs + (N+P+K), T11: Maïs + NPK, T12: Maïs (témoin).

Pour l'analyse des paramètres de croissance des cultures, nous nous sommes intéressés aux données du 66<sup>ème</sup> JAS. L'analyse de variance réalisée sur ces données montre qu'il existe

pour chaque spéculation une différence très significative, entre les différents sites d'étude et les différentes formules d'engrais appliquées. Par ailleurs, l'analyse n'a pas montré une interaction significative entre les villages et les formules d'engrais sur les paramètres de croissance au niveau du sorgho. Par contre pour le maïs, il existe une interaction significative entre les villages et les formules d'engrais sur le paramètre hauteur des plants. Mais, quant aux autres paramètres de croissance du maïs, cette interaction n'est pas significative (**tableau 6**).

*Tableau 6: Les résultats de l'analyse de variance sur les paramètres de croissance*

Paramètre de croissance	Village		Formules d'engrais		Village*formules d'engrais		
	Probabilité	TS	Probabilité	TS	Probabilité	TS	
Sorgho	HP	<0,0001	***	<0,0001	***	0,07	ns
	NF	<0,0001	***	0,096	ns	0,065	ns
	DC	<0,0001	***	<0,0001	***	0,139	ns
Maïs	HP	<0,0001	***	<0,0001	***	0,02	*
	NF	<0,0001	***	<0,0001	***	0,13	ns
	DC	0,07	ns	<0,0001	***	0,4	ns

HP= hauteur de la plante, NF= nombre de feuille, DC= diamètre au collet, \*\*\*,\*: significatif respectivement au seuil de 0,01, 0,05; TS=test de signification, NS: non significatif au seuil de 5%.

Les résultats du test de comparaison des moyennes de différents paramètres de croissance entre les sites d'étude selon la culture, sont présentés dans le **tableau 7**. Ces résultats nous permettent de distinguer deux villages dont Dao et Cassou où la hauteur moyenne du maïs est plus élevée avec respectivement  $164,89 \pm 3,47$  cm et  $160,61 \pm 3,46$  cm. Les plus faibles tailles s'observent à Kou et à Vrassan. Quant au sorgho, c'est à Vrassan qu'on observe les hauteurs les plus élevées, en moyenne  $223,14 \pm 2,52$  cm qui diffèrent statistiquement des autres villages.

Quant au paramètre nombre des feuilles, au niveau du maïs, c'est à Vrassan qu'on a toujours un nombre de feuilles élevé avec une moyenne de 10 feuilles, tandis que Dao enregistre le nombre de feuilles le plus faible soit 8 feuilles. Pour ce qui est du sorgho, c'est à Cassou qu'on rencontre le nombre de feuilles le plus élevé avec en moyenne 7,75 feuilles, suivi de Dao (3,85 feuilles).

Pour le diamètre au collet, au niveau du maïs, c'est à Dao où l'on enregistre les plants avec des diamètres élevés par rapport aux autres villages tandis que la plus faible valeur est notée à Kou. Pour le sorgho, c'est Vrassan suivi de Kou qui ont des plants à diamètres élevés.

*Tableau 7 : Moyenne des paramètres de croissance des plantes du maïs et du sorgho en fonction des villages.*

	Maïs	Sorgho
--	------	--------

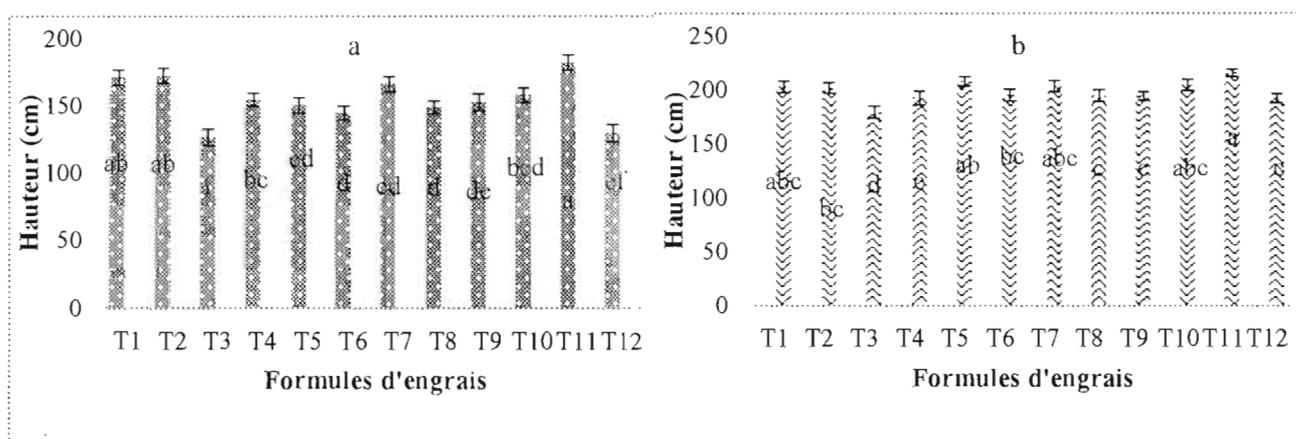
village	HP (cm)	NF (nbr)	DC (cm)	HP (cm)	NF (nbr)	DC (cm)
Cassou	160,61±3,46 a	8,78±0,12 b	13,65±0,2 6	196,0±2,36 b	4,10±0,07 a	8,06±0,11 <sup>b</sup>
Dao	164,89±3,47 a	7,75±0,10 d	13,97±0,2 3	191,26±2,41 <sup>b</sup>	3,85±0,07 <sup>a</sup>	7,50±0,11 <sup>c</sup>
Kou	145,57±3,33 b	8,39±0,10 c	13,19±0,2 3	181,40±4,34 <sup>c</sup>	4,70±0,09 <sup>b</sup>	8,15±0,15 <sup>a</sup>
Vrassan	147,30±3,55 b	9,84±0,10 a	13,43±0,2 3	223,14±2,52 <sup>a</sup>	4,75±0,07 <sup>b</sup>	8,36±0,15 a

HP = hauteur de la plante, NF = nombre de feuille, DC = diamètre au collet

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

Prenant en compte le facteur formules de fumure, pour le maïs, l'analyse a montré qu'il y a une différence significative entre les formules d'engrais. Ainsi, les traitements T11 (maïs + NPK), T2 (maïs + NPK + Niébé), T1 (maïs + NPK + Niébé + FO) T7 (maïs + (N + P)) et T10 (maïs + (N + P + K)) ont une croissance significativement plus importante que les autres formules de fumure (**Figure 7a**).

Quant au sorgho, il y a une différence significative entre les traitements. Ainsi, T11 (Sorgho + NPK), T5 (Sorgho + P), T10 (Sorgho + (N+P+K)), T7 (sorgho + (N + P)), T1 (Sorgho + Niébé + NPK + FO) enregistrent les fortes croissances comparativement aux autres fumures. (**Figure 7b**).



**Figure 7: L'évolution des hauteurs moyennes des plantes du maïs (a) et du sorgho (b)**

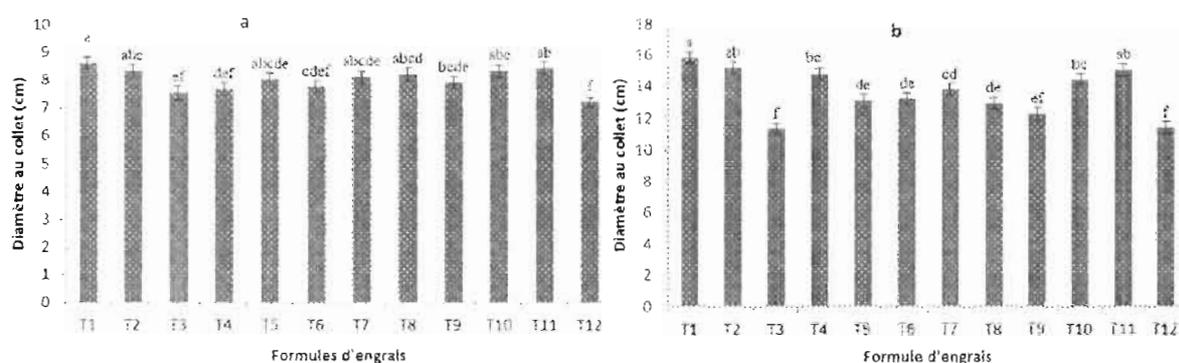
Les histogrammes affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

La comparaison des moyennes du paramètre nombre de feuilles pour le maïs nous montre que c'est le traitement T10 (maïs + (N + P + K)) qui possède le nombre de feuilles le plus élevé en moyenne 9,19 feuilles, il est suivi du traitement T7 (maïs + (N+P)) avec 9,14. A ces deux traitements, s'ajoute le, T1 (maïs + Niébé + NPK+ FO) T11 (maïs + NPK), T5 (maïs + P), T2 (maïs + NPK + Niébé). Par contre le faible nombre de feuilles a été observé avec le traitement T12 (7,91 feuilles) et celui-ci était significativement différent des autres traitements.

Pour le sorgho l'analyse de variance n'a pas montré de différence entre les traitements. Ce qui veut dire que les fertilisants n'ont pas eu d'effet sur le nombre de feuilles du sorgho (**Tableau 6**).

Pour le paramètre diamètre au collet concernant le maïs, ce sont les plants qui ont bénéficié du traitement T1 (maïs + NPK+ Niébé +FO), qui ont les diamètres moyens les plus élevés. Les faibles diamètres ont été enregistrés au niveau des traitements T3 (Maïs + Niébé) et T12 (Maïs) (**figure 8 b**).

Comme pour le maïs, nous constatons que c'est dans le traitement T1 (sorgho + NPK + Niébé + FO) qu'on a les diamètres les plus élevés, suivi de T11 (sorgho + NPK), T2 (sorgho + Niébé +NPK), T10 (sorgho + (N+P+K)), T8 (sorgho + (N+K), T7 (sorgho + N + P)) T5 (sorgho+ P) (**figure 8 a**).



**Figure 8: L'évolution des diamètres au collet des plantes du sorgho (a) maïs (b) et du**

Les graphes affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

### 3.1.2 Paramètres de rendement

#### 3.1.2.1 L'effet des différents traitements sur les composantes de rendement du maïs et du sorgho

Les résultats de l'analyse de variance sur les paramètres de productivité sont présentés dans le **tableau 8**. Ils montrent qu'il existe pour chaque spéculation une différence très

significative, entre les différents sites d'étude. Et que pour les formules de fumure, ceux-ci n'ont pas eu un effet significatif sur les différents paramètres de rendements au niveau du sorgho. Pour le maïs, hormis le paramètre indice de récolte; on a constaté une différence significative sur tous les autres paramètres. On note cependant une absence d'interaction entre les sites d'études et les formules de fumures pour les paramètres de rendements (**tableau 8**).

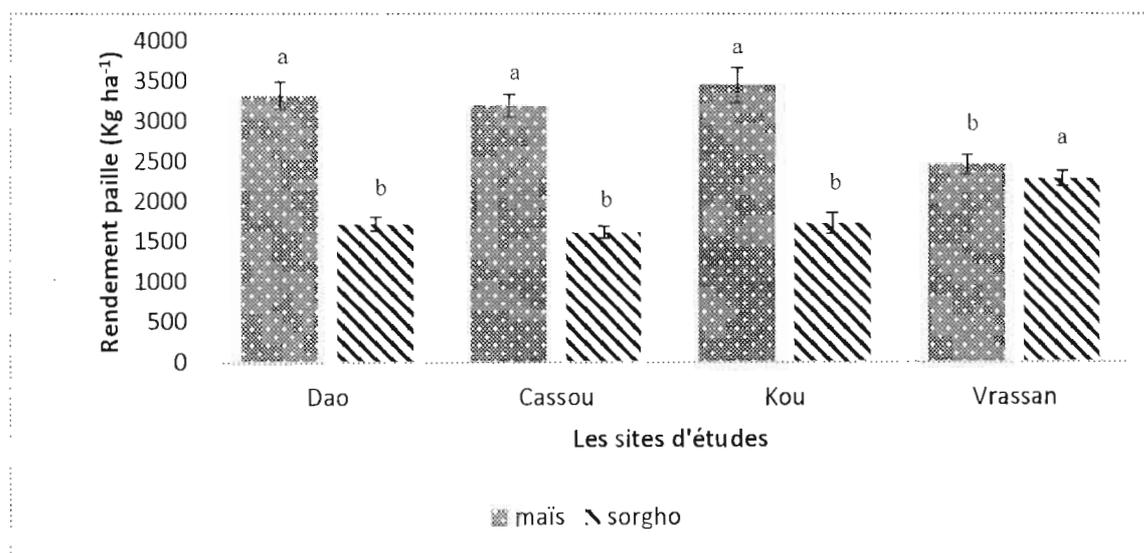
*Tableau 8: Les résultats de l'analyse de variance sur les paramètres de productivité des sols en fonction de la spéculation, le village d'étude, la formule de fumure.*

Paramètre de croissance	Village		formule de fumure		Village *formule de fumure		
	Probabilité	TS	Probabilité	TS	Probabilité	TS	
Sorgho	NE	<0,0001	***	0,34	ns	1	ns
	PE	<0,0001	***	0,40	ns	1	ns
	RG	<0,0001	***	0,26	ns	1	ns
	RP	<0,0001	***	0,03	ns	1	ns
	IR	<0,0001	***	0,15	ns	1	ns
Maïs	NE	<0,0001	***	0,028	*	0,86	ns
	PE	<0,0001	***	0,025	*	0,99	ns
	RG	<0,0001	***	0,024	*	1	ns
	RP	<0,0001	***	<0,0001	***	0,85	ns
	IR	<0,0001	***	0,13	ns	0,81	ns

NE: nombre d'épis, PE: poids des épis, RR: rendement en grain, RP: rendement en paille, IR: indice de récolte, \*\*\*, \*\*, \*= significatif au seuil de 0,1; 1et 5% (Fisher)

Pour le maïs, le village de Dao, et Cassou sont statistiquement identiques et enregistrent les rendements en grains les plus élevés, avec pour moyenne respectivement,  $928,71 \pm 45,90 \text{ kg ha}^{-1}$  et  $916,65 \pm 47,37 \text{ kg ha}^{-1}$ . Cependant ils diffèrent significativement au seuil de 5% des deux autres villages à savoir Vrassan et Kou qui se retrouvent avec les faibles rendements en grains.

Pour ce qui est du sorgho, nous avons le village de Vrassan qui enregistre le rendement paille le plus élevé avec une moyenne de  $2279,89 \pm 93,94 \text{ kg ha}^{-1}$ . Il diffère significativement au seuil de 5% des trois autres villages à savoir Kou, Dao, Cassou. Ces derniers sont identiques entre eux du point de vue statistique. Mais le plus faible rendement s'observe à Cassou avec une moyenne de  $1609,67 \pm 76,16 \text{ kg ha}^{-1}$ . **Figure 10**



Les graphes affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

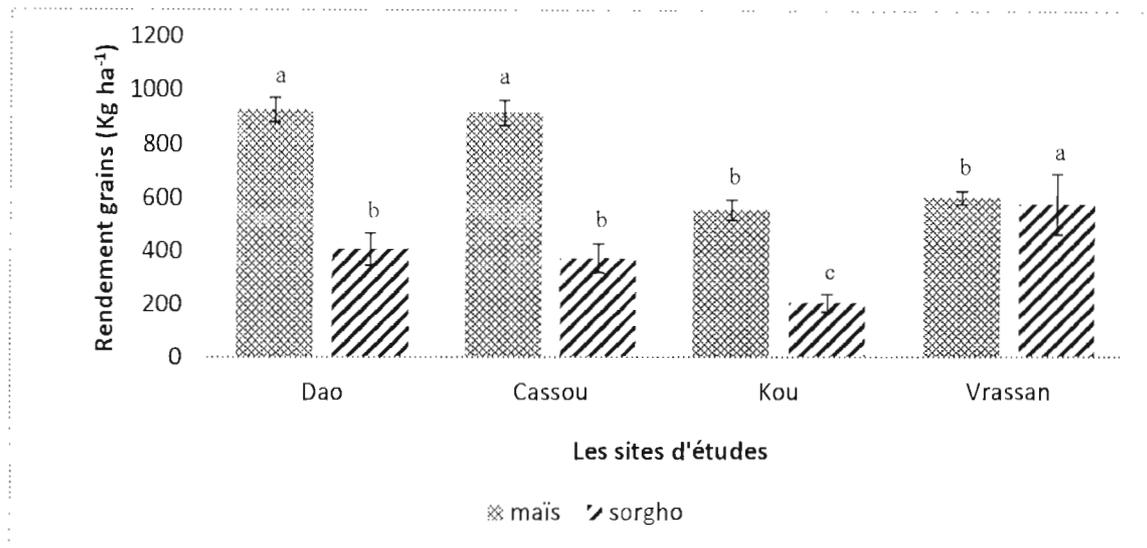
**Figure 10: Les moyennes des rendements en paille des deux spéculations en fonction des villages.**

Les différentes formules de fumures n'ont pas eu un effet significatif sur les paramètres de rendement du sorgho hormis le rendement paille. (**Tableau 8**). Cependant, Les moyennes des paramètres nombre d'épis, poids d'épis et indice de récolte, du sorgho sont présentées dans le **tableau 9**, et celles des rendements grain et paille sont présentées respectivement dans les **figures 11 et 12**. Après analyse de la figure 12, on constate que c'est le traitement T1 (Sorgho + NPK + Niébé + FO) qui enregistre le rendement paille le plus élevé ( $2277,61 \pm 207,44 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Mais il ne diffère significativement que des traitements T10 (sorgho + (N + P + K)), T12 (sorgho) et T3 (Sorgho + Niébé). Ce dernier enregistre les plus faibles rendements

Par contre, au niveau du maïs, les formules de fumure ont eu un effet significatif au seuil de 5% sur le nombre d'épis, le poids des épis, le rendement grain et le rendement paille.

La formule T1 (Maïs + NPK + Niébé + FO) enregistre le nombre d'épis le plus élevé avec une moyenne de  $33624,35 \pm 3752,51$  épis, mais ce traitement ne diffère pas significativement des

Quant au sorgho, c'est Vrassan qui enregistre le rendement en grain le plus élevé avec une moyenne de  $578,47 \pm 115,46 \text{ kg ha}^{-1}$  et Kou se retrouve avec le rendement le plus faible. (Figure 9).



Les histogrammes affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

**Figure 9: Les moyennes des rendements en grain des deux spéculations en fonction des villages.**

Pour ce qui est de la comparaison du rendement paille du maïs, le village de Kou a le rendement en paille le plus élevé avec une moyenne de  $3448,48 \pm 218,51 \text{ kg ha}^{-1}$ . Mais il ne diffère pas significativement des villages de Dao et de Cassou (Figure 10).

traitements T4 (Maïs + N), T5 (Maïs + P), T7 (Maïs + (N+P)), T10 (Maïs + (N+P+K)) T11 (Maïs + NPK). Tous ces traitements diffèrent significativement de T3 (Maïs + Niébé) et T12 (Maïs =Témoin) qui ont le nombre d'épis le plus faible (**Tableau 9**).

Le traitement T1 (Maïs + NPK +Niébé + FO) enregistre toujours le poids d'épis le plus élevé avec un moyenne de 1862±240,12 kg/ha, il est suivi des traitements T2, T4, T7, T10, et T11. Tous ces traitements sont identiques du point de vue statistique. Ils diffèrent cependant des traitements T3 et T12 qui ont les plus faibles poids d'épis (**Tableau 9**).

Quant au rendement grain, le traitement T1 (Maïs + NPK +Niébé + FO) enregistre toujours le rendement grain le plus élevé en moyenne 1092,409±161,539 (kg/ha). Ce traitement ne diffère pas significativement de T2, T10, T7, T11, T4. Ces traitements sont statistiquement différents de T12 et T3 qui se retrouve avec les rendements les plus faibles.

Pour le rendement paille, T1 (Maïs + NPK +Niébé + FO) a le rendement paille le plus élevé (4411,193±372,896 (kg/ha)). Il est suivi de T2 mais ce dernier est comparable statistiquement aux traitements T11, T7, T10, T4, T8 qui diffèrent statistiquement des traitements T3, et T12 qui ont les rendements paille le moins élevé (**tableau 9**).

*Tableau 9: Moyenne du nombre d'épis, du poids des épis, et de l'indice de récolte et du sorgho*

	Maïs			Sorgho		
	NE	PE (kg ha <sup>-1</sup> )	IR	NE	PE (kg ha <sup>-1</sup> )	IR
T1	33624,35±3752,51 <sup>a</sup>	1862±240,12 <sup>a</sup>	0,17±0,003	71203,32±4582,83	827,58±105,24	0,17±0,002
T2	29416,95±2300,31 <sup>abc</sup>	1561,47±224,58 <sup>ab</sup>	0,19±0,003	79445,35±5787,40	972,80±141,41	0,21±0,003
T3	21298,44±2022,89 <sup>d</sup>	988,31±189,83 <sup>c</sup>	0,24±0,004	58548,22±4725,46	609,22±103,18	0,19±0,004
T4	29736,23±2952,89 <sup>ab</sup>	1381,16±188,49 <sup>abc</sup>	0,19±0,002	71203,03±5871,34	760,61±104,29	0,16±0,003
T5	29609,65±3178,17 <sup>ab</sup>	1261,99±165,77 <sup>bc</sup>	0,20±0,003	70270,79±4633,91	745,85±82,44	0,18±0,003
T6	25965,45±2082,32 <sup>bcd</sup>	1106,77±133,58 <sup>bc</sup>	0,18±0,002	70270,79±4633,91	702,93±113,03	0,15±0,003
T7	30385,05±2333,55 <sup>ab</sup>	1442,20±14945 <sup>abc</sup>	0,19±0,002	68932,41±5506,20	848,03±111,11	0,16±0,003
T8	26514,3±2240,13 <sup>bed</sup>	1275,72±165,16 <sup>bc</sup>	0,18±0,002	68932,41±5506,20	696,08±83,95	0,16±0,003
T9	28187,16±2765,15 <sup>abc</sup>	1269,47±137,93 <sup>bc</sup>	0,20±0,002	76124,11±5543,71	807,94±96,02	0,17±0,003
T10	29782,69±2511,50 <sup>ab</sup>	1494,56±171,68 <sup>ab</sup>	0,21±0,004	67798,29±5671,19	706,60±96,02	0,17±0,003
T11	30223,71±2157,86 <sup>ab</sup>	1416,35±137,64 <sup>abc</sup>	0,18±0,002	77207,49±5936,65	861,63±106,66	0,18±0,003
T12	22652,10±1994,51 <sup>cd</sup>	994,34±182,89 <sup>c</sup>	0,17±0,002	67785,26±6023,64	614,61±90,29	0,17±0,003

NE: nombre d'épis, PE: poids des épis, RR: rendement en grain, RP: rendement en paille, IR: indice de récolte.

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Fisher.

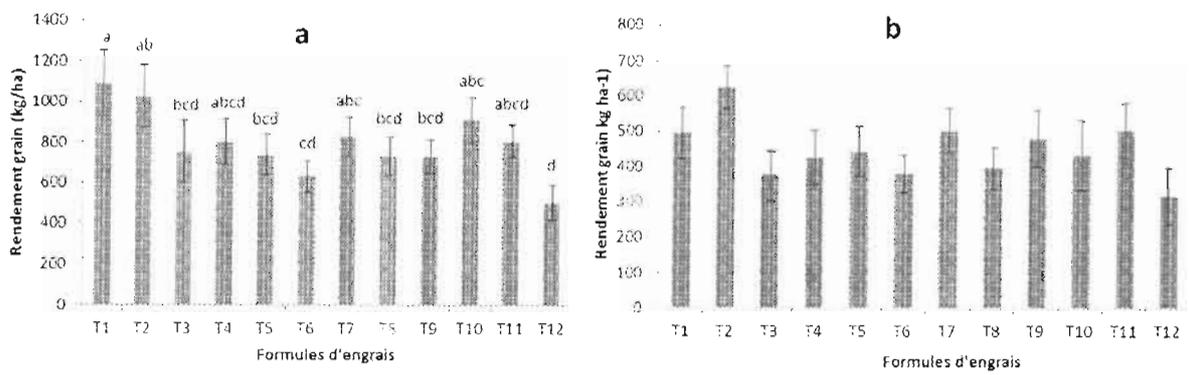


Figure 11: Graphe illustrant la différence des moyennes en rendement grain du maïs (a) et du sorgho (b).

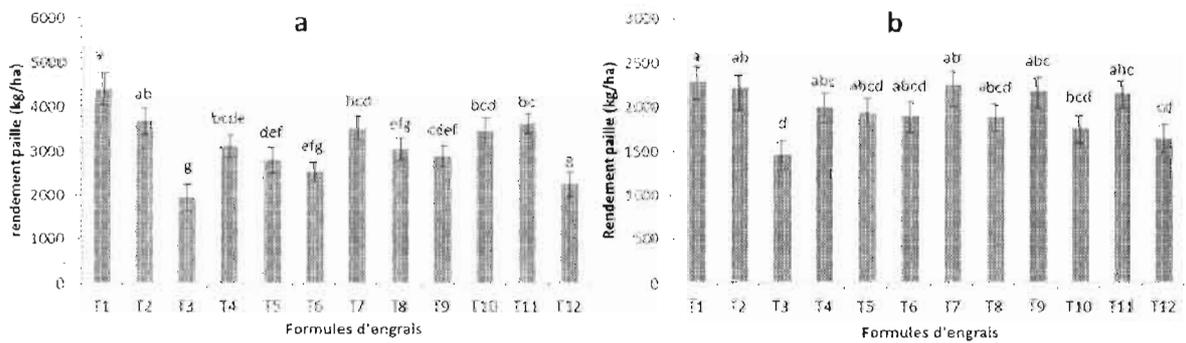


Figure 12: Graphe illustrant la différence des moyennes en rendement paille du maïs (a) et du sorgho (b)

### 3.1.3 L'effet des différentes formules sur les composantes de rendement du niébé associé au maïs et au sorgho.

Les résultats de l'analyse de variance sur les composantes de rendement du niébé sont présentés dans le **tableau 10**. L'analyse statistique, n'a pas mis en évidence un effet significatif de l'interaction entre village \* traitement, sur les composantes des rendements du niébé. Par contre, ces derniers, hormis la composante Indice de récolte, varient en fonction de la spéculation, de la formule d'engrais appliquée, du village. En effet la composante indice de récolte ne varie pas quel que soit la variable sauf au niveau de la variable village où l'indice de récolte connaît une différence très significative au seuil de 5%.

Tableau 10: Résultats d'analyse de variance sur les paramètres de rendement du niébé.

	PG		RG		PF		IR	
	Probabilité	TS	Probabilité	TS	Probabilité	TS	Probabilité	TS
Village	< 0,0001	***	< 0,0001	***	< 0,0001	***	< 0,0001	***
Traitement	< 0,0001	***	< 0,0001	***	< 0,0001	***	0,863	ns
Village*traitement	0,528	ns	0,325	ns	0,278	ns	1,000	ns

PG: poids des gousses, RG: rendement grain, RP: rendement paille, IR: indice de récolte

L'analyse de variance sur l'effet de l'association maïs/niébé et sorgho + niébé a montré qu'il y a une différence significative entre les deux types d'associations sur le rendement du niébé. En effet, les rendements grains et fane du niébé associé au maïs sont significativement plus élevés que ceux en association avec le sorgho (**tableau 11**).

Tableau 11: comparaison des moyennes des rendements grain et fane du niébé en fonction de la spéculation

	RG (Kg ha <sup>-1</sup> )	RF (Kg ha <sup>-1</sup> )
Maïs	923,4421±47,853 <sup>b</sup>	913,799±65,026 <sup>a</sup>
Sorgho	732,2716±41,300 <sup>a</sup>	647,3422±52,568 <sup>b</sup>

Le test de comparaison des moyennes des rendements grain et fane du niébé nous révèle que dans toutes les deux associations, les traitements T1 (Maïs + NPK + Niébé + FO) de l'association maïs + niébé et T1 (Sorgho + NPK + Niébé + FO) de l'association sorgho + niébé enregistre les rendements grains et fanes les plus élevés. Ces traitements diffèrent significativement de T3 (Maïs + Niébé), T3 (sorgho + Niébé) au seuil de 5% (**tableau 12**).

Tableau 12: Moyenne du rendement grain et fane du niébé associé au maïs et au sorgho en fonction de la fertilisation

	Maïs		Sorgho	
	RG (Kg ha <sup>-1</sup> )	RF (Kg ha <sup>-1</sup> )	RG (Kg ha <sup>-1</sup> )	RF (Kg ha <sup>-1</sup> )
T1	1107,481±88,739 <sup>a</sup>	1542,616±136,290 <sup>a</sup>	904,261±79,286 <sup>a</sup>	1189,759±129,350 <sup>a</sup>
T2	998,893±84,217 <sup>a</sup>	1446,39±151,556 <sup>a</sup>	750,363±68,090 <sup>a</sup>	1035,644±120,272 <sup>ab</sup>
T3	663,952±57,555 <sup>b</sup>	940,319±92,780 <sup>b</sup>	542,191±47,775 <sup>b</sup>	738,903±65,108 <sup>b</sup>

Le test de comparaison des moyennes de rendements grain et fane du niébé associé au sorgho, met en évidence l'effet des formules d'engrais sur les rendements grain et fane du niébé. En effet, comme la précédente association, nous constatons au niveau des rendements grain dont le traitement T3 (sorgho + NPK + Niébé + FO) et le traitement T2 (sorgho + NPK + Niébé) qui diffère significativement au seuil de 5% du second groupe qu'est le traitement T1 (Niébé + sorgho) qui se retrouve avec un rendement faible.

### 3.1.4 L'analyse des effets des différentes formules d'engrais sur l'humidité du sol.

Les résultats de l'analyse de variance présentés dans **tableau 13** nous montrent que quel que soit l'état du sol, humide ou sec, le taux d'humidité diffère significativement en fonction des villages et la profondeur. Cependant il n'existe pas de différence significative en fonction des différentes formules d'engrais.

Tableau 13: Résultat de l'analyse de variance du taux d'humidité des sols de chaque formule en fonction des villages, la profondeur, les différents fertilisants.

Variable	Sol état sec		Sol état humide	
	Probabilité	TS	Probabilité	TS
Village	<0,0001	***	<0,0001	***
Profondeur	<0,0001	***	<0,0001	***
Formules d'engrais	0,282	NS	0,386	NS

TS: test de signification, NS : non significatif

Le sol à l'état sec, a un taux d'humidité plus élevé en profondeur 10-30 cm, qui est significativement différent au seuil de 5% du taux de la profondeur 0-10 cm. Par contre, pour le sol à l'état humide, c'est l'effet inverse qui se produit: la profondeur 0-10 cm a le taux d'humidité le plus élevé. et diffère statistiquement de la profondeur 10-30 cm (**Tableau 14**).

*Tableau 14: Comparaison des moyennes des taux d'humidité des sols en fonction des profondeurs*

Etat du sol	humidité du sol à l'état sec	humidité du Sol à l'état humide
Profondeur	Taux humidité moyenne	Taux humidité moyenne
0-10cm	3,862±1,61 <sup>a</sup>	6,793±2,39 <sup>a</sup>
10-30cm	5,069±2,06 <sup>b</sup>	6,229±1,92 <sup>b</sup>

### **3.1.5 L'analyse économique**

Les prix des fertilisants organiques comme minéraux sont fonction des régions et des marchés. Ils tiennent compte en effet des coûts de distribution et des subventions car certains engrais minéraux sont subventionnés. Nous avons considéré les prix locaux soit 20 FCFA.kg<sup>-1</sup> pour la fumure organique, 400 FCFA.kg<sup>-1</sup> pour le NPK et 370 FCFA.kg<sup>-1</sup> pour l'urée, 400 FCFA.kg<sup>-1</sup> pour le DAP, et 300 FCFA.kg<sup>-1</sup> pour le KCl. Les prix des engrais minéraux sont les prix réels du marché sans subvention.

Le prix du sorgho et le maïs sont variables au cours de l'année et suivant les localités. (Selon les résultats de nos enquêtes). A l'instar des autres produits agricoles, il n'existe pas de prix standard pour le sorgho et maïs au Burkina Faso. Nous considérons ici le prix d'achat aux producteurs. Ces prix étaient; 137 et 135 FCFA.kg<sup>-1</sup> pour les grains respectivement du maïs et du sorgho selon nos enquêtes réalisées dans la zone de l'étude. Pour le prix de la paille, selon (Sanou, 2014) il est à 175 FCFA.botte<sup>-1</sup> de paille pour une botte pesant en moyenne 2,5 kg donc il est à 70 FCFA kg<sup>-1</sup>.

L'analyse du **tableau 15** indique que tous les ratios (RVC) sont supérieurs à 2 (RVC > 2) du maïs de 3,27 à 24,69, le rapport le plus élevé s'observe au niveau du traitement T5 (maïs + P) et le plus faible s'observe au niveau du traitement T1 (maïs + NPK + Niébé + FO) pour le maïs. Pour le sorgho, les rapports vont de 2,26 à 16,18 et c'est le traitement T1 qui a le plus petit rapport cependant le plus rapport se trouve avec le traitement T5 (**tableau 16**).

*Tableau 15: Effet des options de fertilisation sur la rentabilité économique pour du maïs*

FE	RP (Kg ha <sup>-1</sup> )	VP (FCFA ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	VG (FCFA ha <sup>-1</sup> )	CE (FCFA ha <sup>-1</sup> )	RVC
T1	4411,19	308783,52	1092,41	149660,10	140000	3,27
T2	3672,46	257071,94	1027,54	140773,17	80000	4,97
T3	1942,26	135958,44	754,01	103299,58	0	
T4	3104,96	217347,14	804,52	110218,91	37000	8,85
T5	2786,67	195067,16	738,63	101192,99	12000	24,69
T6	2519,77	176383,74	631,54	86520,70	18000	14,61
T7	3519,71	246379,39	831,54	113921,62	49000	7,35
T8	3045,19	213163,43	734,81	100669,65	55000	5,71
T9	2881,07	201674,91	731,84	100262,41	30000	10,06
T10	3462,51	242375,46	915,61	125438,57	40650	9,05
T11	3615,28	253069,81	810,18	110994,54	80000	4,55
T12	2241,58	156910,68	506,05	69329,02	0	

FE : formule d'engrais, RP : rendement Paille, RG : rendement grain, VP : valeur de la paille, VG : valeur des grains, CE : coût des engrais, RVC : variable cost ratio

*Tableau 16: Effet des options de fertilisation sur la rentabilité économique pour du sorgho*

FE	RP (Kg ha <sup>-1</sup> )	VP (FCFA ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	VG (FCFA ha <sup>-1</sup> )	CE (FCFA ha <sup>-1</sup> )	RVC
T1	2277,61	159432,6	493,83	66667,57	100000	2,26
T2	2198,59	153901,4	623,74	84205,01	40000	5,95
T3	1448,64	101404,7	373,40	50408,49	0	
T4	1983,02	138811,6	425,31	57416,65	18500	10,61
T5	1920,28	134419,4	442,78	59775,00	12000	16,18
T6	1884,49	131914	379,06	51172,78	18000	10,17
T7	2233,47	156343	502,47	67834,00	30500	7,35
T8	1868,46	130792,3	394,70	53284,57	36500	5,04
T9	2166,99	151689,1	480,48	64865,18	30000	7,22
T10	1750,79	122555,1	433,17	58478,55	16530	10,95
T11	2138,13	149669,1	504,75	68141,34	40000	5,45
T12	1630,54	114137,9	318,01	42931,03	0	

FE : formule d'engrais, RP : rendement Paille, RG : rendement grain, VP : valeur de la paille, VG : valeur des grains, CE : coût des engrais, RVC : variable cost ratio

### 3.1.6 Les résultats de l'analyse socio-économique

A l'issue de l'enquête, il ressort que :

Chaque producteur prend en charge en moyenne douze (12) personnes alors qu'il y a en moyenne cinq (5) actifs. Le nombre d'heures de travail dépend du nombre d'actifs et est en moyenne 7h/jr, pour une superficie totale d'exploitation estimée en moyenne 6 ha. Les spéculations rencontrées sont principalement par ordre d'importance les suivantes: 100% des enquêtés produisent du sorgho, 95% le maïs, 92% pour le niébé, 90% le sésame, 56,3% pour l'arachide, 31% pour le coton et enfin 6,4% produisent du riz. Les superficies emblavées, la quantité de semences, le rendement à l'hectare, le revenu annuel, la quantité de fumure organique appliquée pour le maïs, le sorgho et le niébé sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17: Les principales cultures et leur superficie, la quantité de production

	maïs	sorgho	niébé
Superficie (ha)	1,5	2	0,7
Quantité de semence ha <sup>-1</sup>	14	12	7
Quantité de FO (kg)	6785	443,5	0
RG (kg ha <sup>-1</sup> )	1501,3	1066,87	269,11
Revenu moyen annuel (FCFA ha <sup>-1</sup> )	205678,1	144000,45	76246,94
Revenu réinvesti dans la production (FCFA ha <sup>-1</sup> )	17205,8824	37684,2105	0

Quant à la disponibilité des intrants dans les quatre localités, 73% des enquêtés trouvent que les intrants sont rares et inaccessibles surtout les engrais. En effet, 66,3% affirment que c'est auprès de l'UNPCB qu'ils s'en procurent, 17,5% disent en avoir auprès des commerçants en villes mais, ces derniers attestent que cet engrais n'est souvent pas de bonne qualité. Par ailleurs, 6,3% disent en trouver chez les producteurs du coton. Au regard de tout cela, tous affirment qu'ils rencontrent des problèmes dans l'acquisition des intrants surtout les engrais. Ces problèmes sont entre autres la qualité de ces intrants surtout. A cela s'ajoutent les prix trop élevés, l'insuffisance, et l'arrivée tardive.

Bien que ces producteurs utilisent dans leur majorité les variétés améliorées (58%), certains disent utiliser toujours les variétés locales (98,8%). Cependant, la plupart utilise à la fois les deux. On a noté aussi que ce sont les variétés améliorées du maïs qui sont utilisées. Pour le sorgho c'est toujours les variétés locales qui sont utilisées.

Quant à la fertilisation des champs, 93% appliquent, la fumure organique, mais la majorité utilise du fumier non composté 87%. 75% des enquêtés utilisent les engrais minéraux surtout le NPK et Urée, Ceux qui ne l'utilisent pas disent que les prix ne sont pas à leur portée.

Quant à la quantité, nous avons rencontré 77,5% qui consomment plus de 100kg /ha. La plupart des enquêtés utilisent les engrais minéraux depuis plus de 30 ans. La dépense moyenne pour les engrais minéraux est estimée à 102278,5714 FCFA ha<sup>-1</sup>, pour la fumure organique, elle est estimée à 5307,812 FCFA ha<sup>-1</sup>.

En plus des deux formules de fumures à savoir celles organique et minérale, 92% disent utiliser d'autres techniques pour fertiliser leur champ. Ces techniques sont entre autres le paillage, les diguettes.

Pour ce qui est des pratiques culturales, 97,5% pratiquent le labour, mais la plupart le pratique une seule fois. Mais il faut noter que ce labour est appliqué très souvent dans les champs de maïs. Le sarclage ou désherbage est pratiqué par tous, mais la plupart le font deux (2) fois 87,5%. Comme autres pratiques, on a le buttage et l'application des herbicides 98,8%. Cependant ceux qui n'ont pas assez de main d'œuvre font recours à des groupes de travaux.

Le maïs produit est plus consommé que le sorgho. Ainsi la plupart de la production du sorgho est destinée à la vente. En effet, 1/4 seulement de la production du maïs est vendu contre 3/4 pour le sorgho.

La vente des produits de récolte, se fait pour la plupart de façon individuelle, et se passe le plus souvent à domicile, rarement au marché local et en ville. La plupart des acheteurs sont des particuliers. Le prix de vente varie en fonction de l'offre et de la demande. On remarque également des différences de prix selon la localité et la période. Dans les quatre villages les prix moyens du sorgho et du maïs à la période de l'enquête c'est-à-dire dans le mois de février sont présentés dans le tableau 18.

*Tableau 18: Les prix du kg des principales cultures en fonction du lieu de vente*

	Prix moyen maïs/kg	Prix moyen du sorgho/kg	Prix moyen du niébé/kg
Marché local	135	130	270
Marché de ville	140	140	280

Par ailleurs, la plupart des ventes à domicile se réfère au prix du marché local. Cependant, 77,5% des enquêtés disent n'avoir pas de problème à écouler leurs productions même si ce n'est pas toujours au prix souhaité.

Après la vente des produits l'argent obtenu est utilisé pour d'autres produits de consommation, la santé, la scolarité, les activités socio culturelles. La plupart disent n'être pas arrivés à réserver quelque chose pour la préparation de la saison à suivante.

Par contre 67,5% reconnaissent une augmentation de leurs rendements qui sont dûs à 52% à une augmentation de la superficie, et 48% à l'utilisation des engrais minéraux.

Parmi les contraintes pouvant entraver une bonne production agricole, celles reconnues par les producteurs enquêtés sont: 98,8% ont retenu la mauvaise qualité du sol, 98,5% pensent que c'est la faible utilisation des engrais minéraux, 50% pensent que c'est le changement climatique, 90% trouvent que c'est le manque de sensibilisation et enfin pour 95% c'est la faible utilisation de la fumure organique.

Quant aux pratiques permettant de réhabiliter les sols dégradés, nous avons entre autres la jachère 57%, la rotation culturale 88,8%, la culture associée 31%; l'apport des engrais minéraux 63,8%, l'apport de la fumure organique 92,5%. Pour ce qui est des solutions pouvant augmenter durablement la production agricole, 83,8 % des enquêtés sont pour les semences améliorées, 96,3 pour une bonne gestion de la fertilité des sols, 91,3% pour une bonne pratique agro-sylvo-pastoralisme; 82,5% qu'il faut prendre en compte les conseils et les suggestions des experts. Ainsi, tous reconnaissent que le changement climatique influe négativement sur la production agricole à travers la rareté des pluies, les vents violents, et la forte chaleur.

### **3.2 Discussion**

Les résultats des analyses montrent qu'il existe des différences de croissances entre les villages au niveau des deux spéculations. En effet, les meilleures croissances en hauteur ont été rencontrées à Dao et à Cassou pour le maïs et à Vrassan pour le sorgho. Cette différence s'expliquerait par la mauvaise répartition spatiale de la pluviosité au cours de l'année. Elle traduirait aussi la différence de fertilité des sols dans ces quatre villages.

L'analyse de l'évolution de la croissance en hauteur du maïs (a) et du sorgho (b) en fonction du temps nous montre la particularité de chaque formule d'engrais quant à son effet sur la croissance des deux spéculations. Ainsi certaines formules d'engrais permettraient une meilleure croissance des plants contrairement à d'autres. Il existerait un facteur limitant dans certaines formules qui rendrait l'alimentation de la plante incomplète. C'est-à-dire qu'il y a des éléments nutritifs indispensables à la croissance des plantes. Et leur absence constitue une limite au fonctionnement des plantes. A cet effet, les résultats de l'analyse de variance sur les mesures faites le 6<sup>ème</sup> JAS révèlent que le traitement T11 (Céréale + NPK) a permis d'améliorer significativement la croissance en hauteur des plants du maïs et du sorgho. La formule du traitement T11 comporte tous les éléments majeurs dont l'azote et le phosphore qui sont reconnus par leur rôle prépondérant sur la croissance des plantes en général. Toutefois, d'autres formules comme T1 et T2 pour le maïs, T1, T5, T7, T10, ont permis d'améliorer la croissance des plants de façon comparable au traitement T11. Dans toutes ces formules, nous avons la présence des deux éléments N et P. La croissance des plants dépendrait des éléments N et P. Les travaux de nombreux auteurs ont démontré l'importance de ces éléments (N, P) dans la croissance des cultures. Parmi ces auteurs, nous avons (Bationo et al, 1991) et (Bado et al., 1997).

Les effets des sites d'étude et les différentes formules de fumure sur les paramètres de rendements des deux spéculations ont été positifs, à l'exception du sorgho où les différentes formules n'ont pas eu d'effet sur les paramètres tels que, le nombre d'épis, poids des épis et le rendement grain. Cependant, il faut souligner que les conditions climatiques pendant la période d'expérimentation n'ont pas été satisfaisantes. En effet, les différentes stations ont enregistré, 778 mm, 754 mm, 747 mm, respectivement à Kou, Cassou Vrassan et Dao. Ces valeurs se trouvent en dessous des valeurs exigées par les variétés utilisées. Ainsi Le sorgho a besoin d'une pluviométrie annuelle comprise entre 600 et 900 mm, pour le maïs elle doit être supérieure à 900 mm. Cela est dû à une pluviosité non seulement mal répartie mais aussi insuffisante au

cours de la saison de l'expérimentation. Pourtant, les études de (Blein et al., 2008), ont montré que les pertes des rendements agricoles liées à la mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviosité peuvent atteindre 60%. Cela expliquerait le fait que les rendements soient inférieurs à ceux escomptés.

Toutefois, les résultats de l'analyse ont montré un effet significatif des sites d'études sur les rendements des deux spéculations. En effet, pour ce qui est du maïs, c'est à Dao et à Cassou qu'on enregistre des rendements en grain les plus élevés respectivement  $928,711 \pm 45,901 \text{ kg ha}^{-1}$  et  $916,651 \pm 47,367 \text{ kg ha}^{-1}$ , ces résultats s'expliqueraient principalement par la mauvaise pluviosité et la différence de fertilité native des sols des différents sites. Cependant le village de Vrassan partage la même pluviosité du point de vue météorologique avec Cassou, mais il enregistre le faible rendement grain en maïs. La différence de fertilité native des sols dans les sites pourrait expliquer ces résultats.

Quant au rendement paille, c'est à Kou qu'on a la moyenne la plus élevée ( $3448,48 \pm 218,51 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Cela pourrait s'expliquer non seulement par une pluviosité mal répartie entre les villages mais aussi par une fertilité native différente des sols des différents villages. Sans réfuter cette dernière, la pluviosité serait la principale cause de ces résultats car le village de Kou a enregistré le plus grand rendement en paille avec un faible rendement grain en maïs. En effet les travaux de (Robelin, 1963) ont montré que la période de très grande sensibilité du maïs commence 20 à 30 jours avant la floraison femelle et s'achève 10 à 15 jours après. Un manque d'eau à ce stade entraîne une baisse de rendement de plus de 60%. Au Togo, (Poss et al. 1998) ont démontré que si les besoins en eau à la floraison du maïs sont satisfaits à moins de 60%, les rendements deviennent très faibles, quelles que soient les conditions hydriques sur le reste du cycle.

Pour le sorgho, le village de Vrassan a enregistré le rendement grains et pailles le plus élevé avec une moyenne respectivement de  $2279,88 \pm 93,93 \text{ kg/ha}$ . Les sols de Vrassan conviendraient pour la culture du sorgho. Car, du point de vue météorologique, le village de Vrassan a la même pluviosité que village de Cassou. Pourtant, il existe une différence significative des rendements grains et paille du sorgho entre ces deux villages. La différence serait donc au niveau de la fertilité des sols.

Quant aux formules d'engrais, bien qu'ayant eu un effet significatif sur certains paramètres de croissance du sorgho, ils n'ont cependant pas eu un effet significatif sur les paramètres de rendement du sorgho excepté le rendement paille. En effet, c'est le traitement T1 (sorgho + niébé + NPK + FO) qui a permis d'améliorer significativement les rendements paille

du sorgho. Par contre les formules de fumures ont impacté significativement sur tous les paramètres de rendements grains et pailles, nombre d'épis et poids d'épis, du maïs. Ces effets sur les paramètres de rendements confirment ceux exprimé sur les paramètres de croissances. Ce qui traduit la sensibilité du maïs aux apports de nutriment. Ainsi, le traitement T1 (maïs + NPK+ Niébé + FO), a permis d'améliorer significativement les rendements grains et paille du maïs. En effet cette formule comporte tous les éléments minéraux majeurs N, P et K à des doses plus élevés que dans les autres formules d'engrais. Cela traduit le fait que maïs répond à des doses élevés de fertilisant. En plus la présence de la fumure organique permet d'améliorer les propriétés physiques, chimiques, biologique du sol. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par (Gnankambary, 2007); (Somda, 2015) et (Traoré, 2012) qui ont aussi noté des hausses significatives de rendements à la suite d'apports combinés de matière organique et d'engrais minéraux en milieu paysan. Par contre le niébé associé au maïs n'a pas influencé les rendements grain et paille. Car, le traitement T2 (maïs + NPK+ Niébé) qui ne comporte pas la fumure organique a des rendements grains et paille similaire statistiquement au traitement T11 (maïs + NPK). Cela, serait dû au fait que le principal effet bénéfique rechercher chez le niébé qui est la fixation de l'azote atmosphérique au sol, n'ait pas été au rendez-vous. En effet, l'azote fixé par le niébé ne serait pas disponible immédiatement pour le maïs. Des auteurs comme (Azontondé, 1993) au Bénin, (Traoré et al, 1999), (Segda et al., 2000) et (Coulibaly, 2012) au Burkina Faso, sont parvenus à des résultats similaires. En effet, ils ont trouvé que l'association maïs/niébé donne de faibles rendements chez le maïs pendant la première année de culture.

Les résultats, de l'analyse de variance ont révélé que le niébé associé au maïs a donné de meilleurs rendements grain et fane par rapport à l'association avec le sorgho. Cela s'expliquerait par le fait que la dose d'engrais NPK ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) appliquée au niveau du maïs soit plus élevée que celle appliquée au niveau du sorgho ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Le niébé répondrait favorablement donc aux fortes doses d'engrais. Ainsi, la formule suivante (céréale + niébé + NPK + FO), a donné les meilleurs rendements en grain et en fane.

L'analyse économique basée sur le RVC montre que les RVC de toutes les formules sont supérieures à 2; donc ils sont tous économiquement rentables (Aune et al., 2007), la formule la plus rentable est celle dont le RVC est le plus élevé. Ainsi, lorsque l'on ne tient pas compte du coût des engrais et quelle que soit la situation du marché, la formule (céréale + Niébé) est la plus rentable. En tenant compte du coût de l'engrais, la meilleure formule (meilleur RVC 24,69 et 16,18 respectivement pour le maïs et le sorgho) est celle de T5 (céréale + P) où l'on apporte le phosphore sous forme de DAP à  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ . Cependant, compte tenu du fait que nos résultats

on révélés que l'azote et le phosphore semble être les facteurs limitant dans cette zone, l'apport du phosphore seul ne permettrait une production durable. Ainsi, pour les mêmes raisons et en tenant compte des paramètres socioéconomiques, les traitements T6; T9; T10; T5, ne pourraient également pas être retenus. Par contre, le traitement T7 (céréale + N+P) serait retenu comme étant la plus rentable économiquement et agronomiquement, En effet, cette traitement apporte à la fois de l'azote à 18% et du phosphore à 46 % à partir du DAP. Cette formule de fumure pourrait être acceptable par les producteurs car elle suscite moins de dépenses et aurait moins de risques de pollution pour l'environnement par son apport des éléments à des doses raisonnables pour la plupart des sols burkinabés qui sont pauvre en azote, et en phosphore assimilable. Par ailleurs, l'application du DAP par des producteurs au Niger a donné des résultats encourageants (FAO, 2003).

## Conclusion

Cette étude vise à contribuer à la gestion intégrée des sols pour une production durable du maïs et du sorgho. A travers des essais soustractifs, et dans un esprit d'approche participative, nous cherchons un type de fumures qui pourrait répondre à l'attente des populations de cette zone d'étude et respectueux de l'environnement.

A l'issue de cette étude, nous sommes parvenus aux résultats suivants: le maïs et le sorgho croissent différemment en fonction des villages et c'est à Dao et à Kou que le maïs a une meilleure croissance plus élevée que les deux autres villages. Quant au sorgho, c'est le village de Vrassan qui enregistre les meilleures croissances des plants.

Quant aux formules d'engrais proposées nous nous sommes rendus compte que toutes les formules ont eu chacune un effet positif et significatif sur la croissance du maïs et du sorgho. Sauf la formule où on a associé le maïs et le niébé. La formule de T11 (céréale + NPK) a permis d'obtenir des meilleures croissances en hauteur du sorgho et du maïs. On a remarqué que des formules comme T1 et T2 pour le maïs, T1, T5, T7, T10 pour le sorgho sont comparables au traitement T11 quant à l'amélioration de la croissance en hauteur des plants. On conclut donc que l'azote et le phosphore seraient les éléments qui limitent la croissance voire la production des cultures sur ces sites. Cela confirme notre 1<sup>ère</sup> hypothèse selon laquelle il existe des éléments nutritifs non disponibles qui limitent la production .

Quant aux rendements grain et paille des deux spéculations, les sites d'études ont affecté significativement les rendements pailles et grains des deux spéculations. Ainsi les rendements paille et grain sont significativement plus élevés à Vrassan que dans les autres villages pour le sorgho. Ce site conviendrait au mieux à la production du sorgho. Pour le maïs, c'est Dao qui enregistre les rendements grain les plus élevés. Tandis que les meilleurs rendements paille sont observés à Kou. Ces deux sites auraient un potentiel quant à la production du maïs.

Les formules de fumures n'ont pas eu un effet significatif sur les paramètres de rendements du sorgho excepté le paramètre rendement paille dont la plus forte valeur a été enregistrée avec le traitement T1 (Sorgho + NPK+ Niébé + FO). Par contre, un effet significatif a été observé sur tous les paramètres de rendement du maïs. Ainsi le T1 (maïs + NPK+ Niébé + FO), a permis non seulement d'améliorer les rendements paille, mais aussi en grains. Cependant les formules d'engrais n'ont pas eu un effet significatif sur le taux d'humidité des sols. Ces résultats confirment notre hypothèse 1 selon laquelle, Il existes des éléments nutritifs non disponibles qui limitent la production du maïs et du sorgho dans la zone d'étude, et

partiellement l'hypothèse 2 qui supposait que les différentes formules d'engrais proposées et les sites influencent chacun la croissance et la production du maïs et du sorgho et permettent une bonne rétention de l'eau du sol.

Pour toutes les deux spéculations, la formule T7 (maïs ou Sorgho +N+P) est la formule la plus rentable économiquement quand on considère les formules qui nécessitent des dépenses en engrais. Ainsi le producteur qui souhaite produire le maïs ou du sorgho en culture pure il gagnerait en appliquant seulement du DAP à 30 kg ha<sup>-1</sup> trois (3) semaines après le semis puis de l'urée à 100 kg ha<sup>-1</sup> et 50 kg ha<sup>-1</sup> respectivement pour le maïs et le sorgho au 45 JAS. Au cas où le producteur n'a pratiquement pas les moyens il optera pour la formule du traitement T3 (céréale + niébé). Cela confirme notre hypothèse 3 selon laquelle il existe une formule d'engrais parmi celles proposées, économiquement rentable, et de coût abordable par les petits producteurs.

L'association du maïs au niébé a permis au niébé d'avoir des meilleurs rendements en grains et fanes comparativement à celle du sorgho avec le niébé. De plus, la fumure organo-minérale T3 (céréale + NPK+ Niébé FO), a permis d'avoir de meilleurs rendements grains et fanes chez le niébé. Mais l'effet du niébé sur les rendements des deux céréales n'a pas été significatif.

Enfin, la fertilisation organo-minérale permet d'améliorer d'un point de vue agronomique les rendements maïs a une rentabilité économique faible. Egalement l'azote et le phosphore sont les éléments pouvant limiter la production du maïs et du sorgho. Par ailleurs il est nécessaire d'apporter ces éléments ensembles car il existerait un équilibre entre ces deux éléments.

Il serait nécessaire d'étendre cette étude aux autres zones climatiques du Burkina Faso.

Nous suggérons de reprendre les essais en associant :

- les deux formules (T7 + T3) avec apport de fumure organique ;
- la formule de T5 + T3 avec apport de fumure organique.

## Bibliographies

- Aune B. J., Doumbia M. and Berthe A., 2007.** Microfertilizing sorghum and pear millet in Mali. Agronomic, economic and social feasibility. *Agriculture*. Vol 36, N°3. 5p.
- Azontondé A., 1993.** Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cah. Orst. Sér. Pédol.*, 28 : 217-226.
- Barro-Kondombo C. P., Vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F. Et Zongo J.D., 2008.** Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso: la boucle du Mouhoun et le Centre-Nord. *Cahiers Agriculteurs* 17:107-113.
- Bachelier G., 1973.** Activité biologique des sols et techniques simples qui en permettent l'évaluation cah. ORSTOM serie pédol vol XI 1 :65-77.
- Bado B. V., Sedogo M. P., Cescas M. P., Lompo F. Et Bationo A., 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Agriculture Vol 6 ff* 571-575
- Barro-Kondombo C.P., 2010.** *Diversité agro-morphologique et génétique de variétés locales de sorgho (Sorghum bicolor (L.) Moench) au Burkina Faso. Eléments pour la valorisation des ressources génétiques locales.* Thèse de doctorat, Univ. de Ouagadougou, 114 p.
- Bationo A. et Mokwunye A. U., 1991.** Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production with special reference to the Sahelian and Sudanian zone of West Africa. *Kluwer Academie Publishers* 217-225.
- Baudoin J.P., Camarena F., Lobo M., 1995.** Amélioration de quatre espèces de légumineuses alimentaires tropicales: *Phaseolus vulgaris*, *P. polyanthus* et *P. lunatus*. Sélection intra et interspécifique. In: Quel avenir pour l'amélioration des plantes? Dubois J., Paris (France). John Libbey Eurotext, pp 31-49.
- BIODEV., 2013.** Etude exploratoire et priorisation des espèces agroforestières dans les villages pilotes du projet Biocarbone et Développement Rurale en Afrique de l'Ouest (BIODEV) au Burkina Faso, 54 p.
- Blein, R., Soulé, G. B., Dupaigne, F. B., & Yérima, B. 2008.** Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Presles: Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde.

- Brocke V. Kirsten., Barro-Kondombo C., Gilles Trouche., David Kambou., Palé G. et Compaoré D. 2008.** Production de semences de sorgho en milieu paysan au Burkina Faso 17 p.
- César J., Ehouinsou M. et Gouro A., 2004.** Production fourragère en zone tropicale et conseils aux éleveurs. Rapport Procordel, CIRDES, Bobo-Dioulasso, 47 p.
- Chantereau J., 1994.** La taxonomie du sorgho. In : *Acte de l'atelier de formation sur les variétés locales de sorgho*, 10-14 octobre, Bamako/Mali : PP 17-27.
- Chaussod R. 1996., La qualité des sols : évaluation et implication. Furu, le sol un patrimoine menacé. Paris 24 octobre 1996. 261-277**
- CIMMYT., 1991.** Réalités et tendances: potentiel maïsicole de l'Afrique Subsaharienne, Mexico, Mexique, 71 p.
- CIMMYT., 2000.** World Maize Facts and Trends. Meeting World Maize Needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. Mexico, D.F: 60 p.
- Compaore M., Naon F. Et Yamanaka K., 2008,** Etude de la situation actuelle sur la production et l'utilisation des semences améliorées dans les provinces de l'Ouhritenga, du Passoré, du Séno, du Houet et du Boulgou du Burkina Faso. PNDSA, JICA. 101 p
- Coulibaly K., Va. U. E., Autfray P., Bacyé B., Somda I., Nacro H.B. Et Sédogo M.P., 2012a.** Coconception d'itinéraires techniques de culture pure du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) et du mucuna (*Mucuna deeringiana* [Bort], Merrill) dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso: intérêts et limites. Journal of Agriculture and Environment for International Development - JAEID, 106 (2): 139-155.
- Coulibaly K. 2012.** Analyse de variabilité des performances agronomiques et économiques des cultures et de l'évolution de la fertilité des sols dans les systèmes agropastoraux en milieux soudanien du Burkina Faso: approche expérimentale chez et par les paysans Thèse de Doctorat en Développement Rural. Option : Système de Production Végétale. Spécialité Science du Sol. UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso 149 p
- CTA., 2012.** Production et transformation du maïs au Cameroun. 29p.
- De Wet J.M.J., Harlan J.R. And Price E.G., 1970.** Origin of variability in the Spontanea complex of Sorghum bicolor. *American Journal of Botany* 57(6): 704-707.
- Delville P. L., 1996.** Gérer la fertilité des terres des pays du sahel : diagnostic et conseil aux paysans. Collection le point sur. GRET. 397p.
- DGESS/MASA., 2014.** Bilan de la campagne 2013/2014, Ouagadougou, Burkina Faso.

- DGPER., 2010.** Analyse de la Compétitivité des Filières de Céréales Sèches au Burkina Faso  
MAHRH Presse: Ouagadougou.
- Doggett H., 1965.** Striga hermonthica on sorghum in East Africa. *J. Agric. Sci.* 65: 183-194.
- Doggett H., 1988.** Sorghum. *London Harlow, Longman Scientific Technical*, GB, 512.
- Dozsi A. K., 2002.** Application du modèle CERES-Maize de DSSAT à l'analyse des stratégies de semis pour le maïs (*Zea mays* L.) dans les conditions de SEVE KPOTA. Mémoire d'ingénieur agronome, IFDC Afrique/ESA -UL, Lomé, Togo, 91 p.
- Drabo M., 2011.** Effet des apports répétés de diverses sources d'amendements organiques sur quelques propriétés chimiques du sol, la nutrition hydrique et sur les rendements du sorgho dans le plateau central du Burkina Faso (Saria). Mémoire de fin d'études, Option: Agronomie, IDR/UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 50 p.
- Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Kamara A.Y. Et Ajeigbe H., 2009.** Production du niébé en Afrique de l'Ouest: Guide du paysan. Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria, 26 p.
- FAO., 1991.** Annuaire de la production 1990. Vol. 44. Série statistique de la FAO n° 99. Rome.
- FAO., 2000.** La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: enseignements des 50 dernières années. 00100 Rome, Italie, 354 p.
- FAO., 2013.** Analyse des incitations et pénalisations pour le sorgho au Burkina Faso. Suivi des politiques agricoles et alimentaires en Afrique, 42 pages.
- FAO/IFA., 2003.** Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole. Quatrième édition. FAO, Rome, 2003. 77p.
- Gnankamary Z., 2007.** Compost and fertilizer mineralization on soil and harvest in parkland agroforestry systems in the south-sudanese zone of Burkina Faso. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural sciences. 48p.
- Gonzalez, P., Tucker, C.J., Sy, H., 2012.** Tree density and species decline in the African Sahel attribute to climate. *J. Arid. Environ.* 78, 55–64, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.001>.
- Gouba A., 2009:** Les enjeux de la durabilité de l'agriculture au Burkina Faso : cas de la ferme pilote de Guie. Mémoire MASTER 2 Géographie. Politique territoriale du développement durable. Option Agriculture durable. Université du Maine 78 P.
- Guy R., 1984.** Le maïs, le technicien de l'agriculture tropicale, 142 p.

- Hamadou S., Kamuanga M., Abdoulaye T. Et Lowenberg-Deboer J., 2003.** Facteurs affectant l'adoption des cultures fourragères dans les élevages laitiers périurbains de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). CIRDES, 18 p.
- Harlan I. R. And De Wet J.M.J., 1972.** A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science*, 12: 172-176.
- Hema A., 2003.** Contraintes liées à la production de la fumure organique dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso: cas des régions cotonnières de N'dorola, de Dédougou, de Houndé et de Banfora. Mémoire de fin d'étude, IDR, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 67 p.
- House L.R., 1987.** Manuel de la sélection du sorgho (2e éd.). *ICRISAT Patancheru*, Inde: 229 p.
- Iddi, A. O., 1987.** Contribution à l'étude d'une technique de criblage pour la résistance du maïs (*Zea mays* L.) à l'*Helminthosporium maydis*. Mémoire de fin d'étude. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 110 p.
- INSD., 2009).** Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH de 2006): Monographie de la région du Centre Ouest, 179 p.
- Kabore P., Kabore T., Maatman A., Ouedraogo A., Ruijs A., Sawadogo H. Et Schweigman C., 1995.** Analyses des stratégies paysannes dans les régions centre et Nord-Ouest du Burkina Faso: approche et quelques résultats, réseau SADAOC, Université de Groningen, Université de Ouagadougou, INERA, Ouagadougou, 49 p.
- Kambire H., Abdel-Rahman G., Bacye B. Et Dembele Y., 2010.** Modeling of Maize Yields in the South-Sudanian Zone of Burkina Faso - West Africa cas du *American-Eurasian J. Agric. & Environ. SeL*, 7 (2): 195-201.
- Kranjac-Berisavljevic G., Blench Rm., Bayorbor Tb., Abdulai As., Obeng F., Turton Cn., Boyd C., Trench P E et Drake E., 1998.** La conservation des sols et de l'eau au Nord du Ghana, Rapport de la Faculté d'agriculture de Tamale et de l'ODI de Londres, 72 p.
- Leguenic M., 2001.** L'approche participative fondements et principes théoriques application à l'action humanitaire 16 P.
- Lithourgidis A.S., Dordas C.A., Damalas C.A. Et Vlachostergios D.N., 2011.** Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science* , 5(4): 396-410.
- MAHRH., 2001.** Plan d'action sur les céréales (Mil, Sorgho, Maïs), 13 p.

- Maranz, S., 2009.** Tree mortality in the African Sahel indicates an anthropogenic ecosystem displaced by climate change. *J. Biogeogr.* 36, 1181–1193.
- MEECV., 2010.** Plan d'action du plan décennal pour la promotion des modes de consommation et de production durable au Burkina Faso 103 p.
- Nkamleu G. B. et Coulibaly O., 2000.** Les déterminants du choix des méthodes de lutte contre les pestes dans les plantations de cacao et café au sud-cameroun. *Economie rurale*, 259: 75- 85.
- Ouédraogo T. Jérémy., Drabo I., JB. Tignégré., Dabiré C., Sérémé P. Et G. Konaté., 2009.** Fiche technique du niébé (Variété K VX 61-1) 1p.
- Pieri, C., 1989.** Fertilité des terres des Savanes, Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara, CIRAD, France, 444 p.
- PNGT2. Et BEAER., 2007** Plan Communal de Développement de Cassou, 2008-201; 97 pages.
- PNUD-FAO., 2008.** Rapport mondial sur le développement humain: la lutte contre le changement climatique, un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé, Programme des Nations Unies pour le Développement, 382 p.
- Poss R., Saragoni H. Et Imbernon J., 1988.** Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. *Agr. Trop.*, 43 (1): 18-29.
- Robelin M., 1963.** Contribution à l'étude du comportement du maïs grain vis-à-vis de la sécheresse. In Journée internationale de l'irrigation, AGPM, Agen.
- Rouanet G., 1984:** Le maïs: Le technicien d'Agriculture tropicale. Édition Maisonneuve et Larose, Paris, France, 142 p.
- Sanou J., 1996.** Analyse de la variabilité génétique des cultivars locaux de maïs de la zone de savane Ouest Africaine en vue de sa gestion et de son utilisation. Thèse de doctorat, ENSA. Montpellier, France, 98 p.
- Sanou J., 2003.** Production du maïs au Burkina Faso. Effort de recherche pour le maïs riche en protéine. INERA, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 5p.
- Sanou M., 2014.** Effets de l'application de deux sources de phosphore et du fumier sur les performances du sorgho et la biodisponibilité du phosphore dans les sols ferrugineux tropicaux en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Mémoire de master II en géoressources. Université de Ouagadougou. 66p.

- Segda Z., Hien V. et Becker M., 2000.** *Mucuna cochinchinensis* dans les systèmes d'association et de rotation culturale au Burkina Faso. In : Ch. Florent, R. Pontanie (éds). « La jachère en Afrique tropicale ». Paris, (France) : 622-627
- Sere Y., 1990.** La striure et les autres maladies du maïs au Burkina Faso. In Lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel. Proceedings du séminaire international de lutte intégrée, 4-9 Janvier 1990. Institut du Sahel, Bamako, Mali, pp 276-284.
- Somda B. B., 2015.** Détermination des doses optimales combinées de matière organique et d'engrais minéraux appliqués en microdose sur la production du sorgho et du fonio au cours d'essais en vase de végétation. Mémoire DEA en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles, OPTION: Production Végétale, SPECIALITE : Science du Sol IDR/UPB Burkina Faso. 44 p.
- Steiner K. G., 1996.** Causes de la dégradation des sols et approches pour la promotion d'une utilisation durable des sols (version française : GUENAT, D. et LAURENT, F.), Acade, Bussigny, Suisse, 97p.
- Stoorvogel, J. J. and Smaling, E., 1990.** Assessment of Soil nutrient depletion in Sub Saharan Africa. 1983-2000 Vol 1. Main Report 28, DLO the Winang Staring (SC-DLO) Wageningen, the Netherlands, 137p.
- Stoorvogel, J. J., Smaling., E. M. A. and Janssen. B. H., 1993.** Calculating soil nutrient balances at different scales. I. Supra national. *Fert. Res.*, 35: 227-235.
- Traoré A. Y., 2012.** Impacts des pratiques agricoles (rotations, fertilisation et labour) sur la dynamique de la microfaune et la macrofaune du sol sous culture de sorgho et de niébé au centre ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat unique à l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. 169p.
- Traore N. S., 1997.** Etude bioécologique des Cicadelles du genre *Cicadulina* (Homoptera Cicadellidae), vectrices de la striure du maïs au Burkina Faso. Implication épidémiologique. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Cocody, Abidjan, Cote d'Ivoire, 248 p.
- Traoré K., Bado B. V., & Hien V., 1999.** Effet du *Mucuna* sur la productivité du maïs et du coton. In : R. J. Carsky, A. C. Etéka, J. D. H. Keatinge & V. M. Manyong (éds), « Plantes de couverture et gestion des ressources naturelles en Afrique occidentale ». Actes de l'atelier, Octobre, 1999, Cotonou (Benin), 33-39.

**Traore O., 1993.** Épidémiologie de la striure du Maïs en zone soudano-sahélienne : Burkina Faso. Thèse de Doctorat, université de Ouagadougou, Burkina Faso, 116 p.

**Traore S., Leclant F., Ouedraogo I. Et Dabiret R., 1996.** Inventaire, distribution géographique et capacité intrinsèque de *Cicadulina* spp. (Homoptera: Auchenorrhynques: Cicadellidae) à transmettre le virus de la striure du maïs au Burkina Faso. Ann. Univ. de Ouagadougou, Series B, vol IV, 24 p.

**Trouche G., Da S., Pale G., Sohero A., Ouedraogo O. Et Chantereau J., 2009.** Problématiques de sélection du sorgho comme culture multi-usage, 56 p.

**Zombré P.N., 2006.** Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsaharienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 10 (2), pp. 139–148.

### **Webographie**

**Boukhari M., 1995.** *Systémique du développement durable et participatif* – In (<http://membres.lycos.fr/boukharih>), DSVP, ENA, Meknes. Consulté le 13/01/2016.

**CNRST/INERA., 2000.** Recueil de fiches techniques. Première édition. [www.inera.bf](http://www.inera.bf). Consulté le 22/10/2016

**FAO., 2001.** Water and soil requirement of crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, Online a1: <http://www.fao.org/docrep/IU3160E/u3160e04.htm>. Consulté le 13/01/2015.

**FAO., 2011.** Online a1: <http://www.fao.org>. Consulté 27/11/2015.

**GNIS., 2007.** Physiologie et reproduction du maïs. (<http://www.gnis-pedagogie.org/mais-plante-physiologie-reproduction.html> consulté le 19/10/2015). [www.gnis-pedagogie.org](http://www.gnis-pedagogie.org) consulté le 26/12/2015 à 08h40.

**IITA., 2001.** Maize International Institute of Tropical Agriculture. Online a1: <http://www.iita.org/crop/maize.htm>. Consulté le 27/11/2015.

## Annexes

Annexe 1: Moyenne des paramètres de croissance en fonction des plantes du maïs et du sorgho en fonction des traitements.

Formules D'engrais	Maïs			Sorgho		
	HP (cm)	NF (nbre)	DC (cm)	HP (cm)	NF (nbre)	DC (cm)
T1	170,925±5,646 <sup>ab</sup>	9,188±0,174 <sup>a</sup>	15,807±0,363 <sup>a</sup>	202,63±5,25 <sup>abc</sup>	4,662±0,152	8,59±0,21 <sup>a</sup>
T2	172,350±5,710 <sup>ab</sup>	8,825±0,207 <sup>abc</sup>	15,154±0,396 <sup>ab</sup>	201,91±4,87 <sup>bc</sup>	4,279±0,107	8,31±0,24 <sup>abc</sup>
T3	126,075±5,877 <sup>f</sup>	8,425±0,170 <sup>cd</sup>	11,277±0,335 <sup>f</sup>	178,66±5,61 <sup>d</sup>	4,235±0,138	7,52±0,24 <sup>ef</sup>
T4	166,188±4,978 <sup>bc</sup>	8,7±0,231 <sup>bcd</sup>	14,735±0,409 <sup>bc</sup>	192,29±6,59 <sup>c</sup>	4,074±0,115	7,64±0,24 <sup>def</sup>
T5	148,763±5,864 <sup>d</sup>	8,763±0,169 <sup>abc</sup>	13,070±0,390 <sup>de</sup>	207,63±4,22 <sup>ab</sup>	4,206±0,118	8,00±0,22 <sup>abcde</sup>
T6	152,625±5,190 <sup>cd</sup>	8,613±0,196 <sup>cd</sup>	13,167±0,332 <sup>d</sup>	194,87±5,44 <sup>bc</sup>	4,368±0,129	7,72±0,21 <sup>cdef</sup>
T7	154,638±5,709 <sup>cd</sup>	9,138±0,197 <sup>ab</sup>	13,747±0,407 <sup>cd</sup>	203,15±4,99 <sup>abc</sup>	4,279±0,118	8,08±0,23 <sup>abcde</sup>
T8	150,013±4,766 <sup>d</sup>	8,6±0,196 <sup>cd</sup>	12,897±0,331 <sup>de</sup>	194,21±5,64 <sup>c</sup>	4,294±0,157	8,18±0,25 <sup>abcd</sup>
T9	144,275±6,368 <sup>de</sup>	8,3±0,185 <sup>de</sup>	12,206±0,415 <sup>de</sup>	194,22±3,88 <sup>c</sup>	4,338±0,149	7,88±0,21 <sup>bde</sup>
T10	158±5,589 <sup>bcd</sup>	8,613±0,207 <sup>cd</sup>	14,360±0,371 <sup>bc</sup>	204,26±5,21 <sup>abc</sup>	4,309±0,117	8,29±0,20 <sup>abc</sup>
T11	182,075±5,505 <sup>a</sup>	9,197±0,220 <sup>ab</sup>	15,003±0,397 <sup>ab</sup>	215,44±3,59 <sup>a</sup>	4,324±0,110	8,40±0,22 <sup>ab</sup>
T12	129,175±6,126 <sup>ef</sup>	7,913±0,186 <sup>e</sup>	11,334±0,398 <sup>f</sup>	191,74±4,17 <sup>c</sup>	4,059±0,146	7,18±0,15 <sup>f</sup>

Annexe 2: Moyenne des rendements en grain et en paille du sorgho et maïs.

	Maïs		Sorgho	
	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	RP (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	RP (kg ha <sup>-1</sup> )
T1	1092,41±161,54 <sup>a</sup>	4411,19±372,90 <sup>a</sup>	493,83±72,69	2277,61±207,44 <sup>a</sup>
T2	1027,54±156,03 <sup>ab</sup>	3672,46±289,65 <sup>ab</sup>	394,70±60,77	2198,59±249,52 <sup>ab</sup>
T3	754,01±155,65 <sup>bcd</sup>	1942,26±299,76 <sup>e</sup>	480,48±72,06	1498,59±175,28 <sup>d</sup>
T4	804,52±113,57 <sup>abcd</sup>	3104,96±254,15 <sup>bcdde</sup>	433,17±76,76	2233,47±179,70 <sup>abc</sup>
T5	738,63±102,28 <sup>bcd</sup>	2786,67±297,27 <sup>def</sup>	504,75±73,88	1868,46±149,88 <sup>abcd</sup>
T6	631,54±77,23 <sup>cd</sup>	2519,77±216,30 <sup>efg</sup>	318,01±53,96	2166,99±182,68 <sup>abcd</sup>
T7	831,54±95,60 <sup>abc</sup>	3519,71±274,36 <sup>bcd</sup>	425,31±63,50	1983,02±243,74 <sup>ab</sup>
T8	734,81±94,54 <sup>bcd</sup>	3045,19±260,57 <sup>efg</sup>	442,78±58,59	1920,28±152,43 <sup>abcd</sup>
T9	731,84±84,80 <sup>bcd</sup>	2881,07±248,32 <sup>cdef</sup>	392,13±80,79	1940,95±193,37 <sup>ab</sup>
T10	915,61±110,88 <sup>abc</sup>	3462,51±280,78 <sup>bcd</sup>	623,74±100,91	1750,79±170,20 <sup>bcd</sup>
T11	810,18±80,51 <sup>abcd</sup>	3615,28±212,05 <sup>bc</sup>	386,27±78,69	2138,13±171,24 <sup>abc</sup>
T12	506,05±86,01 <sup>d</sup>	2241,58±272,59 <sup>e</sup>	502,47±80,58	1630,54±160,89 <sup>cd</sup>

Annexe 3: comparaison des moyennes du taux d'humidité en fonction du village

	Sol sec		Sol humide	
	0-10cm	10-30cm	0-10cm	10-30cm
<b>Cassou</b>	3,510±0,131 <sup>c</sup>	4,640±0,161 <sup>b</sup>	6,106±0,212 <sup>c</sup>	6,074±0,199 <sup>b</sup>
<b>Dao</b>	3,230±0,128 <sup>c</sup>	4,555±0,169 <sup>b</sup>	6,799±0,217 <sup>b</sup>	6,066±0,165 <sup>b</sup>
<b>Kou</b>	4,099±0,141 <sup>b</sup>	5,491±0,231 <sup>a</sup>	5,778±0,144 <sup>c</sup>	5,773±0,156 <sup>b</sup>
<b>Vrassan</b>	4,608±0,156 <sup>a</sup>	5,588±0,162 <sup>a</sup>	8,487±0,206 <sup>a</sup>	7,016±0,159 <sup>a</sup>

Annexe 4: Questionnaire d'enquête  
 ....../.... / 2015

Identification de l'enquêteur

Nom:                      Prénom :

**Identification de la zone d'enquête**

1. Région : **Centre Ouest**

2. Province : **Ziro**

3. Département : .....

4. Village : .....

**Identification de l'enquêté(e)**

5. Nom:

6. Prénom(s):

7. Genre: M  F

8. Situation familiale: marié (e)  divorcé(e)  Célibataire  Veuve   
 (veuf)

9. Niveau d'instruction: Non scolarisé  Primaire  Secondaire   
 Alphabétisé  Autre

10. Nombre de personnes en charge:

11. Nombre d'actif(s) agricole(s):

12. Nombre d'heure de travail:

**Détermination du niveau d'organisation des producteurs**

13. Comment êtes-vous organisé autour de la production du maïs, du sorgho et du niébé ?

Production familiale  Groupement

Union

Fédération

14. Quel type d'exploitation pratiquez-vous?

Collectif  Individuel

15. Quelle est la superficie totale (ha) de votre exploitation?

16. Quelle (s) spéculat(i)on(s) produisez-vous?

Mais  Mil  Sorgho  Niébé

Autres (citer)

17. Quelle est la superficie produite (pour chaque spéculat(i)on citée au-dessus) ?

Mais

Sorgho

Niébé

18. Comment appréciez-vous la disponibilité des intrants (semences/fertilisants) en fonction de votre localité?

Disponible  Rare  Très rare

19. Comment obtenez-vous les intrants (semences/fertilisants) agricoles?

Commerçants en ville  Commerçants locaux  Union

Autres (citer)

20. Rencontrez-vous des difficultés pour l'acquisition des intrants (semences/fertilisants) agricoles?

Oui  Non

21. Quel est le problème majeur que vous rencontrez dans l'acquisition des intrants (semences/fertilisants) agricoles?

Prix élevé des intrants

Mauvaise qualité des intrants agricoles

Quantité insuffisante des intrants agricoles sur le marché

Arrivée tardive des intrants

Autres (citer)

22. Quel type de semence utilisez-vous?

Locale  Sélectionnée (améliorée)

23. Quelle quantité de semence utilisez-vous à l'hectare?

Maïs:.....Kg/ha

Sorgho: ....Kg/ha

Niébé.....Kg/ha

24. Utilisez-vous régulièrement la fumure organique?

Oui

Non  Pourquoi ?

25. Quel type de fumure organique utilisez-vous?

Compost  fumier non composté

Autres à préciser

26. Comment obtenez-vous la fumure organique ?

Compostage  parcage d'animaux  Autres à préciser

27. Quelle quantité de fumure organique appliquez-vous par hectare dans votre champ de maïs et du sorgho?

Maïs:..../ha

Sorgho:..../ha

Niébé...../ha

28. Combien dépensez-vous pour la fumure organique?

29. Utilisez-vous la fumure minérale?

Oui  lesquelles.

Non  pourquoi:

30. Quelle quantité de fumure minérale (NPK) appliquez-vous par hectare dans votre champ du sorgho et du maïs?

Moins de 50 kg/ha  50 à 100 kg/ha

Plus de 100kg/ha

31. Depuis quand utilisez-vous la fumure minérale dans votre champ?

32. Combien dépensez-vous pour la fumure minérale?

33. Utilisez-vous d'autres techniques pour la fertilisation des champs?

Oui  les quelles

Non

32. Quelles opérations culturales pratiquez-vous? Et combien de fois?

Labour  Nombre de fois

Sarclage ou désherbage  Nombre de fois

Autres à préciser

33. Combien dépensez-vous pour chaque opération culturale?

Labour :....FCFA, semis :....FCFA, sarclage/désherbage :...FCFA, épandage d'engrais :...FCFA; récolte :....FCFA

34. Combien dépensez-vous pour l'achat des semences ?

Mais..... ;

Sorgho..... ;

Niébé..... ;

35. La main d'œuvre est-elle disponible dans votre localité ?

Oui

Non  Pourquoi?

36. Si la main d'œuvre n'est disponible, que faites-vous pour combler le vide ?

Groupe de travail  Location  Salariale

37. Quelle quantité de maïs, sorgho et Niébé obteniez-vous à l'hectare ?

Maïs :.....kg/ha ; Sorgho :....kg/ha Niébé.....kg/ha

38. Quelle (s) utilisation (s) faites-vous de la récolte du maïs et du sorgho?

Stocker pour vendre  Vente dès la récolte

Autoconsommation

Autres (à préciser)

39. Quelle est la proportion vendue?

La moitié  Plus de la moitié (3/4)  Moins de la moitié (1/4)

(Utilisation de la méthode des cailloux)

40. Comment vendez-vous vos produits?

Collectif  Individuel  Unio:

Autres

41. Où vendez-vous votre production ?

42. A qui les vendez-vous ?

Particuliers  Collecteurs

43. A combien vous vendez le kilogramme de maïs et du sorgho?

Mais :.... FCFA/kg au marché local    Sorgho :.... FCFA /kg au marché local

Mais :.... FCFA/kg au marché de ville    Sorgho :.... FCFA /kg au marché ville

44. Comment se fait la vente de vos produits ?

Sur place (marché local)                        Transporter sur le marché en ville   

Vente groupée   

Autres (préciser)   

45. Comment sont fixés les prix?

En fonction de l'offre et de la demande   

En fonction du coût de la production   

46. Est-ce que le prix du maïs et le sorgho varie selon les périodes?

Oui        comment?                                    Non        pourquoi ?

47. Arrivez-vous à écouler toute votre récolte ?

Oui                                        Non   

48. Si non, que faites-vous ? :

Consommation                                        Conditionner pour vendre ultérieurement   

49. En fin de campagne combien de franc obteniez-vous de la vente de votre production?

Mais :....FCFA

Sorgho :....FCFA

50. Que faites-vous du revenu obtenu de la vente ?

Achat d'autres produits de consommation                        Dépenses liées à la santé de la famille   

Frais scolaires des enfants   

Gestion des activités socioculturelles (funérailles, baptêmes, mariages etc.)   

Frais d'intrant (engrais, pesticide)

Autres (citer)

51. Combien de francs réinvestissez-vous dans la production (achat d'intrants, matériels etc.).

Maïs : FCFA Sorgho : FCFA

52. Pensez-vous que vos rendements connaissent-ils une augmentation durant les 10 années passées ?

Oui

Non

53. Si oui, quelles peuvent être les raisons selon vous ?

Une augmentation de la superficie

Application d'engrais (type d'engrais utilisé à préciser)

Autres à préciser

54. Si non, pourquoi ?

55. Contraintes biophysiques de la production agricole

a. Quelles sont d'après-vous les contraintes liées à une bonne production agricole dans votre région ?

- Mauvaise qualité du sol

- Faible utilisation d'engrais

- Changement climatique

- Manque de sensibilisation

- Faible utilisation d'intrants organiques

b. Comment remédier à cela ?

c. Comment définissez-vous un sol de mauvaise qualité

d. Comment réhabilitez-vous vos sols dégradés ?

Jachère  Rotation culturale  Cultures associées

Apport d'engrais minéraux  Apport de fumures organiques

Autres (à préciser)

e. Quelles sont selon vous, les solutions pour augmenter durablement la production agricole ?

Utiliser des semences améliorées

- Une bonne gestion de la fertilité des sols
- Adopter des bonnes pratiques culturales
- Pratiquer l'agro-sylvo-pastoralisme
- Prendre en compte les suggestions et conseils des experts
- Autres (à préciser)

f. Pensez-vous que le climat influe négativement votre production agricole ?

- Si oui comment ?

- Si non, expliquez.

56. pratiquez-vous la rotation culturale?

Oui                      lesquelles (les cultures qui se succèdent dans la parcelle et l'ordre de passage)

Non

57. pratiquez-vous l'association culturale ?

Oui                      (les cultures en association)

Non

58. que faites-vous des résidus de culture?

59. comment faites-vous l'application de l'engrais?

Un seul apport

Fractionné