



**ETUDE DE PERFORMANCES DE TECHNOLOGIES DE CONSERVATION DES EAUX
ET DES SOLS SUR LA CULTURE DU SORGHO : CAS DE LA COMMUNE RURALE
DE TOMA**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

SPECIALITE : IRRIGATION ET DRAINAGE

Présenté et soutenu publiquement le 28/09/2020 par :

Radjib OUMAROU HAMISSOU (20140191)

Directeur de mémoire : Pr HAMMA Yacouba ; Professeur titulaire CAMES

Co-directeur 2iE : Dial NIANG ; enseignant-chercheur à 2iE

Encadreur externe : Dr. Aissata Delphine NATI/BAMA, Chargée de recherche
en hydraulique agricole à l'INERA

Jury d'évaluation du mémoire

Président : Dr. Seyram SOSSOU

Membres et correcteurs : M. Roland YONABA

M. Bassirou BOUBE

Promotion [2019-2020]

Dedicaces

Je dédie ce document :
À mes géniteurs pour avoir
pleinement rempli leur devoir
à mon égard ;
À tous mes frères et sœurs ;
À tous ceux qui de près ou de
loin m'ont été d'une aide
quelconque ;
Merci pour tout!

Remerciements

Je remercie avant tout le bon Dieu de m'avoir gardé en bonne santé afin de mener à bien ce mémoire de fin d'étude. Loin d'être l'œuvre d'une seule personne, ce travail est la traduction des efforts de plusieurs personnes que je remercie vivement. Il s'agit notamment de :

- ✚ Dr Korodjouma OUATTARA, Directeur du Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation de Kamboinsé (CREAF), pour m'avoir accueilli au sein de sa structure ;
- ✚ Dr. Aïssata D. NATI/ BAMA, notre encadrant externe et chargée de recherches en hydraulique agricole à l'INERA pour nous avoir accepté comme stagiaire dans le cadre du projet TAAT-WEC qu'elle pilote directeur de mémoire et enseignant-chercheur à 2iE pour la critique constructive ;
- ✚ Pr HAMMA Yacouba, directeur de mémoire et enseignant-chercheur à 2iE pour son accompagnement ;
- ✚ Dr. Dial NIANG, co-directeur de mémoire et enseignant-chercheur à 2iE pour la critique constructive ;
- ✚ Tous les promotionnaires de 2iE ;

Enfin toutes les personnes qui, de façon anonyme, ont contribué à la réalisation de ce rapport de fin de cycle.

Résumé

Promu pendant les années 80, les techniques de conservations des eaux et des sols sont des innovations paysannes dont les performances à l'accroissement de la productivité agricole ont à la fois été perçu par les paysans que par les nombreuses études scientifiques les portant. Dans un contexte de changement climatique et environnemental, d'intense croissance démographique et de dégradations des terres il paraît plus qu'urgent de développer de nouvelles solutions permettant l'adaptation des paysans à ce contexte. Ainsi le projet TAAT/WEC en collaboration avec l'INERA a mené sur le champ d'un producteur du chef-lieu de la commune rurale de Toma une expérimentation pour étudier les performances de la combinaison de techniques CES de Cordons/Demi-lune et Cordons/Zai sur la culture du sorgho. A cet effet deux blocs expérimentaux A et B de 1.5 ha chacun ont été aménagés, deux groupes de paramètres ont été suivis pendant l'expérimentation, un paramètre hydrique à savoir l'humidité du sol et deux paramètres agronomiques la hauteur des plantes et le rendement à l'hectare des cultures. Les résultats qui en sont sortis montrent pour la combinaison Cordons/Demi-lune une meilleure évolution de la conservation des eaux sur les parcelles, un meilleur développement des plantes et un rendement moyen de grains de 1.53 t/ha tandis que pour la combinaison Cordons/Zai on a un rendement moyen de grains de 1.36 t/ha. L'analyse économique des deux combinaisons de technologies montre une rentabilité de 1.31 pour la combinaison Cordons/Demi-lune et de 1.16 pour celle de Cordons/Zai.

Mots clés :

- 1. Conservation d'eau et de sol**
- 2. Expérimentation**
- 3. Performances**
- 4. Rendement**
- 5. Toma**

Abstract

Promoted during the 1980s, soil and water conservation techniques are peasant innovations whose performance in increasing agricultural productivity has been perceived both by peasants and by the numerous scientific studies supporting them. In a context of climate and environmental change, intense demographic growth and land degradation, it seems more than urgent to develop new solutions allowing farmers to adapt to this context. Thus, the TAAT / WEC project in collaboration with INERA carried out on the field of a producer in the capital of the rural township of Toma an experiment to study the performance of the combination of SWC techniques of Stone cord/ Half-moon and Stone cord / Zai on the cultivation of sorghum. For this purpose, two experimental blocks of 1.5 ha each were set up, two groups of parameters were followed during the experiment, one hydrological parameter namely soil moisture and two agronomic parameters the height of the plants and the yield at the hectare of crops. Results showed that combination of Stone cord/ Half-moon has the best performance in water conservation within the plots of land, in the development of the crops and an average grain yield of 1.53 t/ha while the combination of Stone cord/ Zai has an average grain yield of 1.36 t/ha. The economic analysis of the two combinations of technologies shows a profitability of 1.31 for the Cordons / Half-moon combination and of 1.16 for the Cordons / Zai combination.

Keywords:

- 1. Conservation of water and soil**
- 2. Experimentation**
- 3. Performance**
- 4. Yield**
- 5. Toma**

Liste des abréviations

BAD : Banque Africaine de Développement

BF : Burkina Faso

CES : Conservation des Eaux et des Sols

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

DPAAH : Direction Provinciale de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques

DRAAH : Direction Régionale de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques

FAO : Organisation des nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

GES : Gaz à Effet de Serre

HJ : Heure Journalière

INERA : Institut de l'environnement et de Recherches Agricoles

NPK : Nitrogen-Phosphate-Potassium

PATECORE : Projet d'Aménagement des Terroirs et Conservation des Ressources dans le Plateau Central

PIB : Produit Intérieur Brut

RNA : Régénération Naturelle Assistée

TAAT : Technologies for African Agriculture Transformation

SWC : Soil and Water Conservation

UPPA : Union des Producteurs et Professionnels en Agriculture

WEC: Water Enabler Compact

WOCAT: World Overview of Conservation Approaches and Technologies

XOF: Franc CFA

Sommaire

Dedicaces.....	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract.....	iv
Liste des abréviations	v
Sommaire.....	6
Liste des tableaux	7
Liste des figures.....	8
I. Introduction.....	9
1. Contexte et problématique.....	9
2. Objectifs de l'étude.....	10
2.1. Objectif Général	10
2.2. Objectifs spécifiques	10
3. Structuration du mémoire	10
II. Généralités.....	10
1. Notion de conservation des eaux et des sols	10
2. Présentation de la zone d'étude.....	16
1.1. Présentation physique et administrative	16
1.2. Cadre humain et socio-économique	22
III. Méthodes et matériels utilisés	23
1. Matériels utilisés.....	23
2. Méthodologie utilisée	24
2.1. Site experimental	24
2.2. Dispositif expérimental	27
2.3. Protocoles de mesure.....	31
2.4. Déroulement de l'expérimentation.....	36
IV. Résultats et discussions	37
1. Analyse des performances hydriques	37

2. Analyse des performances agronomiques	41
2.1. Analyse des données sur la hauteur des plantes	41
2.2. Analyse des données sur le rendement agricole	44
3. Analyse économique des technologies	45
4. Discussion générale	45
V. Conclusions et recommandations	46
Références bibliographiques	48
Annexes	49
Annexe 1 : Carte d'exposition de la commune rurale de Toma	49
Annexe 2 : Carte des pentes de la commune rurale de Toma	50
Annexe 3 : Résultats de mesures de conductivité hydraulique à saturation	51
Annexe 4 : Détails des pratiques culturales appliquées à Toma	55
Annexe 5 : Résultats et les détails des activités de réalisation du dispositif expérimental sur le site de Toma	56
Annexe 6 : Fiche technique du sorgho Kapelga	58
Annexe 7 : Tableaux des données d'humidité du sol	61
Annexe 8 : Tableaux des données de hauteurs de plantes	69
Annexe 9 : Tableaux des calculs de rendement	71
Annexe 10 : Tableau des calculs économiques	74

Liste des tableaux

Tableau 1: Superficie des parcelles délimitées sur le site	26
Tableau 2: Résultats des mesures de pentes sur le champ du producteur	30
Tableau 3: Conception des ouvrages de CES	30
Tableau 4: Déroulement des activités de l'expérimentation de Toma	37
Tableau 5: Tableau des résultats obtenus par les mesures d'infiltrométrie à Double Anneau	37
Tableau 6: Tableau des humidités caractéristiques des sols. H _{pf} : humidité volumique au point de flétrissement ; H _{cr} : Humidité volumique à la capacité de rétention ; H _s : Humidité volumique à saturation	39
Tableau 7: Teneur en massique et volumique des échantillons de sol prélevé sur le site de Toma. M _h : Masse humide ; M _s : Masse sec ; H _p : Teneur en eau massique ; H _v : teneur en eau volumique ; d _a : densité apparente sèche	39
Tableau 8: Tableau des calculs économiques	45

Liste des figures

Figure 1 : Coupe transversale de la technologie de cordons pierreux source (WOCAT, 2016).....	12
Figure 2: Dessin technique de la technologie de zai. Source (WOCAT, 2011)	14
Figure 3: Dessin technique de la technologie de demi-lune. Source (WOCAT, 2014).....	15
Figure 4: Présentation de la commune de Toma (réseau hydrographique et routier)	17
Figure 5: Situation de la commune rurale de Toma dans les zones climatiques du Burkina Faso	18
Figure 6: Evolution de la pluviométrie de 2007 à 2019	19
Figure 7: Evolution du nombre de jour de pluie de 2007 à 2019	20
Figure 8: Réseau Hydrographique de la commune rurale de Toma.....	22
Figure 9: Localisation de la zone expérimental de Toma.....	25
Figure 10: Présentation de la zone expérimentale de Toma.....	25
Figure 11: Dispositif expérimental du site de Toma . Les trous de zai et demi-lune ne sont pas à l'échelle	28
Figure 12: Triangle à niveau et ses diverses composantes.....	29
Figure 13: illustration de la réalisation des ouvrages CES a) Demi-lune b) Cordon-pierreux et c) Zai.....	31
Figure 14: Illustration des aspects d'humidités de la gauche vers la droite, sec, humide et mouillé.	32
Figure 15: Mesure D'infiltrométrie de Muntz	34
Figure 16: Illustration de la méthode de mesure des hauteurs des plantes	35
Figure 17: Activité de récolte pour l'estimation du rendement. A : pesage des épis de sorgho B : Battage pour extraction des grains C : Pesage des grains de sorgho (Source : Radjib).....	36
Figure 18: Illustration des points de mesures de conductivité hydraulique et des types de sol correspondant	38
Figure 19: Evolution de l'humidité du sol au bloc A ; % S : pourcentage d'aspect d'humide sec, % H : pourcentage d'aspect d'humidité humide, % M : pourcentage d'aspect d'humidité mouillé	40
Figure 20: Evolution de l'humidité du sol au bloc B ; % S : pourcentage d'aspect d'humide sec, % H : pourcentage d'aspect d'humidité humide, % M : pourcentage d'aspect d'humidité mouillé	41
Figure 21: Evolution des hauteurs de plantes moyennes du bloc A; σ : Courbes des écarts types.....	42
Figure 22: Evolution des hauteurs de plantes moyennes du bloc B, σ : courbes des écarts-types	43
Figure 23: Résultats des calculs de rendement moyen des grains	44

I. Introduction

1. Contexte et problématique

Situé en Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso est un pays enclavé et sahélien couvrant environ 274 000 km² avec une population de 19.75 millions d'habitants en 2018 selon la Banque Mondiale. L'économie du Burkina Faso, qui repose sur l'agriculture, reste dominée par une production de subsistance et marquée par la faible productivité des cultures et de l'élevage (CORAF,2019). En dépit de ces performances, l'agriculture burkinabè reste un secteur vulnérable car le Burkina Faso est géographiquement situé dans la zone sub-saharienne où la pluviométrie est généralement déficitaire, inégalement répartie dans l'espace et dans le temps, avec des poches de sécheresse quasi-permanentes. Selon les estimations de l'INERA, 24% des terres arables du Burkina Faso sont fortement dégradées, et la plus grosse partie de ces terres dégradées est concentrée au centre du pays (Kinane et al., 2008). Les conséquences directes de ce phénomène se traduisent par une baisse de la fertilité des terres qui aura des effets à moyen et à long termes sur le cadre de vie des populations ainsi que leur sécurité alimentaire. Dans ce contexte, la production agricole nécessite l'usage de pratiques plus intensives, saines et conservatrices du capital terre. Pour des régions faiblement arrosées du Burkina Faso les techniques de conservations des eaux et des sols (Cordons pierreux, Zai, Demi-lune...) constituent une alternative pour une récupération des sols dégradés et un préalable à l'intensification tout en garantissant leur durabilité. L'efficacité de telles mesures à assurer la récupération et la pérennisation des sols est largement prouvée sur de nombreux sols d'Afrique et d'Asie (Zouré et al.,2019). Les mesures CES semblent parfaitement appropriées à la plupart des régions, cependant la vulgarisation et l'adoption de ces techniques par les producteurs dans des régions comme celle de la boucle du Mouhoun n'est pas encore satisfaisante. Depuis quelques années des projets naissent pour la promotion de l'adoption et la vulgarisation des mesures de CES, c'est le cas du projet TAAT/WEC de la BAD dans le cadre duquel l'INERA opère en conduisant une étude de performance de combinaison de techniques de CES sur un site de la commune rurale de Toma.

2. Objectifs de l'étude

2.1.Objectif Général

L'objectif général de notre étude est de mettre en évidence les performances de la combinaison des technologies CES de Cordons/Demi-lune et Cordons/Zai dans l'amélioration de la productivité agricole en vue de leur adoption et de leur vulgarisation au niveau des producteurs agricoles locaux.

2.2.Objectifs spécifiques

Comme objectifs spécifiques on a :

- Concevoir et réaliser un dispositif expérimental de technique CES sur le site de la commune rurale de Toma
- Suivre les paramètres d'impact des techniques CES au cours de l'expérimentation
- Analyser les performances des combinaisons de techniques CES mises en place à partir des résultats de l'expérimentation
- Proposer des solutions d'adaptation des techniques testées dans la zone du projet

3. Structuration du mémoire

Ce rapport sera articulé autour de trois (3) grandes parties :

- La partie I porte sur les généralités. La présentation de la zone d'étude s'y trouve.
- La partie II est consacrée à la présentation des matériels et méthodes d'évaluation des performances des technologies de CES.
- La partie III présente les résultats obtenus suivis de discussion ;

Une conclusion et des recommandations terminent cette étude.

II. Généralités

1. Notion de conservation des eaux et des sols

Dans le cadre de l'amélioration de la productivité des terres dégradées, les paysans en collaboration avec les services d'états et les ONG ont mis en œuvre des techniques novatrices permettant d'accroître la résilience vis-à-vis des changements environnementaux. Ces techniques ont été mises au point et testées entre 1980 et 1985. Elles ont été promues par les projets entre 1980 et 1990. Ainsi donc, la conservation des eaux et des sols devient une composante à part entière dans tous les projets de développement rural intégré. Les mesures de CES visent plusieurs buts à la fois : (i)

une meilleure gestion de l'eau, (ii) l'augmentation de la productivité des espaces agricoles, sylvicoles et pastoraux et (iii) une gestion durable des sols sur le plan environnemental, social et économique. (Zouré, 2019)

Les nombreux succès des techniques de récupération des terres dégradées dans les différents pays du Sahel ont permis d'améliorer la productivité des espaces exploités et d'accroître la résilience des populations face aux effets des changements environnementaux. Les bonnes techniques agricoles sont définies comme des pratiques permettant de satisfaire les besoins actuels et d'améliorer les moyens d'existence, tout en préservant l'environnement de façon durable. En d'autres termes, c'est l'utilisation de techniques agricoles qui minimisent les risques, maximisent la production tout en assurant la sécurité humaine. Ainsi, parmi les bonnes techniques agricoles de CES essentiellement pratiquées en zone sahélienne on peut citer : les cordons pierreux, le zaï, la demi-lune, les bandes enherbées, le paillage, le labour à plat et cloisonné, la fixation des dunes, etc. Nous contenterons de décrire les trois techniques CES que nous avons utilisé.

a.) Cordons pierreux

Description : La technique des cordons pierreux est une méthode de lutte contre l'érosion. Construite avec des pierres encastrées dans le sol en série, ils constituent des mesures mécaniques pour réduire l'érosion hydrique sans pour autant bloquer l'écoulement de l'eau. On les qualifie d'ouvrages semi-perméables.

Caractéristiques techniques : Les diguettes en cordons pierreux sont réalisées sur des courbes de niveau à l'aide du niveau à eau, du triangle à sol ou par un levé topographique. Les écartements entre les cordons varient en fonction de la pente. Les pierres sont soit déposées dans un sillon d'ancrage ouvert à l'aide d'une pioche de 10 à 15 cm de profondeur et de 15 à 40 cm de largeur en crête sur la ligne tracée (Zougmore et al., 2000) ou déposées à même le sol. La distance entre les cordons varie entre 15 à 50 m sur des pentes entre 3 et 0.5% (Vlaar, J.C.J (Ed.), 1992). La **figure 1** montre une coupe transversale de l'implantation d'un cordon pierreux :

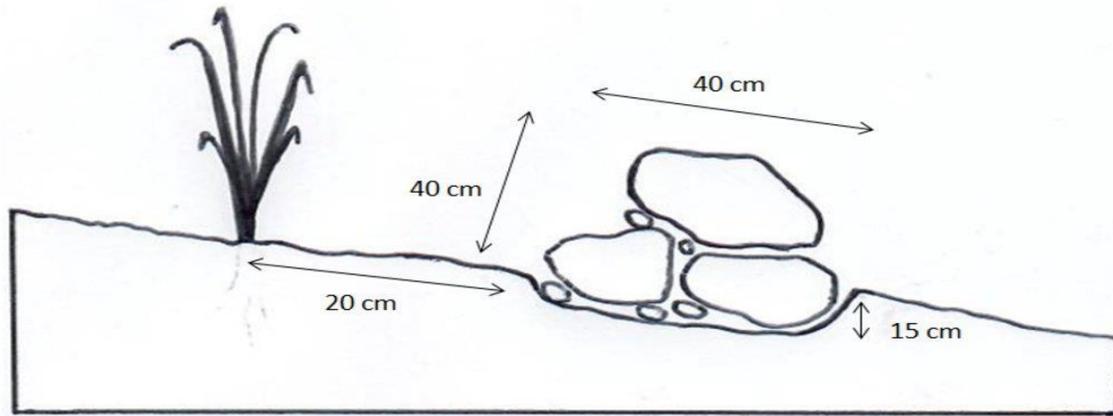


Figure 1 : Coupe transversale de la technologie de cordons pierreux source (WOCAT, 2016)

Performances : Les cordons pierreux améliorent la rétention d'eau et l'infiltration dans le sol, augmentent la quantité d'eau disponible pour les plantes et garantissent une bonne récolte (Zougmore et al., 2000). Ils assurent également une protection contre l'érosion éolienne en cas de bonne croissance de la couverture végétale. Le taux d'humidité moyen par parcelle est d'autant plus élevé que l'espacement entre cordons est plus faible. L'humidité du sol en amont immédiat des cordons pierreux est plus importante que sur le reste du champ.

Zones d'adoption, contexte agro-écologique et contraintes liées à la mise en œuvre de la pratique : La technique de cordon pierreux est largement adoptée au Niger, au Burkina Faso, au Mali, en Mauritanie, au Sénégal et au Nigéria (Maisharou et al., 2015). Les zones agro-climatiques où les cordons pierreux sont les plus adaptés sont les zones nord-soudaniennes et sahéliennes où la pluviométrie est en moyenne de 300 à 900 mm. Les cordons pierreux s'utilisent sur presque tous les types de sols à l'exception des sols de bas-fonds inondables (sols hydromorphes, sols peu évolués d'apport colluviaux-alluviaux). La technique exige un travail collectif ou une main d'œuvre familiale importante, une disponibilité des cailloux à proximité des zones à aménager. Elle exige également une bonne maîtrise des méthodes de détermination des courbes de niveau, une disponibilité de la matière organique et/ou une maîtrise des techniques de compostage.

b.) Zai

Description : Le zaï est une technique traditionnelle originaire du Yatenga (Nord du Burkina Faso). Il permet de récupérer les terres dégradées et d'augmenter des rendements agricoles par amélioration de l'infiltration et de la fertilité des sols. La technique consiste à collecter l'eau de ruissellement afin de favoriser son infiltration sur des terres généralement dégradées, encroûtées impropres à l'agriculture. Il opère par piégeage dans le poquet des matières organiques déplacées par le vent améliorant ainsi la fertilité des sols. Pendant l'évènement pluviométrique, il capte, infiltre et stocke l'eau en profondeur ce qui diminue les pertes par évaporation.

Caractéristiques techniques : Le zaï consiste à creuser des poquets de plantation avec des rangées décalées perpendiculairement à la pente. Il peut se décliner en zaï agricole ou zaï forestier en fonction de l'objectif du producteur. Le zaï agricole consiste à creuser des poquets de 20-40 cm de diamètre et de 10 à 20 cm de profondeur. Ils sont espacés d'environ 1 m entre les directions selon les cultures. La terre excavée est déposée en croissant vers l'aval du creux et cela aide à capter les eaux de ruissellement. Cette collecte d'eau est favorisée par l'impluvium constitué par les parties encroûtées restantes. Les lignes de zaï doivent être décalées (en quinconce) et perpendiculaires à la plus grande pente du terrain. Les poquets de zaï sont creusés pendant la saison sèche (novembre à mai). La matière organique y est ensuite apportée en quantité variable selon les paysans (une poignée d'adulte soit environ 300 g/trou) sous forme de fumier, de compost avant la période des semis et la paille en fin de saison de pluie (Zouré, 2019). La **figure 2** présente un dessin technique de l'implémentation de la technologie du Zaï.

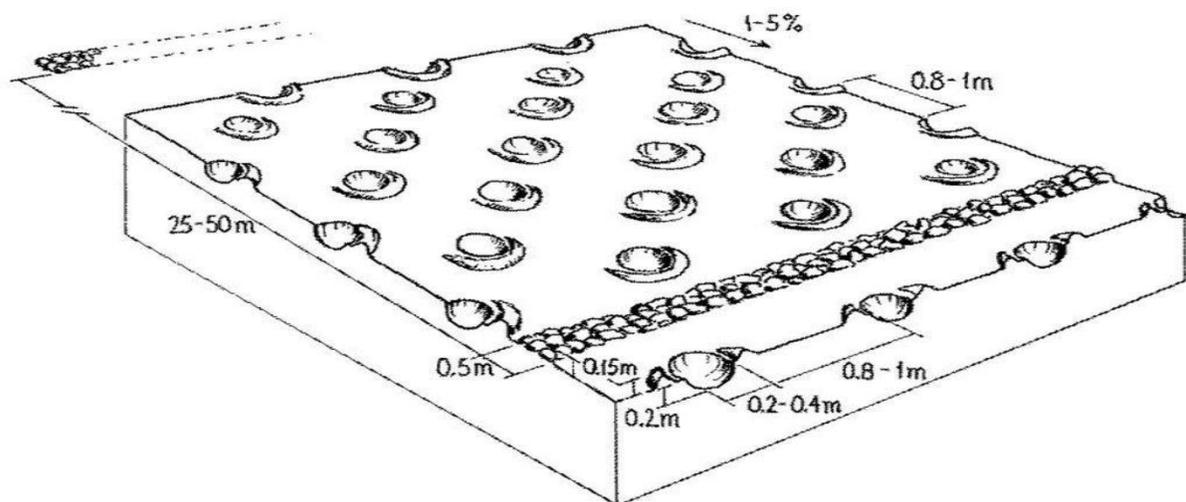


Figure 2: Dessin technique de la technologie de zai. Source (WOCAT, 2011)

Performances : Le poquet seul (sans aucun apport minéral ou organique) permettait dès la première année de doubler les rendements en grains par rapport au semis sur le sol encroûté selon la méthode traditionnelle à la daba (Zougmore et al., 2000). La mise en œuvre de ces techniques exige certes beaucoup de travail – là encore en saison sèche –, mais elle se satisfait de ressources disponibles dans l'exploitation, contrairement aux cordons pierreux. Le plus grand avantage du zaï, c'est qu'il permet de réhabiliter des sols pauvres et encroûtés dans un délai très court c'est-à-dire à l'intervalle d'une seule campagne agricole (Zougmore et al., 2004b).

Zones d'adoption, contexte agro-écologique et contraintes liées à la mise en œuvre de la pratique : La technique de zaï est largement adoptée au Burkina Faso, au Mali, au Niger, au Sénégal et au Nigéria (Maisharou et al., 2015). Le Zaï est bien adapté à la zone nord soudanienne et sahélienne, où la pluviométrie annuelle est en moyenne de 300 à 800 mm. La technique nécessite une main-d'œuvre importante et la disponibilité de la matière organique. Il faut noter que les rendements obtenus du zaï sont à cents pour cent des bénéfiques de la technique dans la mesure où elle est appliquée sur des terrains dégradés qui ont été abandonnés car ne permettant pas une production agricole (Vlaar, 1992).

c.) Demi-lune

Description : La technique de demi-lune a pour objectifs d'augmenter l'infiltration et le stock d'eau du sol, de récupérer et de restaurer la fertilité des sols encroûtés pour l'utilisation agronomique et agro-forestière. À la différence du Zaï, la demi-lune est plus large, offre plus de surface de semis et de collecte de l'eau. Elle est particulièrement avantageuse quand la pluie est rare. Elle permet le ralentissement et la collecte de l'eau de ruissellement favorisant ainsi son infiltration sur des sols encroûtés impropres à l'agriculture. (Zouré, 2019)

Caractéristiques techniques : La demi-lune est une cuvette de la forme d'un demi-cercle ouverte par creusage à l'aide de pic, pioche et pelle. La terre de déblais est déposée en aval du demi-cercle en un bourrelet semi-circulaire au sommet aplati. Son implantation se fait par pivotement à l'aide d'un compas. Ils ont un diamètre variable de 1 à 4 m, et la terre est excavée à une profondeur d'environ 0,20m. le ratio surface d'impluvium/surface de la demi-lune varie entre 1,5/1 et 3/1 (Vlaar, 1992). L'efficacité de la demi-lune est améliorée par l'apport d'environ une brouettée de fumier d'étable ou de compost (35 kg) par demi-lune. La **Figure 3** présente un dessin technique de l'implémentation de la technologie de la demi-lune.

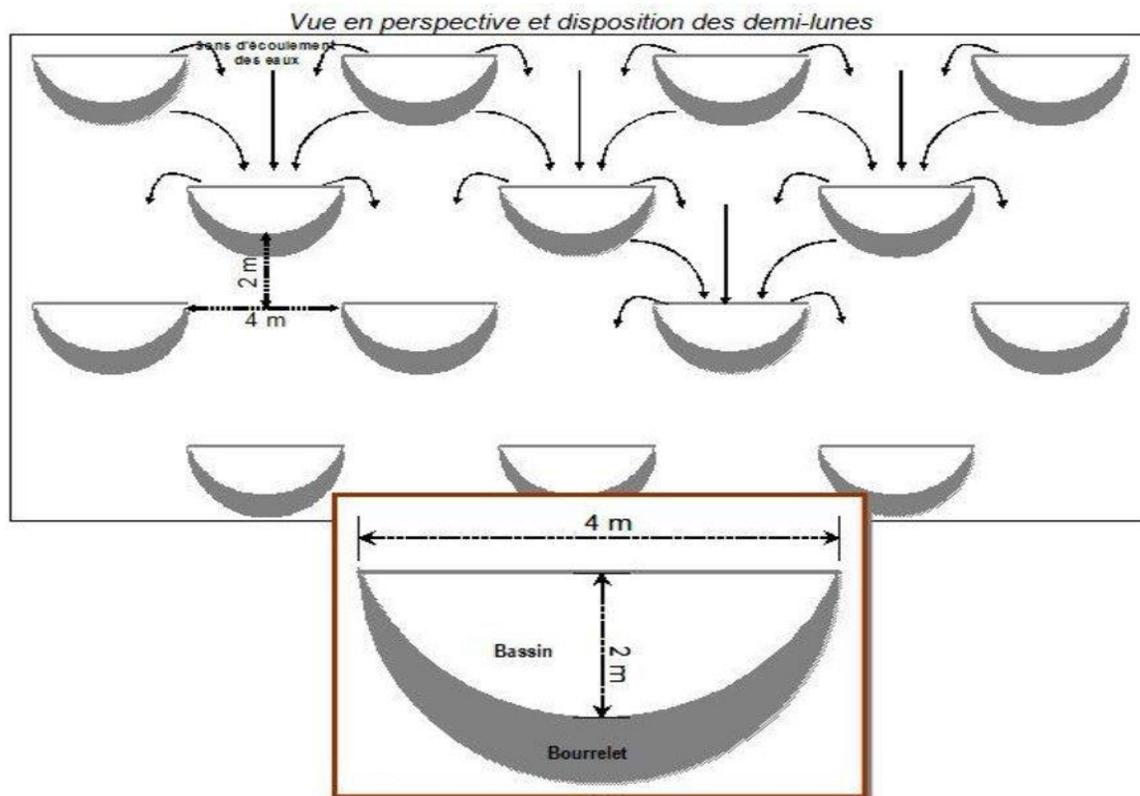


Figure 3: Dessin technique de la technologie de demi-lune. Source (WOCAT, 2014)

Performances : La combinaison demi-lune et fumier donne une production variant entre 1,2 à 1,6 t/ha de grains. Les rendements de la demi-lune seule sont multipliés par 15 à 24 avec l'apport de compost. Les apports d'amendements organiques non encore décomposés (paille) associés au Burkina Phosphate fournissent des productions moyennes de l'ordre de 0,6 t/ha de grains de sorgho local.(Zougmoré et al., 2003)

Zones d'adoption, contexte agro-écologique et contraintes liées à la mise en œuvre de la pratique : La technique de demi-lune est largement adoptée au Burkina Faso, au Mali, en Mauritanie, au Niger, au Sénégal et au Nigéria (Maisharou et al., 2015). La demi-lune est bien adaptée à la zone sahélienne entre les isohyètes 400 à 600 mm. La technique nécessite une main-d'œuvre importante et la disponibilité de la matière organique. La dénudation et l'encroûtement sont les traits spécifiques pour la mise en place des demi-lunes généralement sur les glacis et non dans les bas-fonds.

2. Présentation de la zone d'étude

1.1.Présentation physique et administrative

1.1.1. Position géographique

La commune de Toma se situe dans la province du Nayala qui, avec une superficie de 445,065 km², s'étend entre le 02° 45' et le 3° 30' de longitude Ouest ; et 12° 20' et 12° 55' de latitude Nord. Elle est limitée au Nord par la province du Sourou, au Sud par la province du Mouhoun, à l'Est par les provinces du Passoré et du Sanguié et à l'Ouest par les provinces du Mouhoun et de la Kossi.

La Loi N° 030-99/ AN du 15 décembre 1999 portant fixation des limites territoriales des communes urbaines au Burkina Faso, en son article 28 définit les limites de la commune de Toma comme suit :

Elle est limitée :

- au Nord et au Nord-Est par la commune rurale de Yaba,
- au Sud-Est par la commune rurale de Didyr (dans la province du Sanguié),
- au Sud par la commune rurale de Gossina,
- au Sud-Ouest par la commune rurale de Yé,
- et à l'Ouest par la commune rurale de Koungny.

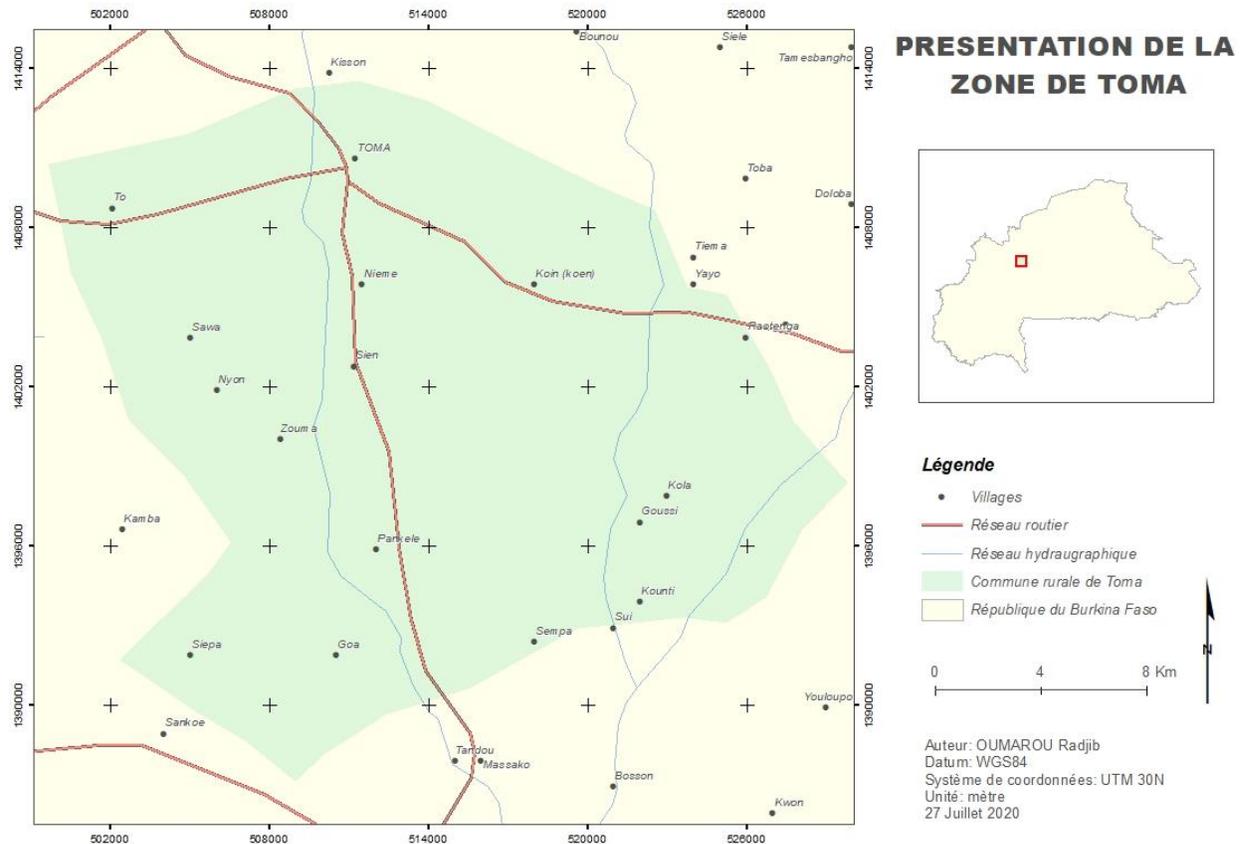


Figure 4: Présentation de la commune de Toma (réseau hydrographique et routier)

1.1.2. Climat

La commune de Toma est située dans la zone Soudano-sahélienne caractérisée par un climat de type pré-guinéen avec des précipitations oscillant entre 600 et 900 mm d'eau par an. Il existe deux saisons :

- La saison pluvieuse qui va de mai à octobre est caractérisée par la mousson (vent chaud et humide) qui souffle du Sud-ouest au Nord-Est, avec des températures moyennes se situant autour de 25°C.

- La saison sèche qui s'étale de novembre à avril est marquée par l'harmattan qui est un vent chaud et sec. Ce vent souffle du Nord-Est au Sud-Ouest avec des températures moyennes autour de 35°C. A cette période, l'insolation est maximale.

La **figure 5** nous montre la localisation de la commune rurale de Toma sur la carte des zones climatiques du Burkina Faso. Les données pluviométriques pour l'établissement de la carte ont été obtenues grâce au logiciel CLIMWAT développé par la FAO qui fournit des valeurs moyennes mensuelles (estimées sur le long terme) des données climatiques de plus 5000 stations pluviométriques réparties dans le monde.

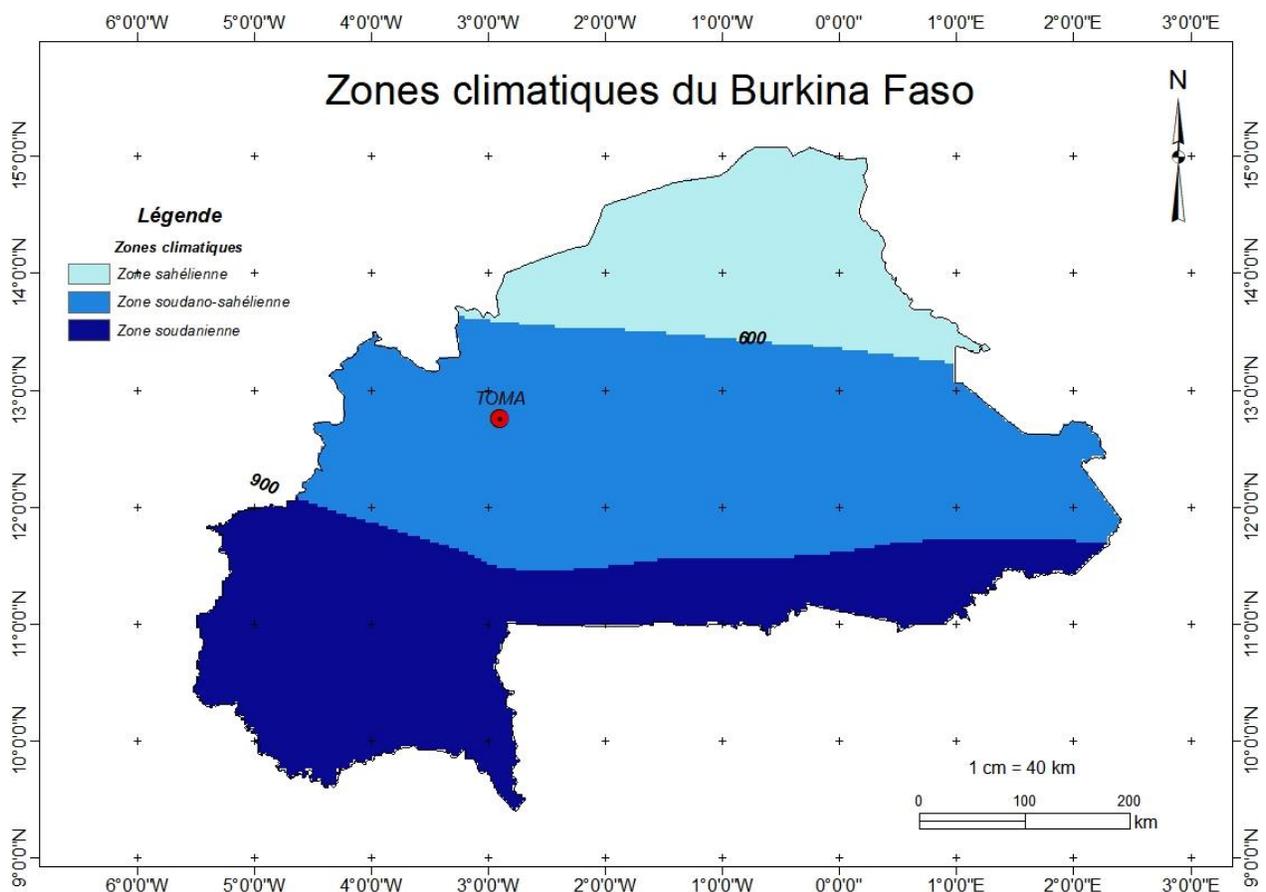


Figure 5: Situation de la commune rurale de Toma dans les zones climatiques du Burkina Faso

La **figure 6** présente l'évolution des hauteurs de pluies annuelles de 2007 à 2019 avec une pluie annuelle maximale en 2015 de 1119.8 mm et minimale en 2011 d'environ 600 mm . L'évolution du nombre de jours de pluie est représentée sur la **figure 7**.

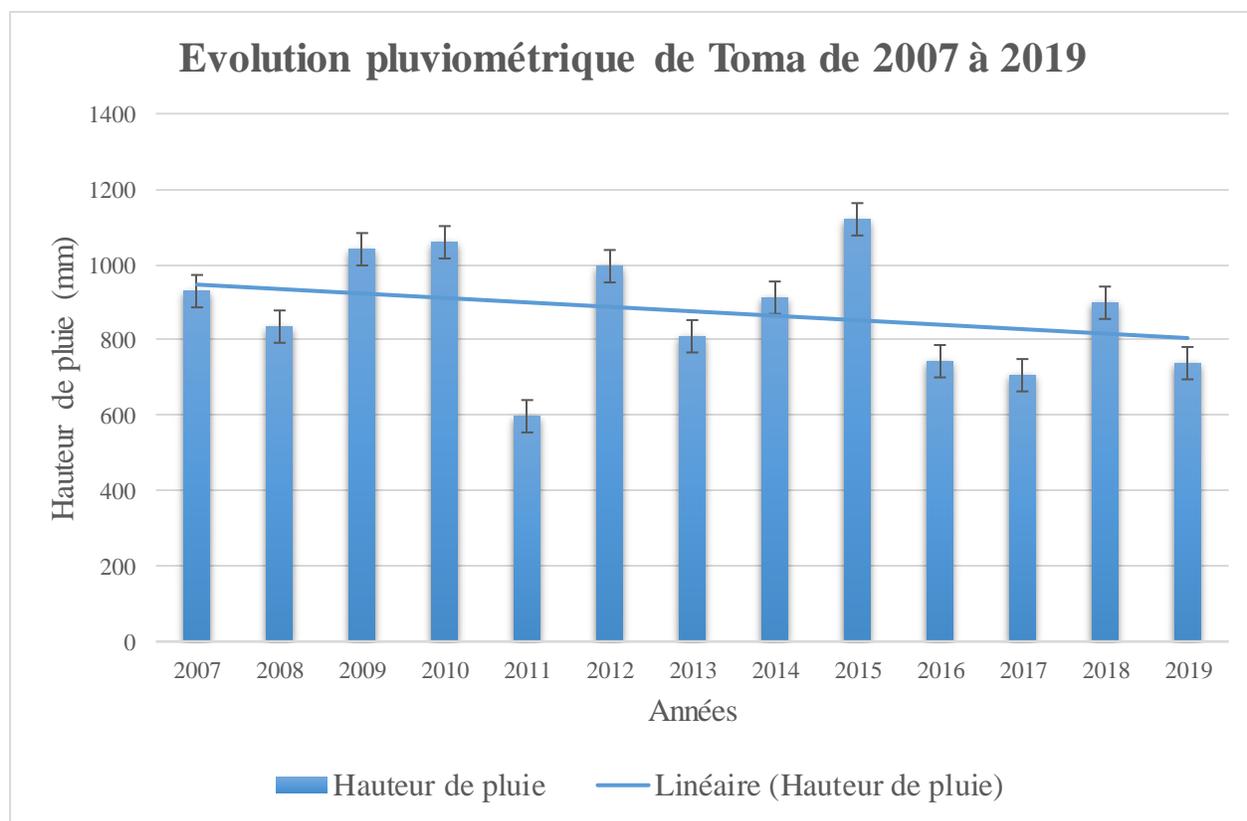


Figure 6: Evolution de la pluviométrie de 2007 à 2019

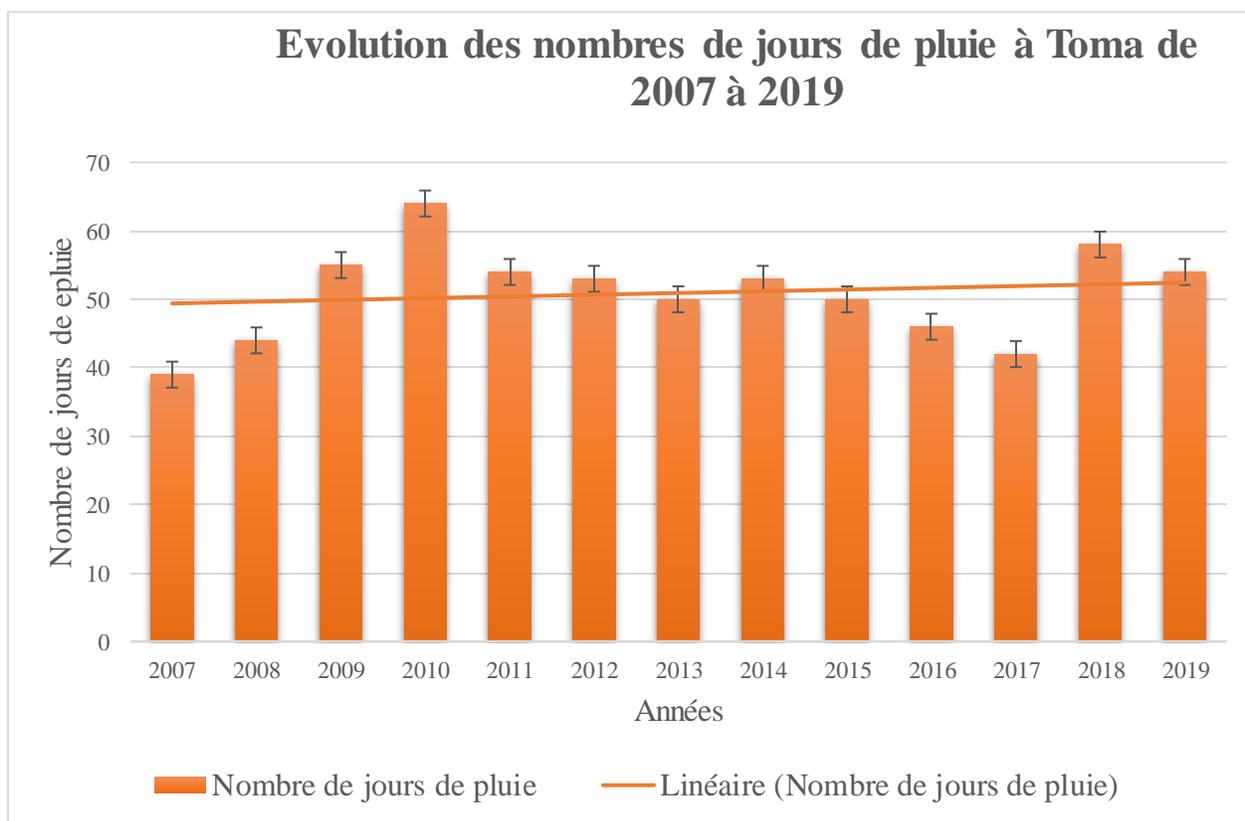


Figure 7: Evolution du nombre de jour de pluie de 2007 à 2019

1.1.3. Reliefs

Tout comme l'ensemble de la province, le relief de la commune de Toma se caractérise par sa monotonie. Les formations latéritiques à l'Est et à l'Ouest de la ville et dans certains villages (Toma, Koin, Nièmè, Sien Pankélé) servent de carrières pour les tailleurs de pierres. Du Nord au Sud de la commune, les altitudes diminuent progressivement de 290 à 280 mètres. Les altitudes atteignent leurs minimas au niveau des mares qui se situent de tous les côtés de la zone d'habitat groupé, excepté l'Est. Nous présentons les cartes d'exposition et pentes de la commune rurale de Toma respectivement dans l'**annexe 1** et **2**.

1.1.4. Sols et sous-sol

Les sols de la commune tout comme de l'ensemble de la province sont en majorité des sols d'apport alluvial. Il s'agit de sols sablo-argileux. Sur les plateaux latéritiques impropres à l'agriculture, les sols sont gravillonnaires. Ces sols d'apport alluvial dits ferrallitiques ont une valeur agronomique faible en moyenne. Cependant, ils se prêtent assez facilement aux actions de restauration.

Les sols du terroir communal sont assez restreints du fait de leur dégradation. En effet, selon les sources de la DPAHRH/NYL, seulement 50% des sols seraient fertiles à nos jours tandis que 10% et 40% de ces sols sont respectivement très dégradés et moyennement dégradés. Ils ne supportent l'activité agricole qu'à une faible proportion.

La commune présente également un aspect assez simple sur le plan géologique. En effet l'ensemble du terroir communal repose sur un socle cristallin. Ce socle est constitué essentiellement de migmatites et de granites indifférenciés.

1.1.5. Réseau hydrographique

La commune est parsemée par un réseau hydrographique que forment par endroits les nombreux cours d'eau non pérennes, relevant du bassin versant du Mouhoun. Ce sont entre autres : la rivière non pérenne de direction nord-sud longeant le côté Ouest de la commune, depuis Kisson en passant par le Secteur I, les mares telles que "Yaka Din" (secteur 1, "Donti yala" (secteur 2) et "Séné pièrè" qui sont temporaires et s'assèchent pendant la saison sèche, le bas-fond du littoral Zouma et Goa.

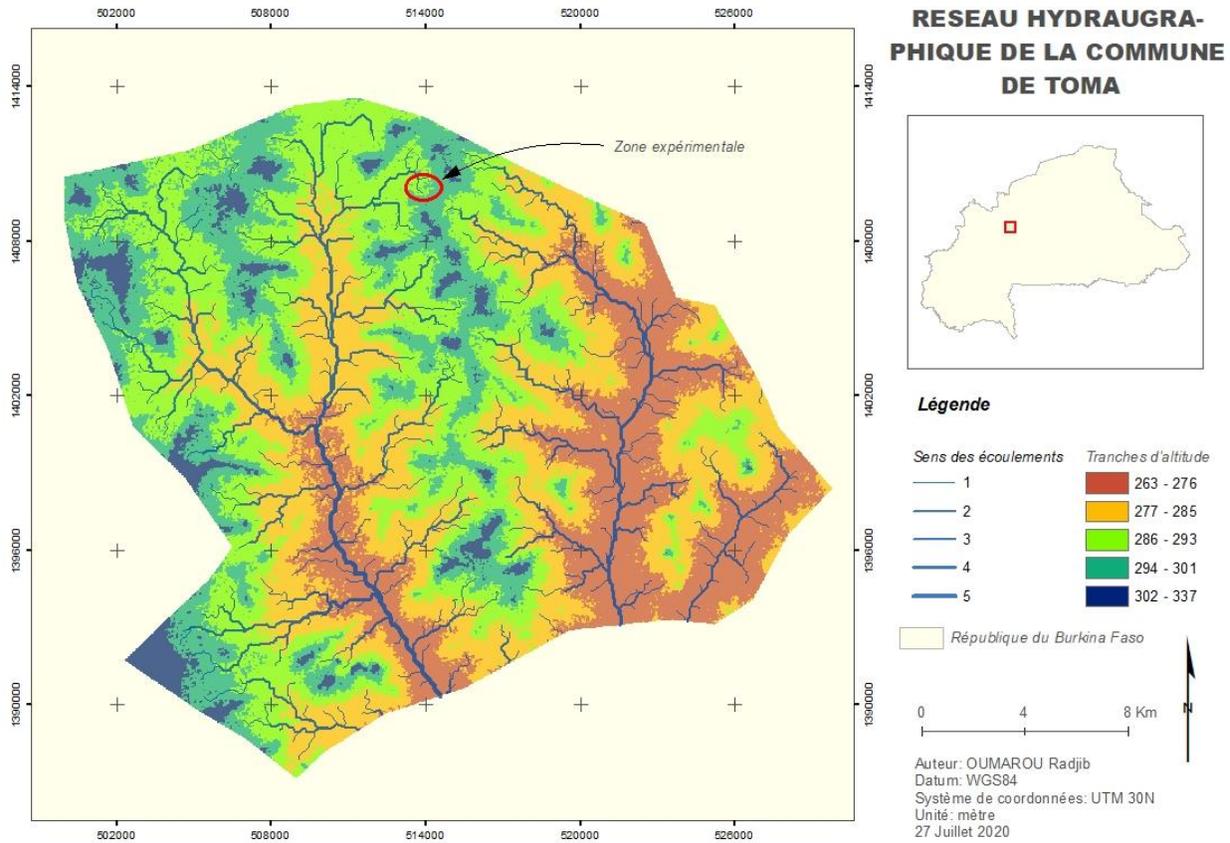


Figure 8: Réseau Hydrographique de la commune rurale de Toma

1.1.6. Végétation

La végétation est de type savane arborée clairsemée d'arbustes. Les espèces ligneuses les plus répandues sont : *Parkia biglobosa* (Nété), *Lannea microcarpa* (Sabga), *Guiera senegalensis* (Wilinwiiga), *Adansonia digitata* (Baobab), *Diospyros Mespiliformis* (faux ébénier), *Acacia Albida*, etc. On note la présence d'espèces exotiques telles le neem (*Azadirachta indica*), et l'eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) issues des plantations artificielles.

1.2. Cadre humain et socio-économique

1.2.1. Population

La population de la commune de Toma s'élève à 29 451 habitants, selon les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2006 (RGPH 2006) soit une population projetée de 39 469 habitants en 2020. Le nombre d'hommes (soit 14 632) est sensiblement égal à celui des femmes (soit 14 819). Cette population est répartie au sein de 4 881 ménages.

1.2.2. Activités économique

L'agriculture demeure la principale activité économique des populations de la commune. Elle occupe la quasi-totalité des populations qui sont avant tout des cultivateurs de céréales. Elle demeure encore une agriculture de subsistance, extensive et largement tributaire des aléas climatiques.

III. Méthodes et matériels utilisés

1. Matériels utilisés

La mise en œuvre de notre étude a nécessité l'utilisation de données, matériels et outils informatiques.

Les données utilisées sont les suivants :

- Les données hauteurs de pluie journalière de 2007 à 2019 fournit par la Direction Provinciale de l'Agriculture du Nayala ;
- Le plan communal de développement de Toma 2010-2014
- Les données collectés sur le terrain

Les matériels physiques utilisé sont les suivants :

- Neuf (9) flacons de 50 ml pour le prélèvement des échantillons de sol, Une (1) truelle, Des sachets en plastique, Une (1) Balance de 0,1 g de sensibilité, Une (1) étuve de laboratoire, Un (1) carnet de note Pour la mesure de la teneur en eau du sol
- Un (1) infiltromètre (Double anneau) de Muntz, Un (1) GPS Garmin pour la prise des coordonnées, Une (1) règle graduée, Un (1) chronomètre, Un (1) seau, Un (1) marteau, Un (1) niveau à bulle pour les mesures d'infiltration
- Un (1) carnet à note, Un (1) mètre ruban pour la mesure des hauteurs de plantes
- Un (1) carnet de note, Trois (3) pioches pour la récolte, Une (1) brouette, Une (1) balance Camry 20 kg mécanique Cadran balance à ressort en acier inoxydable avec plateau pour la détermination du rendement moyen des parcelles

Le matériel végétal utilisé est le suivant :

- 12 kg de semence de sorgho variété Kapelga
- 20 t de fumure organique

- 300 kg d'engrais NPK dosage 14-23-14
- 100 kg d'urée

Les outils utilisés sont les suivants :

- *MINITAB 18* pour déterminer les conductivités hydrauliques à saturation ;
- *Soil Water Characteristics 6.02.74* pour la détermination des humidités caractéristiques du sol et les types de sol ;
- *Pack office 2016* pour le traitement des données et la rédaction ;
- *Google Earth 7.3.2* pour la délimitation du site d'étude et des parcelles ;
- *Global Mapper 20* pour la transformation des fichiers KMZ en Shapefile ;
- *ARCGIS 10.3.1* pour la réalisation des différentes cartes (zone d'étude, piézométrie, vulnérabilité à la pollution, etc....).

2. Méthodologie utilisée

2.1. Site experimental

Le site expérimental à toma se situe dans la zone à vocation agro-sylvo-pastorale se trouvant à l'Est de la zone d'habitation de Toma plus précisément sur le champ agricole d'un producteur choisi et membre de l'UPPA/Nayala du nom de Zerbo Evarist. L'accessibilité du site se fait à partir des zones d'habitations de la ville de Toma par un ensemble de réseau de sentier desservant les différents champs en allant vers l'Est. L'on peut y accéder par véhicules motorisés ou à bicyclette. La **figure 8** présente la localisation de la zone expérimentale dans le chef-lieu de la commune rurale de Toma et Sur la **figure 9** la configuration de la zone expérimentale :

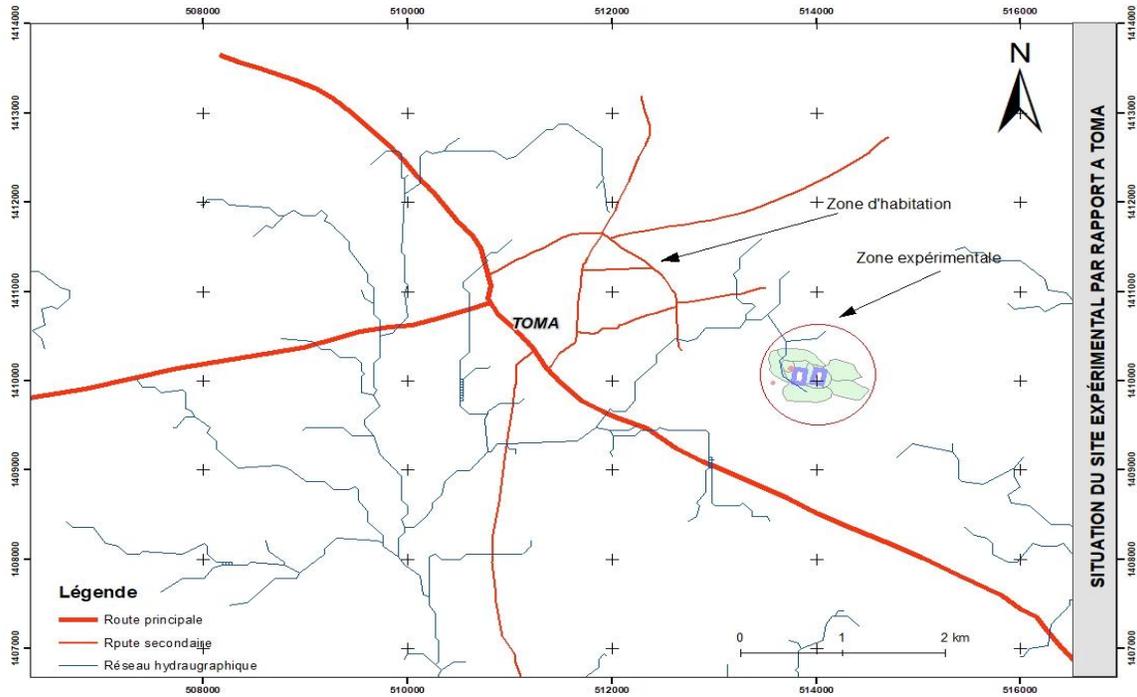


Figure 9: Localisation de la zone expérimental de Toma

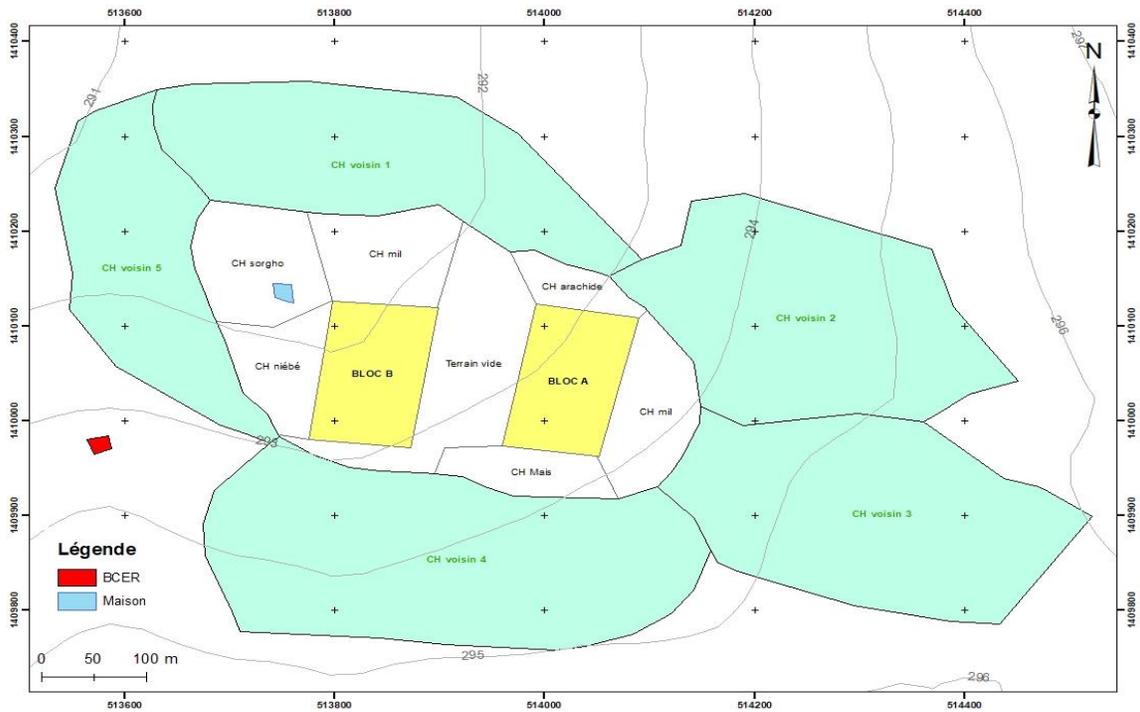


Figure 10: Présentation de la zone expérimentale de Toma

Les superficies des parcelles sont résumées dans le tableau suivant :

Champs	Superficie (ha)
Champ voisin 1	5.10
Champ voisin 2	5.95
Champ voisin 3	6.10
Champ voisin 4	7.67
Champ voisin 5	3.76
Champ maïs	0.69
Champ sorgho	1.38
Champ mil 1	0.5
Champ mil 2	1.21
Champ niébé	0.90
Champ arachide	0.47
Bloc A	1.45
Bloc B	1.46
Terrain vide	2.18

Tableau 1: Superficie des parcelles délimitées sur le site

Les sols sur les parties emblavables du site de façon généralement de type sablo-argileux, le reste est constitué de latérite. Le champ du producteur a fait l'objet de mesures de conductivités hydrauliques à saturation. Les valeurs obtenues varient de 1.23 à 10.85 mm/h soit des sols argileux vers des sols silteux limoneux. Les détails des résultats de traitement sur les logiciels Minitab sont donnés en **Annexe 3**.

Le site est colonisé par une végétation naturelle composée d'espèces arbustives : *Lannea microcarpa* (Raisinier), *Butyrospermum parkii* (Karité), *Azadirachta indica* (Nimier).

2.2. Dispositif expérimental

2.2.1. Justification du choix du dispositif expérimental

Le choix d'un dispositif expérimental peut être influencés par plusieurs paramètres dont entre autres : le nombre de facteurs étudiés, le nombre de gradients d'hétérogénéité (potentiels ou réels), des contraintes liées à l'expérimentation (mise en place, conduite, observations...). Mais de façon générale il existe un certain nombre de dispositif classique utilisés dans les expérimentations toutes aussi adaptés les unes que les autres en fonction des utilisations qu'on veut en faire. Pour les citer sans pour autant les détailler on a le dispositif en : Randomisation totale, Bloc de Fisher, Carré latin, Factoriel bloc, Split-plot, Criss-cross.

De toutes ces dispositions celui qui retenu notre attention fut celui des blocs aléatoires de Fisher car en plus d'être le plus utilisé en expérimentations végétales il tient à la fois compte des critères fondamentaux de la répétition et de la randomisation. Le dispositif comporte plusieurs ensembles ou blocs de parcelles où tous les traitements figurent une fois et une seule. Au sein d'un bloc, supposé homogène, les différents traitements sont affectés au hasard.

Le dispositif expérimental sur le site de Toma consiste en deux blocs aléatoires complets de Fisher. Le bloc est composé de trois parcelles T0, T1 et T2 de dimensions 100 m de long et 50 m de large chacune où différentes techniques CES ont été mises en place (**Figure 10**).

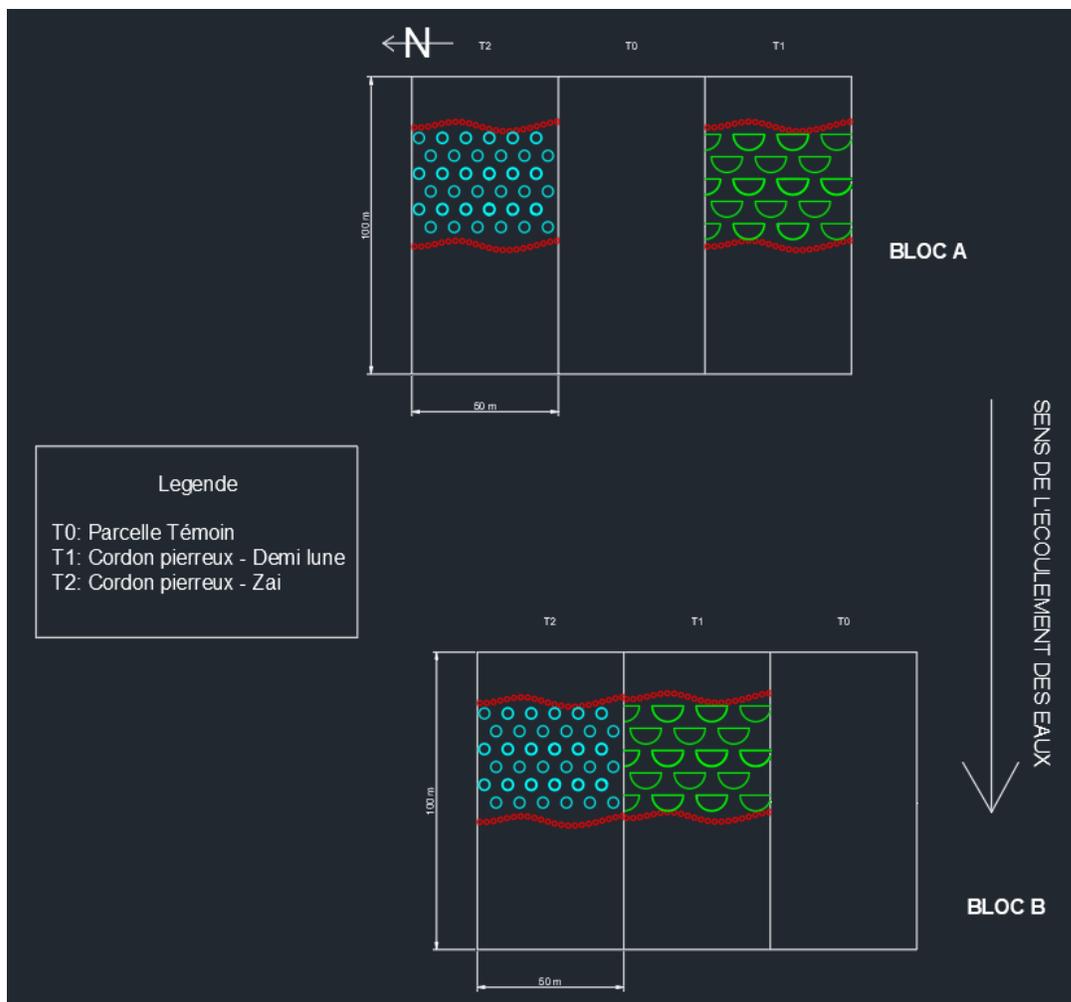


Figure 11: Dispositif expérimental du site de Toma . Les trous de zai et demi-lune ne sont pas à l'échelle

Les détails sur les pratiques culturales qui ont été appliquées sont présentés en **Annexe 4**.

2.2.2. Conception et réalisation du dispositif expérimental

Pour concevoir les aménagements de CES sur les parcelles du dispositif expérimental nous avons dû tenir compte des contraintes liées aux terrains notamment la pente moyenne du terrain naturel et du sens de l'écoulement des eaux.

Le sens de pente et des écoulements des eaux à partir d'observation et des indications fournies par le producteur se fiant ainsi à sa connaissance du terrain. Ainsi l'orientation de la pente et des écoulements de eaux se fait globalement vers l'Ouest. Pour déterminer la pente nous avons utilisé un triangle à niveau qui est un instrument en forme de triangle comme indiqué sur la figure ci-dessous :

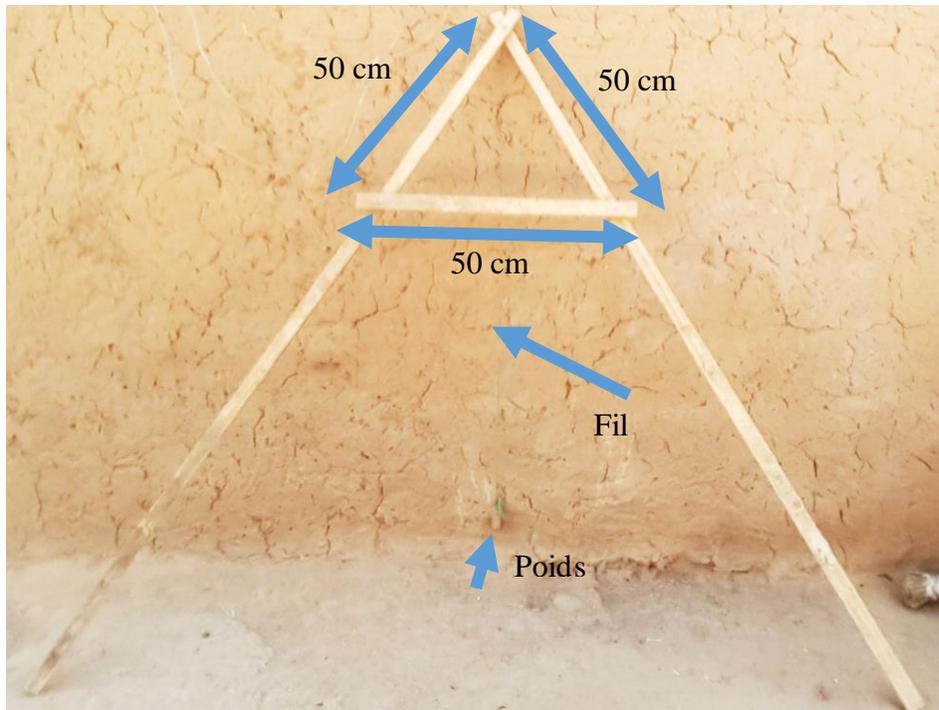


Figure 12: Triangle à niveau et ses diverses composantes

La base du triangle est graduée avec le zéro au centre, quand le terrain est plat le fil à plomb se trouve au point zéro, tandis que lorsqu'il est en pente le fil à plomb s'incline et forme un angle avec la verticale du centre de la base. Concernant les dimensions du triangle on a la hauteur et comme la base est graduée on a la valeur de graduation à partir du zéro du centre. On a donc un triangle rectangle formé par la hauteur du triangle à niveau et la graduation sur la base de ce triangle. On peut donc déterminer la pente qui est donnée par la formule :

$$p = \frac{h}{v} \text{ avec } h \text{ la valeur de la graduation et } v \text{ la hauteur du triangle à niveau}$$

Ainsi sur le champ du producteur nous avons effectué dix mesures de pente de manière aléatoire pour avoir une idée de la pente du terrain les résultats sont dans le **tableau 2** :

Mesure	h	v	p	Pmoyen	Écart-type
M1	0,55	43,3	1,27	1,22	0,06
M2	0,51	43,3	1,18		
M3	0,52	43,3	1,20		
M4	0,5	43,3	1,15		
M5	0,5	43,3	1,15		
M6	0,5	43,3	1,15		
M7	0,53	43,3	1,22		
M8	0,56	43,3	1,29		
M9	0,58	43,3	1,34		
M10	0,54	43,3	1,25		

Tableau 2: Résultats des mesures de pentes sur le champ du producteur

Ainsi nous apercevons que sur le site de Toma la pente varie de 1.15% à 1.34% avec une valeur moyenne de 1.22%. Nous résumons dans le **tableau 3** la conception qui en ressort pour les technologies de CES en tenant compte qu'ils sont tous disposés suivant le sens de la pente :

Ouvrages	Dimensions	écartement	Observation
Cordons pierreux	Hauteur : 20 à 30 cm	20 m entre lignes	Les pierres sont posés à même le sol sur toute la longueur de la parcelle perpendiculaire à la pente du terrain
Demi-lune	Diamètre : 3 m Profondeur : 10 cm	1 m entre pockets 2 m entre lignes	Disposition en quinconce suivant le sens de la pente, un espacement de 0.5 m est laissé avec les lignes de cordons.
Zai	Diamètre : 10 à 15 cm Profondeur : 5 à 10 cm	40 cm entre les pockets 80 cm entre les lignes	Disposition en quinconce suivante de sens de la pente.

Tableau 3: Conception des ouvrages de CES

La conception étant faite il nous faut réaliser les aménagements sur le site, cela s'est fait de manière participative avec un certain nombre des producteurs locaux mobilisés par l'UPPA/Nayala. Nous présentons en **Annexe 5** les résultats et les détails des activités de réalisation du dispositif expérimental sur le site de Toma.

Voici sur la **figure 12** quelques photos prises lors de la réalisation des activités pour la mise en place du dispositif expérimental :



Figure 13: illustration de la réalisation des ouvrages CES a) Demi-lune b) Cordon-pierreux et c) Zai

2.3. Protocoles de mesure

✚ Humidité du sol

L'humidité ou teneur en eau du sol, c'est la quantité d'eau qu'il contient. Elle dépend des conditions climatiques, du type de sol et des prélèvements par les végétaux. Les méthodes de mesure de l'humidité d'un sol sont fort nombreuses, on les sépare habituellement en deux groupes :

- Méthodes directes effectuées généralement au laboratoire ;

- Méthodes indirectes réalisées sur le terrain

Nous avons utilisé sur le terrain une méthode indirecte qui consiste à évaluer manuellement l'humidité du sol en fonction de son aspect visuel. Ainsi l'opérateur sur le site apprécie manuellement l'humidité du sol en cinq (5) points choisis de manière aléatoire et représentative et leurs donnent l'un des trois aspects d'humidités de sol suivants :

- Sec
- Humide
- Mouillé

Voici à titre d'illustration sur la **figure 13** ce à quoi peuvent ressembler les trois aspect d'humidité du sol :



Figure 14: Illustration des aspects d'humidités de la gauche vers la droite, sec, humide et mouillé.

Afin de se faire une idée plus concrète de la teneur en eau à partir des mesures effectuées sur le terrain par la méthode précitée plus haut nous avons fait une correspondance de ces mesures en utilisant la méthode gravimétrique. En effet cette méthode nous permet de déterminer la teneur en eau massique du sol qui représente la masse d'eau contenue dans un échantillon de sol (M_w), rapportée à la masse des particules de sol sec (M_s)

$$H_p = w = \frac{M_w}{M_s} [g/g] \text{ ou } H_p = w = \frac{M_w}{M_s} \times 100 [\%]$$

Dans cette méthode directe (gravimétrique), l'extraction de l'eau se fait dans une étuve portée à 105°C. L'opération consiste à :

- Prélever un échantillon de sol (quelques dizaines de g) entre cinq (5) et dix (10) centimètres du sol et le placer dans un sachet ou dans un récipient étanche pour éviter les pertes par évaporation durant le transport
- Sitôt arrivé au laboratoire, peser l'échantillon pour obtenir sa masse humide M_h ;
- Placer l'échantillon dans l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante. Le temps de séchage dépend de la nature du sol, de la taille de l'échantillon et des caractéristiques de l'étuve (en général 24H) ;
- Une fois le séchage terminé, peser à nouveau l'échantillon, ce qui fournit sa masse sèche M_s ;
- En déduire la valeur de l'humidité massique H_p :

$$H_p = \frac{M_h - M_s}{M_s} = \frac{M_w}{M_s}$$

- On pourra aussi déduire la densité apparente sèche da et la teneur en eau volumique H_v par application des formules :

$$da = \frac{M_s}{V_t} \text{ avec } V_t = 50 \text{ ml, comme nous avons utilisé des flacons de 50 ml}$$

$$H_v = da \times H_p$$

Ainsi pour chaque catégorie d'aspect d'humidité du sol (sec, humide, mouillé) et nous avons pris trois séries de trois échantillons qui ont été envoyés en laboratoire pour mesure. Ce qui nous a permis d'avoir pour chaque catégorie une tranche de valeur d'humidité dans laquelle elle est comprise.

Conductivité hydraulique à saturation

C'est un essai qui se fait in situ. Il permet de déterminer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Les deux anneaux sont enfoncés dans le sol de 5 cm et de façon concentrique.

Le principe est de suivre l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps dans l'anneau central. L'anneau externe est appelé « anneau de garde » et a pour fonction de garantir une infiltration verticale dans l'anneau central. Une fois le dispositif mis en place, on verse une lame d'eau donnée dans les deux anneaux en commençant par l'anneau externe. Une règle graduée est positionnée de

façon fixe et verticale dans l'anneau central. Le chronomètre est ensuite lancé et on mesure l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps.



Figure 15: Mesure D'infiltrométrie de Muntz

Durant cette campagne de mesure, nous avons effectué 5 mesures sur le site avec l'infiltromètre de Muntz. Les 5 points de mesure ont été choisis de manière aléatoire à vu d'œil sur le champ du producteur pour le positionnement de l'infiltromètre, cela s'est fait de manière à ce que les points soient assez distants entre eux permettant ainsi d'avoir une représentativité des sols.

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Minitab 18 par application de la méthode aux moindres carrés de l'infiltration cumulée pour déterminer la conductivité hydraulique à saturation (Ksat). Les Ksat sont introduites dans le logiciel **Soil Water Characteristics** pour la détermination du type de sol et des humidités caractéristiques du sol.

✚ La hauteur des plantes

Sur chaque parcelle des blocs expérimentaux cinq (5) plants ont été choisis de manière aléatoire sur lesquels le développement de la taille sera suivi le long de leurs croissances. La mesure se fait verticalement de la base vers le sommet de la tige comme indiqué sur la figure ci-dessous :

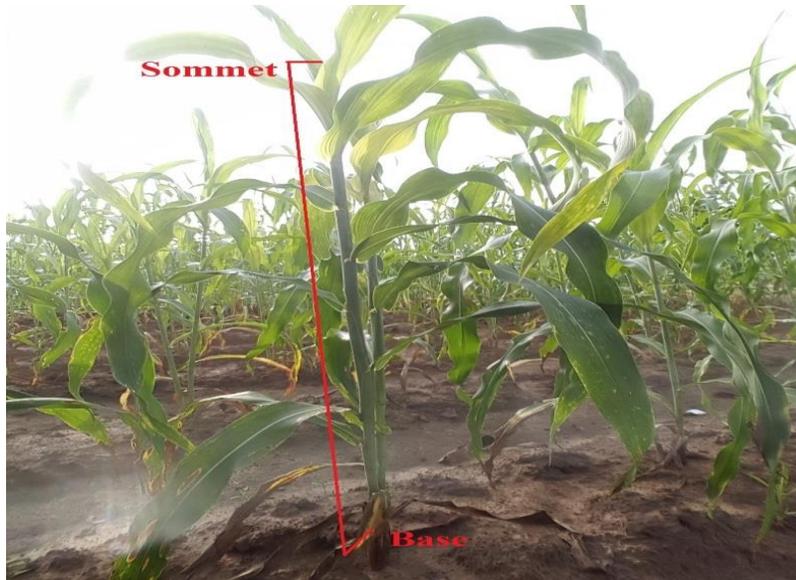


Figure 16: Illustration de la méthode de mesure des hauteurs des plantes

✚ Rendement des cultures

Les chiffres donnant les superficies cultivées, la production et le rendement des cultures constituent des éléments de la statistique agricole. Par rendement moyen, ou plus simplement rendement, d'une culture sur une unité de production, on entend la quantité moyenne produite par unité de surface cultivée ; il s'exprime généralement en tonnes ou en quintaux par hectare (t/ha ou q/ha).

Les méthodes classiques d'estimation ou de mesure des rendements ne sont pas toujours satisfaisantes. La plus parfaite, si elle était intégralement appliquée serait la méthode directe qui comporte la mesure effective de la production totale de la culture. La méthode que nous avons choisie pour estimer le rendement est celle des coupes échantillons, appelée dans les pays anglo-saxons « crop cutting method » (Rosenfeld, 1953). Celle-ci comprend le choix d'un certain nombre d'unités de production telles que des parcelles, des segments de lignes de culture, des arbres ou d'autres unités qui constituent un échantillon. La production de ces unités est ensuite récoltée ou cueillie et mesurée, permettant ainsi de mesurer le rendement de l'échantillon par hectare ou par arbre ; cela permet d'avoir une estimation du rendement moyen pour la récolte entière.

Dans notre cas nous avons dans l'esprit de cette méthode procédé comme suit :

- Choix de trois unités d'échantillons par parcelle (trois lignes de culture suivant la largeur pour les parcelles de Cordons-Zai et Témoin et trois pockets de Demi-lune pour les

parcelles de Cordons-Demi-lune). Ainsi nous avons divisé les parcelles en trois groupes homogènes suivant la longueur de celles-ci c'est-à-dire que les 1/2 ha ont été réparti en trois groupes de parcelles de 1/6 ha nommées comme suit en partant de l'amont vers l'aval : Début, milieu, fin ; les unités qui doivent constituer l'échantillon sont choisies dans chacun des groupes.

- Pour chaque unité d'échantillon nous avons pesé le poids des grains après battage connaissant le nombre total d'unité d'échantillon (ligne pour parcelle Cordons-zai et Témoin et pocket pour Cordons-demi-lune) sur chaque parcelle nous obtenons le rendement à l'hectare des grains. La moyenne algébrique de ces rendements sera faite pour obtenir le rendement moyen à l'hectare des grains.

Sur la **figure 16** nous avons des images illustrant les activités de récolte :



Figure 17: Activité de récolte pour l'estimation du rendement. A : pesage des épis de sorgho B : Battage pour extraction des grains C : Pesage des grains de sorgho (Source : Radjib)

2.4.Déroulement de l'expérimentation

Les premières mesures qui ont été effectuée sont celles de conductivité hydraulique à saturation des sols enfin de caractériser la nature des sols et les humidités caractéristiques. Concernant les humidités des sols les mesures sont faite de manière à avoir le plus de données possible pour l'interprétation. Les mesures des hauteurs des plantes se sont déroulés tout au long du développement des cultures. Et enfin la détermination des rendements des cultures a été faite en une journée. Le tableau ci-dessous donnent un résumé des activités menées durant l'expérimentation ainsi que les périodes durant lesquelles elles ont été faite.

N°	Activités	Période
1	Mesure de conductivité hydraulique à saturation	15 – 20 Juin 2019
2	Mesure des humidités des sols	30 Juillet – 6 Octobre 2019
3	Mesure des hauteurs de plantes	17 Août – 3 Octobre 2019
4	Mesure de rendement	29 Octobre 2019

Tableau 4: Déroulement des activités de l'expérimentation de Toma

IV. Résultats et discussions

1. Analyse des performances hydriques

Les résultats des mesures de conductivité hydraulique à saturation sont donnés dans le tableau suivant :

Site	Mesures	Ksat (mm/h)	Type de sol
Toma	M1	2,75	Argileux
	M2	1.23	Argileux
	M3	1.92	Argileux
	M4	10.81	Silteux-limoneux
	M5	10.25	Silteux-limoneux

Tableau 5: Tableau des résultats obtenus par les mesures d'infiltrométrie à Double Anneau

Nous présentons sur la **figure 17** une illustration des points de mesures et des types de sol obtenus à partir des mesures d'infiltrométrie.

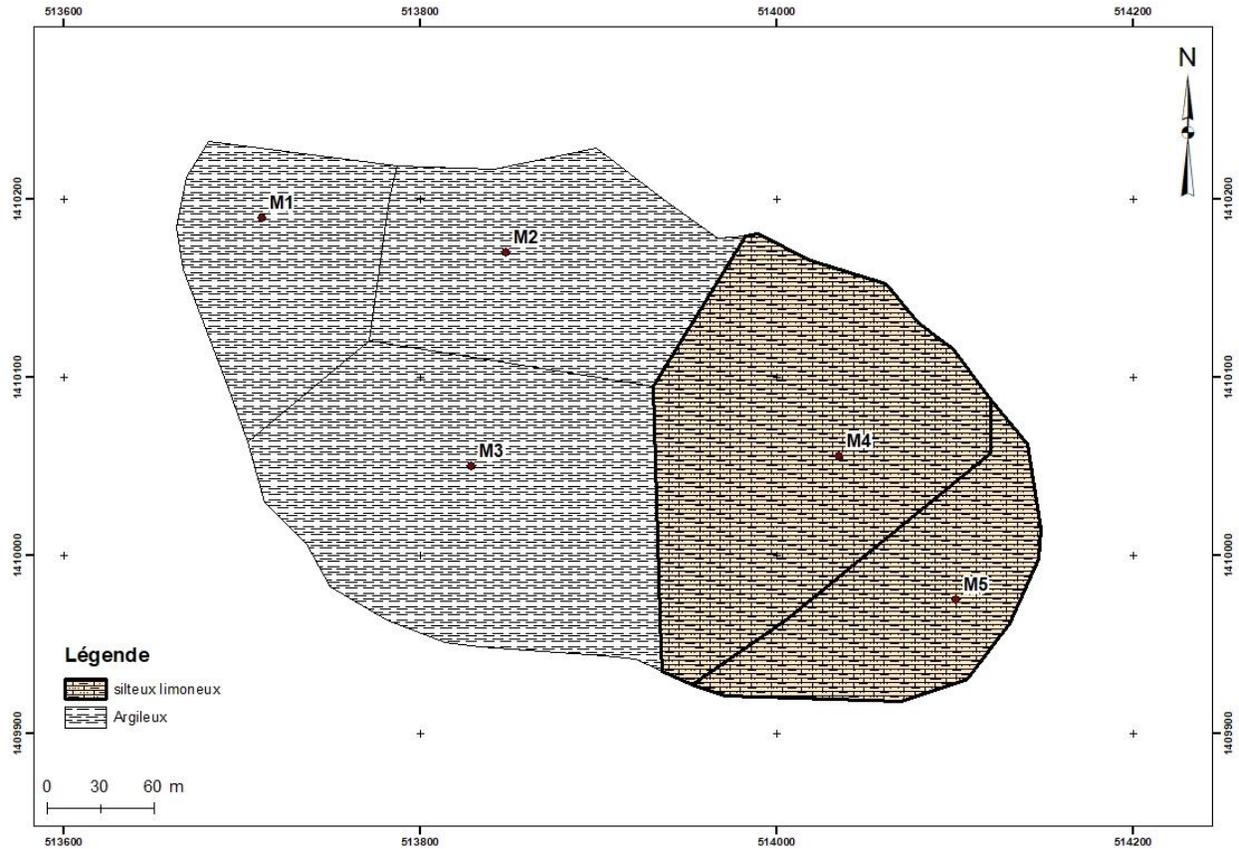


Figure 18: Illustration des points de mesures de conductivité hydraulique et des types de sol correspondant

Nous avons aussi grâce à l'exploitation du logiciel **Soil Water Characteristic** put déterminer les humidités caractéristiques de ces sols comme indiqué dans le **tableau 6** ci-dessous :

Mesures	Ksat (mm/h)	Hpf (%)	Hcr (%)	Hs (%)
M1	2,75	29.29	42.6	53.1
M2	1,23	27.3	39.7	47.6
M3	1,92	24.2	36	45.3
M4	10,81	16	25.7	43.2
M5	10,25	17.2	26.3	42.6

Tableau 6: Tableau des humidités caractéristiques des sols. Hpf : humidité volumique au point de flétrissement ; Hcr : Humidité volumique à la capacité de rétention ; Hs : Humidité volumique à saturation

Les prélèvements d'échantillons de sol pour la détermination des teneurs en eau massique par la méthode gravimétrique décrite plus haut nous a permis d'aboutir aux résultats que nous présentons dans le tableau ci-dessous :

Site	Aspect du sol	Echantillons	Mh	Ms	Hp (%)	da (g/cm3)	Hv (%)
Toma	Sec	E1	134,4	125,0	7,52	2,5	18,8
		E2	138,0	127,0	8,66	2,54	22
		E3	140,0	129,0	8,53	2,58	22
	Humide	E1	143,7	130,0	10,54	2,6	27,4
		E2	145,3	130,5	11,34	2,61	29,6
		E3	131,6	117,0	12,48	2,34	29,2
	Mouillé	E1	134,7	119,0	13,19	2,38	31,4
		E2	142,0	125,0	13,60	2,5	34
		E3	151,3	132,0	14,62	2,64	38,6

Tableau 7: Teneur en massique et volumique des échantillons de sol prélevé sur le site de Toma. Mh : Masse humide ; Ms : Masse sec ; Hp : Teneur en eau massique ; Hv : teneur en eau volumique ; da : densité apparente sèche

On remarque que l'appréciation de l'opérateur de l'aspect sec, humide et mouillé du sol varie en teneur en eau volumique respectivement de **18.8 à 22 %**, **27.4 à 29.2 %** et de **31.4 à 38.6 %**.

Les résultats des estimations d'humidité du sol ont permis d'établir les graphes sur les **figures 18 et 19** qui expriment le pourcentage d'aspect d'humidité (%S : pourcentage de d'aspect sec, %H : pourcentage d'aspect humide, %M : pourcentage d'aspect mouillé) estimé sur le terrain au niveau de chaque bloc expérimental.

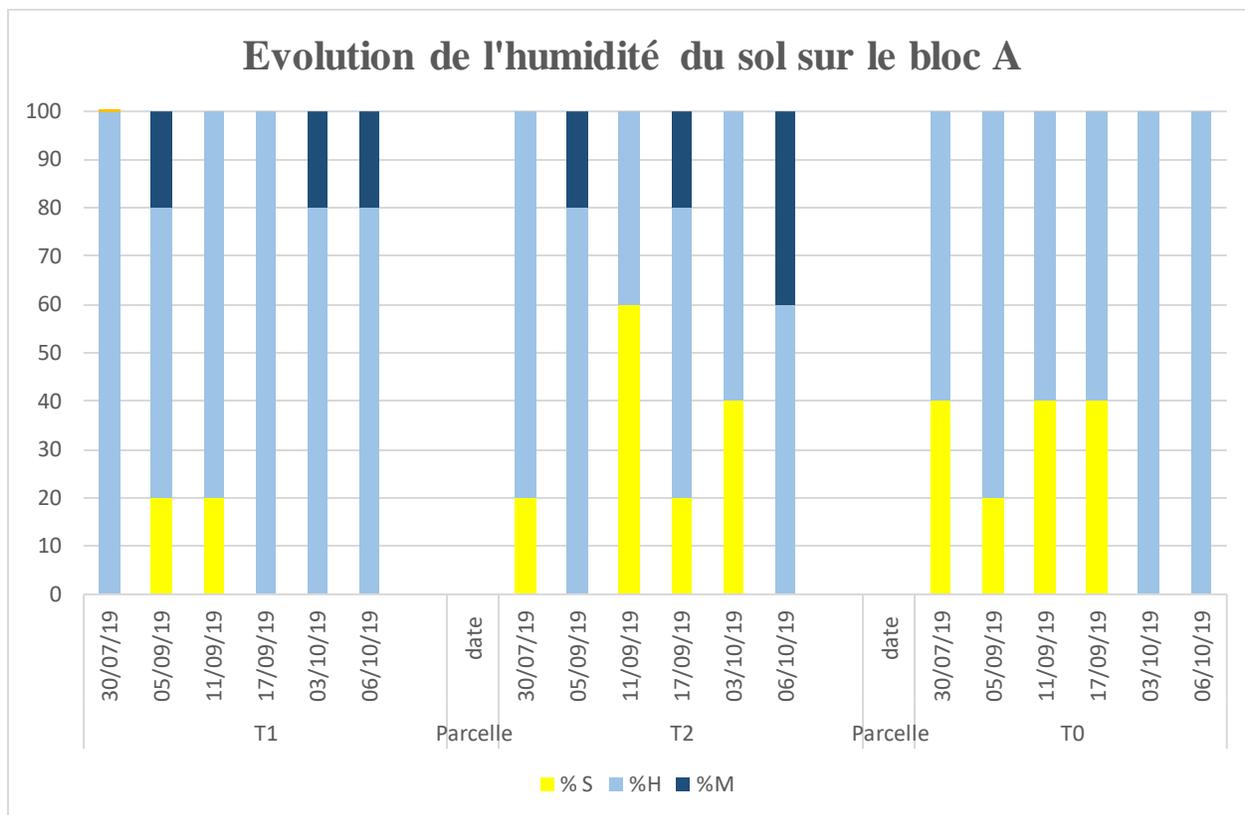


Figure 19: Evolution de l'humidité du sol au bloc A ; %S : pourcentage d'aspect d'humide sec, %H : pourcentage d'aspect d'humidité humide, %M : pourcentage d'aspect d'humidité mouillé

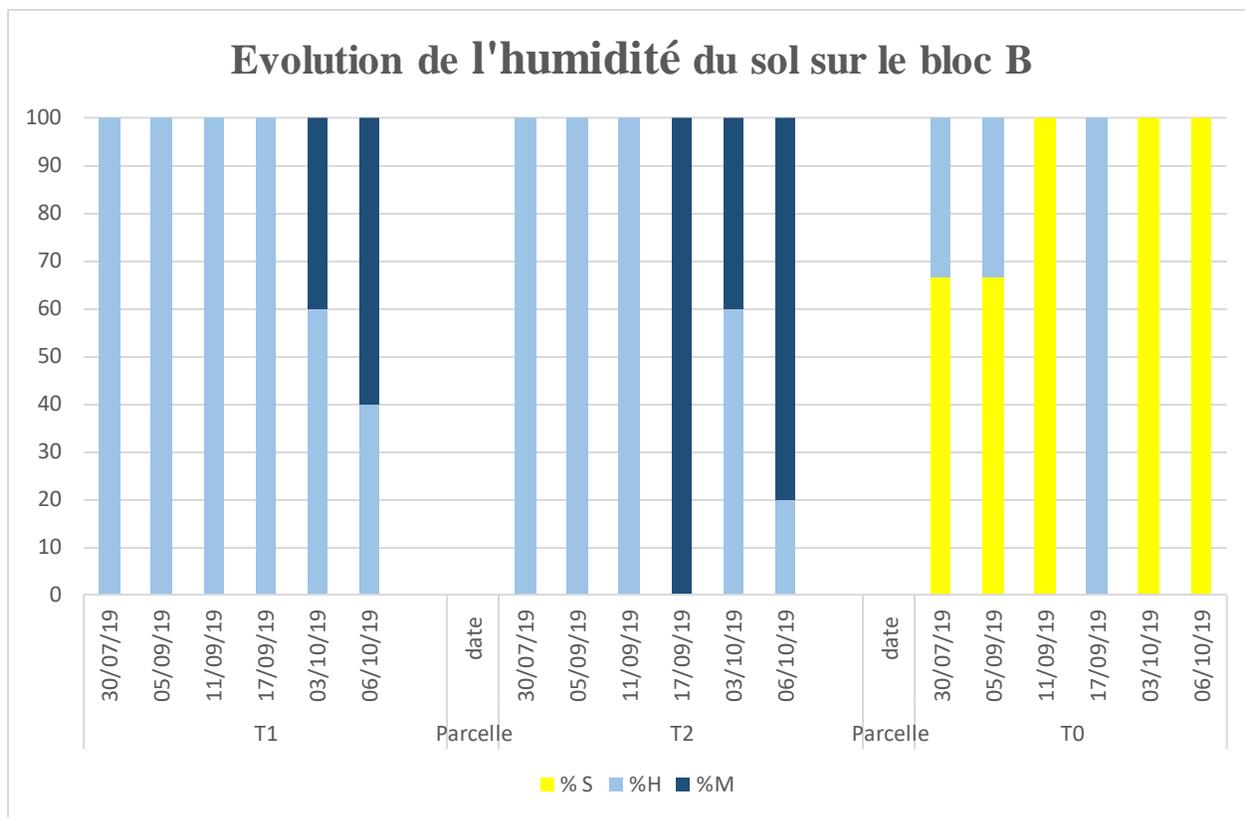


Figure 20: Evolution de l'humidité du sol au bloc B ; %S : pourcentage d'aspect d'humide sec, % H : pourcentage d'aspect d'humidité humide, %M : pourcentage d'aspect d'humidité mouillé

De ces deux graphes nous pouvons faire les remarques suivantes :

- ✚ Le bloc B présente en termes de conservation d'eau de meilleures performances que le Bloc A, en effet on constate que l'humidité du sol est plus uniformisée et satisfaisante sur les parcelles aménagées du bloc B.
- ✚ Les performances de conservations d'eau sont nettement meilleures sur les parcelles aménagées au niveau des deux blocs que sur les parcelles témoins.
- ✚ Les parcelles aménagées en combinaison cordons/demi-lune conservent globalement mieux l'eau que sur celles aménagées en Cordons/Zai.

2. Analyse des performances agronomiques

2.1. Analyse des données sur la hauteur des plantes

L'exploitation des données mesures de hauteurs des plantes nous a permis de calculer les hauteurs moyennes des plantes au niveau de chaque parcelle à chaque date de mesure. Nous présentons dans la **figure 20 et 21** ci-dessous ces résultats :

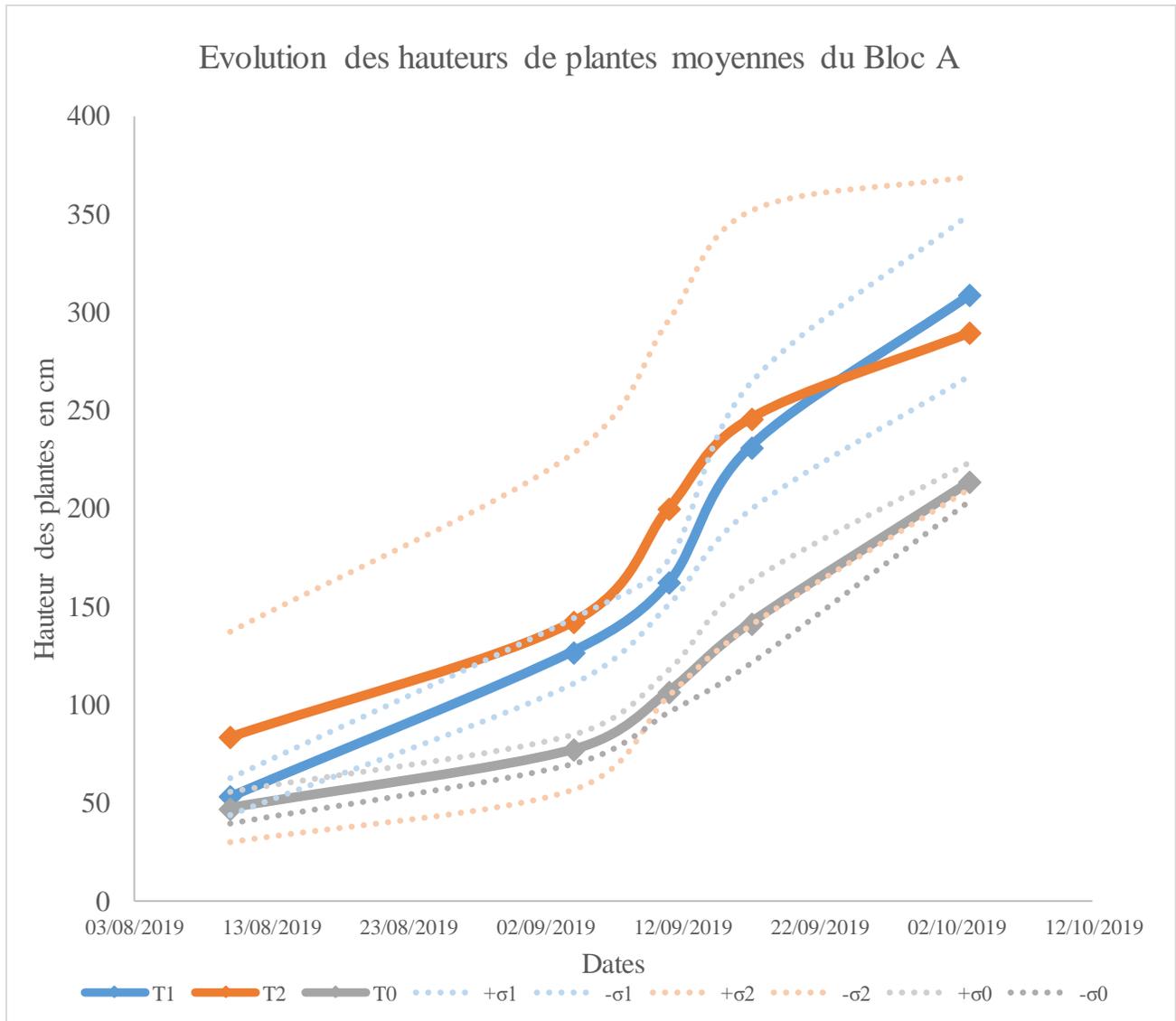


Figure 21: Evolution des hauteurs de plantes moyennes du bloc A; σ : Courbes des écarts types

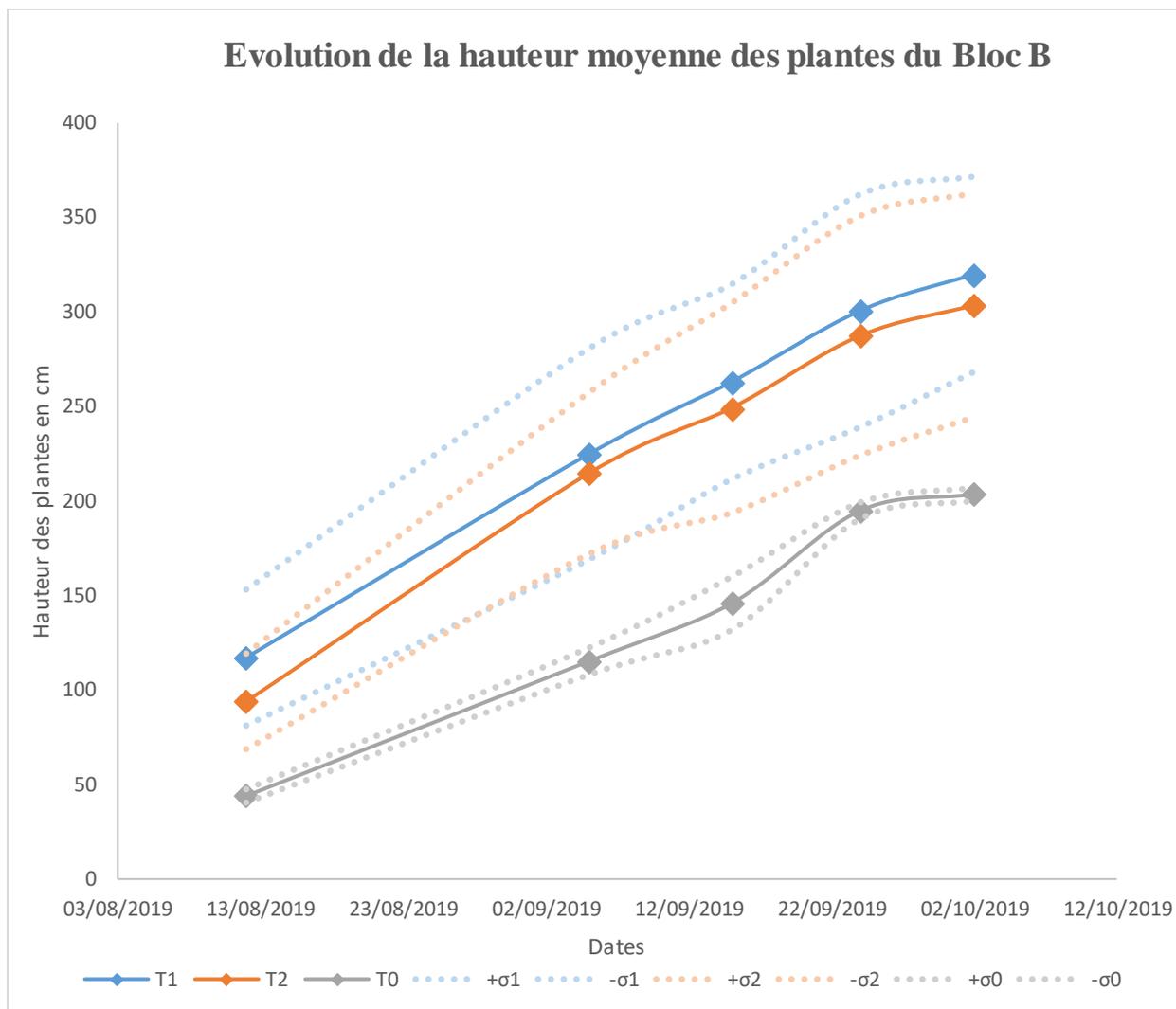


Figure 22: Evolution des hauteurs de plantes moyennes du bloc B, σ : courbes des écarts-types

Ces deux graphes nous permettent de faire les remarques suivantes :

- ✚ Les évolutions de la hauteur des plantes sur les parcelles aménagées sont au niveau des blocs expérimentaux plus importants que sur la parcelle témoin.
- ✚ La hauteur des plantes sur la parcelle aménagée en Cordons/Demi-lune évolue mieux que sur la parcelle aménagée en Cordons/Zai
- ✚ On observe un écart-type plus important sur la parcelle aménagée en Cordons/Zai que sur le bloc A ce qui traduit une uniformité de l'évolution de la hauteur des plantes sur cette parcelle.

2.2. Analyse des données sur le rendement agricole

Le rendement du sorgho sur les parcelles à porter sur les grains, le résultat de l'estimation de ces rendements moyens est donné dans le graphe de la **figure 22** :

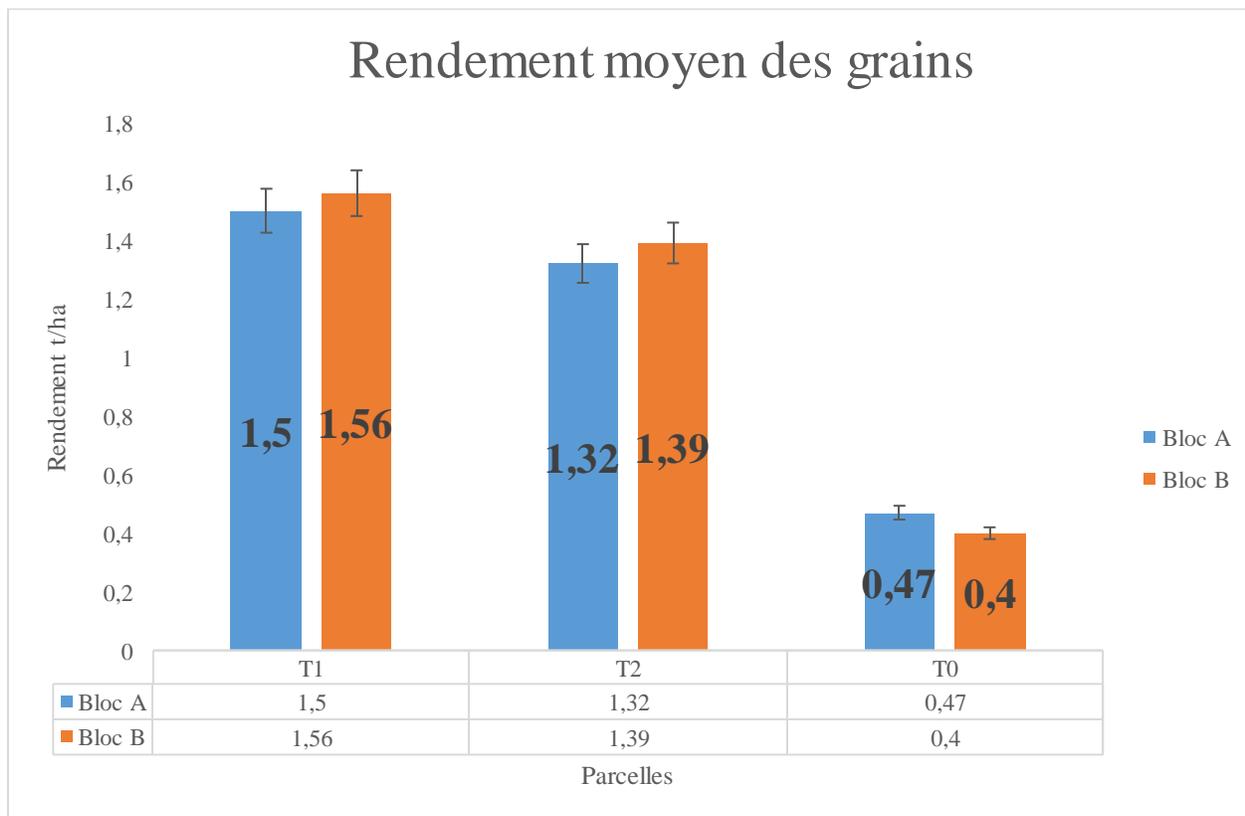


Figure 23: Résultats des calculs de rendement moyen des grains

De ces figures ci-dessus nous faisons les remarques suivantes :

- ✚ Les rendements des cultures des parcelles aménagées du bloc B sont meilleurs que sur le Bloc A, on observe l'inverse au niveau des parcelles témoins.
- ✚ Les rendements des cultures sur les parcelles aménagées au niveau des deux blocs sont plus de trois supérieurs que sur les parcelles témoins.
- ✚ Les rendements des cultures sur les parcelles de Cordons/Demi-lune sont meilleurs que sur les parcelles de Cordons/Zai

3. Analyse économique des technologies

En calculant le coût des investissements et les revenus des grains engendrés par chaque parcelle nous avons calculer la rentabilité brute et les bénéfices économiques de chaque celles-ci. Le **tableau 8** nous présente ces résultats et les détails des calculs sont donnés en **Annexe 10**.

Estimation de rentabilité et bénéfice à l'hectare				
Parcelle	Coût (F CFA)	Revenu (F CFA)	Rentabilité	Bénéfice (F CFA)
T1	254 500	333 540	1,31	79 040
T2	256 500	296 480	1,16	39 980
T0	270 00	95 920	3,55	68 920

Tableau 8: Tableau des calculs économiques

Dans ce tableau nous apercevons aisément de la meilleure rentabilité de la parcelle témoin qui a nécessité en termes d'investissement moins de coût mais les technologies de CES mises en place peuvent durer plusieurs années en utilisation en les entretenant convenablement. Les coûts de ses ouvrages quoique onéreux pour les paysans peuvent donc être rentabiliser pendant des années. Avec un accompagnement adéquat des autorités agricoles les producteurs pourront prendre en charge et adopter ces technologies.

4. Discussion générale

Les résultats que nous avons obtenus plus haut nous montre que les mesures de conservation d'eau et de sol que nous avons appliqués permettent d'accroître la productivité agricole à travers le rendement des grains et le développement des cultures, donnant ainsi une plus grande quantité de graines et de biomasses.

Au niveau de l'humidité du sol nous pouvons dire que les mesures de conservation des eaux et des sols ont nettement permis de réduire le ruissèlement par les lignes de cordons et favoriser l'infiltration par les trous de Zai et de Demi-lune. Cependant la combinaison Cordons/Demi-lune semble mieux réussir à ce niveau sur les deux blocs, en effet les demi-lunes offrent une plus grande surface de réception des eaux de ruissèlements et permettent donc un stockage plus important de l'eau.

Au niveau de la hauteur des plantes, la hauteur maximale de la variété de la culture du sorgho Kapelga varie de 290 à 310 cm comme spécifier sur la fiche technique de la culture en **Annexe 6**, nous voyons que sur les parcelles aménagées ces valeurs à termes de développement sont en moyenne atteintes tandis que sur les parcelles témoins elles ne le sont pas, ceci montre clairement les

performances en termes de croissance obtenues sur les parcelles aménagées. Les cultures sur les parcelles de Cordons/Demi-lune semblent mieux réussir à ce niveau également ce qui peut s'expliquer par une meilleure conservation des eaux sur ces parcelles.

Au niveau du rendement des cultures, vu les performances hydriques et de hauteurs de plantes nous ne pouvons que nous attendre à une meilleure performance de la combinaison Cordons/Demi-lune sur celle de Cordons/Zai. Nous notons aussi que selon la fiche technique de la variété Kapelga le rendement moyen des grains en milieu paysan est de 1.2 t/ha, nos résultats de rendement des grains montrent que sur toutes les parcelles aménagées cette valeur a été dépassée.

V. Conclusions et recommandations

Dans un contexte sahélien et de réchauffement climatique, des mesures afin de permettre la résilience des producteurs agricoles s'avère plus que nécessaire. Ainsi des innovations technologiques paysannes de conservation d'eau et des sols se présentent comme une solution à cette problématique donnée. Afin de permettre à ce que ces technologies, relativement peu coûteuses et ne nécessitant que peu de maîtrise technique pour leur utilisation, soient vulgarisées et adoptées notamment dans des régions comme celle de la boucle du Mouhoun où elles sont moins courantes, nous avons procédé dans la Commune rurale de Toma une expérimentation de deux types de combinaison de techniques CES à savoir Cordons/Demi-lune et Cordons/Zai sur la culture du sorgho. Les résultats qui en sont sortis montrent de façon significative l'impact positif de ces technologies sur la productivité agricole du sorgho. Ainsi la comparaison des différents paramètres a penché en faveur de la technique Cordons/Demi-lune qui montre de meilleurs résultats par rapport à celle de Cordons/Zai. Nous avons ainsi conclu que la combinaison de technique CES qui s'adapte le mieux au contexte de la commune rurale de Toma est de Cordons/Demi-lune, ainsi celle-ci serait préconiser pour les futurs projets d'aménagements dans la zone. Il faut aussi noter que les technologies CES une fois bien réalisé permettent de rentabiliser les investissements fait pour les mettre en place car donnant de meilleur rendement et possèdent un caractère conservateur. Les prix des matériaux et la relative technicité des travaux pourrait nécessiter un accompagnement de la part de structures gouvernementales ou non-gouvernementales pouvant assister les paysans dans l'adoption de ces techniques.

Les déroulements des activités sur le terrain nous permettent de formuler les recommandations suivantes :

- ✚ A l'endroit des techniciens : Faire une bonne planification et organiser les activités de réalisation de travaux et de collecte de données ;
- ✚ A l'endroit des producteurs : Respecter strictement les itinéraires techniques et avoir une meilleure collaboration avec les techniciens de terrain ;
- ✚ A l'endroit des autorités agricoles : S'activer afin de mobiliser des partenaires pouvant accompagner les producteurs pour la prise en charge des techniques CES ;
- ✚ A l'endroit de l'INERA : Mobiliser plus de moyens pour conduire les activités de démonstration et d'expérimentation pour offrir de meilleure qualité de collecte de données.

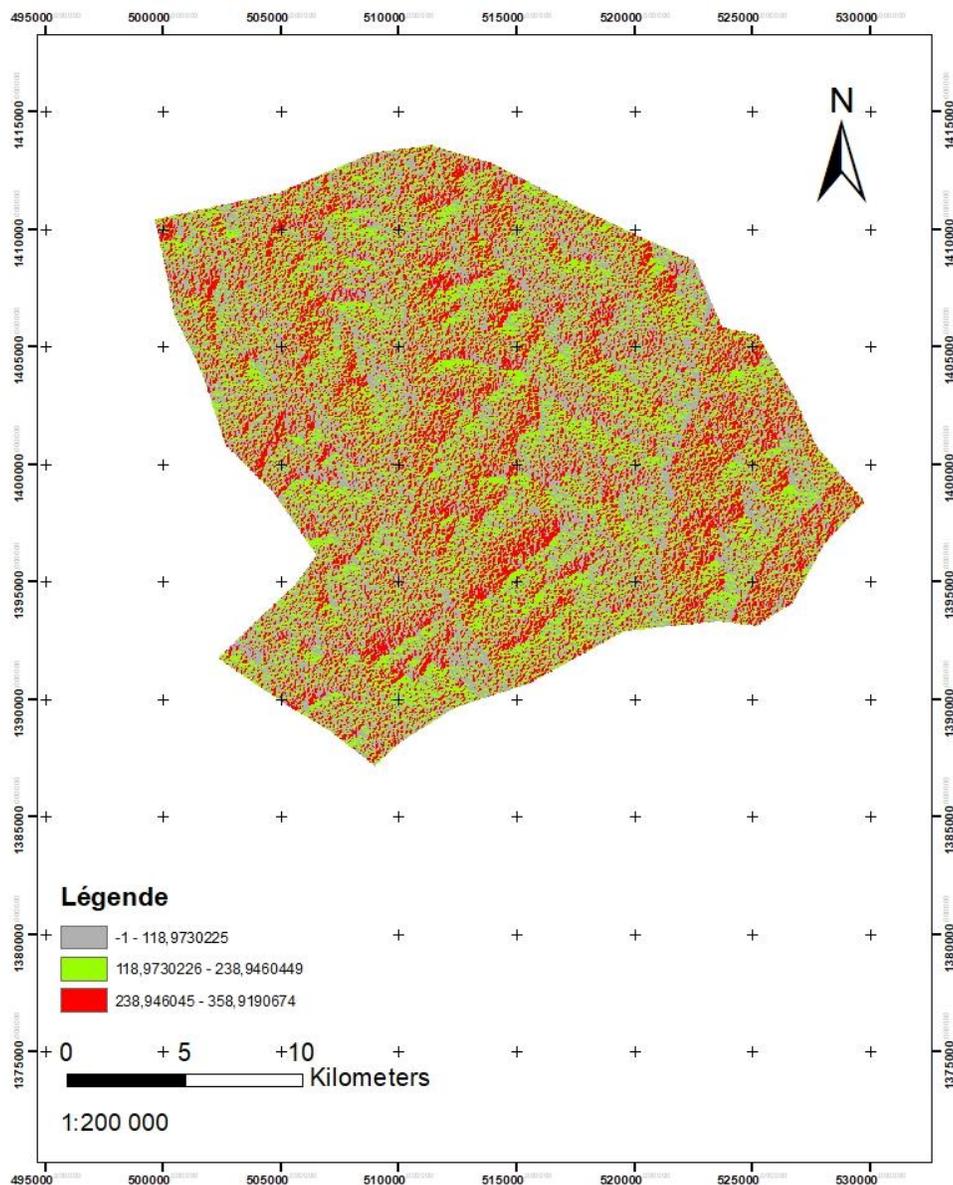
Références bibliographiques

1. Kinane, M.L., Kone, M., and Sidibe, A. (2008). Perception de la Dégradation des Terres et Adoption des Technologies de Conservation des Eaux et des Sols au Nord du Burkina Faso : le cas du Zaï et des Cordons Pierreux.
2. Maisharou, A., Chirwa, P.W., Larwanou, M., Babalola, F., and Ofoegbu, C. (2015). Sustainable land management practices in the Sahel: review of practices, techniques and technologies for land restoration and strategy for up-scaling. *International Forestry Review* 17, 1–19.
3. Rosenfeld, M.F. (1953). L'estimation des rendements des cultures par la méthode des coupes-échantillons. *Économie Rurale* 18, 25–28.
4. Vlaar, J.C.J. (1992). les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du sahel.
5. Vlaar, J.C.J (Ed.) (1992). les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du sahel (Ouagadougou Burkina Faso: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Université Agronomique Wageningen (UAW)).
6. Zougmoré, R., Guillobez, S., Kambou, N.F., and Son, G. (2000). Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone. *Soil and Tillage Research* 56, 175–183.
7. Zougmoré, R., Zida, Z., and Kambou, N.F. (2003). Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil and Tillage Research* 71, 143–149.
8. Zougmoré, R., Ouattara, K., Mando, A., and Ouattara, B. (2004a). Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. *Science et Changements Planétaires/Sécheresse* 15, 41–48.
9. Zougmoré, R., Mando, A., and Stroosnijder, L. (2004b). Effect of soil and water conservation and nutrient management on the soil–plant water balance in semi-arid Burkina Faso. *Agricultural Water Management* 65, 103–120.
10. Zouré, C.O. (2019). Etude des performances hydrologiques des techniques culturales dans un contexte de changement climatique en zone sahéenne au Burkina Faso. Thèse de doctorat. INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT.

Annexes

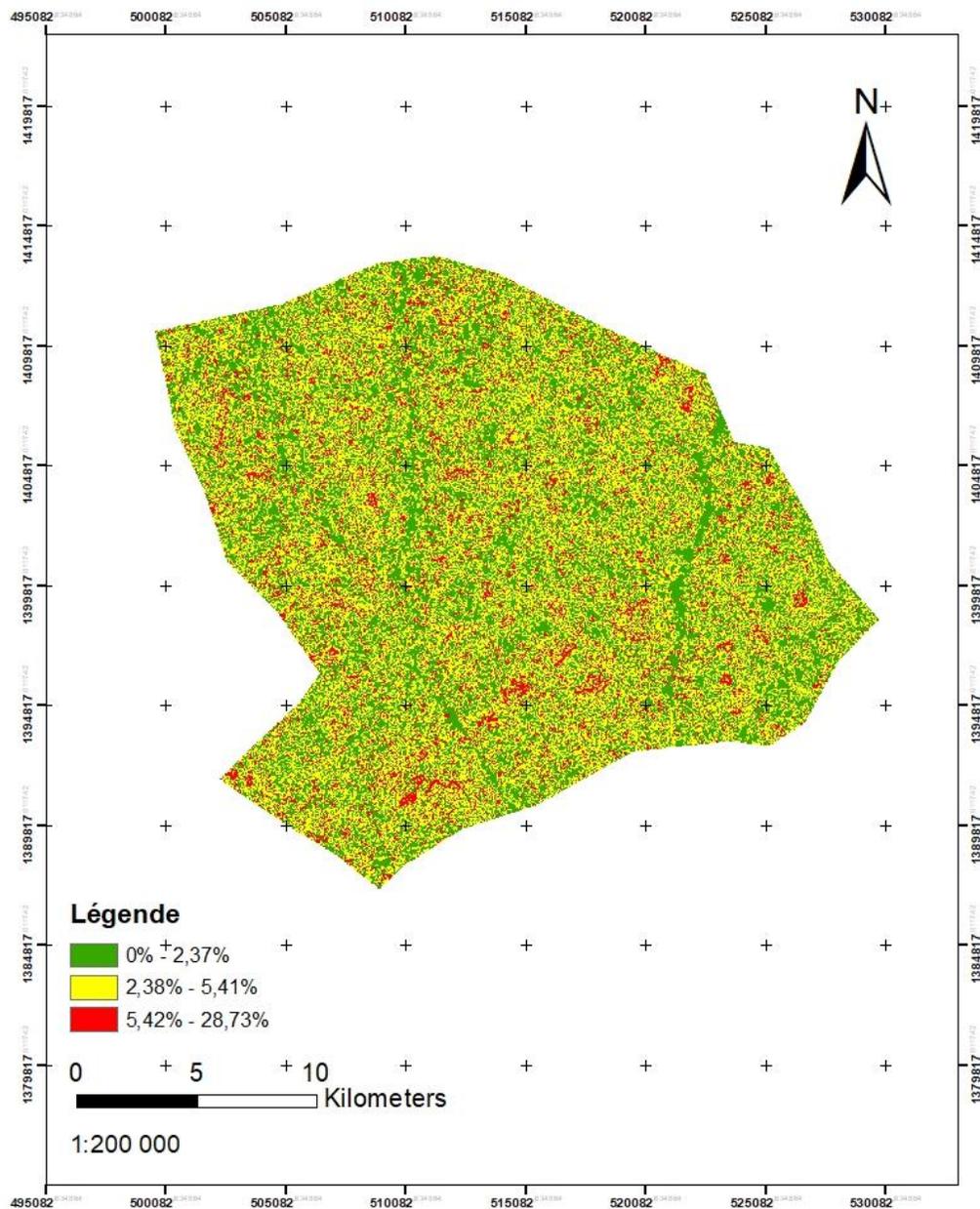
Annexe 1 : Carte d'exposition de la commune rurale de Toma

CARTE DES EXPOSITIONS

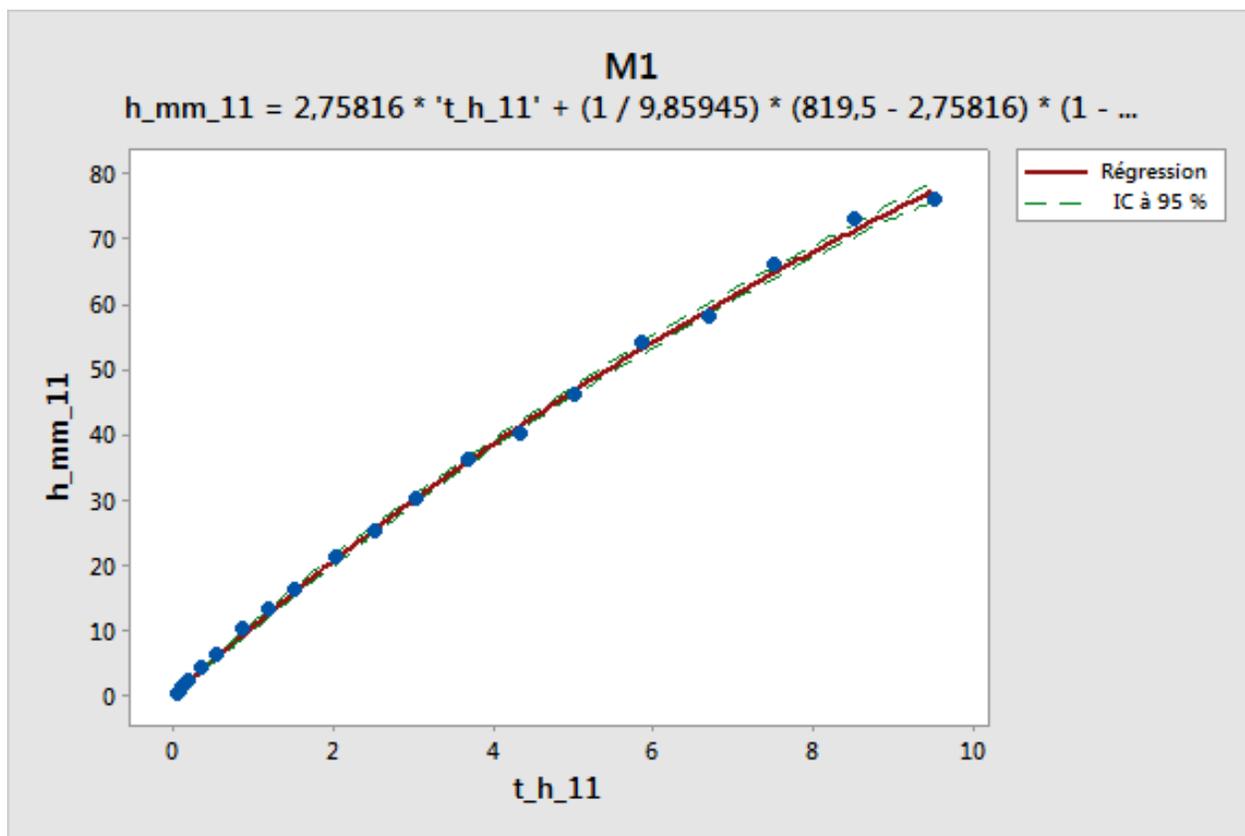


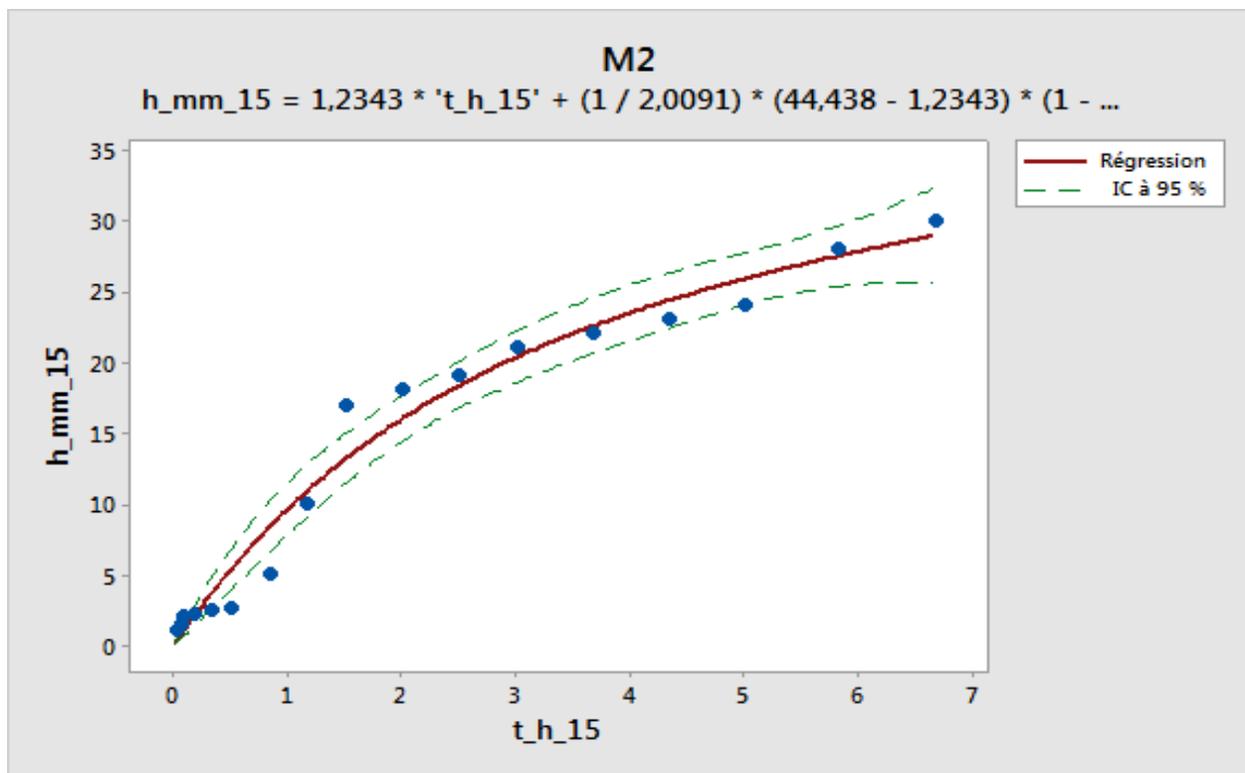
Annexe 2 : Carte des pentes de la commune rurale de Toma

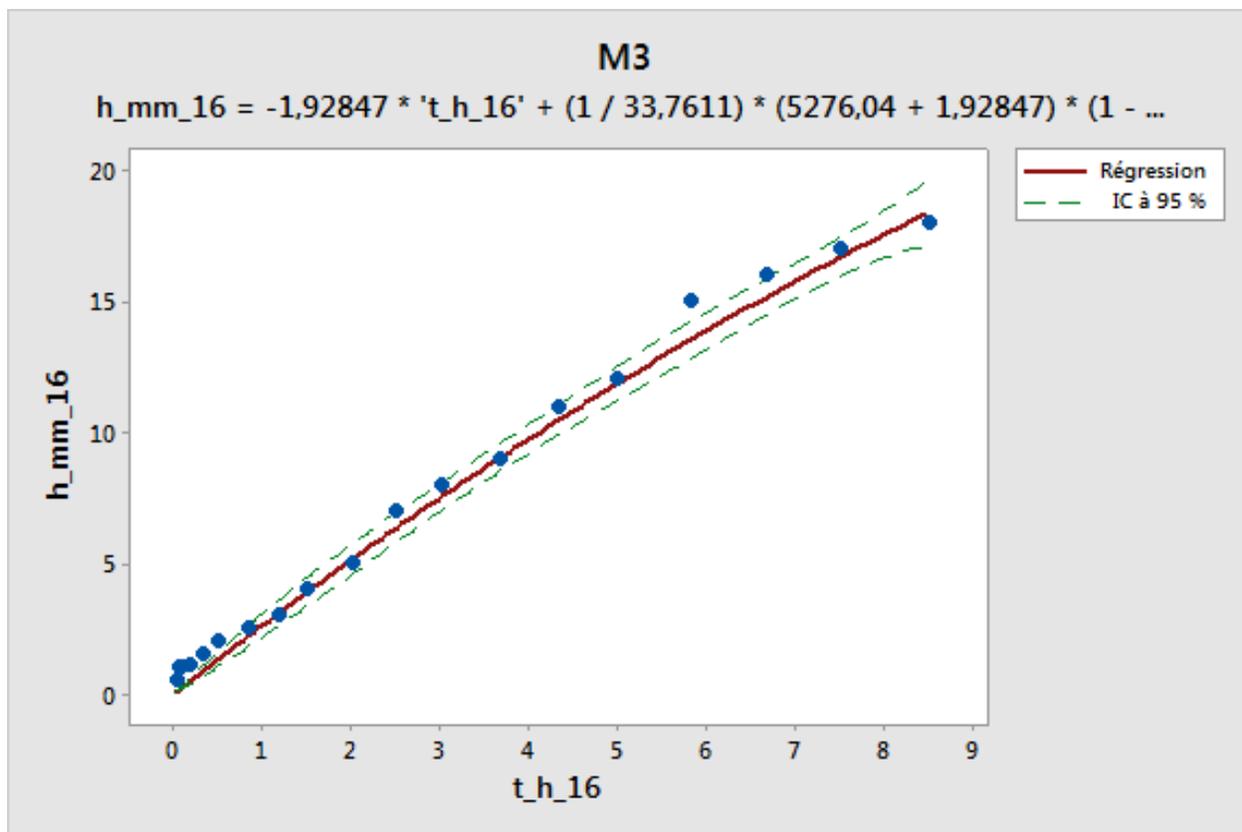
CARTE DES PENTES

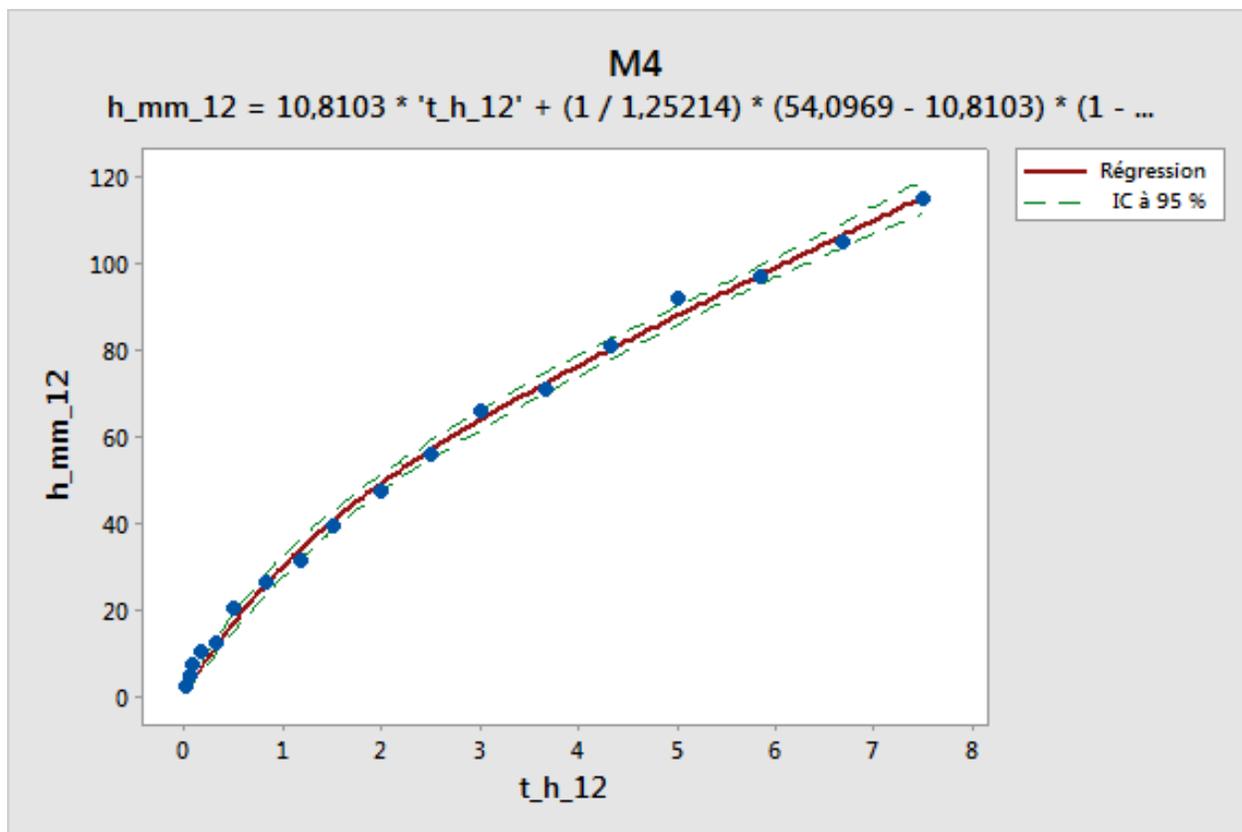


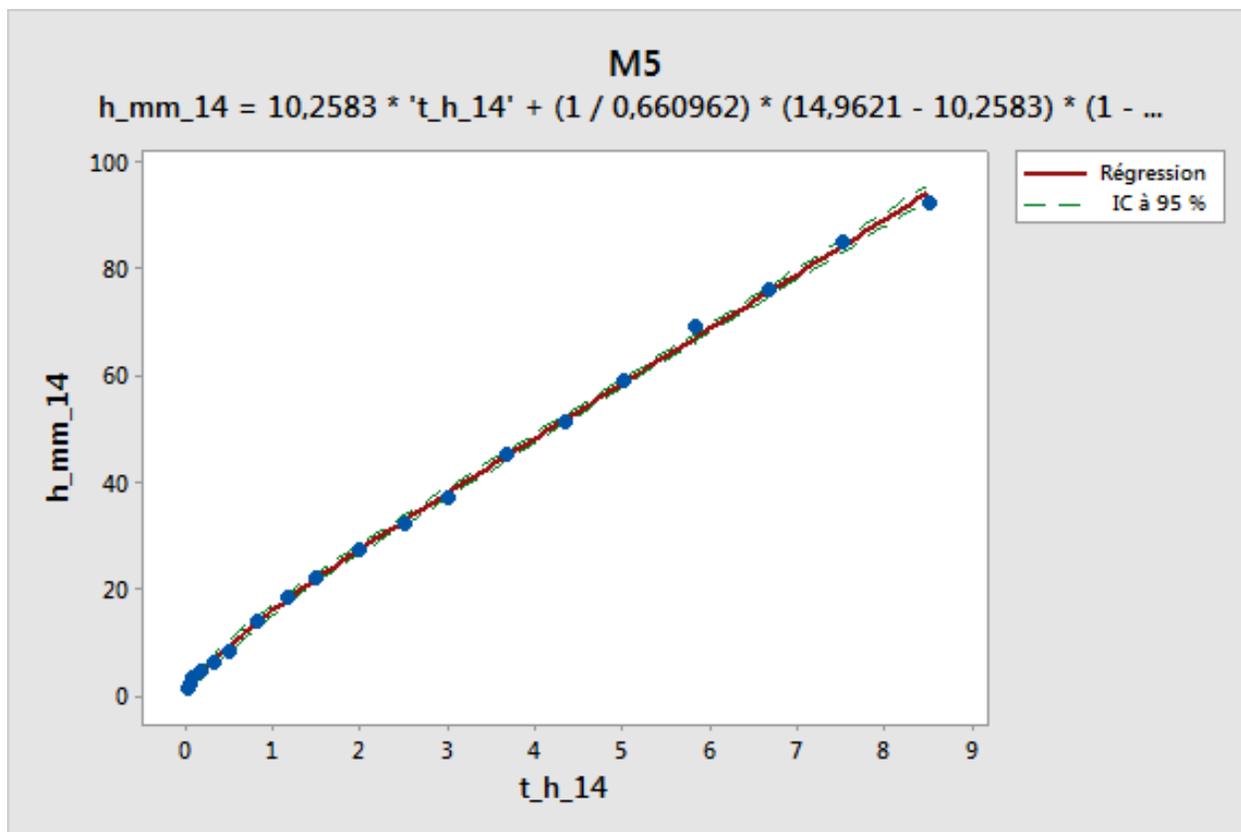
Annexe 3 : Résultats de mesures de conductivité hydraulique à saturation











Annexe 4 : Détails des pratiques culturales appliquées à Toma

No	Activités	Période	Ressources	Remarques
1	Application de la fumure organique sur les parcelles aménagées	20 juin 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 5 t/ha de fumure organique - Main d'œuvre 	Difficulté à se procurer la quantité nécessaire de fumure organique
2	Semi de la variété Kapelga sur les parcelles aménagées et témoins	27-28 juin 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 1 brouette - 5 pioches 	RAS

			<ul style="list-style-type: none"> - 12 kg de semence de Kapela - Main d'œuvre 	
3	Premier sarclage des parcelles	11-12 juillet 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 5 pioches - Main d'œuvre 	Présence d'une poche de sécheresse qui retarde le sarclage car difficile à faire sans humidité
4	Première application de l'engrais NPK 14-23-14 sur les parcelles aménagées	15 juillet 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 2 sac de 50 kg de NPK - Main d'œuvre 	Présence de poche de sécheresse ne favorisant pas la dissolution des composants chimiques dans le sol
5	Deuxième sarclage des parcelles	6 Août 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 5 pioches - Main d'œuvre 	RAS
6	Deuxième application de l'engrais NPK 14-23-14 et application de l'urée sur la parcelle aménagée	23 Août 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 4 sac de 50 kg de NPK - 2 sac de 50 kg d'urée 	RAS
7	Troisième sarclage sur la parcelle de demi-lune	9 septembre 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 5 pioches - Main d'œuvre 	RAS

Annexe 5 : Résultats et les détails des activités de réalisation du dispositif expérimental sur le site de Toma.

No	Activités	période	ressources	remarques
----	-----------	---------	------------	-----------

1	Réalisation demi-lunes sur 2 × 0.5 ha	15 - 17 mai 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 5 pelles - 5 piquets - 1 fil de 100 m - Main d'œuvre 	RAS
2	Réalisation de 24 lignes de cordons pierreux sur 4 × 0.5 ha	19 – 24 mai 2019	<ul style="list-style-type: none"> - 2 brouettes - 5 pelles - 5 piquets - 1 fil de 100 m - 3 voyages en camions de moellons - Main d'œuvre 	RAS
3	Réalisation de 2026 trous de zai sur 2 × 0.5 ha	26 – 30 mai	<ul style="list-style-type: none"> - 10 pioches - 1 fil de 100 m - 5 piquets - Main d'œuvre 	RAS

Annexe 6 : Fiche technique du sorgho Kapelga

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none">- Précocité- Bonne adaptation aux systèmes de culture faiblement intensifs- Régularité du rendement- Excellente qualité du grain	<ul style="list-style-type: none">- Productivité limitée- Un peu sensible à la verse

RECOMMANDATIONS POUR LA MISE EN PLACE DE LA CULTURE

- Précédent cultural conseillé : arachide, ou niébé
- Type de sol : argilo-sableux ou sablo- argileux
- Labour motorisé ou scarifiage à la houe Manga en humide
- Profondeur du labour : 12 à 25 cm
- Fumure organique : 2,5 t/ha de compost ou de fumier
- Fumure minérale de correction : 400 kg/ha de Burkina Phosphate tous les trois ans
- Fumure minérale d'entretien :
 - o Engrais cotton (14N-23P-14K-6S-1 B) :
 - Zone des 700-850 mm : 100 kg/ha au premier sarclage
 - Zone des 500-700 mm : 75 kg/ha au premier sarclage
 - o Urée (46 N) : 50 kg/ha à la montaison (environ 40-45 jours après les semis)
- Semis sur terrain humide après une pluie d'au moins 20 mm
- Semis en ligne aux écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets
- Quantité de semences à l'hectare : 8 à 10 kg
- Démariage à 3 plantes par poquet une dizaine de jours après la levée, en conditions de bonne humidité
- Trois sarclages sont recommandés ou à la demande
- Buttage conseillé 45 jours après les semis
- Traitement des récoltes pour la conservation au grenier avec insecticide des stocks (K-othrine)
- Renouvellement des semences tous les 3 ans pour assurer la pureté variétale et le potentiel de production

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Harlan J.R., de Wet J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop. Sci.*, 12 : 172-176
- CIRAD-CA/CALIM, 2002. Fichiers variétal, équipe ressources génétiques, TA 70/01-Montpellier Cedex 5, France
- IBPGR/ICRISAT, 1993. Descriptors for sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India, 38 p.



Annexe 7 : Tableaux des données d'humidité du sol

Bloc A

Fiche de collecte des données d'humidité du sol						
Date 1	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
30/07/19	T1	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	H	20	80	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	S			
	T0	P1	H	40,0	60,0	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	S			

date 2	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
18/08/2019	T1	P1	H	20	40	20
		P2	H			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	M			
	T2	P1	H	0	40	20
		P2	M			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T0	P1	H	20,0	80,0	0
		P2	S			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
date 3	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
11/09/2019	T1	P1	S	20	60	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	S	60	40	0
		P2	S			
		P3	H			
		P4	S			

		P5	H			
	T0	P1	H	40,0	60,0	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	S			
date 4	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
18/09/2019	T1	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	H	20	60	20
		P2	H			
		P3	M			
		P4	H			
		P5	S			
	T0	P1	H	40,0	60,0	0
		P2	S			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	S			
date 5	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
03/10/2019	T1	P1	H	0	80	20
		P2	M			
		P3	H			

		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	H	40	60	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	S			
	T0	P1	H	0,0	100,0	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
date 6	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
06/10/2019	T1	P1	H	0	80	20
		P2	M			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	H	0	60	40
		P2	M			
		P3	M			
		P4	H			
		P5	H			
	T0	P1	H	0,0	100,0	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			

		P5	H			
--	--	----	---	--	--	--

Bloc B

Fiche de collecte des données d'humidité du sol						
Date 1	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
30/07/2019	T1	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T0	P1	H	20	80	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	S			
date 2	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
18/08/2019	T1	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			

		P5	H			
	T2	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T0	P1	H	60	40	0
		P2	S			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	S			
date 3	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
11/09/2019	T1	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T0	P1	H	60	40	0
		P2	S			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	S			

date 4	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
18/09/2019	T1	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T2	P1	M	0	0	100
		P2	M			
		P3	M			
		P4	M			
		P5	M			
	T0	P1	H	40	60	0
		P2	S			
		P3	H			
		P4	S			
		P5	H			
date 5	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
03/10/2019	T1	P1	H	0	60	40
		P2	H			
		P3	H			
		P4	M			
		P5	M			
	T2	P1	H	0	60	40
		P2	H			
		P3	H			
		P4	M			
		P5	M			

	T0	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
date	aménagement	Point de mesure	humidité (aspect)	% S	%H	%M
06/10/2019	T1	P1	H	0	40	60
		P2	H			
		P3	M			
		P4	M			
		P5	M			
	T2	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			
	T0	P1	H	0	100	0
		P2	H			
		P3	H			
		P4	H			
		P5	H			

Annexe 8 : Tableaux des données de hauteurs de plantes

Bloc A

Tableau des hauteurs de plante Bloc A														
Parcelle	Dates	H1	H2	H3	H4	H5	Hmoyen (cm)	écart-type (σ)	Hi+ σ	Hi- σ	Hmax	Name_Hmax	Hmin	Name_Hmin
T1	10/08/2019	41	51	53	70	51	53,2	9,39	62,59	43,81	70	plante 4	41	plante 1
	04/09/2019	103	127	122	129	155	127,2	16,67	143,87	110,53	155	plante 5	103	plante 1
	11/09/2019	140	165	165	171	170	162,2	11,37	173,57	150,83	171	plante 4	140	plante 1
	17/09/2019	170	236	237	255	260	231,6	32,24	263,84	199,36	260	plante 5	170	plante 1
	03/10/2019	237	294	352	318	343	308,8	41,22	350,02	267,58	352	plante 3	237	plante 1
Parcelle	Dates	H1	H2	H3	H4	H5	Hmoyen (cm)	écart-type (σ)	Hi+ σ	Hi- σ	Hmax	Name_Hmax	Hmin	Name_Hmin
T2	10/08/2019	39	97	183	49	50	83,6	53,62	137,22	29,98	183	plante 3	39	plante 1
	04/09/2019	86	184	292	65	84	142,2	85,67	227,87	56,53	292	plante 3	65	plante 4
	11/09/2019	130	245	365	100	160	200	95,66	295,66	104,34	365	plante 3	100	plante 4
	17/09/2019	162	302	417	119	230	246	105,66	351,66	140,34	417	plante 3	119	plante 4
	03/10/2019	202	333	423	232	258	289,6	79,59	369,19	210,01	423	plante 3	202	plante 1
Parcelle	Dates	H1	H2	H3	H4	H5	Hmoyen (cm)	écart-type (σ)	Hi+ σ	Hi- σ	Hmax	Name_Hmax	Hmin	Name_Hmin
T0	10/08/2019	62	49	40	40	47	47,6	8,06	55,66	39,54	62	plante 1	40	plante 3
	04/09/2019	88	70	82	78	68	77,2	7,44	84,64	69,76	88	plante 1	68	plante 5

	11/09/2019	126	95	110	103	100	106,8	10,76	117,56	96,04	126	plante 1	95	plante 2
	17/09/2019	177	120	150	122	140	141,8	20,87	162,67	120,93	177	plante 1	120	plante 2
	03/10/2019	227	224	205	204	208	213,6	9,85	223,45	203,75	227	plante 1	204	plante 4

Bloc B

Tableau des hauteurs de plante Bloc B														
Parcelle	Dates	H1	H2	H3	H4	H5	Hmoyen (cm)	écart-type (σ)	Hi+ σ	Hi- σ	Hmax	Name_Hmax	Hmin	Name_Hmin
T1	12/08/2019	110	98	90	100	188	117,2	35,97	153,17	81,23	188	plante 5	90	plante 3
	05/09/2019	220	183	150	265	306	224,8	55,81	280,61	168,99	306	plante 5	150	plante 3
	15/09/2019	253	224	198	298	342	263	51,60	314,60	211,40	342	plante 5	198	plante 3
	24/09/2019	290	275	210	333	395	300,6	61,54	362,14	239,06	395	plante 5	210	plante 3
	02/10/2019	298	291	255	355	401	320	51,64	371,64	268,36	401	plante 5	255	plante 3
Parcelle	Dates	H1	H2	H3	H4	H5	Hmoyen (cm)	écart-type (σ)	Hi+ σ	Hi- σ	Hmax	Name_Hmax	Hmin	Name_Hmin
T2	12/08/2019	70	60	128	103	109	94	25,27	119,27	68,73	128	plante 3	60	plante 2
	05/09/2019	193	170	295	214	201	214,6	42,67	257,27	171,93	295	plante 3	170	plante 2

	15/09/2019	209	211	358	236	232	249,2	55,47	304,67	193,73	358	plante 3	209	plante 1
	24/09/2019	234	241	408	289	265	287,4	63,33	350,73	224,07	408	plante 3	234	plante 1
	02/10/2019	257	269	419	298	275	303,6	59,22	362,82	244,38	419	plante 3	257	plante 1
Parcelle	Dates	H1	H2	H3	H4	H5	Hmoyen (cm)	écart-type (σ)	Hi+ σ	Hi- σ	Hmax	Name_Hmax	Hmin	Name_Hmin
T0	12/08/2019	40	45	50	44	41	44	3,52	47,52	40,48	50	plante 3	40	plante 1
	05/09/2019	104	110	121	123	118	115,2	7,14	122,34	108,06	123	plante 4	104	plante 1
	15/09/2019	125	133	155	160	156	145,8	14,05	159,85	131,75	160	plante 4	125	plante 1
	24/09/2019	196	192	188	198	200	194,8	4,31	199,11	190,49	200	plante 5	188	plante 3
	02/10/2019	205	202	198	205	208	203,6	3,38	206,98	200,22	208	plante 5	198	plante 3

Annexe 9 : Tableaux des calculs de rendement

Bloc A

Rendement des grains bloc A						
	Pocket	Rendement/pocket (kg)	Nombre de ligne	Rendement parcelle (kg/0,5ha)	Rendement à l'hectare (t/ha)	Rendement moyen à l'hectare (t/ha)
T1	1	2,35	385	904,75	1,81	1,50
	2	1,85	385	712,25	1,42	
	3	1,65	385	635,25	1,27	

	Ligne	Rendement/ligne (kg)	Nombre de ligne	Rendement parcelle (kg/0,5ha)	Rendement à l'hectare (kg/ha)	Rendement moyen à l'hectare (t/ha)
T2	1	4,80	122	585,20	1,17	1,32
	2	6,31	122	770,00	1,54	
	3	5,08	122	619,85	1,24	
	Ligne	Rendement/ligne (kg)	Nombre de ligne	Rendement parcelle (kg/0,5ha)	Rendement à l'hectare (kg/ha)	Rendement moyen à l'hectare (t/ha)
T0	1	2,32	113	262,00	0,52	0,47
	2	1,85	113	209,60	0,42	
	3	2,03	113	229,25	0,46	

Bloc B

Rendement des grains Bloc B						
	Pocket	Rendement/pocket (kg)	Nombre de ligne	Rendement parcelle (kg/0,5ha)	Rendement à l'hectare (kg/ha)	Rendement moyen à l'hectare (t/ha)
T 1	1	1,69	385	650,65	1,30	1,56
	2	2,05	385	789,25	1,58	
	3	2,35	385	904,75	1,81	

T 2	Ligne	Rendement/ligne (kg)	Nombre de ligne	Rendement parcelle (kg/0,5ha)	Rendement à l'hectare (kg/ha)	Rendement moyen à l'hectare (t/ha)
	1	3,55	122	433,10	0,87	1,39
	2	7,85	122	957,70	1,92	
	3	5,69	122	694,18	1,39	
T 0	Ligne	Rendement/ligne (kg)	Nombre de ligne	Rendement parcelle (kg/0,5ha)	Rendement à l'hectare (kg/ha)	Rendement moyen à l'hectare (t/ha)
	1	1,11	113	125,43	0,25	0,40
	2	1,75	113	197,75	0,40	
	3	2,45	113	276,85	0,55	

Annexe 10 : Tableau des calculs économiques

Estimation des coûts à l'hectare				
<i>Matériels</i>				
Désignation	Unité	Quantité	PU (XOF)	PT (XOF)
Moellons	Voyage	3	30000	90000
Fil de 100 m	U	2	1500	3000
Pelles	U	2	2000	4000
Brouettes	U	2	7000	14000
Piquets	U	3	500	1500
Pioches	U	2	2000	4000
Houes	U	3	1000	3000
Fumure organique	t	5	4000	20000
Semences	Kg	6	2000	12000
NPK	Kg	150	300	45000
Urée	Kg	50	340	17000
<i>Total matériel</i>				213500
<i>Travaux</i>				
Cordons pierreux	HJ	3	5000	15000
Demi-lune	HJ	3	2000	6000
Zai	Hj	4	2000	8000
Application fumure organique	Hj	1	2000	2000
Semi	Hj	1	2000	2000
Sarclage	Hj	5	2000	10000
Application NPK	Hj	2	2000	4000
Application Urée	Hj	1	2000	2000
<i>Total Travaux</i>				49000
Total T1				254500
Total T2				256500
Total T0				27000
Estimation des revenus des grains à l'hectare				
Parcelle	Unité	Quantité	PU (XOF)	PT (XOF)
T1	Kg	1530	218	333540
T2	Kg	1360	218	296480
T0	Kg	440	218	95920
Estimation de rentabilité et bénéfice à l'hectare				
Parcelle	Coût	Revenu	Rentabilité	Bénéfice
T1	254500	333540	1,31	79040

T2	256500	296480	1,16	39980
T0	27000	95920	3,55	68920