

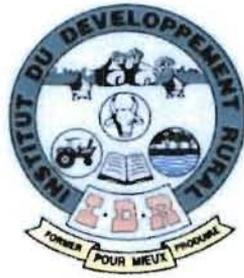
BURKINA FASO

UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION: Agronomie

THEME:

**Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons
pierreux, zaï et demi-lunes dans le bassin versant du
Zondoma.**

Présenté par: **YOUGBARE Hadaogo**

Maître de stage: **Dr Robert ZOUGMORE**

Directeur de mémoire: **Dr Mamadou TRAORE**

N: -2008/AGRO

JUIN 2008

Dédicace

A

Mon grand père YOUGBARE Saaga, qui nous a quitté en Décembre 1998; que la terre lui soit légère;

Mon père YOUGBARE Lallébila Sidiki;

Ma mère SANA Salamata;

Aux coépouses de la maman;

Mes frères et sœurs.

Puisse Dieu vous accorder longue vie afin que vous puissiez récolter et jouir des fruits de vos investissements.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
TABLE DES MATIERES	ii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES TABLEAUX	vii
SIGLES ET ABREVIATIONS	viii
SIGLES ET ABREVIATIONS	viii
RESUME	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. PROBLEMATIQUE DE LA FERTILITE DES SOLS AU BURKINA FASO	3
1.2. EFFET DES MATIERES FERTILISANTES SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES	4
1.2.1. Effet des amendements sur les rendements des cultures.....	4
1.2.1.1. Rôle du fumier et du compost	5
1.2.2. Effet des engrais chimiques sur les rendements des cultures.....	5
1.2.2.1. Rôle de l'azote.....	6
1.2.2.2. Rôle du phosphore et du potassium	7
1.2.3. Effet des fumures organo-minérales sur les rendements des cultures.....	7
1.3. PRATIQUES DE REHABILITATION DES SOLS AU BURKINA FASO	8
1.3.1. Cordons pierreux	8
1.3.2. Zaï	9
1.3.3. Demi-lunes	10
CHAPITRE 2: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	11
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	11
2.2. VEGETATION	12
2.3. CONDITIONS CLIMATIQUES	13
2.4. SOLS ET UNITES CARTOGRAPHIQUES	16
CHAPITRE 3: METHODOLOGIE	17
3.1. MATERIELS D'ETUDE	17
3.1.1. Matériel végétal.....	17
3.1.2. Les engrais utilisés	17
3.2. METHODES	17
3.2.1. Choix des producteurs.....	17
3.2.2. Dispositif expérimental	18
3.2.3. Conduite des essais	19
3.2.4. Observations et mesures.....	21
3.2.5. Analyse statistique des données	22
CHAPITRE 4: RESULTATS ET DISCUSSIONS	23
4.1. RESULTATS	23
4.1.1. Impact des différentes techniques de CES sur la culture du sorgho	23

4.1.1.1. Impact des différentes techniques de CES sur les paramètres morphologiques du sorgho	23
4.1.1.2. Effet des techniques de CES sur le rendement du sorgho.....	25
4.1.2. Effet de la fumure organique sur les paramètres morphologiques du sorgho.....	27
4.1.3. Effet de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho	29
4.1.4. Effet des fumures minérales sur les paramètres morphologiques du sorgho	31
4.1.5. Effet de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho	33
4.1.6. Effet combiné des fumures organique et minérale sur les paramètres de rendement du sorgho	35
4.1.7. Effet combiné de la fumure organique et des techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho.....	37
4.1.8. Effet combiné de la fumure minérale et des techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho.....	39
4.2. DISCUSSION	43
4.2.1. Effet des techniques de conservation des eaux et des sols.....	43
4.2.2. Effet de la fumure organique.....	44
4.2.3. Effet de la fumure minérale.....	45
4.2.4. Effet combiné fumure organique et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho	46
4.2.5. Effet combiné de la fumure organique et des fumures minérales sur les paramètres de rendement du sorgho.....	46
4.2.6. Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho	47
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	48
BIBLIOGRAPHIE	50
ANNEXES.....	A
Annexe 1: Choix des producteurs par l' IFDC.....	A
Annexe 2:	C
Annexe 3	D
Annexe 4	E
Annexe 5	F

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est le couronnement d'un long processus de formation. Il nous plaît d'adresser nos remerciements aux institutions et personnes suivantes:

L'Institut du Développement Rural (IDR) pour les enseignements divers durant notre passage;

L'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) /Kamboinsé pour nous avoir accepté comme stagiaire au sein du laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP);

ANAFE pour son appui financier à la réalisation des expériences et la reproduction du mémoire relatifs au stage;

Pr SEDOGO P. Michel pour nous avoir facilité le stage dans le laboratoire SEP;

Dr ZOUGMORE Robert B., notre maître de stage pour nous avoir proposé le thème et accepter nous encadrer durant le stage. Nous vous sommes reconnaissants pour vos soutiens multiples;

Dr TRAORE Mamadou, notre directeur de mémoire pour votre collaboration, votre disponibilité, vos multiples échanges fructueux;

Pr NACRO A. Bismarck pour les multiples conseils;

Dr SEGDA Zacharie, Dr SAWADOGO W. Paul, Dr GNANKAMBARY Zacharia, pour leurs conseils et suggestions;

Le personnel de l'IFDC, plus particulièrement M. YOUL Sansan, M. CONFE Lamine, M. FOFANA et M. ZIDA pour leurs conseils;

Mon père et ma mère pour votre amour et vos soutiens sans faille;

Les coépouses de la maman: Delma Assétou, Gnada Salamata pour votre affection depuis mon enfance et les sacrifices consentis;

Mes frères et sœurs pour la fraternité, le respect, le soutien mutuel;

Mes oncles: Fifou Saïdou, Boukary, Yacouba, Sana Djibril pour vos soutiens multiples;

Mes cousins: Hamadou et son épouse, Jean Mari et son épouse, Sibidou, Wahab, Mamadou, Francis, Cébastien, Narcisse, Laurent, Grégoire, Ousséni pour vos encouragements et soutiens divers;

M^{elle} Kouraogo P. Zaroumatou, ma fiancée pour ta compréhension et tes encouragements; que Dieu tout puissant entretienne notre relation;

Les camarades de laboratoire: Pouya Mathias, Soma Mariam, Sama Ousséni, Coulbali Kalifa, Ouatar Bassiaka, Tiendrébéogo Rasmata, Zongo Nongma, Sanou Bachirou, Dabré Elysée, Moné Richard pour la collaboration, les conseils multiples et l'esprit d'équipe élevé;

Monsieurs RAMDE Martin, KABORE Jean-Paul, MOYENGA Momouni, OUEDRAOGO Alain et son épouse, DOUAMBA Gérard pour les moments passés ensemble;

M. OUANDAOGO Noufou, M^{lles} Sanou Ivone et Boura Safoura pour les multiples impressions et mise en forme du document;

Bagbila Joël, Zoungrana Apollinaire, Tougma Arlette, Yaméogo Souka Francis, Semdé Bartélémi, Yooda Paul, POUYA Thiéri pour les conseils divers, encouragements et perfectionnement du document;

Les camarades de l'IDR: Thiombiano Boudia Alex, Semporé W Aristide, Kima Sophie Agnès, Tiemtoré K. David, Ouédraogo Noufo, Woumou Kamkam pour les moments passés ensemble;

Ouédraogo Georges, Omar, Saïdou, Boureima, Antoine, Sayouba "Tamoulma", Aziz, Sinaré Boukary Alex, Sanogo Salifou, Zoungrana Nicodem, Saw "Kérédouré", Bélem Arouna nous vous en sommes reconnaissants pour les traitements jamais égalés durant notre séjour dans le Zondoma; Ce document est le fruit de votre collaboration;

Nous ne pouvons passer sous silence, un bon nombre de personne dont nous ne citons pas les noms, qui ont accepté de nous satisfaire dans nos collectes de données, en l'occurrence le personnel de la direction provinciale de l'agriculture du Zondoma, les producteurs des villages de Kibilo et de Sogodin. Nous leurs remercions de tout au fond du coeur.

LISTE DES FIGURES

Figure I: Localisation du Bassin versant du Zondoma	12
Figure II: Variation interannuelle de la pluviosité et du nombre de jours de pluie de 1998 à 2007 à Gourcy (source: DPAHRH/Zondoma)	14
Figure III: Evolution de la pluviométrie et du nombre de jours de pluie en 2007 à Gourcy (source: DPAHRH /Zondoma 2007)	15
Figure IV: Evolution de la pluviométrie et du nombre de jour de pluie en 2007 à Bassi (source: DPAHRH/Zondoma).....	15
Figure V: Evolution de la hauteur des plantes de sorgho selon les différentes techniques de CES	23
Figure VI: Evolution du nombre de feuilles de sorgho selon les différentes techniques de CES	24
Figure VII: Effet des techniques de CES sur l'index de couleur verte des feuilles du sorgho.....	25
Figure VIII: Effet de la fumure organique sur l'évolution de la hauteur du sorgho.	27
Figure IX: Effet de la fumure organique sur la production des feuilles du sorgho.	28
Figure X: Effet de la fumure organique sur l'index de couleur verte des feuilles du sorgho.....	28
Figure XI: Effet de la fumure minérale sur la hauteur du sorgho.....	31
Figure XII: Effet de la fumure minérale sur la production des feuilles du sorgho ..	32
Figure XIII: Effet de la fumure minérale sur l'index de la couleur verte des feuilles du sorgho.....	32
Figure XIV: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur le rendement en grain du sorgho (village de Kibilo).....	40
Figure XV: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur le rendement en tige du sorgho (village de Kibilo).....	41
Figure XVI: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur le rendement en panicule du sorgho (village de Kibilo)	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Apport d'engrais dans les différentes parcelles.....	20
Tableau II: Impact des techniques de CES sur la production du sorgho (village de Songodin)	26
Tableau III: Impact des techniques de CES sur la production du sorgho (village de Kibilo).....	26
Tableau IV: Effet de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)	29
Tableau V: Effet de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo).....	30
Tableau VI: effet de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)	33
Tableau VII: Effet de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo).....	34
Tableau VIII: Effet combiné de la fumure organique et de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin).....	35
Tableau IX: Effet combiné de la fumure organique et de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo)	36
Tableau X: Effet combiné fumure organique et technologie CES sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)	37
Tableau XI: Effet combiné fumure organique et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo)	38
Tableau XII: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)	40

SIGLES ET ABREVIATIONS

ANAFE: African Network for Agriculture Agroforestry and Natural Resources Education.

BUNASOLS: Bureau National des Sols;

BV: Bassin Versant;

DPED: Direction Provinciale de l'Economie et du Développement;

DRAHRH: Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques;

FAO: Fond des Nations Unies pour l'Agriculture;

FIDA: Fond International de Développement Agricole;

GIFS: Gestion Intégrée de la fertilité des Sols;

IDR: Institut du Développement Rural;

IFDC: Un centre International pour la Fertilité des Sols et le Développement Agricole;

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles;

JAS: Jours après semis.

KCl: Chlorure de Potassium;

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

MCD: Ministère de la coopération et du Développement;

NPK: Azote, Phosphore et Potassium;

PDRD: Projet du Développement Rural Durable;

PS-CES/AGF: Programme Spécial de Conservation des Eaux et des Sols et Agroforesterie;

SP/CONAGES: Secrétariat Permanent/ Comité National de Gestion de l'Environnement.

TSP: Triple superphosphate;

RESUME

La dégradation des sols constitue une contrainte majeure pour la production agricole dans le bassin versant pilote du Zondoma. Les cordons pierreux, les demi-lunes et le zaï sont des technologies largement utilisées pour la réhabilitation de ces terres dégradées. Afin d'évaluer la fertilité de ces terres aménagées, une expérimentation au champ a été menée dans le bassin versant pilote du Zondoma. Le dispositif expérimental utilisé est le Split-Split-plot avec six (6) répétitions dont trois (3) par village; le traitement principal est constitué de cordons pierreux, de demi-lunes et de zaï; les traitements secondaires sont: apport ou sans apport de fumure organique ; le traitement tertiaire est constitué de six (6) formules de fumures minérales. L'analyse des résultats est faite à l'aide des logiciels Excel et Genstat. Au cours de cet hivernage à pluviosité exceptionnellement capricieuse, les techniques de conservation des eaux et des sols (CES) ont amélioré la morphologie des plantes et le rendement du sorgho. Les meilleures croissances des plantes sont obtenues avec les cordons pierreux tandis que le zaï a induit les meilleurs rendements du sorgho. L'apport du compost a influencé significativement la morphologie des plantes et les rendements du sorgho. La fumure minérale a induit des effets positifs sur la morphologie des plantes et le rendement du sorgho; des valeurs plus élevées ont été obtenues avec l'application de NP, NPK et NPK+oligo-élément. Les techniques de CES combinées à l'apport de compost induisent des accroissements de rendement par rapport au témoin. En effet, la combinaison fumure organique et fumure minérale entraîne une augmentation de rendement par rapport à l'apport exclusif de fumures minérales. L'effet combiné de techniques de CES et de la fumure minérale montre qu'il faut apporter en plus de la fumure organique, de l'urée et du TSP dans les parcelles aménagées en cordons pierreux, de l'urée et du KCl dans les parcelles en demi-lunes, et du NPK dans les parcelles en zaï. Il ressort que l'effet oligo-éléments est non significatif sur la morphologie des plants et sur le rendement du sorgho, de même que l'addition de K.

Mots clés: Fertilité, Cordons pierreux, Demi-lunes, Zaï, Fumure organique, Fumure minérale, Bassin versant, Zondoma.

INTRODUCTION

La dégradation des ressources naturelles demeure de nos jours un problème majeur pour le développement agro-sylvo-pastoral des zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest (Pontanier *et al.*, 1995). En effet, dans ces zones, les conditions climatiques très précaires, l'explosion démographique et l'état de la pauvreté accrue des sols ne permettent plus un maintien de l'équilibre entre l'exploitation de ces ressources naturelles et leur régénération (Morin, 1993; Aronson *et al.*, 1993). Ces facteurs ont entraîné une disparition progressive de la végétation et une importante dégradation des terres cultivées (Piéri, 1989). Cela se traduit par une perte de la structure des sols et la formation d'une couche battante en surface entraînant une réduction de perméabilité, une augmentation de la compacité, le manque d'aération. Cela a pour conséquence, la limitation de l'enracinement. On assiste alors à une perturbation du régime hydrique du sol et l'apparition d'un pédoclimat présentant une aridité prononcée (Stroonijder, 1996; Amboura *et al.*, 1996). Ces perturbations entraînent l'accentuation de l'érosion qui a abouti à la longue à l'apparition de sols dénudés et indurés appelés "*zipella*" au Burkina Faso, sols "*hardés*" au Cameroun, etc. Dans ces pays, ces glacis dénudés dont l'importance est de plus en plus inquiétante constituent en somme des jachères dégradées (Mando *et al.*, 1999). Selon une évaluation réalisée au Burkina (Maatman *et al.*, 1998), environ 24% des terres arables du pays sont fortement dégradées et menacent de nuire à la qualité du milieu naturel et à la sécurité alimentaire à moyen et long termes.

Dans la zone Nord et centre du Burkina Faso, l'augmentation au fil des années des plages de sols dénudés a contribué à une aggravation du problème de disponibilité des terres cultivables. Cela n'a fait qu'accentuer la pression anthropique sur le foncier, aggravant ainsi le phénomène de dégradation rapide des terres cultivées.

Devant une telle situation d'insuffisance de terres cultivables, les paysans ont développé des initiatives pour pouvoir casser la croûte de battance et exploiter ces "*zipella*". Ainsi, des techniques comme le zaï, le paillage, les diguettes anti-érosives, les bandes de végétation, les demi-lunes sont des techniques de plus en plus utilisées par les paysans avec l'appui des ONG, des projets de développement et des organismes publics pour la réhabilitation des sols au Burkina (Vlaar, 1992; Zougmoré *et al.*, 1999).

Cependant, le simple fait de casser la croûte superficielle en vue d'améliorer l'infiltration ne semble pas favoriser une plus forte production du sorgho malgré le bon état hydrique du sol (Zougmoré *et al.*, 1999). En effet, les faibles rendements des cultures sont

souvent expliqués par la pauvreté des sols en éléments nutritifs majeurs N et P et la faible utilisation des engrais. Dans le but d'une intensification des productions agricoles, il s'avère donc nécessaire d'intégrer la gestion de l'eau avec celle de la fertilité des terres pour pouvoir espérer une augmentation significative des rendements agricoles. Cela est d'autant plus indispensable dans cette partie nord du pays, qui connaît une forte pression foncière. C'est pourquoi une évaluation de la capacité nutritive des terres aménagées apparaît alors comme une étape prioritaire dans la détermination des options de gestion intégrée de la fertilité des sols de cette zone. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude intitulée: "**Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes dans le bassin versant du Zondoma**".

L'objectif général est d'évaluer la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux, en zaï et en demi-lunes. Plus spécifiquement à travers des essais de type soustractif, il s'agit:

- d'évaluer la capacité nutritive naturelle des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes;
- de déterminer les éléments nutritifs limitant la production des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes;
- de déterminer des formules optimales de fumure à recommander sur les terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes.

Le présent mémoire comprend deux parties sub-divisées en quatre chapitres: la première partie est constituée de la revue bibliographique, et la présentation du site de l'étude; la deuxième partie comprend la méthodologie, les résultats et discussions.

Chapitre 1: revue bibliographique

1.1. Problématique de la fertilité des sols au Burkina Faso

La fertilité d'un sol est l'aptitude de ce sol à produire sous son climat; cette aptitude se mesure par le rendement agricole à long terme avec l'application des techniques culturales appropriées. On mesure la fertilité par les rendements des plantes cultivées. Cependant, on doit donc distinguer la fertilité naturelle ou actuelle de la fertilité qui peut être acquise après un aménagement ou fertilité potentielle. On doit enfin distinguer la fertilité chimique de la fertilité physique. Le concept de fertilité associe donc plusieurs composantes: biophysicochimique (climat et sol), technique (mode de gestion de l'espace et techniques culturales) et humaine, qui interfèrent (Lozet et Mathieu, 1997).

Selon une étude du BUNASOLS (1985), les sols du Burkina sont dans leur grande majorité (39%) des sols ferrugineux tropicaux. Dans les conditions naturelles, ces sols sont fortement susceptibles à une mauvaise structuration dès qu'il sont mis en culture (Sédogo, 1981; Charreau et Nicou, 1971; Contepas et Makilo, 1982; Berger *et al.*, 1987; Calliman, 1990; Hartmann, 1991).

D'un point de vue pédogénétique, les sols du Burkina sont développés, pour la plupart sur un matériau parental pauvre en éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium) et ont une faible teneur en matière organique. Par ailleurs, ils sont souvent peu profonds et très sensibles à l'érosion hydrique (Guillobez *et al.*, 1993) du fait de leur forte instabilité structurale. Ils sont aussi très pauvres en bases échangeables à l'exception de ceux développés sur les roches basiques. La faible disponibilité du phosphore dans ces sols limite l'efficacité des engrais minéraux azotés et potassiques (M.A, 1999).

L'incorporation des substances organiques améliore la fertilité des sols (Pichot, 1978; Sarr, 1981; Sédogo, 1981 et 1993; Cissé, 1985). En absence d'apport organique, les parcelles sous culture enregistrent des baisses importantes de matières organiques. La perte annuelle de matière organique peut être évaluée à 3,3%; en outre selon une étude de Berger *et al* (1987) dans la zone cotonnière du Burkina, la perte annuelle de matière organique reste comprise entre 2 et 4%.

1.2. Effet des matières fertilisantes sur les rendements des cultures

L'offre du milieu en énergie, en eau et en éléments minéraux doit répondre aux exigences des cultures, à un coût et pour des risques acceptables par les populations à l'échelle du champ cultivé (Gachon, 1982); aussi, il doit être compatible avec le fonctionnement des systèmes de production.

La fertilisation des cultures comprend l'ensemble des techniques qui permettent d'augmenter les flux d'éléments fertilisants apportés à ces cultures et d'accroître les prélèvements des éléments fertilisants par les cultures.

1.2.1. Effet des amendements sur les rendements des cultures

Un amendement est une matière fertilisante apportée aux sols et dont la fonction principale est d'améliorer leurs propriétés physiques et/ou chimiques et/ou leurs activités biologiques. Les amendements diffèrent des engrais en ce que la fonction principale de ces derniers est d'apporter aux plantes des éléments utiles à leur nutrition (Lozet et Mathieu, 1997).

Selon Kéita (1985) les amendements sont des substances incorporées au sol pour améliorer, en bloc, ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Ils permettent d'ameublir le sol, de le rendre plus perméable à l'eau et à l'air et favorisent ainsi un bon développement du système racinaire. Ils permettent également de créer les conditions nécessaires à la prolifération microbienne et enfin à la nutrition des plantes.

On distingue deux familles d'amendements à savoir: les amendements calcaires et magnésiens, les amendements organiques ou humifères (Kéita, 1985); on distingue deux types d'amendements calco-magnésiens:

- Les produits crus qui sont les craies, les marnes et la dolomie;
- Les produits cuits tels que la chaux vive et la chaux éteinte.

Parmi les amendements organiques ou humifères, on peut citer les fumiers, les lisiers, les purins, le compost, etc.

1.2.1.1. Rôle du fumier et du compost

Les matières organiques utilisées dans la fertilisation des sols sont de natures et de formes variées. Elles sont surtout constituées de fumier, de résidus de culture, des engrais verts, du compost, etc. (Kéita, 1985; Diallo, 2002). Les matières organiques subissent une série de transformations qui les décomposent, puis les minéralisent. Ces transformations sont assurées par les microorganismes. La matière organique a des effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol et joue un rôle important dans la fertilisation minérale (Sédogo, 1981; Kabrah *et al.*, 1993 cité par Diallo, 2002).

Le fumier est un amendement organique constitué d'un mélange de litières et d'excréments d'animaux ayant subi des fermentations plus ou moins poussées (Lozet et Mathieu, 1997). Le fumier joue un grand rôle dans les propriétés physique et chimique du sol. Ainsi, Delville (1996) cité par Lompo (2005) indique que la matière organique accroît la capacité d'échange cationique et donc la quantité et la disponibilité des éléments minéraux dans le sol. De plus, elle améliore la structure du sol et la rétention de l'eau permettant aussi de réduire l'impact néfaste des périodes sèches sur les cultures. L'efficacité des fumures organiques serait due à leur capacité à limiter la baisse du taux de matière organique du sol, à entretenir la capacité d'échange cationique et à limiter le taux d'aluminium échangeable (Bado, 1994 cités par Diallo, 2002).

Le fumier se diffère du compost par leur degré de fermentation. En effet, le compost provient de la lente fermentation de divers produits animaux et végétaux; il peut être obtenu industriellement à partir de produits animaux (déchets d'abattoir) d'ordures ménagères préalablement triées ou de boues de station d'épuration.

1.2.2. Effet des engrais chimiques sur les rendements des cultures

Les engrais sont des matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes un (des) élément (s) directement utiles (s) à leur nutrition; la teneur en élément (s) nutritif (s) est au moins égale à 3% en masse pour l'un des trois éléments nutritifs majeurs (azote N, phosphore P₂O₅, potassium K₂O) et doit être conforme à la réglementation en vigueur (Lozet et Mathieu, 1997).

La valeur fertilisante d'un engrais s'exprime par sa teneur en éléments ou les éléments qu'il doit apporter; on distingue deux types d'engrais: les engrais minéraux et les engrais organiques (Kéita, 1985). En fonction du nombre d'éléments qu'ils apportent, les

engrais minéraux comprennent les engrais simples et les engrais composés. En fonction de leur origine et leurs formes, les engrais peuvent être subdivisés en engrais solubles, peu solubles ou insolubles (Kéita, 1985). Au Burkina Faso, l'engrais le plus utilisé est l'engrais composé NPKSB appelé engrais coton, de formule 14-23-14-6-1. Les trois premiers éléments sont les éléments de base et sont dits éléments majeurs compte tenu des rôles essentiels joués par chacun d'eux dans la plante.

1.2.2.1. Rôle de l'azote

L'azote est le principal facteur de la croissance et des rendements des cultures. Il exerce une action de choc sur la végétation (Gros, 1974) et généralement considéré comme pivot de la fumure. Suite à des phénomènes d'acidification observés avec le sulfate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, l'urée $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ est la source d'azote utilisée au Burkina Faso.

L'évolution du taux d'azote dans les organes végétatif, suit en gros la même tendance que celles observées avec les autres éléments. Les tissus jeunes sont riches en azotes, puis au fur et à mesure de leur vieillissement, ils s'appauvrissent en azote:

- dans les tiges jusqu'à la récolte;
- dans les racines jusqu'au début de maturation où le taux remonte ensuite légèrement avant la récolte.

Dans les panicules, au contraire, la progression du taux est constante, en même temps que le poids des panicules augmente, l'azote s'accumule dans les graines (Arrivet, 1971).

Les rendements commencent à diminuer une fois que la quantité d'éléments nutritifs disponibles devient inférieure aux besoins de prélèvement d'azote. Ceci apparaîtrait dans un délai de cinq ans pour un sol pauvre alors que l'appauvrissement en éléments nutritifs se poursuivra sans avoir d'incidence sur le rendement pendant cinquante ans pour un sol riche. Dans ce cas de figure, l'équilibre à long terme sera atteint avec des rendements très bas et des réserves en azotes très faibles (Brundtland, 1987).

1.2.2.2. Rôle du phosphore et du potassium

Le phosphore est un constituant essentiel dans les végétaux. Il est un élément majeur dans la nutrition des plantes et limite souvent leur croissance (Gininazzi-Pearson, 1996). Il participe étroitement à la plupart des activités biologiques complexes à l'intérieur de la plante (Gros, 1974). C'est un élément important pour l'agriculture. L'acide phosphorique est un important facteur de croissance et l'interaction azote-phosphore est indispensable pour une bonne croissance surtout dans la phase végétative.

De même, le potassium est un élément important de la fertilisation minérale de la plante et constitue avec l'azote et le phosphore, les trois éléments de base (Gros, 1974). Il intervient comme régulateur des fonctions dans l'assimilation chlorophyllienne. Elle permet une meilleure économie de l'eau dans les tissus et leur donne une plus grande rigidité. C'est l'élément d'équilibre, de santé et de qualité (MCD, 1991).

L'emploi de fumure exclusivement minérale (NPK et urée) contribue à une augmentation des rendements de culture au cours des trois premières d'années d'application (Bado, 1994 cités par Diallo, 2002). Cependant, on constate une baisse de rendement lorsque les engrais sont exclusivement appliqués sur le long terme et cela quelle que soit la dose appliquée (Hien *et al.*, 1992 cités par Lompo, 2005)

1.2.3. Effet des fumures organo-minérales sur les rendements des cultures

Les apports de fumures minérales combinées avec l'application de la matière organique induisent un accroissement de rendement tout en évitant l'acidification des sols observés avec l'application exclusive des engrais minéraux.

L'utilisation de la matière organique comme le fumier combiné aux fumures minérales peut permettre une production agricole durable (Lompo, 2005).

Les fumures organo-minérales permettent d'obtenir des rendements plus ou moins stables et plus élevés que ceux obtenus avec les fumures exclusivement minérales. Elles permettent d'avoir également le meilleur bilan azoté, un bilan positif en calcium, une stabilité ou une augmentation du taux de matière organique et de la capacité d'échange cationique (Lompo *et al.*, 1993 cités par Lompo, 2005). La fumure organique est donc un facteur important de maintien de la fertilité et l'efficacité des engrais minéraux est liée à la quantité de matière organique présente dans le sol (Sédogo *et al.*, 1997 cités par Diallo, 2002).

1.3. Pratiques de réhabilitation des sols au Burkina Faso

Les terres cultivées sont le plus souvent sujettes à une dégradation physique, chimique et biologique si elles ne sont pas gérées de façon durable. La dégradation physique se traduit par la compaction, la réduction de la profondeur, la perte continue de structure, la réduction de perméabilité, avec comme conséquence une aération inadéquate et un faible enracinement des plantes. La dégradation chimique quant à elle se traduit par la faible teneur du sol en éléments minéraux et organiques, le pH, etc. (Piéri, 1989).

Selon Lal (1997) la réhabilitation d'un sol est le résultat de l'interaction de quatre phénomènes:

1. la résilience du sol, qui lui permet de contrecarrer les facteurs de dégradation et de répondre à l'intervention de l'homme quand il souhaite améliorer certains attributs de la qualité du sol;
2. la qualité actuelle du sol, qui se caractérise par le nombre de seuils d'irréversibilité traversés par celui-ci;
3. les formes, modes et calendriers des interventions du gestionnaire du sol;
4. les conditions environnementales (type de sol, climat) qui prévalent sur le site.

Ainsi pour faire face à la dégradation des sols, plusieurs techniques permettant d'influencer le bilan d'eau du sol, sa structure et sa fertilité ont été développées. Ces techniques ont été introduites, ou sont traditionnellement utilisées dans la zone semi-aride. Nous présentons ici les cordons pierreux, les zaï et les demi-lunes.

1.3.1. Cordons pierreux

Les cordons pierreux sont des mesures de conservation des eaux et des sols qui réduisent efficacement le ruissellement et améliorent ainsi l'humidité du sol (Zougmore *et al.*, 2003).

En principe installés perpendiculairement aux écoulements, les cordons pierreux sont constitués de deux ou de trois lignes de pierres rangées en courbes de niveaux de façon à se renforcer l'une l'autre. Ces aménagements sont courants dans le Nord et le Centre du Burkina Faso. Cette efficacité des cordons dépend cependant de l'espacement entre cordons; Plus l'espacement est large, moins est l'impact sur le ruissellement et le stockage d'eau du sol (Zougmore *et al.*, 2000).

Le rôle attendu des cordons pierreux est de contribuer à:

- Dissiper les eaux de ruissellement;
- Augmenter l'infiltration des eaux de pluies, le taux d'humidité moyen par parcelle est d'autant plus élevé que les espacements entre cordons sont plus faibles; l'humidité du sol en amont immédiat des cordons pierreux est plus importante que sur le reste du champ.
- Réduire l'érosion hydrique;
- Conserver et améliorer la fertilité des sols

Il est une nécessité d'accompagner les aménagements des cordons pierreux d'un apport de fertilisants (Zougmore *et al.*, 2002). En effet, l'apport de 2,5 t/ha/an de fumier a induit une augmentation de 2 à 3 fois le rendement obtenu sur les champs sans aucun apport de fumier. Aussi il faut procéder à la végétalisation des cordons pierreux, travailler le sol toujours parallèlement aux courbes de niveau et prévoir des pistes et des déversoirs pour les cordons assez longs supérieurs à 100 m.

1.3.2. Zaï

Au Burkina Faso, comme dans l'ensemble des pays du sahel les aléas climatiques conjugués aux actions anthropiques ont entraîné une dégradation sévère des terres agricoles (Roose *et al.*, 1993). Le stade ultime de cette dégradation consécutive à l'aridification des conditions pédoclimatiques est la parution de terres dénudées quasi-imperméables et stériles localement appelés *zippellé* (Zougmore *et al.*, 1995).

Pour réhabiliter ces terres dégradées, des producteurs ont mis au point la technique de *zaï*. C'est une méthode de culture en poquets réalisée manuellement à l'aide de pioche sur les *zippellé* (Roose *et al.*, 1993 cités par Ouédraogo, 1996). Sur le plan agronomique, cette technique endogène du Nord de Burkina a fait ses preuves dans la région (Reij *et al.*, 1996) et commence à gagner l'intérieur du pays, à la faveur des projets d'appui du secteur agricole. L'adoption de la technique est même progressivement observée avec succès dans d'autres pays de la sous région, notamment au Mali et au Niger (Rochette, 1989).

La pratique du *zaï* contribue à lutter contre les effets néfastes de la sécheresse sur les cultures en augmentant la capacité de rétention en eau du sol. La gestion de l'eau a aussi des effets positifs sur le stock du fumier qui est préservé de l'érosion. De plus cette meilleure gestion des eaux de surface pourrait aussi améliorer la recharge des nappes d'eau

souterraines (Zougmoré *et al.*, 1999 cités par Barro *et al.*, 2005). La réalisation des trous de zaï est fonction de la densité des semis de la culture: sorgho 0,80.m^x0,40 m; mil 0,60 m^x0,60 m. En effet les *zaï* sont des cuvettes de 20 à 40cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur.

L'association zaï, cordons pierreux ou autre forme de traitement tel que zaï, diguettes permettent d'améliorer les performances de stockage de l'eau sur les terrains aménagés en zaï.

1.3.3. Demi-lunes

Au Burkina Faso, comme dans l'ensemble des pays du sahel les aléas climatiques conjugués aux actions anthropiques ont entraîné une dégradation sévère des terres agricoles (Roose *et al.*, 1993). Le stade ultime de cette dégradation consécutive à l'aridification des conditions pédoclimatiques est la parution de terres dénudées quasi-imperméables et stériles localement appelés *zippellé* (Zougmoré *et al.*, 1995).

Ainsi la pratique des demi-lunes, née dans la région de Tahoua au Niger (Reij *et al.*, 1996), a été introduite au Nord du Burkina Faso. Comme la technique de zaï, la méthode d'implantation des fosses (Roose *et al.*, 1999) la demi-lune collectionne l'eau, augmente l'infiltration et le stock d'eau du sol.

Les demi-lunes ont un diamètre de 4m; l'espacement entre deux demi-lunes sur la même ligne est de 2m et de 4m entre deux demi-lunes successives soit 417demi-lunes par hectare (Zougmoré *et al.*, 2003). Le nombre de poquets varie de 20 à 30 par demi-lune.

Pour une profondeur comprise entre 10 et 15cm, il faut 35 kg de fumier ou de compost par demi-lune soit 14,6 t/ha. En outre le simple fait de casser la croûte superficielle du sol ne suffit pas pour augmenter le rendement d'une culture. Ainsi la combinaison demi-lune et compost, fumier, apports amendements organiques obtiennent de meilleurs rendements par rapport à demi-lune seule sans aucune fumure. Cependant, en cas de pluviométrie excédentaire, les rendements baissent en raison des inondations temporaires qui influencent négativement le développement des cultures (Zougmoré *et al.*, 2000).

Chapitre 2: Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation géographique

L'étude a été réalisée en milieu paysan dans le bassin versant pilote du Zondoma (Figure I). Située à environ 140 km de Ouagadougou, la province de Zondoma fait partie de la région du Nord; les coordonnées géographiques sont: 13° et 15° latitude Nord; 1°45 et 3° longitude Ouest.

Avec une superficie de 170 km² le bassin versant de Zondoma s'étend sur trois communes rurales: Bassi, Gourcy et Tougo. La population totale du bassin est estimée à 13500 habitants repartis en onze localités. Environ 1500 ha y sont aménagés en ouvrages anti-érosifs, principalement par le PS-CES/AGF. Sept autres villages périphériques au bassin, sont susceptibles d'être concernés par l'aménagement du bassin C'est dans le tiers central du bassin que se trouvent à la fois la plus forte concentration humaine et le plus faible taux d'aménagements anti-érosifs étant donné que le PS-CES/AGF n'y a d'ailleurs pas intervenu durant les deux phases.

Plus précisément, l'étude a été menée dans deux villages:

1. Songodin dans le nord du bassin versant relevant de la commune de Bassi; les coordonnées géographiques sont: 13°16'08,9 latitude Nord, 02°15'09,6 longitude Ouest et 351 m d'altitude;
2. Kibilo dans le centre du bassin versant relevant de la commune de Gourcy; les coordonnées géographiques sont: 13°12'50,1 latitude Nord, 02°14'54,5 longitude Ouest et 319 m d'altitude.

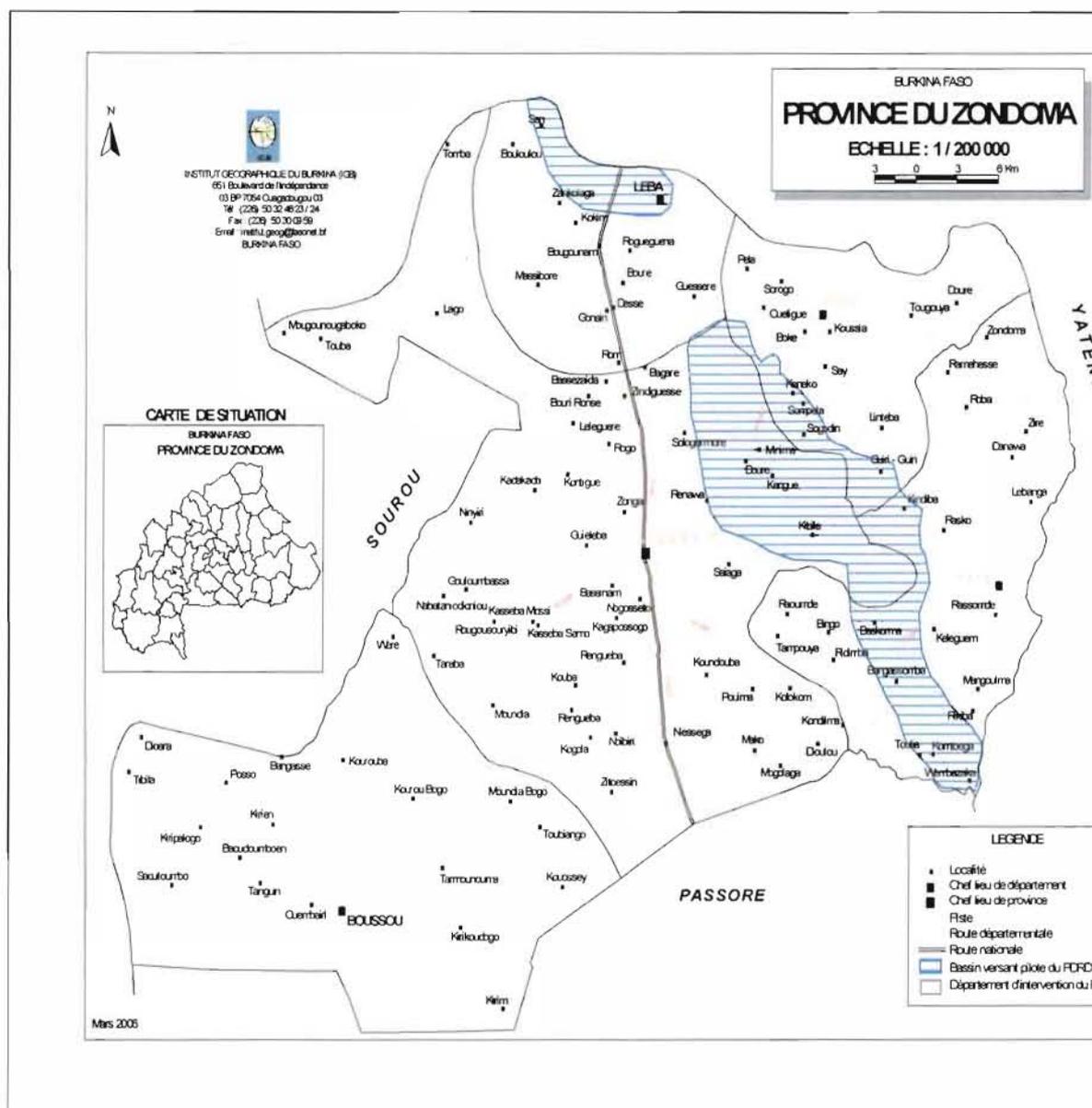


Figure I: Localisation du Bassin versant du Zondoma

2.2. Végétation

Dans l'ensemble, la végétation est du type arbustif à fourré (brousses tigrées) plus ou moins dense, avec une présence d'espèces sahéliennes typiques comme: *Acacia ehrenbergiana*, *Acacia raddiana*, *Grewia tenax*, *Maerus crassifolia*, *Andropogon gayanus*, *Cenchrus sp*, etc. (SP-CONAGES., 2002).

Cette végétation naturelle subit les effets combinés de la baisse de la pluviométrie et de forte pression humaine et animale. La dégradation des terres entraîne une dégradation de la végétation et ensuite l'apparition de plages dénudées appelées *zippella* qui sont des terres très souvent laissées en jachère. Ces zones, généralement non cultivées, sont

reconnaissables à la présence de *Combretum micranthum* ou de *Guiera senegalensis* à l'état nain en raison du système racinaire superficiel, limité par la présence de la carapace latéritique.

2.3. Conditions climatiques

La province du Zondoma est soumise à un climat continental sec soudano sahélien caractérisé par deux saisons:

1. Une saison sèche de Novembre à Avril comportant une période froide de Novembre à Février et une période chaude commençant au mois de Mars. La saison est caractérisée par des vents de direction Nord-Est et Sud-Ouest: harmattan. Les amplitudes thermiques sont aussi très variables: les températures maximales atteignent 45°C en Avril et les minimales 15°C en Janvier.
2. Une saison pluvieuse de Mai à Octobre; la durée de l'hivernage est variable d'une année à l'autre.

Sur le plan pluviométrique, la province est située entre les isohyètes 500 et 750 millimètres. Les précipitations sont peu abondantes, irrégulières et inégalement réparties dans le temps et dans l'espace. Les hauteurs d'eaux ont varié durant ces dix dernières années entre 539 et 845 mm (Figure II).

Les trois années les plus pluvieuses sont respectivement: 1998 avec 845 mm, 2003 avec 800 mm et 2007 avec 743 mm.

Les données pluviométriques de Gourcy de 1998 à 2007 indiquent une moyenne arithmétique de 670 mm et avec un écart type de 104 traduisant une forte variabilité interannuelle.

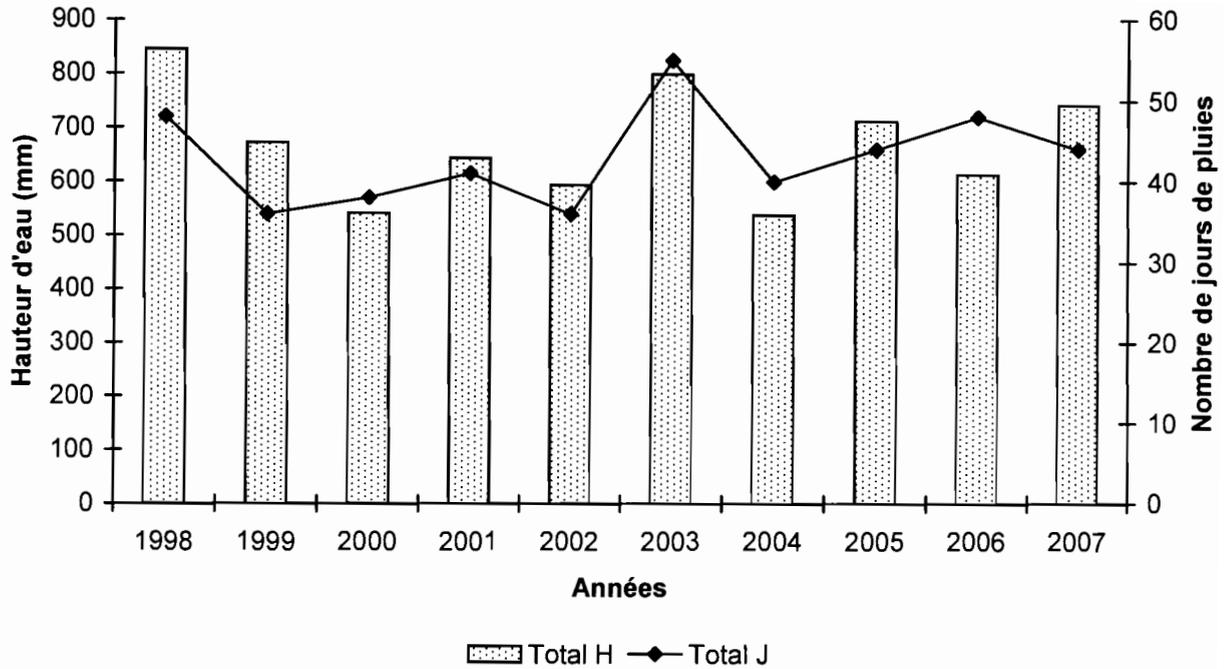


Figure II: Variation interannuelle de la pluviosité et du nombre de jours de pluie de 1998 à 2007 à Gourcy (source: DPAHRH/Zondoma)

Total H: total hauteurs de pluie; Total J: total nombre de jours de pluie

Au cours de l'hivernage 2007, les mois de Juillet et d'Août dans les communes de Gourcy et de Bassi ont été les plus pluvieux. On a observé dans ces deux localités une forte concentration des précipitations durant ces deux mois. En effet, la commune de Gourcy a enregistré respectivement en Juillet et en Août 335 mm et 248 mm contre 152 mm et 303 mm dans la commune de Bassi. En outre, la commune de Gourcy a enregistré une pluie exceptionnelle de 120 mm le 31 juillet 2007. Cette pluie de forte intensité, a occasionné des inondations et causé de nombreux sinistrés durant la campagne agricole.

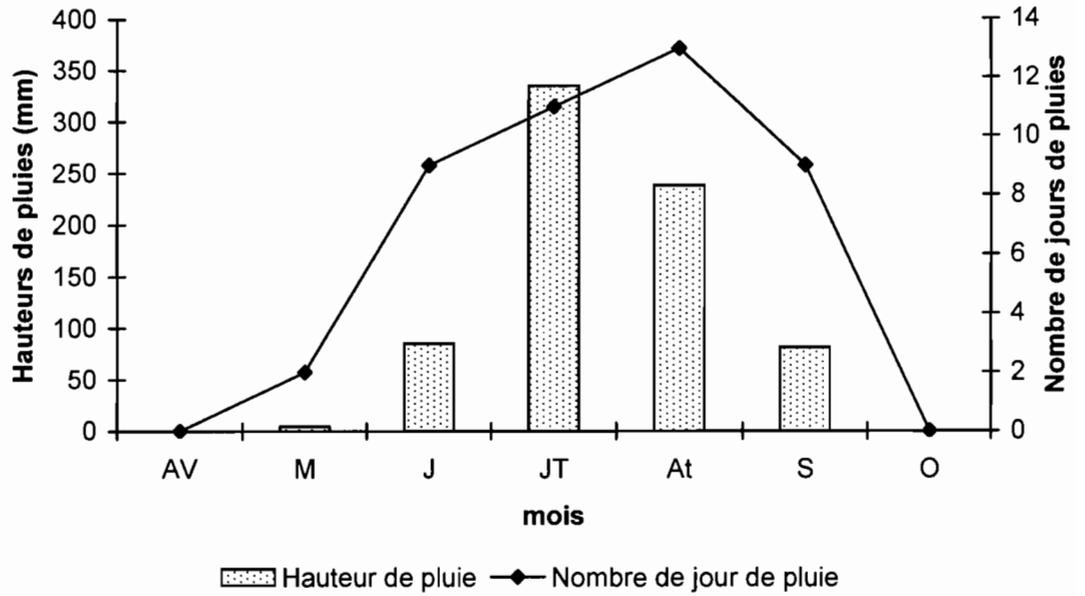


Figure III: Evolution de la pluviométrie et du nombre de jours de pluie en 2007 à Gourcy (source: DPAHRH /Zondoma 2007)

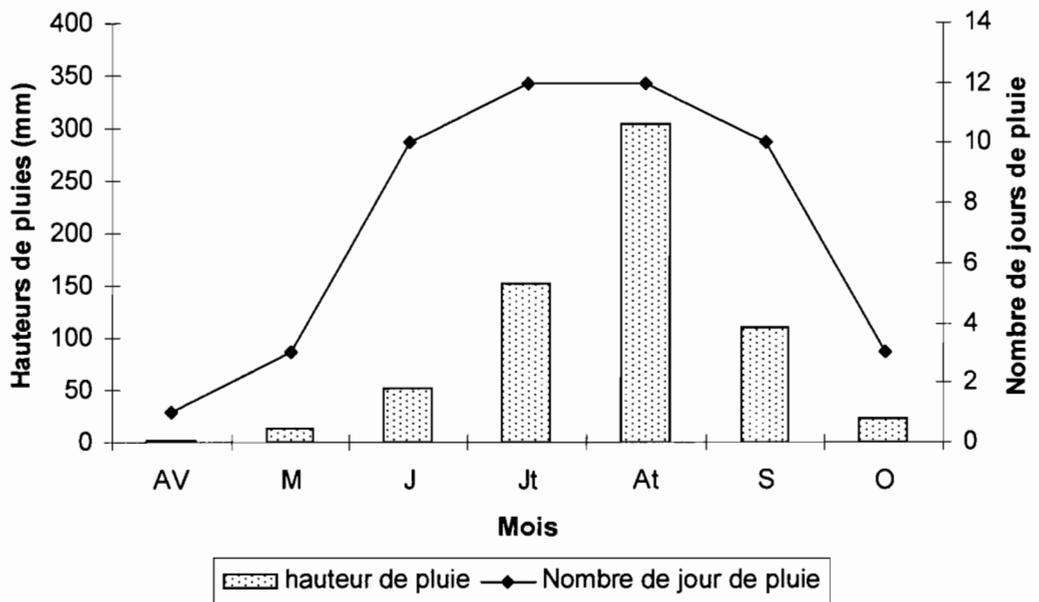


Figure IV: Evolution de la pluviométrie et du nombre de jour de pluie en 2007 à Bassi (source: DPAHRH/Zondoma)

2.4. Sols et unités cartographiques

La zone Nord du Burkina Faso est caractérisée par une forte pression sur les ressources naturelles, qui se traduit par le défrichement du couvert végétal et la dégradation des sols sous l'action de l'érosion hydrique et des facteurs anthropiques. Les sols sont généralement peu fertiles avec en outre une présence de cuirasse latéritique à faible profondeur.

Selon la classification des sols par le BUNASOLS (2004), on dénombre six (6) classes de sols dans la zone d'étude:

1. Les sols minéraux bruts composés de lithosols sur cuirasse et sur roche;
2. Les sols peu évolués composés de: sols peu évolués d'érosion régosolique; sols peu évolués lithique; sols peu évolués d'apport alluvial modaux; sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes et sols peu évolués d'apport alluvial anthropique modaux;
3. Les sols isohumiques composés de: sols bruns sub-aride modaux; sols bruns sub-aride à pseudo-gley; sols bruns sub-aride vertiques;
4. Les sols brunifiés composés de: sols brunifiés tropicaux peu évolués; sols brunifiés eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques; sols brunifiés eutrophe ferruginés;
5. Les sols à sesquioxyde de fer et de manganèse: sols ferrugineux peu lessivés modaux; sols ferrugineux lessivés modaux; sols ferrugineux peu lessivés à concrétion; sols ferrugineux peu lessivés à tâche et à concrétion;
6. Les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface et de profondeur.

Chapitre 3: Méthodologie

3.1. Matériels d'étude

3.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est le sorgho variété *Sariassol1*. Son cycle de production est de 100 à 105 jours. Son aire de culture se situe entre les isohyètes 500 et 700 mm.

3.1.2. Les engrais utilisés

- **La matière organique**

Les substrats organiques utilisés dans l'ensemble des parcelles sont le compost et le fumier.

- **Fumure minérale**

Comme engrais minéraux, on a utilisé:

- ✓ l'Urée à 46% d'azote;
- ✓ le Triple superphosphate (TSP) à 46% de P_2O_5 ;
- ✓ le Chlorure de Potassium (KCl) à 60% de K_2O ;
- ✓ les oligoéléments constitués du cuivre (CuO) et du Magnésium (MgO).

3.2. Méthodes

3.2.1. Choix des producteurs

L'étude est réalisée en milieu paysan sur le périmètre du micro-bassin versant (BV) pilote de Zondoma. A cet effet, toutes les parcelles expérimentales ont été placées dans les champs des producteurs sur des terres qui sont entrain d'être réhabilitées dans le BV.

Le choix des producteurs pour la mise en place de parcelles d'apprentissage a suivi une approche participative. En effet, ce sont les producteurs eux-mêmes qui désignent les volontaires acceptés de tous afin d'assurer la participation de tous dans les différentes activités. Ainsi, dix huit (18) producteurs au total dont neuf (9) par village ont été retenus pour conduire les essais. Les producteurs retenus sont des personnes:

- Volontaires;

- Connues dans le milieu comme ayant une bonne moralité : faisant l'objet d'un consensus général et ayant démontré un leadership en participant régulièrement aux activités antérieures dans le milieu;
- Ouvertes;
- Respectueuses de ce qui est convenu avec les partenaires de la recherche action et de la vulgarisation;
- Acceptant le suivi effectué par les partenaires;
- Pouvant assurer une bonne conservation et/ou transformation des produits de récolte;

En plus de ces qualités, il faut que ces paysans modèles répondent aux exigences suivantes:

1. disposer au moins d'une fosse fumière capable d'apporter la quantité de matières organiques nécessaires pour mener le test;
2. connaître la technique de compostage afin d'assurer la fertilisation organique de sa parcelle;
3. disposer de suffisamment de main d'œuvre pouvant assurer l'effectivité des activités durant toute la campagne;
4. disposer d'une parcelle accessible.

3.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental d'étude était un split-split-plot avec six (6) blocs où chaque bloc était composée comme suit:

- Les techniques de CES constituent le facteur principal, c'est-à-dire les cordons pierreux, les demi-lunes et les zaï; les parcelles principales sont aménagées en (i) cordons pierreux, en (ii) demi-lunes et en (iii) zaï;
- L'application ou non de la fumure organique constitue le facteur secondaire avec deux modalités: 1) application de compost et 2) non apport de fumure organique;
- Le facteur tertiaire est l'application de doses de fumures minérales avec six modalités:
 1. Témoin absolu sans apport d'engrais minéral;
 2. P et K aux doses respectives de $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ et $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$;

3. N et K aux doses respectives de 100 kg ha^{-1} N et 35 kg ha^{-1} K_2O ;
4. N et P aux doses respectives de 100 kg ha^{-1} N et 30 kg ha^{-1} P_2O_5 ;
5. N, P et K aux doses respectives de 100 kg ha^{-1} N, 30 kg ha^{-1} P_2O_5 et 35 kg ha^{-1} K_2O ;
6. N, P et K aux doses respectives de 100 kg ha^{-1} N, 30 kg ha^{-1} P_2O_5 et 35 kg ha^{-1} K_2O plus 30 kg ha^{-1} d'oligoéléments (Cuivre et Magnésium).

Au regard du nombre élevé de traitements (36), il serait difficile pour un seul producteur de disposer de suffisamment d'espace cultivable pour conduire trente six (36) parcelles. Pour cette raison et pour alléger la charge de travail, on a adopté pour chaque producteur: 1 CES x 2 modalités de fumure organique x 6 modalités de fumures minérales soient douze (12) traitements par producteur. Ce qui signifie qu'il faudra trois (3) producteurs pratiquant différemment l'une des trois (3) techniques de CES (cordons pierreux, zaï et demi-lunes) pour constituer un dispositif complet.

Chaque parcelle tertiaire mesure 8m sur 8m pour les traitements zaï et cordons pierreux; elles sont séparées entre elles par une allée de 1m.

Pour les traitements demi-lunes, chaque parcelle tertiaire a trois (3) demi-lunes séparées de deux (2) mètres.

3.2.3. Conduite des essais

Le travail du sol a consisté en un labour à la traction bovine des parcelles avec cordons pierreux et au creusage de cuvettes de zaï ou de demi-lunes. Les trous de zaï ont un diamètre de 20 à 40 cm et 10 à 15 cm de profondeur; Quant aux demi-lunes, elles ont un diamètre de 4 m et une profondeur variant entre 15 et 25 cm.

Les semis ont été réalisés durant la période du 13 au 25 Juillet 2007. Ils ont été effectués le même jour dans toutes les parcelles pour chaque producteur. La densité de semis était de 0,8 m entre les lignes et de 0,6 m sur la ligne.

Toutes les opérations culturales d'entretien ont été effectuées par les producteurs sous la supervision de l'étudiant stagiaire et des agents d'agriculture.

Le premier sarclo-binage a été effectué dans l'ensemble des deux villages entre le 11 Août et le 28 Août 2007 et le nombre de sarclo-binage est fonction du niveau d'enherbement. En effet, tous les producteurs ont pu effectuer deux sarclo-binages. A cause de l'arrêt brusque

des pluies, deux producteurs sur neuf à Kibilo ont pu effectué le buttage contre cinq sur neuf à Songodin.

Les différents engrais ont été apportés manuellement:

- La fumure organique a été apportée à la dose d'une brouettée correspondant à 35 kg par demi-lune soit 14,6 t/ha; Quant au zaï, une poignée de mains d'adulte correspondant à 300 g par trou de zaï, soit 6,3 t/ha est apportée par trou. Les parcelles de cordons pierreux ont reçu deux brouettées, soit 10,9 t/ha.
- Les apports de 100 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ et 35 kg ha⁻¹ de K₂O ont été faits sous forme d'engrais minéraux aux doses de 217 kg ha⁻¹ d'urée, 65 kg ha⁻¹ de TSP, 58 kg ha⁻¹ de KCl et 30 kg ha⁻¹ d'oligoéléments.

Le TSP, le KCl et les oligoéléments ont été appliqués au premier sarclage. L'urée est appliquée pour moitié au premier sarclage et l'autre moitié en phase de montaison du sorgho.

Tableau I: Apport d'engrais dans les différentes parcelles

<i>Engrais</i>	<i>Superficie (m²)</i>	<i>CES</i>	<i>Dose kg/Ha</i>	<i>Quantités éléments (kg/ha)</i>	<i>Quantité parcellaire (Kg)</i>
	18,85	Demi-lune	217	100 N	1,6361
Urée 46%	64	Cordon pierreux	217	100 N	5,5552
	64	Zaï	217	100 N	5,5552
	18,85	Demi-lune	65	30 P ₂ O ₅	0,4901
TSP 46%	64	Cordon pierreux	65	30 P ₂ O ₅	1,664
	64	Zaï	65	30 P ₂ O ₅	1,664
	18,85	Demi-lune	58	35 K ₂ O	0,4373
KCl 60%	64	Cordon pierreux	58	35 K ₂ O	1,4848
	64	Zaï	58	35 K ₂ O	1,4848
	18,85	Demi-lune	30	30	0,113
Oligoélément				Cu+Mg	
	64	Cordon pierreux	30	30	0,384
				Cu+Mg	
	64	Zaï	30	30	0,384
				Cu+Mg	

Récolte et conditionnement

A la récolte, on a affecté un sac de 100 kg à chaque parcelle de cordons pierreux, zaï et demi-lunes pour contenir les panicules. Ces précautions sont prises pour éviter de mélanger les panicules des parcelles; aussi les tiges ont été mises en bottes avec le numéro de la parcelle.

3.2.4. Observations et mesures

Hauteur de plants: trois plantes par parcelle ont été choisies pour les mesures de hauteur tous les sept jours. Effectuée à l'aide d'un mètre ruban, la mesure va du collet jusqu'à l'extrémité de la feuille centrale.

Comptage du nombre de feuilles: sur les mêmes plants retenus pour les mesures de hauteur, on a dénombré manuellement les feuilles tout en écartant les feuilles mortes et la feuille centrale n'ayant pas encore suffisamment émergée.

Prise de l'index de couleur des feuilles: réalisé à l'aide d'un Spadmètre (chlorophylle-mètre), l'index de couleur mesure le taux de chlorophylle dans les feuilles exprimant la couleur verte des feuilles. La mesure de l'index de couleur des feuilles a été faite à trois niveaux différents sur une même feuille et pour toutes les plantes retenues pour la mesure de hauteur et le comptage du nombre de feuilles: (i) au milieu de la feuille, (ii) au tiers inférieur de la feuille, (iii) au tiers supérieur de la feuille; la moyenne des trois résultats donne l'index de couleur de la feuille.

Paramètres de rendement:

- Le nombre de panicules, ont été identifiés par parcelle. Aussi, les poids panicules, tiges, grains ont été pris à l'aide d'un peson de 25 kg.
- Le poids de 1000 grains: à l'aide d'un appareil de comptage automatique, nous avons pu obtenir 1000 grains pour chaque parcelle. Ces 1000 grains ont été pesés à l'aide d'une balance sensible à 0,001 près.
- Rendement grains et tiges: le rendement parcellaire est extrapolé à l'hectare en faisant le produit de la quantité enregistrée avec le peson par 10 000 divisé par 64 pour les cordons pierreux et les zaï et par 72 pour les demi-lunes.

Paramètres observés

Phase de croissance des cultures: les observations ont consisté à déterminer la phase végétative, la montaison, le gonflement et la maturité du sorgho; ces différentes phases sont déterminées par une appréciation de 50% des plants ayant atteint un même

niveau de croissance dans la parcelle élémentaire de cordon pierreux, de zaï et dans chaque demi-lune.

3.2.5. Analyse statistique des données

Le tableur EXCEL et le logiciel Genstat (General Statistic) version 8.1 ont été utilisés respectivement pour la compilation et le traitement des données.

La séparation des moyennes est effectuée par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%. L'impact des techniques de CES, les effets de la fumure organique, les effets de fumures minérales, les effets combinés fumure organique et techniques de CES, fumures minérales et techniques de CES, fumure organique et fumures minérales ont constitué les variables de l'analyse.

Pour les paramètres de rendements, les variables de l'analyse ont été le nombre de panicules, le poids de 1000 grains, le rendement en grain, en tige et en panicule.

Chapitre 4: Résultats et discussions

4.1. Résultats

4.1.1. Impact des différentes techniques de CES sur la culture du sorgho

4.1.1.1. Impact des différentes techniques de CES sur les paramètres morphologiques du sorgho

La Figure V montre l'évolution en fonction du temps de la hauteur des plantes de sorgho pour les trois techniques de CES étudiées.

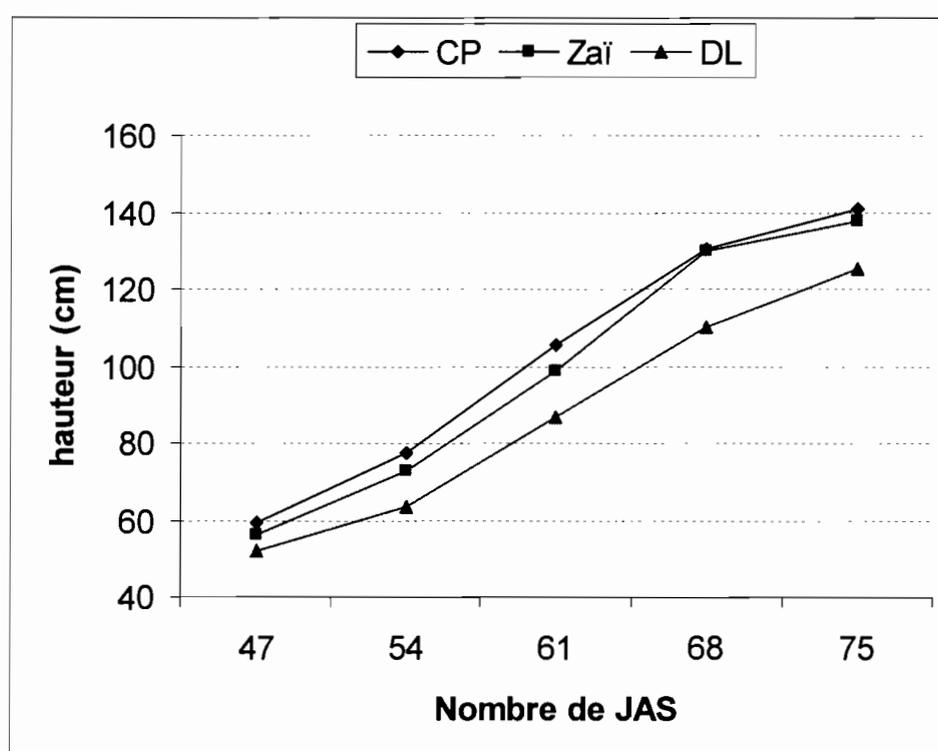


Figure V: Evolution de la hauteur des plantes de sorgho selon les différentes techniques de CES

CP: cordon pierreux; DL: demi-lune

Durant la période de mesure qui va de la montaison à la maturité des graines, on observe pour l'ensemble des trois techniques de CES, une augmentation assez régulière de la hauteur de plants de 20 cm en moyenne par semaine jusqu'à 68 JAS. Après cette date, il y a un ralentissement de croissance matérialisé sur la courbe par un plateau. La croissance

en hauteur du sorgho avec les parcelles de cordon pierreux et de zaï est relativement plus importante que celle observée avec les parcelles de demi-lune.

La Figure VI montre l'évolution du nombre de feuilles en fonction des trois techniques de CES.

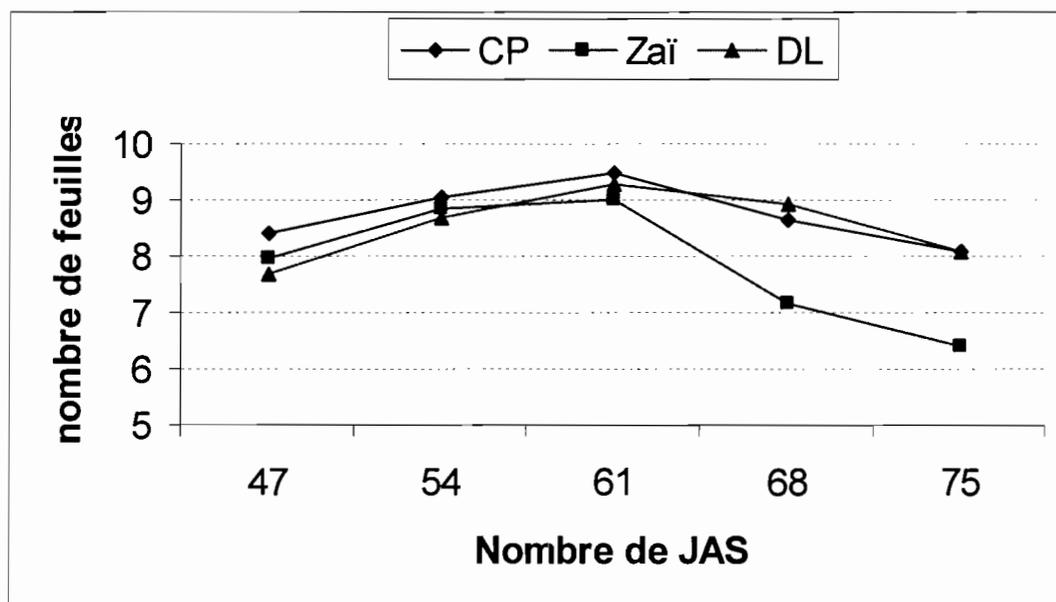


Figure VI: Evolution du nombre de feuilles de sorgho selon les différentes techniques de CES

CP: cordon pierreux; DL: demi-lune

Les mesures ont concerné les feuilles vertes. On y observe deux phases bien distinctes: une première phase ascendante de 47 JAS jusqu'à 61 JAS. Durant cette phase, le nombre de feuilles dans les traitements avec cordon pierreux est plus élevé que dans les parcelles de zaï et de demi-lune. La deuxième phase est caractérisée par une baisse du nombre de feuilles. C'est le début de la sénescence des vieilles feuilles. On note que les demi-lunes et les cordons pierreux maintiennent plus de feuilles que les zaï.

La Figure VII montre l'évolution de la couleur verte des feuilles en fonction des trois techniques de CES.

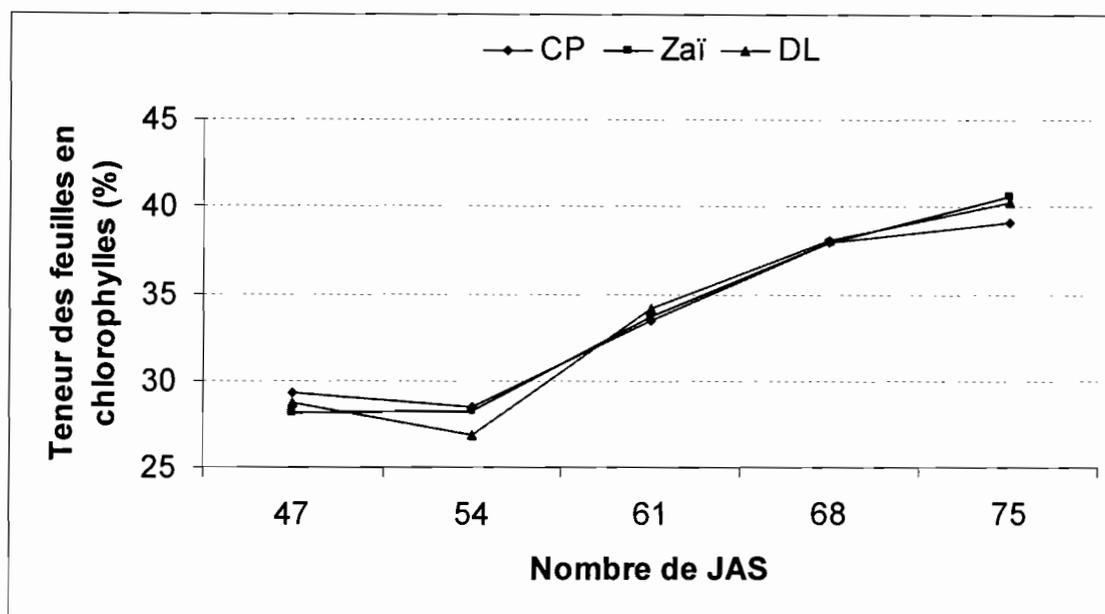


Figure VII: Effet des techniques de CES sur l'index de couleur verte des feuilles du sorgho

CP: cordon pierreux; DL: demi-lune

L'index de couleur verte des feuilles du sorgho est similaire au niveau des parcelles de cordons pierreux, des demi-lunes et des zaï (Figure VII). Ce niveau de couleur verte augmente à partir de 54 JAS jusqu'à la fin du cycle sans qu'il n'y ait de différence nette entre les trois techniques de CES.

4.1.1.2. Effet des techniques de CES sur le rendement du sorgho

Les résultats d'analyse de l'impact des techniques de CES sur le rendement du sorgho sont consignés dans les Tableaux II et III.

➤ Village de Songodin

Dans ce village situé au Nord du bassin versant pilote, l'installation des essais soustractifs a connu une erreur au niveau de l'application de la fumure organique. En effet, les producteurs utilisant les cordons pierreux n'ont pas apporté la fumure organique dans les parcelles. Concernant donc l'analyse statistique dans ce village, et pour tenir compte de ces variabilités, on a alors séparé les cordons pierreux des autres techniques de CES.

Tableau II: Impact des techniques de CES sur la production du sorgho (village de Songodin)

Techn CES	%1000G	N_pan	Rdt_gr	Rdt_tig	Rdt_pan
Zaï	14,2	16933 ^a	611 ^a	1726 ^a	886 ^a
DL	15	11578 ^b	288 ^b	596 ^b	373 ^b
Lsd	1,67	2339,4	175,6	407,4	246,2
Test SNK 5%	NS	HS	HS	HS	HS
Probabilité	0,362	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Les valeurs suivies de la même lettre, dans une colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité; Lsd: la plus petite différence significative; HS: hautement significatif; Techn_CES: technique de CES; DL: demi-lune; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

L'analyse de variance a montré qu'il existe des différences hautement significatives entre les parcelles de zaï et de demi-lune pour le nombre de panicules, le rendement en grain, le rendement en tige et le rendement en panicules. En effet, les rendements en grain et en tige du sorgho avec le zaï ont été de 2 à 3 fois supérieurs à ceux obtenus avec les demi-lunes. Par contre, l'analyse de variance a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les parcelles de zaï et de demi-lune pour le poids de 1000 grains.

➤ **Village de Kibilo**

Tableau III: Impact des techniques de CES sur la production du sorgho (village de Kibilo)

Techn CES	%1000G	N_pan	Rdt_gr	Rdt_tig	Rdt_pan
CP	14,39 ^b	18093	516 ^b	1140 ^b	762 ^b
Zaï	15,62 ^a	20385	774 ^a	1671 ^a	1110 ^a
DL	13,2 ^c	16640	330 ^c	806 ^c	482 ^c
Lsd	1,146	4027,5	149,6	253,6	211
Test SNK 5%	HS	NS	HS	HS	HS
Probabilité	<0,001	0,179	<0,001	<0,001	<0,001

Les valeurs suivies de la même lettre, dans une colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité; Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; HS: hautement significatif, Ns: Non Significatif; Techn_CES: techniques de CES; CP: cordon pierreux; DL: demi-lune; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

Village situé au centre du bassin versant, on a également observé des différences hautement significatives entre les traitements de CES pour le poids de 1000 grains, le rendement en grain, en panicule et en tige. En effet, les rendements en grain et en tige du

sorgho avec le zaï ont été de 2 fois supérieurs à ceux obtenus avec les demi-lunes et restent supérieurs à ceux obtenus avec les cordons pierreux. Les techniques de CES n'ont pas induit un effet statistiquement différent sur le nombre de panicules.

4.1.2. Effet de la fumure organique sur les paramètres morphologiques du sorgho

Les Figures VIII montre les effets de la fumure organique sur la croissance du sorgho.

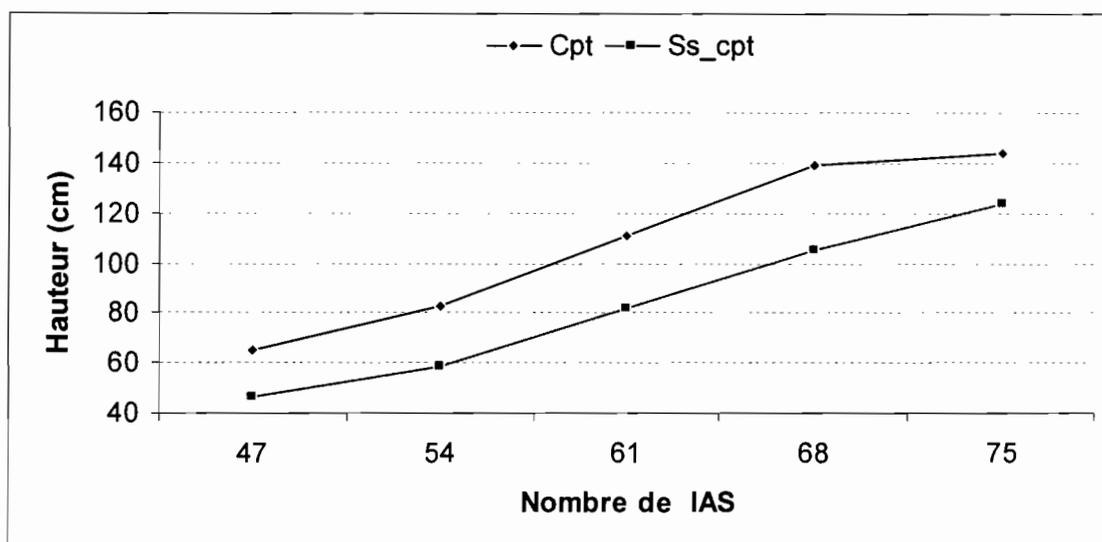


Figure VIII: Effet de la fumure organique sur l'évolution de la hauteur du sorgho

Cpt: compost; Ss_cpt: sans compost.

Avec l'application de compost, la hauteur des plantes reste toujours plus élevée par rapport à la situation sans application du compost. La hauteur maximale par exemple est atteinte à environ 150 cm avec l'application du compost contre 140 cm pour le traitement sans compost (Figure VIII).

La Figure IX montre les effets de la fumure organique sur la production des feuilles du sorgho.

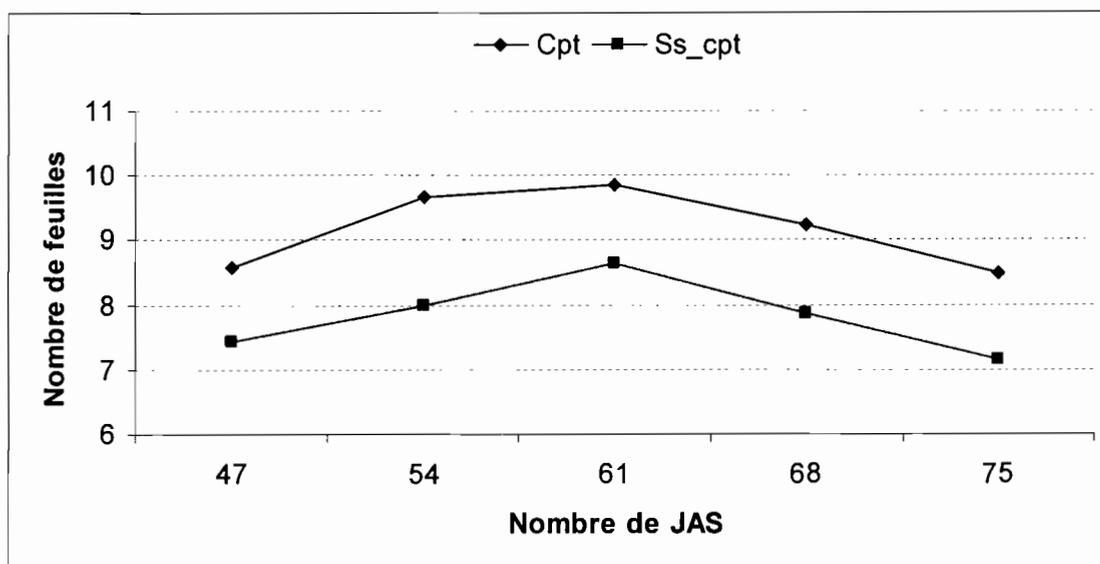


Figure IX: Effet de la fumure organique sur la production des feuilles du sorgho

Cpt: compost; Ss_cpt: sans compost.

Le nombre de feuilles de sorgho dans les parcelles avec application du compost reste supérieur au nombre de feuilles dans les parcelles sans application du compost durant toute la période de mensuration (Figure IX).

La Figure X montre l'évolution de la couleur verte des feuilles du sorgho en fonction de l'application ou de l'absence d'application du compost.

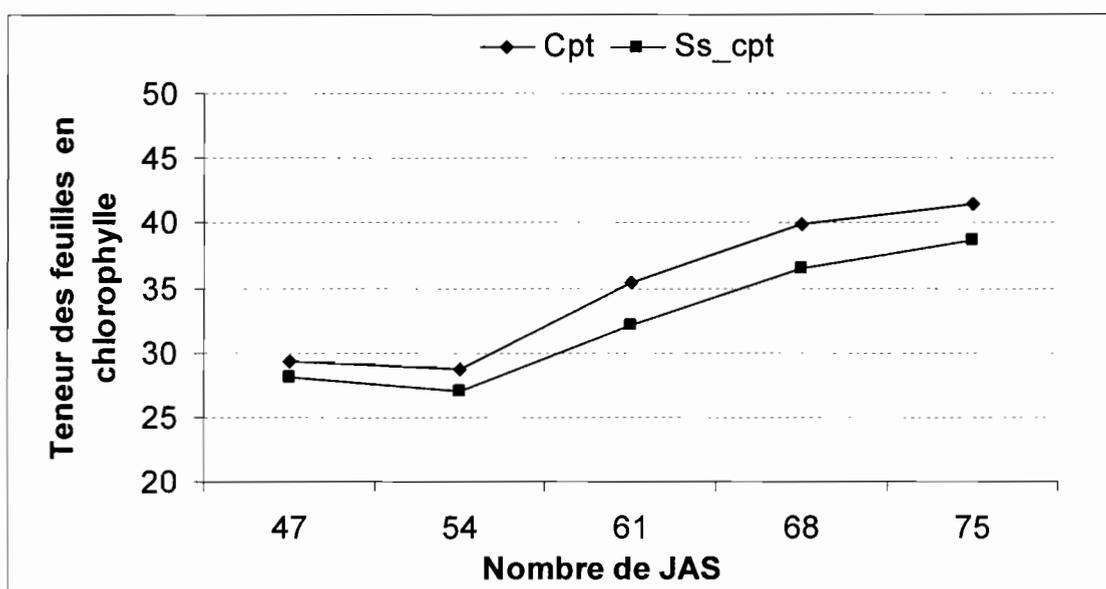


Figure X: Effet de la fumure organique sur l'index de couleur verte des feuilles du sorgho

Cpt: compost; Ss_cpt: sans compost.

L'index de couleur verte des feuilles est plus élevé avec l'application de compost en comparaison aux parcelles sans application de compost. L'index de couleur verte des feuilles augmente de manière effective au fil du temps à partir de 54 JAS, soit à la phase de montaison, période d'application d'urée (Figure X).

4.1.3. Effet de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho

➤ Village de Songodin

Le Tableau IV résume les effets de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho.

Tableau IV: Effet de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)

<i>FO</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_gr</i>	<i>Rdt_tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Cpt	16,3 ^a	17136	694	1766 ^a	985
Ss_cpt	12,8 ^b	11374	205	556 ^b	274
Lsd	3,19	10029,2	536,9	798,9	957,7
Test SNK 5%	S	NS	NS	S	NS
Probabilité	0,042	0,132	0,059	0,023	0,086

Les valeurs suivies de la même lettre, dans une colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité; Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; S: significatif; NS: Non Significatif; FO: fumure organique; Cpt: compost; Ss_cpt: sans compost; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

L'analyse de variance a montré que le traitement fumure organique a eu un effet statistiquement significatif sur le poids de 1000 grains et sur le rendement en tige. Aussi, l'application de compost n'a pas induit de différence statistiquement différente pour le nombre de panicules, le rendement en grain, en panicules. Toutefois, on observe des valeurs plus élevées avec application du compost.

➤ **Village de Kibilo**

Le Tableau V résume les effets de fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho.

Tableau V: Effet de la fumure organique sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo)

FO	%1000G	N_pan	Rdt_gr	Rdt_tig	Rdt_pan
Cpt	15,03	19881	669	1503	988
Ss_cpt	13,77	16864	410	909	582
Lsd	3,955	4258,3	638,2	950,5	855,2
Test SNK 5%	NS	NS	NS	NS	NS
Probabilité	0,303	0,093	0,223	0,115	0,178

Les valeurs suivies de la même lettre, dans une colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité; Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; FO: fumure organique; Cpt: compost; Ss_cpt: sans compost; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

L'application de la fumure organique n'a pas induit de différence statistiquement significative pour le poids de 1000 grains, le nombre de panicule, le rendement en grain, en panicule et en tige. Toutefois, on observe qu'avec le compost, les paramètres mesurés sont en général supérieurs aux valeurs obtenues sans apport de compost: de 92% pour le poids de 1000 grains, de 61% pour le rendement en grain, de 60% pour le rendement en tige, de 59% pour le rendement en panicules.

4.1.4. Effet des fumures minérales sur les paramètres morphologiques du sorgho

La Figure XI montre l'évolution de la hauteur des plantes en fonction des différents types de fumures minérales.

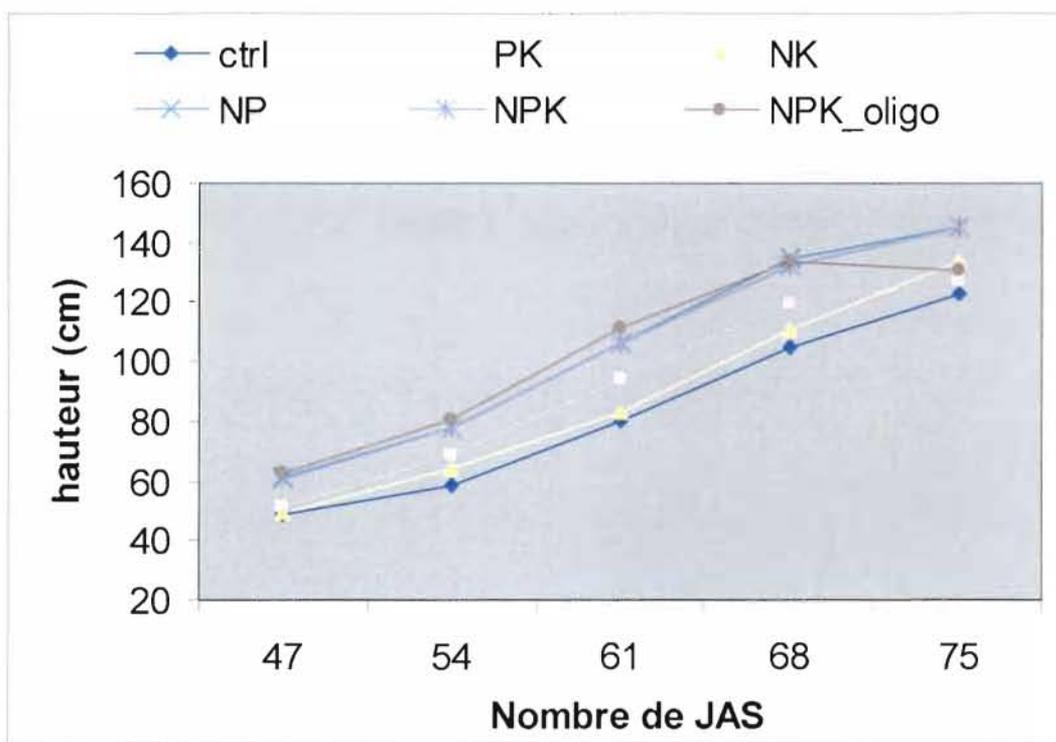


Figure XI: Effet de la fumure minérale sur la hauteur du sorgho

La courbe d'évolution de la hauteur des plantes pour le traitement témoin reste en dessous des autres traitements qui ont reçu des apports minéraux; en effet les courbes d'évolution pour les traitements NP, NPK et NPK+oligo montrent de meilleures croissances de hauteur des plantes (Figure XI). Toutefois, les courbes des traitements NK et PK révèlent des valeurs plus proches de celles du témoin que de celles des traitements NP, NPK et NPK+oligo.

La Figure XII montre l'évolution de la production des feuilles du sorgho en fonction des apports minéraux.

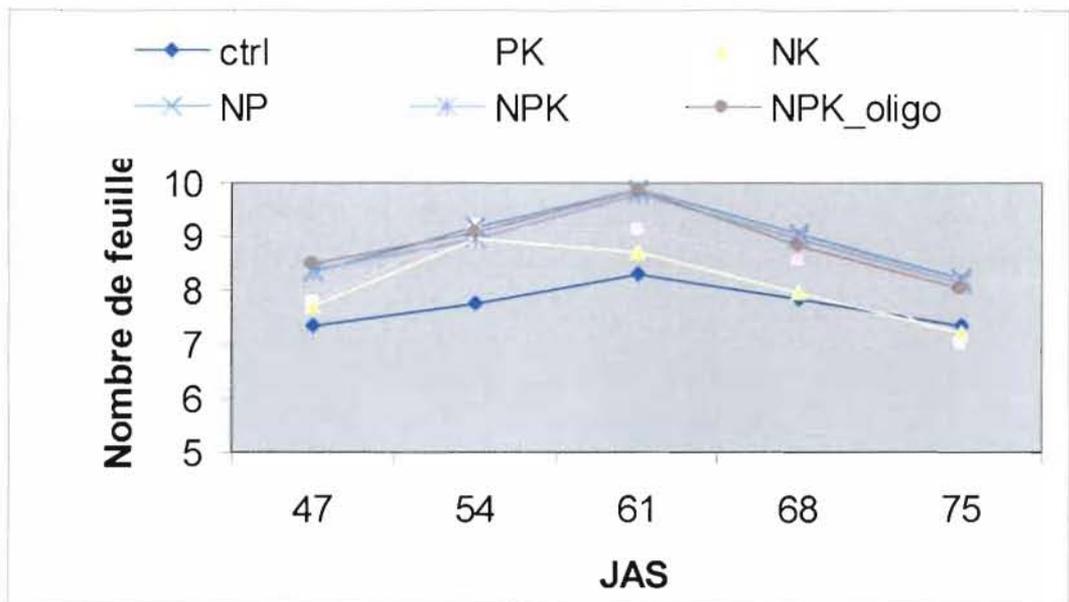


Figure XII: Effet de la fumure minérale sur la production des feuilles du sorgho

Le témoin montre des productions de feuilles du sorgho plus basses durant toute la période de mensuration. Les traitements NP, NPK et NPK+oligo maintiennent un nombre de feuilles élevé durant la période des mensurations.

La Figure XIII montre l'évolution de la couleur verte des feuilles en fonction des différents apports minéraux.

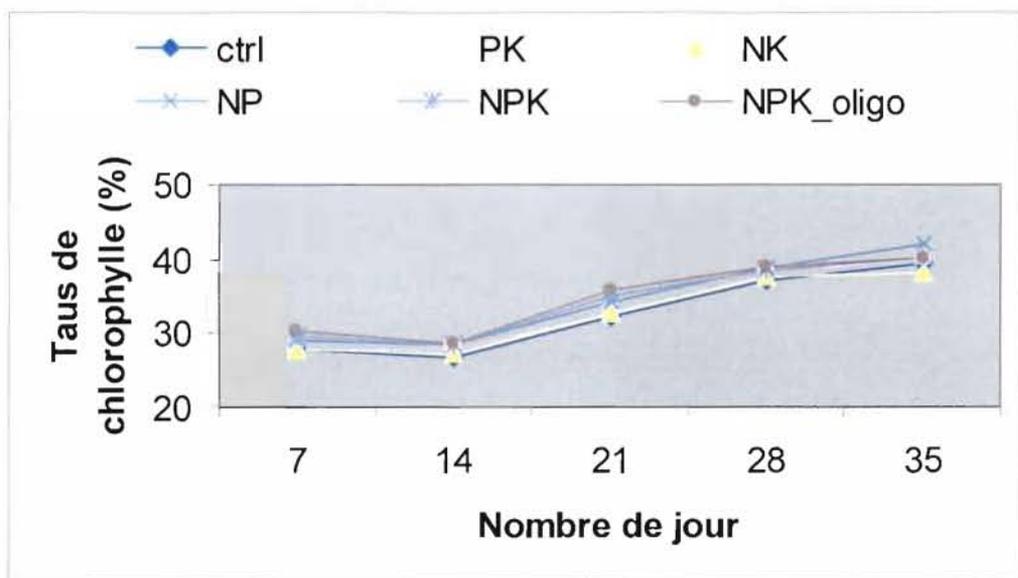


Figure XIII: Effet de la fumure minérale sur l'index de la couleur verte des feuilles du sorgho

Il apparaît une évolution effective de la couleur verte des feuilles à partir de 54 JAS. En effet la courbe d'évolution de la couleur verte des feuille dans les parcelles témoin reste en dessous des autres courbes durant la période de mensuration. Toutefois, on ne constate pas une différence nette entre ces traitements minéraux pour la couleur verte des feuilles.

4.1.5. Effet de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho

➤ Village de Songodin

Le Tableau VI résume les résultats des effets de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho.

Tableau VI: effet de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)

<i>FM</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_gr</i>	<i>Rdt_tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Ctrl	14,1	12790	282 ^b	848 ^a	445 ^c
PK	14,6	15141	362 ^{ab}	1033	607 ^{abc}
NK	14	11450	352 ^{ab}	870	483 ^{bc}
NP	15,4	15459	590 ^a	1266	725 ^{ab}
NPK	15	16224	581 ^a	1549	780 ^a
NPKoligo	14,4	14468	530 ^{ab}	1398	738 ^{ab}
Lsd	1,8	4027,4	192	548,5	196,8
Test SNK 5%	NS	NS	HS	NS	HS
Probabilité	0,566	0,173	0,009	0,072	0,007

Les valeurs suivies de la même lettre, dans une colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité; Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; HS: Hautement significatif; S: Significatif; FM: fumure minérale; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule; Ctrl: contrôle.

L'analyse de variance montre que la fumure minérale n'a pas eu d'effet statistiquement différent sur le poids de 1000 grains, le nombre de panicules et le rendement en tige; l'analyse de variance montre une différence hautement significative pour le rendement en grain et en panicule. En effet, l'application de NP a induit un rendement en grain de 590 kg/ha contre 282 kg/ha au niveau du témoin; aussi, l'application de NPK a induit un rendement en panicule de 780 kg/ha contre 445 kg/ha au niveau du témoin.

➤ **Village de Kibilo**

Le Tableau VII résume les résultats des effets de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho.

Tableau VII: Effet de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo)

<i>FM</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_gr</i>	<i>Rdt_tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Ctrl	14,52	13677 ^b	339	660 ^b	468 ^b
PK	14,71	18674 ^{ab}	479	1023 ^{ab}	717 ^{ab}
NK	13,72	20126 ^a	553	1056 ^{ab}	803 ^{ab}
NP	14,56	20417 ^a	555	1409 ^a	775 ^{ab}
NPK	14,33	18454 ^{ab}	647	1583 ^a	940 ^a
NPKoligo	14,58	18888 ^{ab}	667	1503 ^a	1005 ^a
Lsd	1,855	4232,3	222,4	447,3	285,7
Test SNK 5%	NS	S	NS	HS	S
Probabilité	0,893	0,041	0,063	0,003	0,014

Les valeurs suivies de la même lettre, dans une colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité; Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; HS: Hautement significatif; S: Significatif; FM: fumure minérale; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule; Ctrl: contrôle.

L'analyse de variance montre que la fumure minérale n'a pas eu d'effet significatif sur le poids de 1000 grains et sur le rendement en grain du sorgho. Toutefois le rendement en grain des traitements avec application de la fumure minérale sont supérieurs à ceux du témoin et constituent presque le double du rendement obtenu sur ce dernier. Des différences significatives sont observées entre les traitements pour le nombre de panicule et le rendement en panicules. L'analyse de variance montre que la fumure minérale a eu un effet hautement significatif sur le rendement en tige. En effet, l'application de NPK+oligoélément a induit un rendement en panicules de 1005 kg/ha contre 468 kg/ha au niveau du témoin; aussi, pour le rendement en matière sèche l'application de NPK+oligoélément a induit un rendement de 2254 kg/ha contre 1051 kg/ha avec le témoin.

4.1.6. Effet combiné des fumures organique et minérale sur les paramètres de rendement du sorgho

➤ Village de Songodin

Tableau VIII: Effet combiné de la fumure organique et de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)

<i>FO</i>	<i>FM</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_Gr</i>	<i>Rdt_Tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Cpt	Ctrl	15	14755	425	1394	679
Cpt	PK	16	17296	542	1589	951
Cpt	NK	15,3	15069	616	1511	844
Cpt	NP	17,6	19472	861	1736	1100
Cpt	NPK	17,9	19526	946	2263	1239
Cpt	NPKoligo	16,3	16701	778	2104	1095
Ss_cpt	Ctrl	13,2	10826	138	303	210
Ss_cpt	PK	13,1	12986	182	478	263
Ss_cpt	NK	12,6	7832	89	228	122
Ss_cpt	NP	13,3	11445	320	797	349
Ss_cpt	NPK	12,1	12923	217	835	320
Ss_cpt	NPKoligo	12,6	12235	282	693	382
Lsd		2,87	9190,7	410,9	813,6	762,2
Test SNK 5%		NS	NS	NS	NS	NS
Probabilité		0,293	0,838	0,263	0,921	0,36

Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; FO: fumure organique; FM: fumure minérale; Cpt: compost; Ss_cpt: sans compost; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_Tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

La combinaison de la fumure organique et de la fumure minérale n'a pas induit de différences statistiquement significatives pour le poids de 1000 grains, le nombre de panicules, le rendement en grain, en tige et en panicule (Tableau VIII). Toutefois, on constate que les valeurs sont plus élevées avec application de compost combiné à la fumure minérale qu'avec l'application exclusive de la fumure minérale.

➤ **Village de Kibilo**

Tableau IX: Effet combiné de la fumure organique et de la fumure minérale sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo)

<i>FO</i>	<i>FM</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_gr</i>	<i>Rdt_Tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Cpt	Ctrl	15,44	15928	568	1068	767
Cpt	PK	15,36	20097	628	1274	963
Cpt	NK	15,09	18625	627	1320	924
Cpt	NP	14,59	24106	620	1757	898
Cpt	NPK	14,64	20658	815	1905	1202
Cpt	NPKoligo	15,08	19875	758	1695	1173
Ss_cpt	Ctrl	13,6	11426	110	252	170
Ss_cpt	PK	14,06	17252	330	772	471
Ss_cpt	NK	12,35	21626	479	793	682
Ss_cpt	NP	14,54	16727	490	1062	653
Ss_cpt	NPK	14,01	16251	479	1260	679
Ss_cpt	NPKoligo	14,08	17902	574	1311	836
Lsd		3,254	5811,8	486,9	649,9	782,1
Test SNK 5%		NS	NS	NS	NS	NS
Probabilité		0,725	0,244	0,616	0,93	0,691

Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; FM: fumure minérale; FO: fumure organique; FM: fumure minérale; Cpt: compost; Ss-cpt: sans compost; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en **grain**; Rdt_Tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule; Ctrl: contrôle.

L'analyse de variance montre que la combinaison du compost et de la fumure minérale n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur le poids de 1000 grains, le nombre de panicule, le rendement en grain, en tige et en panicule. Toutefois les valeurs obtenues avec application du compost combiné à la fumure minérale sont nettement supérieures à celles exclusivement minérale, de 19% à 59% pour le rendement en grain, de 22% à 56% pour le rendement en tige.

4.1.7. Effet combiné de la fumure organique et des techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho

➤ Village de Songodin

Village situé au Nord du bassin versant pilote, a connu une erreur au niveau de l'installation des essais soustractifs. En effet les producteurs utilisant les cordons pierreux n'ont pas apporté la fumure organique dans les parcelles. Concernant l'analyse statistique dans ce village; pour tenir compte de ces variabilités, on a alors séparé les cordons pierreux des autres techniques de CES.

Tableau X: Effet combiné fumure organique et technologie CES sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)

<i>FO</i>	<i>CES</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_gr</i>	<i>Rdt_Tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Cpt	Zaï	16,5	19651	977	2707	1440
Cpt	DL	16,2	14622	412	826	529
Ss_cpt	Zaï	11,9	14215	245	745	332
Ss_cpt	DL	13,8	8534	164	366	217
Lsd		2,5	8182,4	410,9	622,9	764,9
Test SNK 5%		NS	NS	HS	HS	HS
Probabilité		0,18	0,776	0,009	0,001	0,003

Lsd: la plus petite différence signification significative;SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; HS: Hautement significatif; S: Significatif; FO: fumure organique; Cpt: compost; Ss-cpt: sans compost; DL: demi-lune; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_Tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

Les résultats ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les traitements fumure organique et techniques de CES pour le poids de 1000 grains et le nombre de panicule (Tableau X). Toutefois, le nombre de panicules reste plus élevé lorsqu'on combine les techniques de CES avec l'application de compost; il en est de même pour le poids de 1000 grains. Par contre, l'analyse de variance a montré une différence hautement significative pour le rendement en grain, en tige et en panicule. En effet, la combinaison compost+zaï a induit un rendement en grain 24% supérieur à la combinaison compost+demi-lune, et 40% supérieur à zaï sans application de compost; en ce qui concerne le rendement en tige, la combinaison compost+zaï a induit un rendement en tige 33% supérieur à la combinaison compost+demi-lune, et 36% supérieur à zaï sans application de compost.

➤ **Village de Kibilo**

Tableau XI: Effet combiné fumure organique et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Kibilo)

<i>FO</i>	<i>CES</i>	<i>%1000G</i>	<i>N_pan</i>	<i>Rdt_gr</i>	<i>Rdt_tig</i>	<i>Rdt_pan</i>
Cpt	CP	14,71	19970	621	1483	972
Cpt	Zaï	16,13	21070	975	2030	1401
Cpt	DL	14,27	18603	413	997	591
Ss_cpt	CP	14,07	16215	411	797	553
Ss_cpt	Zaï	15,11	19700	573	1313	819
Ss_cpt	DL	12,13	14676	247	616	373
Lsd		3,006	5093	501,7	730,2	665,7
Test SNK 5%		NS	NS	NS	NS	NS
Probabilité		0,394	0,774	0,249	0,343	0,231

Lsd: la plus petite différence;SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; HS: Hautement significatif; S: Significatif; FO: fumure organique; Cpt: compost; Ss-cpt: sans compost; CP: cordon pierreux; DL: demi-lune; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

L'analyse de variance au seuil de 5% de poids de 1000 grains, du nombre de panicule, du rendement en grain, en tige et en panicule n'a pas indiqué de différence significative (Tableau XI). Toutefois des valeurs plus élevées ont été observées avec la combinaison compost et techniques de CES. En effet, le rendement en grain atteint 621 kg dans le traitement cordons pierreux avec application du compost contre 411 kg dans les cordons pierreux sans apport du compost, 975 kg dans les zaï avec apport de compost contre 573 kg dans les parcelles de zaï sans apport de compost et 413 kg dans les demi-lunes avec apport de compost contre 247 sans apport de compost. Aussi, les valeurs observées au niveau des parcelles de zaï avec apport de compost sont relativement plus importants suivis de celles observées avec le traitement cordons pierreux avec apport de compost et demi-lunes avec apport de compost. Il est à noter que quelque soit la combinaison de technologie CES avec la fumure organique, le traitement zaï a induit les valeurs les plus élevées pour tous les paramètres de rendement suivi des cordons pierreux et des demi-lunes.

4.1.8. Effet combiné de la fumure minérale et des techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho

➤ Village de songodin

Village situé au Nord du bassin versant pilote, a connu une erreur au niveau de l'installation des essais soustractifs. En effet les producteurs utilisant les cordons pierreux n'ont pas apporté la fumure organique dans les parcelles. Concernant l'analyse statistique dans ce village, et pour tenir compte de ces variabilités, on a alors séparé les cordons pierreux des autres techniques de CES.

L'analyse de variance au seuil de 5% du poids de 1000 grains, du nombre de panicules, du rendement en grain, en tige et en panicule n'a pas montré de différence significative entre les traitements (Tableau XII). Toutefois, les valeurs les plus élevées pour le rendement en grains ont été obtenues avec la combinaison zaï et NP (827 kg), combinaison demi-lune et NPK (374 kg); pour la matière sèche totale, la combinaison zaï et NP a induit le rendement le plus élevé (2812) et la combinaison demi-lune et NPK a induit le plus grand rendement (1273 kg). Les oligoéléments semblent ne pas induire d'effet additionnel aux éléments NPK; en effet, nous avons observé dans le cas de zaï pour la matière sèche totale, qu'avec NP on a obtenu 2812 kg contre 2720 kg avec NPK+oligo; aussi, dans le cas des demi-lune, on a obtenu 1273 kg avec NPK contre 797 kg avec NPK+oligo.

Tableau XII: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho (village de Songodin)

CES	FM	%1000G	Nbr_pan	Rdt_gr	Rdt_tig	Rdt_pan
Zaï	Ctrl	13,7	15581	319	1245	556
Zaï	PK	14,1	16879	410	1349	814
Zaï	NK	13,2	14682	500	1340	694
Zaï	NP	15,8	17815	827	1799	1013
Zaï	NPK	14,2	18213	789	2311	1073
Zaï	NPKoligo	14,2	18426	820	2311	1165
DL	Ctrl	14,4	10000	244	451	333
DL	PK	15,1	13403	314	718	400
DL	NK	14,7	8218	205	399	272
DL	NP	15	13102	354	734	436
DL	NPK	15,7	14236	374	787	486
DL	NPKoligo	14,7	10509	240	486	311
Lsd		3,33	5550,3	351,4	566,9	461,9
Test SNK 5%		NS	NS	NS	NS	NS
Probailité		0,964	0,874	0,455	0,492	0,748

Lsd: la plus petite différence significative; SNK: Student Newman Keuls; NS: Non Significatif; CP: cordon pierreux; DL: demi-lune; 1000G: poids de 1000 grains; N_pan: nombre de panicule; Rdt_gr: rendement en grain; Rdt_tig: rendement en tige; Rdt_pan: rendement en panicule.

➤ Village de Kibilo

La Figure XIV donne l'effet combiné fumure minérale et techniques de CES sur le rendement en grain du sorgho

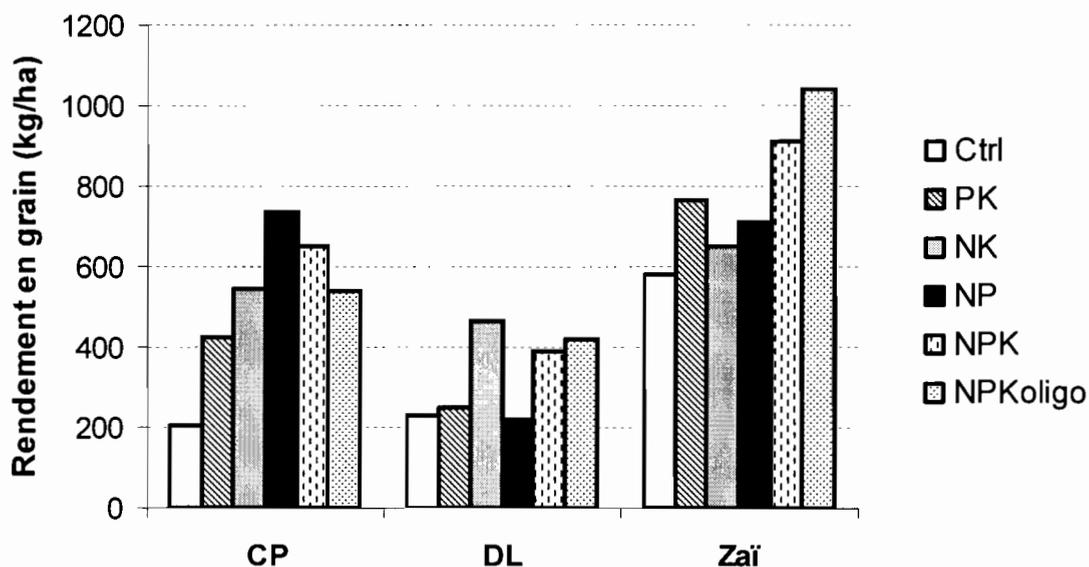


Figure XIV: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur le rendement en grain du sorgho (village de Kibilo)

Dans les parcelles aménagées en cordons pierreux avec application de NP, on a obtenu le rendement en grain le plus élevé, tandis que dans les parcelles de demi-lunes, on

a observé le rendement le plus élevé avec l'application de NK. Pour les parcelles de zaï, c'est l'application de NPK+oligoélément qui induit le meilleur rendement.

La Figure XV donne l'effet combiné fumure minérale et techniques de CES sur le rendement en tige du sorgho

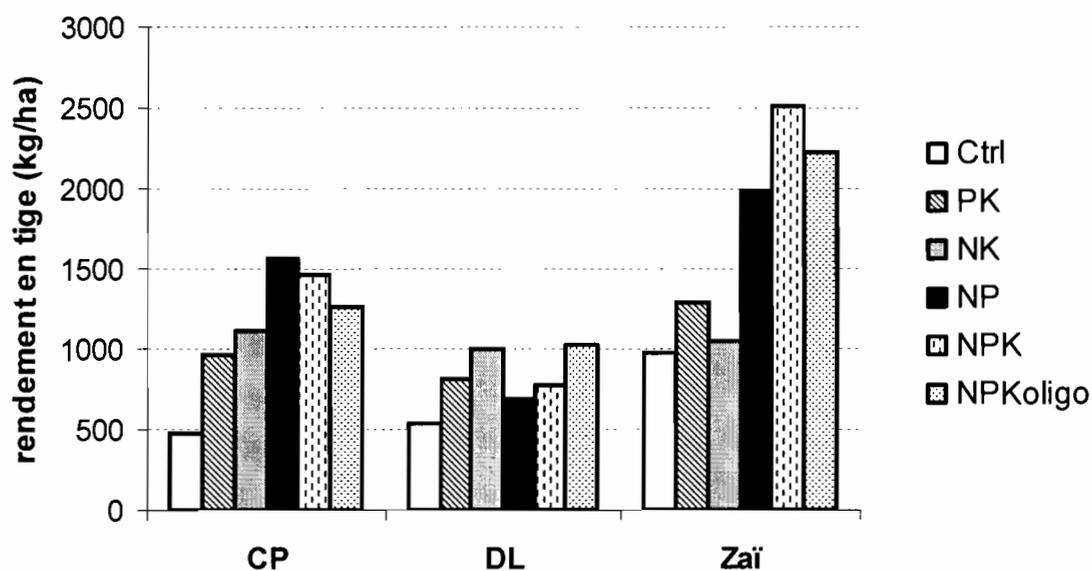


Figure XV: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur le rendement en tige du sorgho (village de Kibilo)

Dans les parcelles de cordons pierreux avec apport de NP on a obtenu le rendement le plus élevé. Pour les parcelles de demi-lunes, l'apport de NK ou de NPK+oligo a induit le meilleur rendement tandis que dans les parcelles de zaï, l'apport de NPK a obtenu le rendement le plus élevé.

La Figure XVI donne l'effet combiné fumure minérale et techniques de CES sur le rendement en panicule du sorgho

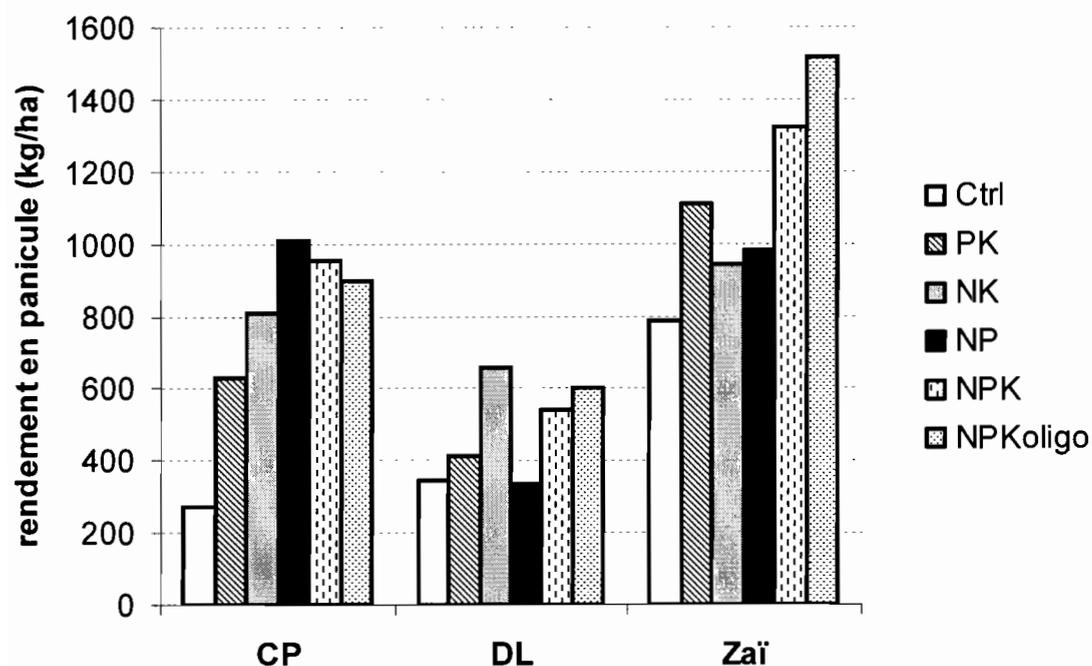


Figure XVI: Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur le rendement en panicule du sorgho (village de Kibilo)

La combinaison des cordons pierreux avec apport de NP on a obtenu le meilleur rendement en panicule, suivi de la combinaison des cordons avec NPK et du NPK+oligo; les parcelles de demi-lunes avec apport de NK a induit de meilleur rendement en panicule suivi de NPK+oligo et NPK; les Zaï avec apport de NPK+oligo a induit le rendement en panicule plus élevé suivi du NPK et du PK

4.2. Discussion

4.2.1. Effet des techniques de conservation des eaux et des sols

➤ Sur les paramètres morphologiques du sorgho

Les résultats ont montré que la croissance en hauteur du sorgho avec les cordons pierreux et le zaï est relativement plus importante que celle observée avec les parcelles de demi-lune. En ce qui concerne l'évolution du nombre de feuilles, on observe durant la période allant de 47 JAS à 61 JAS que le nombre de feuilles dans les traitements avec cordons pierreux reste plus élevé que dans les parcelles de zaï et de demi-lune et que de 63 JAS à 75 JAS les demi-lunes et les cordons pierreux maintiennent plus de feuilles que les parcelles de zaï. L'index de couleur verte des feuilles du sorgho augmente à partir de 54 JAS jusqu'à la fin du cycle sans qu'il n'y ait de différence nette entre les techniques de CES.

De ces résultats, il ressort que les cordons pierreux semblent donner de meilleures performances tant pour la croissance en hauteur que pour l'évolution du nombre de feuilles de sorgho. Cette performance des cordons pierreux pourrait s'expliquer par le fait que les cordons pierreux, par leur caractère filtrant, laisseraient passer le trop plein d'eau lors des fortes pluies de cette campagne hivernale 2007. Par contre dans les cuvettes de demi-lune et de zaï, qui elles, retiennent le maximum d'eau les plants de sorgho semblent avoir beaucoup plus souffert d'asphyxie, ce qui a pu un temps soit peu ralentir leur croissance. Les mêmes raisons s'appliquent lorsqu'on compare le zaï aux demi-lunes. En effet, les cuvettes de demi-lunes collectent plus d'eaux que celles de zaï (Zougmoré *et al.*, 2004), ce qui pourrait expliquer la plus faible croissance des plantes avec les demi-lunes.

➤ Sur les paramètres de rendement du sorgho

Des différences significatives ont été observées entre les traitements de CES pour le nombre de panicules, les rendements en grain, en tige, et en panicule. Aussi ces paramètres de rendement sont plus élevés dans les parcelles de zaï que dans celles de cordons pierreux et de demi-lunes. La meilleure performance du zaï par rapport au cordon pierreux pourrait s'expliquer par la meilleure concentration des nutriments et de l'eau dans la cuvette du zaï en faveur des plants de sorgho. Alors qu'au niveau des cordons pierreux, cette concentration des nutriments et de l'eau est surtout effective juste en amont des cordons pierreux, jusqu'à 12 m (Zougmoré *et al.*, 2000) Bien qu'en entraînant une mise à

disposition de nutriments et d'eau pour les plants de sorgho dans les cuvettes, les demi-lunes ont particulièrement souffert d'excès d'eau qui en débordant, ont même souvent emporté les substances organiques.

4.2.2. Effet de la fumure organique

➤ Sur les paramètres morphologiques du sorgho

Des différences significatives ont été observées entre traitements avec application de compost et sans application de compost pour la hauteur des plants, la production des feuilles et l'index de couleur verte des feuilles.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Ouédraogo *et al* (2001) qui ont observé que la plus forte production de la matière sèche du sorgho était obtenue dans les parcelles avec application de compost.

L'apport de compost augmente la disponibilité des éléments nutritifs et l'humidité du sol. En effet, le compost en tant que substrat organique favorise une accumulation d'eau (Zougmore *et al.*, 2003; Ouédraogo *et al.*, 2001). En outre, la décomposition de la matière organique libère des éléments minéraux tels que l'azote, le phosphore, le potassium et aussi des micro-éléments indispensables à la croissance des cultures. Ainsi, les plantes y trouvent l'eau et les éléments nutritifs nécessaires pour la synthèse de la matière sèche.

➤ Sur les paramètres de rendement du sorgho

Dans les deux villages, l'application du compost n'a pas induite de différence significatives pour les rendements en grains, en panicules et le poids de 1000 grains; toutefois on observe qu'avec l'apport du compost, les paramètres mesurés sont en général supérieurs aux valeurs obtenues sans apport de compost: 92% supérieur pour le poids 1000 grains, 61% supérieur pour le rendement en grain, 60% supérieur pour le rendement en tige, 59% supérieur pour le rendement en panicule.

Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Zougmore *et al* (2004) à Pougnyango où l'apport du compost augmentait le rendement en grain du sorgho. Selon Piéri (1989), l'accroissement significatif de rendement semble être lié à l'action fondamentale de la matière organique. Cela corrobore les résultats de Delville (1996) cité par Lompo (2005) qui indique que la matière organique accroît la quantité et la disponibilité des éléments minéraux dans le sol. Comme précédemment cité, les paramètres de rendement semblent aussi être liés aux quantités d'éléments minéraux

(azote, phosphore, potassium, etc.) libérées par le compost et la fonction de maintien de l'humidité du sol par ce dernier.

4.2.3. Effet de la fumure minérale

➤ Sur les paramètres morphologiques du sorgho

L'absence d'application de fumures minérales a induit la plus faible évolution de la hauteur des plants, la production des feuilles et l'index de couleur verte des feuilles. En effet, on observe que les traitements NP, NPK et NPK+oligo présentent de meilleures évolutions de hauteur des plantes, de productions de feuille plus élevées et des index de couleur verte des feuilles plus élevés que les autres traitements sans pour autant montrer de différences significatives entre ces traitements. En effet l'apport du NPK+oligo, NPK et NP semblent apporter les principaux éléments nutritifs nécessaires à la nutrition de la plante. En effet, le Phosphore (P) et l'Azote (N) sont prépondérants pour la bonne croissance des plantes. Cédra (1996) cité par Kaboré (2004) démontre que l'azote est le stimulant principal de la croissance des végétaux et toute forme de vie ne peut croître et fonctionner sans acquérir de l'azote sous forme acceptable (FAO, 1986 cités par Kaboré., 2004). Le phosphore est nécessaire dans la plante surtout en début de végétation et dans les jeunes organes; lors de la croissance de la plante, l'azote donne le volume de l'organe et le phosphore la vigueur. Au fur et à mesure que le végétal approche de sa maturité, le phosphore s'accumule préférentiellement dans les organes de réserve et en particulier dans les graines (Gaucher, 1968)

➤ Sur les paramètres de rendement du sorgho

Comme pour les paramètres morphologiques, l'absence d'application de fumures minérales induit de faibles rendements en sorgho. Ces résultats sont similaires à ceux de Yaro *et al* (1997), Kabrah *et al* (1996) qui ont trouvé que les parcelles sans application de fumures minérales enregistrent les plus faibles rendements par rapport aux traitements avec fumures minérales. Ils ont montré que la fumure minérale joue un rôle important dans le rendement du sorgho.

Les traitements NP, NPK et NPK+oligo ont induit les rendements les plus élevés sans qu'il n'existe de différences significatives entre ces traitements. Les éléments nutritifs N, P et K jouent des rôles importants dans le développement et la croissance des plantes. L'insuffisance ou l'absence de ces éléments dans le sol entraîne des baisses de rendements (Kaboré, 2004 cités par Tougma, 2006)

4.2.4. Effet combiné fumure organique et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho

La combinaison du zaï et l'application de fumure organique, induit les valeurs les plus élevées pour tous les paramètres de rendement suivi des cordons pierreux et des demi-lunes. L'application de compost dans les techniques de CES a induit une augmentation de rendement du sorgho. Comme déjà expliqué plus haut c'est la combinaison de la meilleure disponibilité en eau et en éléments nutritifs au niveau des cuvettes de zaï qui expliquerait ces meilleurs rendements de sorgho.

Roose et al (1999), ont reporté des résultats similaires avec le zaï et les demi-lunes. Ils expliquent que cet accroissement significatif de rendement semble être lié à l'action fondamentale de la matière organique résumé par Piéri (1989) en trois rôles essentiels:

- Elle stimule la formation des racines de la culture;
- Elle est un agent majeur pour la stabilité de la structure du sol;
- Elle a une influence directe sur la nutrition de la plante et sur les propriétés physico-chimiques du sol, due à sa minéralisation et à son importance dans la dynamique de l'azote.

Selon Zougmoré *et al* (2004), les éléments nutritifs du sol jouent un rôle critique dans l'amélioration de l'efficacité de la demi-lune et du zaï; la même étude a montré que le simple fait de restaurer les conditions favorables d'humidité du sol ne suffisait pas pour améliorer la production de la culture. La nécessité d'apporter du compost dans les technologies CES s'impose; en effet, elle maintient l'humidité dans les parcelles aménagées et constitue un stock d'élément minéraux dans le sol.

4.2.5. Effet combiné de la fumure organique et des fumures minérales sur les paramètres de rendement du sorgho

La combinaison compost et fumures minérales a induit des accroissements notables de rendement du sorgho. En effet, le rendement obtenu avec application de compost combinée à la fumure minérale est nettement supérieur à celle exclusivement minérale de 19% à 59% pour le rendement en gain, de 22% à 56% pour le rendement en tige.

Les résultats de Yaro *et al* (1997), Uyovbisere *et al* (1999) ont montré que l'apport du fumier augmente les rendements des céréales en comparaison à l'utilisation exclusive

des engrais minéraux; ils expliquent cela par le fait que, si les engrais minéraux sont appliqués seuls, les divers éléments sont facilement lessivables, les rendant ainsi indisponibles pour la plante. Ainsi l'apport combiné de la matière organique et des engrais minéraux permet de réduire ces pertes et d'augmenter l'efficacité des engrais azotés.

4.2.6. Effet combiné fumures minérales et techniques de CES sur les paramètres de rendement du sorgho

Les techniques de CES réduisent le ruissellement, augmentent l'humidité du sol (Lamachère et Serpantié, 1991; Zougmore *et al.*, 2003) et améliorent la fertilité des sols. En effet, les plantes absorbent les éléments minéraux sous forme d'ions dissous dans la solution. Il est probant que les techniques de CES, grâce à l'humidité qu'elles maintiennent, permettent une valorisation des apports minéraux.

Les apports en engrais minéraux sont susceptibles de fournir des éléments majeurs tels le N, P et K et des oligo-éléments nécessaires à la croissance et au développement des plantes. Nos résultats nous ont permis d'arriver à des analyses suivantes:

- Pour les cordons pierreux, il ressort que l'apport des éléments N et P a induit le meilleur nombre de poquets, le meilleur rendement en grains, le meilleur rendement en tige et le meilleur rendement en panicule. Par contre, en absence de ces éléments, les paramètres ci-dessus cités sont très faibles. Il s'avère alors une nécessité d'apporter les éléments nutritifs N et P pour une meilleure production du sorgho dans les aménagements en cordons pierreux. Quant aux éléments K et oligoéléments, ils semblent existés en quantité nécessaire pour la nutrition des plantes.
- Le traitement demi-lune avec apport de NK donne de meilleurs rendements en grain, en tige et en panicule. Ainsi les apports en NK dans les demi-lunes pourraient optimiser la production du sorgho. Les éléments P et oligoélément semblent ne pas limiter la production du sorgho dans les demi-lunes.
- Le traitement zaï avec apport de NPK et de NPK+oligo ont donné de meilleur rendements sans qu'il n'y ait de différences significatives entre ces deux traitements. Les éléments N, P et K apparaissent donc nécessaires dans les aménagements en zaï. Les oligoéléments semblent ne pas limiter la production du sorgho.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La faible disponibilité en eau et la pauvreté des sols en matières organiques, en phosphore et en azote constituent entre autres les contraintes majeures de la production agricole dans le bassin versant pilote du Zondoma. L'utilisation des techniques de CES (telles le cordon pierreux, la demi-lune et le zaï), combinées à la fumure organique et la fumure minérale revêt une grande importance pour combattre la dégradation des terres sous cultures et améliorer leur productivité.

La présente étude avait pour objectifs de déterminer la capacité nutritive naturelle des sols aménagés en CES ainsi que de déterminer les éléments limitant la production agricole des terres aménagées en CES, cela afin de définir les formules optimales d'engrais à utiliser pour chaque technique de CES. Les intrants utilisés ont été du sorgho variété Sariasso 11, du compost et différents types de fumure minérale (urée, TSP, KCl, MgO et CuO).

Des résultats obtenus on peut retenir que:

- Les cordons pierreux ont permis une bonne évolution de la hauteur des plantes, du nombre de feuilles et de la couleur verte des feuilles par rapport aux zaï et aux demi-lunes. Les rendements en grains, en tiges, en panicule, en matière sèche totale au niveau des techniques de CES sont plus élevés dans les parcelles de zaï que celles des cordons pierreux et des demi-lunes;
- L'application du compost a eu un effet positif sur l'évolution de la hauteur, la production de nombre de feuilles, l'évolution de l'index de couleur verte des feuilles et l'augmentation des paramètres de rendement du sorgho par rapport à l'absence d'application du compost.
- L'application de NPK+Oligoéléments, NPK et NP ont induit une meilleure croissance des plantes du sorgho, les meilleurs poids 1000 grains, nombre de panicule, rendement en grains, en panicule et en tige sans qu'il n'existe de différence significative entre ces trois traitements minéraux;
- La combinaison du compost aux techniques de CES a eu des effets nets sur l'augmentation des paramètres de rendement et l'accroissement des paramètres de rendement du sorgho par rapport à la technique de CES sans apport du compost;

➤ La combinaison des techniques de CES aux fumures minérales a eu des effets positifs sur les paramètres de rendement; ainsi l'azote et le phosphore a eu des effets nets sur le rendement du sorgho dans les cordons pierreux, l'azote et le potassium dans les demi-lune et enfin, l'azote, le phosphore et le potassium dans les zaï;

En terme de recommandation pour le bassin versant pilote du Zondoma, une bonne combinaison de la fumure organique et de la fumure minérale permet d'optimiser le rendement du sorgho; en outre cette combinaison permettra une sécurisation de l'écosystème pour une agriculture durable. Ainsi, il en ressort de notre étude qu'en plus de la matière organique (5 à 10 t/ha), il faudrait apporter :

- 100 kg/ha de N et 30 kg/ha de P_2O_5 dans les parcelles aménagées en cordons pierreux;
- 100 kg/ha de N et 35 kg/ha de K_2O dans les parcelles aménagées en demi-lunes;
- 100 kg/ha de N et 30 kg/ha de P_2O_5 et 35 kg/ha de K_2O Dans les parcelles aménagées en zaï.

Cette étude nous a permis d'évaluer la fertilité actuelle des terres aménagées, de déterminer les éléments minéraux limitants la production et de définir les formules d'engrais correspondant à chaque type d'aménagement CES. Mais elle devra être complétée par:

- Un bilan des éléments nutritifs dans le bassin versant pilote dans les essais en milieu paysan pendant deux ans;
- Une définition des formules de fumures économiquement rentables;
- Une politique nationale d'accès aux engrais en qualité et en quantité suffisante.

BIBLIOGRAPHIE

Arrivet J., 1971. Fertilisation des variété locales de sorgho sur les sols ferrugineux tropicaux du plateau Mossi en Haute-Volta. 49p.

Bado B.V., 1994. Modification chimique d'un sol ferrallitique sous l'effet de fertilisants minéraux et organique : conséquences sur les rendements d'une culture continue de maïs. Mémoire de fin de d'étude IDR, université de Ouagadougou .57p+annexes

Bado, B. V., Sedogo, M. P. et Lompo F., 1997a. Efficacité d'un phosphatage de fond sur la productivité d'un sol ferrallitique. *In* : Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. 4-8mars 1997; pp 85-88.

Bado B.V., Sedego M.P., Cescas M.P., Lompo F. et Bationo A.;1997b. Effets à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina-Faso. Cahiers Agricultures. Vol 6 n°6.

Barro A., Zougmore R., Taouda JB. S., 2005. Mécanisation de la technique de zaï manuel en zone semi-aride, cahiers agricultures. 14: 549-559.

Berger M., 1996. l'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne : fiches techniques. Agriculture et développement : n° hors série, CIRAD ; Montpellier. 29p.

BUNASOLS., 1985. Etude de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso. 50p.

BUNASOLS., 2004. Etude morpho-pédologique des provinces de Yatenga, du Lorum et du Zondoma. Echelle 1/100000. 62p+annexes.

Delville P.L., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel. Diagnostics et conseils aux paysans. CTA-GRET. Collection << le point sur >>. 397p.

Diallo L., 2002. Effet de l'engrais azoté et du fumier sur le rendement du maïs. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina faso. 53p.

Gros A., 1974. Engrais. Guide pratique de la fertilisation. 6^{ème} édition, La Maison Rustique. Paris. 436p.

Hien V., Youl S., Sanon K., Traoré O. et Kaboré D., 1992. Rapport de synthèse des activités du Volet expérimentation du Projet Engrais Vivriers 1986-1991. Résultats agronomiques et évaluations économiques des formules d'engrais à moindre coût pour les céréales. 184pp.

Kabrah Y., Yao N. R., Dea G. B. et Couloud J Y., 1996. Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs. Cahiers Agricultures. 5 : 189-93.

Kambou N. F., Zougmore R., 1995. Evolution des états de surfaces d'un "zippellé" soumis à différentes techniques de restauration des sols. Yilou, Burkina Faso . Bulletin Erosion, 19 : 436-450.

Lompo, F., 1993. Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso: Etude des effets de l'interaction phosphate naturel-matière organique. Thèse de Docteur Ingénieur. Université nationale de Côte d'Ivoire; 247 p.

Lompo D. J-P., 2005. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'Ouest du Burkina Faso: évaluation des effets agronomiques et de la rentabilité économique de trois formules de fumures. Mémoire d'ingénieur du développement rural /Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina faso. 50p.

Lompo, F., Sedogo, M.P., Hien, V. et Kaboré, D., 1993. Expériences et perspectives de maintien de la productivité du sol dans l'agriculture au Burkina Faso. 42 p

Lozet J., Mathieu C., 1997. Dictionnaire de Science du Sol. Technique & Documentation. 488p.

MA., 1999. Stratégie nationale et plan d'action de gestion intégrée de la fertilité des sols. 102p.

MCD, 1991. Mémento de l'agronome ; 4^e édition ; pp 202-207.

Maatman A., Sawadogo H., Schweigman C. et Ouédraogo A., 1998. Application of zai and rock bunds in nord west region of the Burkina Faso. Study of its impact on household level by using a stochastic linear programming model. Netherlands journal of agriculture science. 46: 123-133

Mando A., Stroosnijder L., 1999. The biological and physical roles of mulch in the rehabilitation of the crusted soil in the sahel. Land use and management. 15: 123-130.

Mando A., Zougmore R., Zombré N. P., Hien V., 2001. Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique Subsaharienne. In: la jachère en Afrique tropicale vol2: de la jachère naturelle à la jachère améliorée; le point de connaissance. pp 311-339.

Morel R., 1996. Les sols cultivés Vol2. Technique&Documentation.389p.

Morin J., 1993. Soil crusting and sealing in west Africa and possible approaches to improve management. In soil tillage in Africa needs and challenges, FAO soils bulletin, N°69. pp 95-128.

Ouattara B., Sédogo P.M., Lompo F., 1994. Effet de quatre types de substrats organiques sur le système poral d'un sol ferrugineux tropical sous culture de sorgho. Sciences et techniques 20: 60-74.

Pichot J., Sédogo M. P., Poulain J. F., Arrivets J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. 36: 122-133

Piéri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sahara. MCD/CIRAD. 444p.

Ratsivalaka S., Serpantié G., Roose E., 2005. Erosion et gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols; Actes des journées scientifiques du réseau de chercheurs Erosion et GCES. 310p.

Reij C., Scoones I., Toulmin C., 1996. Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA. 351p.

Rochette R. M., 1989. Le sahel en lutte contre la désertification ; leçon d'expériences. CILSS-GTZ. 592p.

Roose E., 1994. Introduction a la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologie. FAO N°70. 424p.

Roose E., Kaboré V. et Guenete C., 1993. Le zaï : fonctionnement, limites et amélioration d'une technique traditionnelle de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (BF). Cahier ORSTOM, série pédologie. N°130, 569p.

Sébillotte M., 1989. Fertilité et système de production. Publ.INERA. 369p.

Sedogo P. M., 1981. Contribution à l'étude de la valorisation des résidus cultureux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol, nutrition azotée des cultures. Thèse Docteur Ingénieur, INPL NANCY. 135 p.

Sédogo P. M., 1984. Intensification des indicateurs de durabilité pour la gestion des ressources naturelles dans les zones arides et semi-arides (300-600) d'Afrique de l'ouest. 42p.

Sedogo P. M., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture/ incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat. Université de Cocody. Côte d'Ivoire. 285p.

Sedogo P.M., Bado B.V., Hien V., Lompo F.,1991. Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière: l'expérience du Burkina Faso. Développement in plant and Soil Science 47: 115-123.

Sédogo P. M., Lompo F., Ouattara B., 1994. le carbone et l'azote dans différentes fractions granulométriques d'un sol ferrugineux tropical; effet de quatre types d'amendements organiques. Sciences et techniques 20 : 110-120.

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

Sédogo P. M., Lompo F., Bonzi M., Bado B. V., Segda Z., 1999. Compostage en fosse des résidus des récoltes (sorgho, mil, maïs). Fiche technique, GRN/SP, INERA.

Tougma W. S. R., 2006. Effet de la fertilisation organique et minérale sur la production en biomasse et en huile essentielle de la citronnelle (*Cymbopogon cytratus* (D.C) STAPF) dans la région des Cascades (Ouest du Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina faso. 58p + Annexes.

Uyovbiséré E. O., Chude V. O and Bationo A., 1999. Promising nutrient ratios infertilizer formations for optimal performance of maize in the Nigérian savan: The need for a review of current recommendations In Strategy for sustainable maize production in west and central Africa International Institute of tropical Agriculture. pp263-271.

Vlaar R., 1992. Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du sahel. CIEH, Burkina Faso ; Université Agronomique de Wageningen. 99p.

Yaro D. T., Iwaafor E. N. O., Chude V. O., Tarfa B. D., 1997. Use of organique manure and inorganique fertilizer in maize production; A field evaluation in strategy for sustainable maize production in west and central Africa. 237-239p.

Zombré N. p., Mando A., Ilboudo JB., 1999. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur la restauration des jachères très dégradées au Burkina Faso. 771p.

Zougmoré R., Zida Z., Kambou F. N., 1999. Réhabilitation des sols dégradés: rôles des éléments nutritifs des plantes dans le succès des techniques de demi-lune et de zaï au sahel. Bulletin Erosion 19: 536-550.

Zougmoré R., Guillobez S., Kambou N. F., Son G., 2000. Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid sahelian zone. Soil & tillage research 56: 175-183.

Zougmoré B. R., 2003. Integrated water and nutrient management fort sorghum production in semi-arid Burkina Faso. Thèse PhD Université Agronomique de Wageningen Pays-Bas. 205p.

Zougmoré R., Zida Z., Kambou N. F., 2003. Role of nutrients amendements in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. Soil & Tillage Research 71: 143-149.

Zougmoré R., Ouattara K., Mando A., Ouattara B., 2004. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lune) au Burkina Faso. Sécheresse 15: 41-48.

Zougmore R., Nagumo F., Hosikawa A., 2006. Nutrient uptakes and maize productivity as affected by tillage system and cover crops in a subtropical climate at Ishigaki, Okinawa, Japan. *Soil science and plant nutrition* 52: 509-518.

Annexes

Annexe 1: Choix des producteurs par l' IFDC

L'étude est réalisée en milieu paysan sur un bassin versant (BV) pilote de Zondoma. A cet effet, toutes les parcelles expérimentales seront placées dans les champs des producteurs sur des terres qui sont entrain d'être réhabilitées dans le BV. Les producteurs sont choisis selon l'approche participative telle que définie dans le guide de choix des producteurs par l'IFDC.

- **Guide de choix des producteurs**

Le choix des producteurs pour la mise en place de parcelles d'apprentissage doit être participatif ; Les parcelles d'apprentissages sont des champs d'apprentissage mutuels entre les producteurs et les techniciens (chercheurs et vulgarisateurs). Elles sont mises en place conjointement par ces différents acteurs mais leur gestion incombe aux producteurs. Le choix des producteurs est fait par les producteurs eux-mêmes afin d'assurer la participation de tous dans les différentes activités. Les producteurs retenus sont des personnes :

- ⇒ Volontaires;
- ⇒ Ouvertes;
- ⇒ Qui disposent de ressources, au moins une fosse fumière capable de fertiliser la superficie de la parcelle, qui connaissent la technique de compostage afin d'assurer la fertilisation organique de sa parcelle, de suffisamment de main d'œuvre pouvant assurer l'effectivité des activités durant toute la campagne, d'une parcelle qui convient à l'activité, de champs accessibles;
- ⇒ Qui peuvent assurer une bonne conservation et/ou transformation des produits de récolte;
- ⇒ Connues dans le milieu avec une bonne moralité: être sujet d'un consensus général et avoir démontré son leadership en participant régulièrement aux activités antérieures dans le milieu;
- ⇒ Respecter ce qui est convenu avec les partenaires de la recherche action et de la vulgarisation;
- ⇒ Accepter le suivi effectué par les partenaires.

- **Démarche méthodologique**

En assemblée du village:

- ⇒ Salutation d'usage
- ⇒ Expliquer l'objectif:
 - Ancrage institutionnel PDRD, IFDC, INERA, DRAHRH, atelier du TAG-820 et sélection des villages les 24 et 25 Avril 2007;
 - Options technologiques (GIFS +CES) ;
 - Sélection des producteurs;
 - Délimitation des parcelles;
 - Planification de la suite des activités.
- ⇒ Expliquer les options : GIFS, CES/AGF et croisement des options GIFS et CES ;
- ⇒ Expliquer les besoins: nombre de producteurs par options et surface par option.
- ⇒ Expliquer et s'assurer la compréhension du guide de choix des producteurs;
- ⇒ Animer et guider l'assemblée pour atteindre les objectifs assignés

Annexe 2:

FICHE DE SUIVI DES OPERATIONS

Date: Village:
Nom & Prenoms producteur: Technologie CES:

ESSAI SOUSTRACTIF 2007

Tableau 1: Caractéristiques de la fumure organique appliquée

Traitement / Parcelle	FO+T0	FO+T1	FO+T2	FO+T3	FO+T4	FO+T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Observations
Type de matière organique (MO)													
Quantité de MO appliqué													
Poids humide échantillon 1													
Poids humide échantillon 2													
Observations particulières													

FICHE DE SUIVI

Date: Nombre de jours après semis: Village:
Nom & Prénoms producteur: Technologie CES:

ESSAI SOUSTRACTIF 2007

Tableau 2: Taux de levé des semis par parcelle / traitement

Traitement / Parcelle	FO+T0	FO+T1	FO+T2	FO+T3	FO+T4	FO+T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Observations
Nombre de poquets totaux													
Nbre de poquets levés													
Taux de levé													
Observations particulières													

Annexe 3

FICHE DE SUIVI DES OPERATIONS

Date:

Nom & Prénoms producteur:

ESSAI SOUSTRACTIF 2007

Village:

Technologie

CES:

Tableau 3: Dates des différentes opérations culturales

Traitement / Parcelle	FO+T0	FO+T1	FO+T2	FO+T3	FO+T4	FO+T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Observations
Aménagement CES (.....)													
Labour (cordon P.)													
Apport de MO													
Mode d'application de MO													
Semis													
Levé de semis													
Resemis													
Sarclage 1													
Sarclage 2													
Apport d'engrais													
Types d'engrais appliqué													
Mode d'application de l'engrais													
Sarclage 3													
Buttage													
Observations particulieres													

Annexe 4

FICHE DE SUIVI DES OPERATIONS DE RECOLTE

Date:

Nom & Prenoms producteur:

ESSAI SOUSTRACTIF

2007

Village:

Technologie

CES:

Tableau 4: RECOLTES

Traitement / Parcelle	FO+T0	FO+T1	FO+T2	FO+T3	FO+T4	FO+T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5	Observations
Superficie utile (m2)													
Nbre de poquets													
Nbre total de panicules													
Nbre de panicules vides													
Poids humide panicules													
Poids sec panicules													
Poids humide tiges													
Poids sec tiges													
Poids grains													
Poids de 1000 G													
Poids tot biomasse													
Etc..													
Observations particulieres													

Annexe 5

ESSAI SOUSTRACTIF 2007

FICHE DE SUIVI DES CULTURES (tous les sept jours)

Date:

Village:

Technologie CES:

Nom & Prénoms producteur:

Tableau 1: Hauteur de plants (en cm)

	Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4	Plant 5
FO+T0					
FO+T1					
FO+T2					
FO+T3					
FO+T4					
FO+T5					
T0					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Tableau 2: Nombre de feuilles

	Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4	Plant 5
FO+T0					
FO+T1					
FO+T2					
FO+T3					
FO+T4					
FO+T5					
T0					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

Tableau 3: Index couleur des feuilles

	Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4	Plant 5
FO+T0					
FO+T1					
FO+T2					
FO+T3					
FO+T4					
FO+T5					
T0					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

***Tableau 4: Etat plant/observ. spécifiques**

	Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4	Plant 5
FO+T0					
FO+T1					
FO+T2					
FO+T3					
FO+T4					
FO+T5					
T0					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					

* Phase de croissance des cultures (plantule, montaison, gonflement, floraison, etc.)