

**BURKINA FASO**

\*\*\*\*\*

**Unité – Progrès – Justice**

\*\*\*\*\*

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

\*\*\*\*\*

**UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)**

\*\*\*\*\*

**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)**



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE**

*En vue de l'obtention du*

**DIPLÔME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL**

**OPTION: AGRONOMIE**

**THEME**

**Evaluation du modèle DSSAT pour la simulation de la  
croissance et du développement du maïs dans les conditions  
pédoclimatiques de l'Ouest du Burkina Faso**

**Présenté par : HEMA Fousséni**

**Maître de stage: Dr KOUAKOU Patrice    Directeur de mémoire: Pr SOMDA Irénée**

**Co-Directeur de mémoire: Dr SANGARE S. Khalil**

**N°:    2017/AGRO**

**Juillet 2017**

<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>Pages</b>
TABLE DES MATIERES .....	i
DEDICACE .....	iv
REMERCIEMENTS .....	v
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ANNEXES .....	viii
RESUME .....	ix
ABSTRACT.....	x
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>PREMIERE PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>4</b>
1.1. Connaissances générales sur le maïs .....	5
1.1.1. Origine, botanique et morphologie du maïs .....	5
1.1.1.1. Origine .....	5
1.1.1.2. Botanique et morphologie.....	5
1.1.2. Exigences de la culture du maïs .....	6
1.1.2.1. Climat.....	6
1.1.2.2. Sol et éléments fertilisants .....	7
1.1.3. Importance de la culture du maïs au Burkina Faso .....	7
1.1.4. Contraintes liées à la culture du maïs .....	8
1.1.4.1. Variabilité climatique.....	8
1.1.4.2. Baisse de la fertilité des sols .....	8
1.1.4.3. Maladies.....	9
1.1.4.4. Mauvaises herbes .....	9
1.1.4.5. Insectes.....	9
1.1.4.6. Contraintes techniques et économiques .....	9

1.2. Généralités sur la modélisation .....	10
1.2.1. Concepts relatifs à la modélisation et la simulation .....	10
1.2.2. Définition, caractéristiques et importance des modèles de simulation des cultures .....	10
1.2.3. Contraintes liés à l'utilisation des modèles de simulation des cultures.....	12
1.2.4. Paramétrage et évaluation des modèles de simulation des cultures .....	13
1.2.5. Présentation du modèle DSSAT .....	13
1.2.6. Modules de DSSAT.....	14
<b>DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>16</b>
2.1. Présentation du cadre d'étude.....	17
2.1.1. Caractéristiques géophysiques des zones d'étude .....	17
2.1.1.1. Situation géographique .....	17
2.1.1.2. Climat et végétation .....	18
2.1.1.3. Sols.....	22
2.2. Matériel .....	23
2.2.1. Matériel végétal .....	23
2.2.2. Fertilisants minéraux .....	23
2.2.3. Produits phytosanitaires.....	23
2.3. Méthodes .....	24
2.3.1. Dispositifs expérimentaux .....	24
2.3.2. Conduite des essais.....	25
2.4. Paramètres étudiés.....	26
2.4.1. Paramètres physiologiques .....	26
2.4.2. Paramètres agronomiques.....	27
2.4.3. Apports supplémentaires d'eau .....	28
2.4.4. Analyses du sol.....	28
2.5. Méthodologie de paramétrage et d'évaluation du modèle DSSAT .....	29

2.5.1. Paramétrage .....	29
2.5.2. Simulation.....	30
2.5.2.1. Climat.....	30
2.5.2.2. Sol .....	30
2.5.2.3. Techniques culturales.....	31
2.5.3. Evaluation.....	31
2.6. Analyse des données .....	32
<b>TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>33</b>
3.1. Croissance et du développement du maïs dans les conditions expérimentales de la station de Farako-Bâ.....	34
3.1.1. Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution du LAI .....	34
3.1.2. Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution de la paille du maïs.....	35
3.1.3. Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur les rendements grain et paille du maïs.....	36
3.2. Rendements en grain et en paille du maïs en condition réelle de culture (CPN).....	37
3.2.1. Effets des précédents culturaux sur les rendements grain et paille du maïs.....	37
3.2.2. Effets de la texture du sol sur les rendements grain et paille du maïs .....	38
3.2.3. Effets du nombre de sarclage sur les rendements grain et paille du maïs .....	38
3.3. Résultats du paramétrage du modèle DSSAT .....	39
3.3.1. Evolution du LAI.....	39
3.3.2. Evolution de la paille.....	41
3.3.3. Rendement en grain .....	42
3.4. Evaluation de la performance du modèle DSSAT .....	43
3.5. Discussion .....	45
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>50</b>

## **DEDICACE**

**A mon père et à ma mère** à qui je dois beaucoup mon éducation sociale et mon parcours scolaire et académique. Puisse Dieu vous accorder une longue vie afin que vous savouriez paisiblement le fruit de vos durs labeurs et sacrifices !

**A ma grand-mère chérie** pour son affection, ses conseils et prières consentis à mon égard depuis mon enfance. Puisse Dieu lui permettre de bénéficier des récompenses de ses actes !

**A tous mes frères et sœurs** pour leurs encouragements combien importants. Puisse l'amour fraternel se renforcer davantage dans nos cœurs !

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous adressons nos sincères remerciements :

- au Dr Valentine C.YAPIGNAORE, Directrice générale du CIRDES, de nous avoir accepté au sein de sa structure ;
- à notre maître de stage Dr Patrice KOUAKOU, Chercheur au CIRAD/CIRDES pour la qualité de l'encadrement reçu, et pour toute l'énergie dépensée pour que ce travail soit réalisé. Je voudrais qu'il trouve ici ma profonde gratitude et reconnaissance pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour faciliter notre travail ;
- à notre Directeur de mémoire le Pr Irénée SOMDA pour l'intérêt particulier porté à notre thème ;
- à notre Co-Directeur de mémoire Dr Sheick Khalil SANGARE, Enseignant chercheur à l'IDR, pour sa contribution à la rédaction de ce mémoire ;
- au corps professoral de l'IDR, pour son encadrement technique et scientifique au cours de notre formation ;
- à tout le personnel du CIRDES, en particulier Dr Augustin BANCE, M. Ollo SIB et M<sup>me</sup> SOURA pour leur franche collaboration durant le stage ;
- à tous nos oncles, en l'occurrence à Tonton Adama Jean TRAORE et Tonton Baba SOMA, pour leurs soutiens multiformes et multiples que chacun d'eux nous a apportés durant notre cursus scolaire et académique. Trouvez en ce travail le fruit d'un neveu qui vous suis et vous serai toujours reconnaissant. A vos épouses, je dis infiniment merci ;
- à tous nos camarades stagiaires et de classe Issifou AMADOU, Rabiadou BACIA, Bienvenu SOMDA, Siaka OUATTARA, Abdoul Aziz TAPSOBA, Hadara KAWASSE, Inoussa SAVADOGO, Faïçal SANON, Florentin SANOU, Daouda TRAORE et Mathias TRAORE pour leur soutien multiple durant ce moment passé ;
- enfin à tous ceux qui m'ont toujours soutenu durant mon parcours scolaire et académique dont les noms n'ont pu être cités, qu'ils soient comblés au-delà de leurs attentes.

## SIGLES ET ABREVIATIONS

<b>APSIM:</b>	<i>Agricultural Production Systems Simulator;</i>
<b>BUNASOLS :</b>	Bureau National des Sols ;
<b>CIMMYT :</b>	Centre international d'amélioration du maïs et du blé ;
<b>CIRAD :</b>	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement ;
<b>CIRDES :</b>	Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide ;
<b>CPN :</b>	Camp peulh de Nasso ;
<b>DSSAT:</b>	<i>Decision Support System for Agro-technology Transfer;</i>
<b>FAO :</b>	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture ;
<b>GRET:</b>	Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques ;
<b>IA :</b>	Indice d'agrément ;
<b>IBSNAT:</b>	<i>International Benchmark Sites Network for Agro-technology Transfer;</i>
<b>IDR :</b>	Institut du Développement Rural ;
<b>INERA :</b>	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles ;
<b>INSD :</b>	Institut National de la Statistique et de la Démographie ;
<b>LAI :</b>	<i>Leaf Area Index ;</i>
<b>MARHASA :</b>	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire ;
<b>MSC :</b>	Modèles de simulation des cultures ;
<b>PRESAO :</b>	Programme de Renforcement et de Recherche sur la Sécurité Alimentaire en Afrique de l'Ouest ;
<b>RRMSE :</b>	Racine de l'erreur quadratique moyenne relative ;
<b>SLPF :</b>	Facteur ou coefficient de fertilité du sol ;
<b>SR 21 :</b>	<i>Streat resistant n°21 ;</i>
<b>UNB :</b>	Université Nazi BONI.

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1:</b> Diversité des épis de maïs .....	6
<b>Figure 2:</b> Situation géographique des sites d'études.....	18
<b>Figure 3:</b> Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle et du nombre de jours de pluie à Farako-Bâ pour l'année 2016.....	19
<b>Figure 4:</b> Variation de la pluviométrie moyenne annuelle et du nombre de jours de pluie à Farako-Bâ de 2007 à 2016.....	19
<b>Figure 5:</b> Evolution de la température moyenne mensuelle du site de Farako-Bâ pour l'année 2016.....	20
<b>Figure 6:</b> Variation de la durée d'ensoleillement et de l'hygrométrie du site de Farako-Bâ pour l'année 2016. ....	20
<b>Figure 7:</b> Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle et du nombre de jours de pluie au CPN pour l'année 2016.....	21
<b>Figure 8:</b> Evolution de la température moyenne mensuelle au CPN pour l'année 2016.....	22
<b>Figure 9:</b> Schéma du dispositif expérimental de Farako-Bâ.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure 10:</b> Schéma du dispositif expérimental du CPN.....	25
<b>Figure 11:</b> Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution de l'indice foliaire du maïs. ....	34
<b>Figure 12:</b> Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution de la paille du maïs.....	35
<b>Figure 13:</b> Résultats de paramétrage de la variété SR21 sous différentes conditions d'alimentation hydrique et en condition de stress azoté pour le LAI .....	40
<b>Figure 14:</b> Résultats de paramétrage de la variété SR21 en condition optimale d'apports azotés et sous différentes conditions hydriques pour le LAI .....	40
<b>Figure 15 :</b> Résultats de paramétrage de la variété SR21 sous différentes conditions d'alimentation hydrique et en condition de stress azoté pour la biomasse aérienne .....	41
<b>Figure 16 :</b> Résultats de paramétrage de la variété SR21 en condition optimale d'apports azotés et sous différentes conditions hydriques pour la biomasse aérienne .....	42
<b>Figure 17 :</b> Résultats de paramétrage de la variété SR21 sous différentes conditions d'alimentation hydrique et d'apport azotés pour le rendement grain .....	43
<b>Figure 18 :</b> Représentation dispersée du rendement en grain simulé en fonction du rendement en grain observé .....	44



## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I :</b> Caractéristiques de la variété de maïs SR21 .....	23
<b>Tableau II :</b> Coefficients génétiques paramétrés sous DSSAT .....	29
<b>Tableau III :</b> Effets combinés de l'irrigation d'appoint et de la fertilisation sur les rendements grain et paille du maïs.....	36
<b>Tableau IV :</b> Effets des précédents culturaux sur les rendements grain et paille du maïs .....	37
<b>Tableau V :</b> Effets de la texture du sol sur les rendements grain et paille du maïs.....	38
<b>Tableau VI :</b> Effets du nombre de sarclage sur les rendements grain et paille du maïs.....	39

## **LISTE DES ANNEXES**

<b>Annexe 1 :</b> Le système DSSAT montrant les principaux modules .....	b
<b>Annexe 2 :</b> Les photos des principaux outils utilisés .....	c
<b>Annexe 3 :</b> Le calendrier cultural suivi à la station de Farako-Bâ .....	d
<b>Annexe 4 :</b> Le calendrier cultural adopté par les agro-éleveurs du CPN .....	e
<b>Annexe 5 :</b> Mesure du LAI avec le Sunscan .....	f
<b>Annexe 6 :</b> Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol de Farako-Bâ.....	g

## RESUME

Dans l'optique d'améliorer la productivité du maïs dans la zone Ouest du Burkina Faso, une étude expérimentale a été conduite à la station de recherche agricole de Farako-Bâ (11°06 Nord 4°20 Ouest) et en milieu paysan, plus précisément au Camp peul de Nasso (CPN) (11°15 Nord, 4°25 Ouest). Spécifiquement, il s'agissait d'évaluer l'effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement du maïs, ensuite paramétrer le modèle DSSAT en station, et enfin apprécier sa capacité à prédire le rendement du maïs sur les parcelles paysannes. L'estimation du LAI (indice de surface foliaire), de la paille et du rendement en grain par le modèle ont été d'un intérêt capital pour apprécier la qualité du paramétrage. L'analyse des résultats agronomiques en station a montré que l'irrigation de complément associée à un apport optimal d'engrais minéraux permet d'accroître les rendements en grain et en paille du maïs respectivement de 18 et 51 %. Par ailleurs, les résultats de modélisation ont indiqué que le paramétrage du modèle n'a pas été, en général, satisfaisant. Cela s'est traduit par des écarts considérables entre valeurs simulées et mesurées pour le LAI, la paille et le rendement en grain. Cependant, le paramétrage tel qu'il a été conduit a permis d'obtenir quelques résultats de simulation relativement satisfaisants en condition hydrominérale optimale surtout pour le rendement en grain. En définitive, la performance du modèle, à simuler le rendement du maïs en milieu paysan, n'a pas été bonne comme le témoignent les valeurs de RRMSE et de IA qui sont respectivement de 74 % et 0,2.

**Mots-clés :** modèle DSSAT, paramétrage, performance, irrigation de complément, *Zea mays* (L.), Burkina Faso

## ABSTRACT

In order to improve the productivity of maize in cropping systems in the western area of Burkina Faso, an experimental study was conducted at the Farako-Bâ station (11° 06 North 4° 20 West) and in a peasant environment, more precisely at Fulani Camp of Nasso (FCN) (11° 15 North, 4° 25 West). Specifically, it was necessary to evaluate the effect of supplementary irrigation on maize yield, then to parameterize the DSSAT model at the station, and finally to test its capacity to predict the yield of maize on peasant plots. The estimation of LAI (Leaf Area Index), straw and grain yield by the model were of paramount interest to appreciate the quality of the parameterization. Analysis of the agronomic results in station showed that supplementary irrigation combined with optimal intake of mineral fertilizers increases grain and straw yields by 18 and 51%, respectively. In addition, the modeling results indicated that the parameterization of the model was not generally satisfactory. This resulted in considerable differences between simulated and measured values for LAI, straw and grain yield. These differences could be partly due to the use of less reliable data, especially on the ground, to parameterize the model. Despite this observation, the parameterization of DSSAT permitted to obtain some relatively satisfactory results in optimum water and mineral condition, especially for grain yield. Generally, the model's performance in simulating maize yield in a peasant environment was not good, as shown by the RRMSE and IA values of 74 % and 0.2, respectively.

**Keywords:** model DSSAT, parameterization, performance, supplementary irrigation, *Zea mays* (L.), Burkina Faso

## INTRODUCTION

Troisième céréale la plus importante au monde après le blé et le riz, le maïs est la culture alimentaire de base la plus largement pratiquée en Afrique sub-saharienne (FAO, 2007 ; CHISANGA *et al.*, 2014 ). Le rôle central de cette spéculiation comme aliment de base dans cette partie de l'Afrique est comparable à celui du riz ou du blé en Asie (MACAULEY et RAMADJITA, 2015). En outre, des 22 pays au monde, où le maïs présente la proportion la plus élevée d'apport calorique dans le régime alimentaire national, 16 sont en Afrique (BÂNZIGER et DIALLO, 2000).

Au Burkina Faso, cette céréale occupe la deuxième place après le sorgho, tant au niveau de la superficie des terres cultivées, de la production qu'au niveau de la consommation (MARHASA, 2015). Dans l'Ouest du pays, le maïs est la première culture vivrière (INSD, 2015). Cela est dû au fait que le maïs rentre, dans la majorité des cas, dans un système de rotation avec le coton, et profite de l'arrière-effet positif induit par l'engrais coton comme l'ont rapporté plusieurs auteurs (SCHWARTZ, 1996 ; BOLI *et al.*, 1998 ; SCHWARTZ, 2000 ; KOULIBALY *et al.*, 2009 ; RIPOCHE *et al.*, 2015 ; SISSOKO *et al.*, 2015). De nos jours, le maïs est devenu une denrée de première nécessité pour les populations de l'Ouest du Burkina Faso (MARHASA, 2015). Malheureusement, depuis quelques années, cette zone subit les effets du changement climatique dont l'une des manifestations visibles est la variabilité de la pluie. A cela, vient s'ajouter la baisse de la fertilité des sols, qui se manifeste à différentes échelles, du niveau régional au niveau villageois et jusqu'au niveau des parcelles (FAO, 2007). Ce qui affecte considérablement la stabilité des rendements et entraîne des incertitudes et risques dans la production (SEDOGO *et al.*, 1991 ; BADO *et al.*, 1997 ; LAL, 2002 ; CIMMYT, 2006 ; SCHLENKER et LOBELL, 2010). En effet, les recommandations de nouvelles technologies pour une meilleure productivité des cultures devraient être spécifiques aux sites (BONTKES et WOPEREIS, 2003). Or, il est clair que de telles recommandations ne peuvent être obtenues par l'expérimentation seule, parce que les coûts en seraient beaucoup trop élevés. Par conséquent, l'approche la plus prometteuse pourrait être l'utilisation des outils d'aide à la réflexion tels les modèles de simulation des cultures (MSC), qui ont la particularité de limiter le nombre de solutions à tester en expérimentation, que ce soit en milieu paysan ou en station. Les MSC sont reconnus pour leur facilité à analyser les pratiques paysannes, et à identifier les domaines où l'amélioration serait possible (HOOGENBOOM *et al.*, 1999). Il existe plusieurs modèles de culture dédiés aux céréales sèches cultivées en Afrique de l'Ouest. Au nombre de ces modèles, figure

DSSAT (Decision support system for Agrotechnology Transfer en abréviation anglo-saxonne), qui reproduit le fonctionnement de la plante en s'appuyant sur de simples équations caractérisant le bilan hydrique et azoté de la parcelle. Le modèle DSSAT fait partie des modèles préconisés pour la simulation des stades phénologiques, le rendement en grain et ses composantes (SAMBA *et al.*, 2001, JONES *et al.*, 2003). Son utilisation, à travers le monde, s'est fortement couronnée de résultats appréciables et ce, suivant différentes cultures (HANSEN, 1994 ; SINGH, 1999 ; DZOTSI, 2002 ; KOUAKOU, 2013).

Ainsi, face à une demande alimentaire céréalière sans cesse croissante en général, et celle du maïs en particulier, l'utilisation d'un tel instrument pour reproduire le fonctionnement ainsi que le rendement du maïs dans la partie Ouest du Burkina Faso s'est avérée utile. Ceci permettra d'une part de réorienter les acquis de la recherche pour une amélioration de la productivité du maïs dans un contexte de variabilité climatique de plus en plus croissant, et d'autre part aider les décideurs politiques à anticiper sur les années de mauvaises récoltes en prenant ainsi, en temps opportun et à moindres coûts, des mesures idoines. C'est dans cette dynamique que la présente étude intitulée «Evaluation du modèle DSSAT pour la simulation de la croissance et du développement du maïs dans les conditions pédoclimatiques de l'Ouest du Burkina Faso» a été motivée.

L'objectif global de l'étude vise à améliorer la productivité du maïs dans les systèmes de culture de l'Ouest du Burkina Faso. Plus spécifiquement, il s'agit d'évaluer l'effet de l'irrigation de complément sur le rendement du maïs, ensuite paramétrer le modèle DSSAT sous les conditions édapho-climatiques de l'Ouest du Burkina Faso, et enfin tester la performance de DSSAT à simuler le rendement du maïs en milieu réel de culture.

Notre approche est donc fondée autour des hypothèses (H) suivantes:

**H<sub>1</sub>** : l'irrigation d'appoint accroît le rendement du maïs dans la zone soudanienne du Burkina Faso ;

**H<sub>2</sub>** : le paramétrage du modèle DSSAT peut être effectué dans le contexte édapho-climatique de l'Ouest du Burkina Faso ;

**H<sub>3</sub>** : le modèle DSSAT permet de simuler le rendement du maïs en condition réelle de culture de l'Ouest du Burkina Faso.

Le présent mémoire est structuré en 3 parties: la première partie fait l'état de lieu des connaissances sur la culture du maïs et le modèle DSSAT, la seconde partie renseigne sur le

matériel et méthodes utilisés, et enfin la troisième partie expose les résultats et leurs interprétations suivi d'une conclusion.

## **PREMIERE PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **1.1. Connaissances générales sur le maïs**

### **1.1.1. Origine, botanique et morphologie du maïs**

#### **1.1.1.1. Origine**

Le maïs est une plante tropicale herbacée. Son origine reste toujours imprécise. Elle n'est encore qu'à l'état d'hypothèses. Par ailleurs, l'on s'accorde à dire que son évolution vers les formes actuelles se serait déroulée en Amérique centrale, plus précisément dans les hauts plateaux mexicains où de nombreux échantillons témoigneraient de sa présence à plus de 5000 ans avant Jésus-Christ (PERNEJ, 1983 ; ROUANET, 1984 ; GAY, 1984). Son introduction en Afrique daterait du XVII<sup>e</sup> siècle (GRET, 2002).

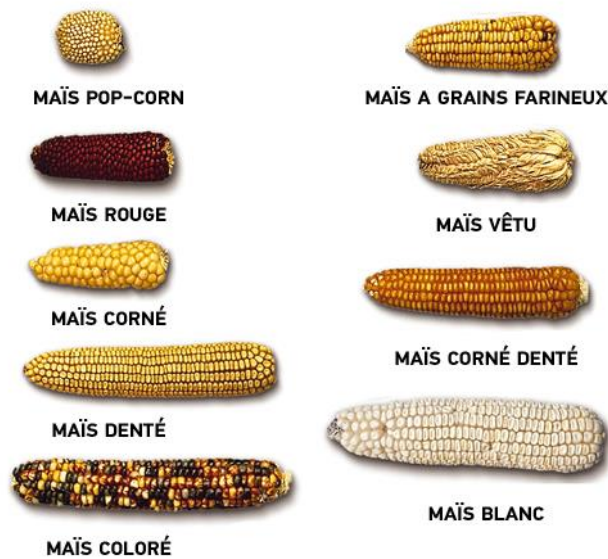
#### **1.1.1.2. Botanique et morphologie**

Le maïs, du nom scientifique *Zea mays* (L), appartient à la classe des monocotylédones, la sous-classe des commélinidées, l'ordre des cypérales, la famille des poacées, la sous-famille des panicoïdées et la tribu des andropogonées (ROUANET, 1984).

Le maïs est une céréale herbacée annuelle, à tallage faible ou même nul. Elle est une graminée monoïque qui présente de larges diversités morphologiques selon les variétés (GRET, 2002). Le maïs présente des racines de types fasciculés, aussi traçantes que plongeantes qui explorent un volume de plusieurs mètres cube de terre dont elles améliorent la structure. Les feuilles sont engainantes à nervures parallèles, alternées et larges. Le nombre de feuilles varie en fonction des génotypes ou variétés. Le limbe a une longueur d'environ 1 mètre avec une ligule à sa base. La tige est généralement unique et ronde, plus ou moins cannelée et présente des entre-nœuds presque cylindriques à diamètre d'environ 3 à 4 centimètres. Elle mesure généralement 1,5 à 2,5 mètres de hauteur, mais peut atteindre 4 mètres voire 6 mètres (PODA, 1979 ; GRET, 2002). La tige du maïs a une valeur fourragère intéressante car elle est remplie de moelle sucrée. Le maïs est une espèce à pollinisation croisée où les inflorescences femelles (épis) et les inflorescences mâles (panicules) sont disposées à des endroits distincts sur la plante. Ce qui lui confère son caractère de plante monoïque. Cette monœcie combinée le plus souvent à la protandrie réduit considérablement l'autofécondation au profit de l'allogamie (95 %). Ce qui explique le fort taux d'hybridation chez cette plante. Les épis, souvent à raison d'un épi par tige sont formés d'un nombre variable de rangées de grains (de 12 à 16), qui fournissent entre 300 à 1000 grains. Le fruit



est un caryopse comme chez toutes les céréales. Le grain de maïs est formé d'un embryon, d'un tissu de réserve (l'albumen) et d'une enveloppe fine et translucide (le péricarpe). L'albumen est constitué essentiellement de grains d'amidon ; c'est l'amidon corné qui donne sa couleur aux grains de maïs, généralement jaune, blanc, rouge ou noir (BAMBARA, 2012). A titre illustratif, la figure 1 montre la diversité des épis que l'on peut obtenir selon les variétés.



**Figure 1:** Diversité des épis de maïs

([www.gnis-pedagogie.org](http://www.gnis-pedagogie.org))

## 1.1.2. Exigences de la culture du maïs

### 1.1.2.1. Climat

Le maïs est une plante héliophile. Cependant, il est très vulnérable aux températures élevées qui limitent son rendement. La culture du maïs nécessite une température minimum de 10°C pour une germination active et au moins 18°C pour la floraison (GRET, 2002). Il est incapable de germer à une température inférieure à 5°C (NORMAN *et al.*, 1995). En condition de basses températures, la croissance de la plante est ralentie et son cycle est allongé (OUBDA, 2014). Le maïs est classé parmi les plantes de jours courts, la floraison est retardée par des photopériodes supérieures à 12,5 heures. Mais, il existe des cultivars qui sont peu sensibles ou même ne présentent aucune sensibilité par rapport aux jours longs. La température influe considérablement sur la durée du cycle végétatif. Les températures

deviennent défavorables quand le sol est mal humidifié (ROUANET, 1984). Selon GRET (2002), les fortes températures peuvent, surtout si elles sont associées à un climat sec ou venteux (saison sèche chaude du Sahel), provoquer des brûlures sur les feuilles.

L'eau joue un rôle indispensable dans la croissance et le développement du maïs et donc, dans l'expression de son potentiel de rendement. Comparativement à certaines plantes céréalières telles que le sorgho ou le mil, le maïs est une plante exigeante en eau (OUBDA, 2014). Par contre, l'excès d'eau peut provoquer l'asphyxie ou même la pourriture des racines (GRET, 2002). La culture du maïs nécessite une pluviométrie supérieure à 700 mm. Cette quantité dépend toutefois du climat et de la durée du cycle de culture (PODA, 1979). Chez cette plante, la floraison est la période la plus critique du point de vue exigence en eau. Ces besoins s'estiment à environ 45 % du total de la consommation hydrique et se situent de 15 à 20 jours avant et 15 à 20 jours après la floraison mâle (CIMMYT, 1991). Au Burkina Faso, on estime les besoins en eau à environ 5,2-5,5 mm.jour<sup>-1</sup> jusqu'à la floraison, 6 mm.jour<sup>-1</sup> de la période de floraison à la formation des grains et moins 4 mm.jour<sup>-1</sup> après la formation des grains (HIEMA, 2005). Selon GRET (2002), toutes les phases de développement du maïs sont déterminantes pour une bonne expression de son rendement final. Par conséquent, chacune d'entre elles peut, sous l'effet d'un stress hydrique, contribuer à diminuer le rendement potentiel.

#### **1.1.2.2. Sol et éléments fertilisants**

Le maïs est une plante très sensible aux variations de la fertilité du sol. En général, le maïs pousse sur la quasi-totalité des sols, pourvu qu'ils soient sains, profonds, aérés et bien drainés. Il préfère particulièrement les sols riches en matière organique et dotés de bonnes propriétés physiques. Le maïs a une réelle aptitude à utiliser les ressources du sol ce qui fait de lui une culture très sensible aux précédents culturels, mais aussi une culture épuisante, laissant le sol fortement appauvri après une récolte importante (GROS, 1974 ; GRET, 2002).

#### **1.1.3. Importance de la culture du maïs au Burkina Faso**

Au Burkina Faso, le maïs constitue la deuxième céréale la plus cultivée après le sorgho tant du point de vue de la superficie cultivée, de la production qu'au niveau de la consommation (MARHASA, 2015). La maïsiculture connaît un regain d'intérêt au cours de

ces dernières années. Cette céréale est ainsi passée de 9 % à plus de 33 % de la production céréalière totale du pays entre 1985 et 2013. Les quantités produites sont passées de 0,8 millions de tonnes en 2005 à plus de 1,5 millions en 2013 (MARHASA, 2015). Cette croissance, de 9,7 % en moyenne sur la période, est due à l'extension des surfaces comme à la hausse des rendements. D'un point de vue spatial, la zone de culture du maïs représente les  $\frac{3}{4}$  de la superficie totale des terres cultivées. SARR *et al.* (2011) notent une constante augmentation des superficies emblavées en maïs depuis les années 2000.

Par ailleurs, la culture du maïs au Burkina Faso est essentiellement pluviale, toutefois des efforts sont entrepris avec la petite irrigation ces dernières années avec un rendement à l'hectare de 3,7 tonnes contre 1,5 tonnes en pluviale (ZOMA, 2010; PRESAO, 2011).

#### **1.1.4. Contraintes liées à la culture du maïs**

##### **1.1.4.1. Variabilité climatique**

Le maïs est une culture sensible aux aléas climatiques liés à la variabilité et aux extrêmes pluviométriques. En effet, la variabilité des pluies est souvent conjuguée à des événements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses et températures chaudes) qui ont des conséquences désastreuses sur la production agricole et les revenus des populations (SARR et LONA, 2009).

##### **1.1.4.2. Baisse de la fertilité des sols**

Au Burkina Faso, les sols présentent de façon générale une faible teneur en matière organique, une forte carence en phosphore, une déficience en azote, une carence relativement marquée en potassium et une pauvreté en bases échangeables (DAKOUO, 1991 ; PIERI, 1989). Pour ROY *et al.* (2005), les contraintes biophysiques demeurent les difficultés majeures de gestion de la fertilité des sols. Selon ces auteurs, ces dernières se traduiraient par une utilisation limitée ou inefficace de fumier et d'engrais minéraux par les producteurs. Par ailleurs, SEDOGO (1993) et TRAORE (2007) remarquent une tendance générale à l'acidification des sols en cours de culture sur toute l'étendue du territoire. Cette acidification des sols, selon PIERI (1989), est un phénomène qui résulte de la perte des bases échangeables au profit des ions hydrogènes (H<sup>+</sup>). On observe sur ces sols relativement acides, une

manifestation de l'aluminium dès que le pH est en dessous de 5 (DAKOUO, 1994). Au regard de ces caractéristiques, la plupart des sols du Burkina Faso est qualifiée par DECKERS (1993) cité par TRAORE (2007) de sols à fertilité chimique médiocre.

#### **1.1.4.3. Maladies**

De multiples pathologies déclenchées par des champignons, des bactéries, des virus entraînent d'importantes pertes de rendement au champ. Quelques-unes des plus importantes sont: les pourritures des épis dues aux champignons comme *Aspergillus niger* ou *Fusarium verticillioides*, le mildiou du maïs, la rouille américaine, le charbon, les brûlures des feuilles, la striure du maïs (ROUANET, 1984 ; AHMADI *et al*, 2006).

#### **1.1.4.4. Mauvaises herbes**

Les mauvaises herbes constituent de véritables ennemis pour les cultures. Elles contribuent à réduire de manière considérable les ressources du milieu (eau, éléments nutritifs, lumière) au désavantage des cultures. Selon PALIWAL *et al.* (2002), les pertes engendrées par les mauvaises herbes peuvent varier de l'ordre de 20 à 100 %. Pour ROUANET (1984) le maïs reste vulnérable à la concurrence des adventices jusqu'au stade 12 feuilles.

#### **1.1.4.5. Insectes**

D'énormes insectes attaquent les cultures soit au champ entraînant des dégâts sur les tiges (borers), les racines (rootworms), les feuilles (aphides, criquets) soit à la post-production rendant parfois inutilisables les grains en entrepôt. Ces derniers dégâts sont généralement dus aux charançons, aux grands capucins et aux capucins des grains (ABGA, 2013).

#### **1.1.4.6. Contraintes techniques et économiques**

Elles proviendraient d'une part de la mauvaise assimilation par les producteurs des connaissances techniques, et d'autre part du coût élevé des intrants agricoles. Egalement, la culture pluviale du maïs et la variabilité climatique obligerait de plus en plus les

producteurs à une acclimatation aux nouvelles technologies de production, parfois coûteuses d'accès. Outre ces limites, pourraient s'ajouter:

- l'absence d'une politique de diversification et d'utilisation du maïs et de ses sous-produits ;
- la fluctuation incessante du prix du maïs sur le marché ;
- les droits fonciers mal définis, etc.

## **1.2. Généralités sur la modélisation**

### **1.2.1. Concepts relatifs à la modélisation et la simulation**

La modélisation et la simulation sont des outils pluridisciplinaires pour l'étude de systèmes dynamiques, par exemple un agroécosystème. Un système dynamique est un ensemble d'éléments interagissant et évoluant selon une variable temporelle (DZOTSI 2002 ; GEOFFROY, 2008). Pour ces auteurs, la modélisation d'un système consiste à créer un objet abstrait; le modèle, représentant la structure et la dynamique mimant au mieux les propriétés du dit système.

La simulation est une expérience réalisée sur un modèle à condition qu'il soit d'une part contrôlable (les entrées) et observable (sorties) d'autre part. Elle se fixe pour objectif de comprendre, prédire et influencer sur le comportement du système réel. Les informations issues du résultat d'une simulation sont fortement dépendantes de la manière dont le système a été modélisé. Les motivations pour utiliser une simulation sont multiples (DELFORGE, 1984). Selon GEOFFROY (2008), elles reposent le plus souvent sur les coûts onéreux des expériences et/ou à la complexité des systèmes que l'on souhaite étudier.

### **1.2.2. Définition, caractéristiques et importance des modèles de simulation des cultures**

Un modèle, dans le domaine agricole, est un outil qui intègre les connaissances acquises sur les systèmes agricoles. Les MSC sont des outils mathématiques et informatiques qui simulent le fonctionnement dynamique d'une culture en interaction avec le climat, le sol et les pratiques agricoles. Ils ont été développés depuis une quarantaine d'années. Leur naissance correspond à une mise en valeur des travaux sur la photosynthèse et la respiration

avec une mise en relation entre la biomasse accumulée et les processus instantanés (DE WIT *et al.*, 1970).

Les MSC intègrent la plupart des processus physiologiques qui sont mis en jeu dans la chaîne de production végétale. Ils sont constitués d'un ensemble de relations mathématiques décrivant le fonctionnement du système sol-plantes en interaction avec le climat et les opérations techniques. Pour ces raisons, ils sont qualifiés de modèles écophysologiques (BRISSON, 2009). Les équations mathématiques, appelées aussi formalismes, sont constituées de variables d'état qui caractérisent l'état du système à différents pas de temps, et de paramètres, qui constituent les constantes des équations mathématiques utilisées. Les variables d'entrées décrivent les conditions du système, tels que les états initiaux du sol, la météorologie journalière (rayonnement global, températures minimales et maximales, pluviométrie) et l'itinéraire technique. Les paramètres sont relatifs à des propriétés intrinsèques du système et ils gèrent les relations entre les variables d'état. Leur valeur ne change pas durant les simulations. Les variables de sorties constituent les résultats intermédiaires ou finaux de la simulation (JONES et LUYTEN, 1998).

Une des caractéristiques majeures des MSC est leur structure élaborée et leur formulation mathématique plus ou moins complexe. Ils ont l'avantage de permettre de faire des simulations souvent difficiles à réaliser expérimentalement. De ce fait, ils sont d'un intérêt vital pour la recherche. Le principal inconvénient de ces modèles est la difficulté de leur validation (BRISSON, 2009).

Les MSC gouvernent au pas de temps journalier un développement du couvert reposant sur le fonctionnement carboné des plantes. Le rayonnement intercepté est transformé en biomasse qui, selon les choix de représentation du système, est répartie dans différents types d'organes. Cette répartition des assimilats repose sur des proportions préétablies en fonction des stades de développement ou sur des équilibres «sources-puits» (BRISSON, 2009). Dans tous les MSC, c'est le flux de matière carbonée qui pilote le fonctionnement trophique de la plante. Il est accompagné, dans certains cas, d'un flux d'azote pouvant également être soumis à une loi de répartition entre organes. L'essentiel des autres processus est introduit dans les modèles comme des flux d'information servant à orienter, modifier ou limiter le flux de carbone (BRISSON, 2009).

Toutefois, plusieurs familles de modèles ont été créées, selon des concepts souvent proches, mais avec des approches plus ou moins empiriques ou mécanistes et des spécificités qui varient selon les objectifs. Selon SULTAN *et al.* 2010, on distingue 2 catégories de modèles :

- les **modèles empiriques** (également appelés statistiques ou corrélatifs) qui décrivent l'évolution d'un système au travers de relations simplifiées entre les différentes variables sans faire de référence précise au fonctionnement biologique ou physique, ni fournir d'explications ;

- les **modèles mécanistes** qui décrivent et quantifient les mécanismes et les processus qui interviennent au niveau de la plante et du sol en se basant sur la formalisation d'hypothèses concernant les fonctionnements physiologique et physique du système étudié. Parmi les modèles mécanistes, il y a des modèles dynamiques et statiques. Par opposition au modèle statique, les modèles dynamiques simulent la dynamique de croissance, de développement, le rendement des cultures voire les différents stress environnementaux agissant sur les cultures. On peut citer en exemple le modèle DSSAT, APSIM (Agricultural Production Systems Simulator).

Les modèles de cultures regorgent d'innombrables atouts tant sur le plan de la recherche-action que de la formation. Ils sont utilisés par la recherche en vue d'identifier les lacunes dans les connaissances ; les fausses hypothèses et de fournir de nouveaux aperçus. Ils permettent de générer, tester des hypothèses et aider à concevoir les expérimentations (TOULET, 2012). Aussi, dans les sciences agronomiques, l'utilisation des modèles permet de mieux gérer les espèces menacées et les ravageurs, de comprendre les concurrences entre les espèces interspécifiques et intra spécifiques, de prédire la croissance des plantes, et de mieux résoudre le problème des gaz à effet de serre. De même, ils peuvent servir de simples outils pédagogiques (BRISSON *et al.*, 2002 ; LAMBONI *et al.*, 2009).

### **1.2.3. Contraintes liés à l'utilisation des modèles de simulation des cultures**

Les MSC présentent certaines limites auxquelles les scientifiques doivent remédier : degré de précision des résultats inconnus, contrôle de qualité insuffisant par manque de critères devant justifier cette qualité et une simplification exagérée des phénomènes réels. Au milieu de ces contraintes, s'intercalent la rareté des données d'entrée, surtout dans les pays en

développement à l'instar de ceux de l'Afrique subsaharienne, le manque d'outils informatiques adéquats, le nombre insuffisant de scientifiques formés en la matière. A cela, s'ajoute la complexité des systèmes de production (BONTKES et WOPEREIS, 2003).

#### **1.2.4. Paramétrage et évaluation des modèles de simulation des cultures**

Les modèles de cultures, à l'instar de DSSAT, comportent diverses étapes dans leur application. Parmi celles-ci nous pouvons retenir :

- le **paramétrage** : il consiste à déterminer les paramètres nécessaires au fonctionnement du modèle tels que les informations sur le climat, le sol, les techniques culturales et la variété. Les valeurs des paramètres peuvent être acquises à partir d'expériences, ou par le biais de la littérature ou en faisant recours à une expertise.

- l'**évaluation** : elle consiste à comparer les valeurs des observations avec celles de la simulation. Il s'agit de tester statistiquement la précision avec laquelle le modèle décrit un système réel. Elle implique de définir des critères qui permettent de considérer qu'un modèle est «acceptable ou pas» en fonction des objectifs qu'il poursuit et ensuite de le tester en fonction de ces critères (JONES et KINIRY, 1986 ; DU TOIT *et al.*, 2001).

#### **1.2.5. Présentation du modèle DSSAT**

Le système DSSAT a été développé par un réseau international de scientifiques, collaborant au projet «International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer» (IBSNAT). Il fut publié pour la première fois (version 2.1) en 1989, et ne cesse de faire l'objet de refontes régulières au fil des années afin d'y incorporer de nouvelles pistes de recherche (HOOGENBOOM *et al.*, 1999). DSSAT est un outil d'aide à la décision conçu pour intégrer les connaissances sur le sol, le climat et la gestion des cultures. Il est utilisé depuis plus d'une vingtaine d'années par des chercheurs, des éducateurs, des consultants, des agents de vulgarisation, des producteurs et des décideurs partout dans le monde à divers buts incluant la gestion des cultures, les études d'impacts sur les changements climatiques, l'agriculture de précision, les recherches durables, etc. (FETCHER *et al.*, 1991; <http://dssat.net>).



C'est un logiciel d'application qui comprend des modèles de culture pour plus de 42 cultures. DSSAT s'appuie sur les bilans radiatif, carboné, hydrique et azoté pour simuler la croissance, le développement et le rendement d'une parcelle de culture sur un pas de temps journalier (<http://dssat.net>). A partir de plusieurs systèmes d'équations mathématiques liés les uns aux autres, le modèle simule le fonctionnement de la culture dans la parcelle en s'appuyant sur 4 séries de données : les informations sur le sol (caractéristiques physico-chimiques, profondeur, pente), les conditions climatiques (températures minimales et maximales journalières, humidité moyenne, vent moyen, rayonnement solaire, pluviométrie), des caractéristiques de la plante cultivée (simplifiées au travers d'un nombre réduit de paramètres) et les données décrivant les techniques culturales pratiquées (préparation du sol, mise en place de la culture, modalités d'entretien, récolte) (IBSNAT, 1990). Les principales sorties du modèle DSSAT exploitées par la plupart des agro-modélisateurs concernent la phénologie (surtout les stades de floraison et de maturité), l'indice de surface foliaire (LAI), la production de biomasse et sa répartition entre racines, tiges, feuilles, et grains (JONES *et al.*, 1998).

### 1.2.6. Modules de DSSAT

Le système DSSAT comporte un certain nombre de modules qui sont de véritables programmes indépendants mais interagissant les uns avec les autres au cours d'une simulation. Il s'agit du:

- module principal ou fonction principale «*Main module*» : le programme principal contrôle le fonctionnement des différents modes de simulation et fournit les variables de commande de synchronisation et de simulation à tous les modules ;
- module d'unité terrestre «*Land unit module*» : ce module lie les modèles de culture au programme principal comme le montre l'annexe 1 ;
- module météo «*Weather module*» : il a pour fonction principale de lire ou générer des données météorologiques journalières (les températures maximale et minimale de l'air, le rayonnement solaire, les précipitations, l'humidité relative, la vitesse du vent, etc.) ;
- module sol «*Soil module*» : le sol est formé d'un empilement de couches homogènes. Ce composant intègre l'information provenant de quatre sous-modules: l'eau du sol, la température du sol, le carbone et l'azote du sol et la dynamique du sol ;

– module plante «*Plant module*» : il relie la dynamique de croissance des plantes aux autres modules du modèle. Il est conçu pour relier les modèles de culture incorporer dans DSSAT ;

– module sol-plante-atmosphère «*Soil-plant-atmosphere module*» : il calcule l'évaporation quotidienne du sol et la transpiration des plantes. Il rassemble les données sur le sol, les plantes et l'atmosphère et calcule l'interception de la lumière par le couvert. Il calcule également l'absorption de l'eau par les racines ;

– module gestion «*Management Module*» : il s'occupe des interactions entre les techniques culturales et le système sol-culture (HOOGENBOOM *et al.*, 2003).

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES**

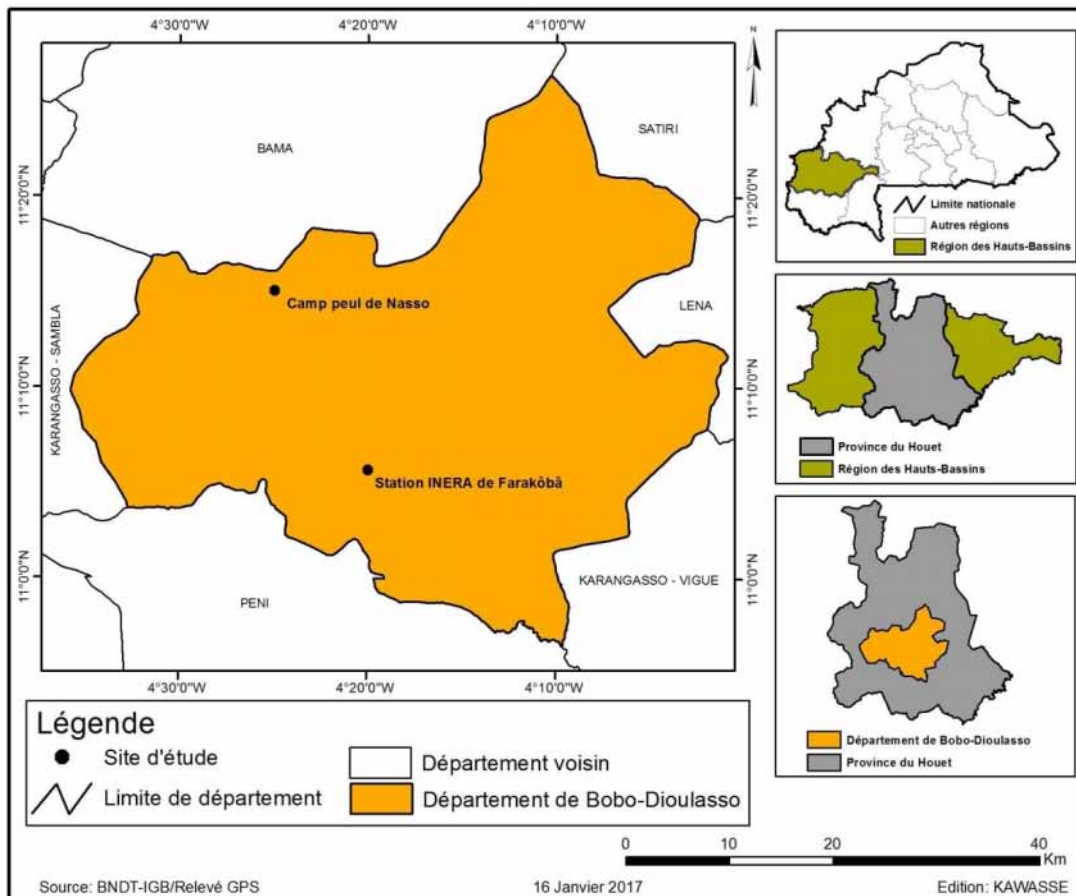
## **2.1. Présentation du cadre d'étude**

L'étude a été conduite au cours de la campagne humide de l'année 2016 sur 2 sites : la station agricole de Farako-Bâ et le Camp peulh de Nasso (CPN). Les données collectées à Farako-Bâ ont permis de paramétrer le modèle tandis que celles issues au CPN ont servi à l'évaluer. Nous tenons, par ailleurs, à signifier que le suivi de l'essai ainsi que la collecte des données sur le site du CPN ont été réalisés par un autre expérimentateur.

### **2.1.1. Caractéristiques géophysiques des zones d'étude**

#### **2.1.1.1. Situation géographique**

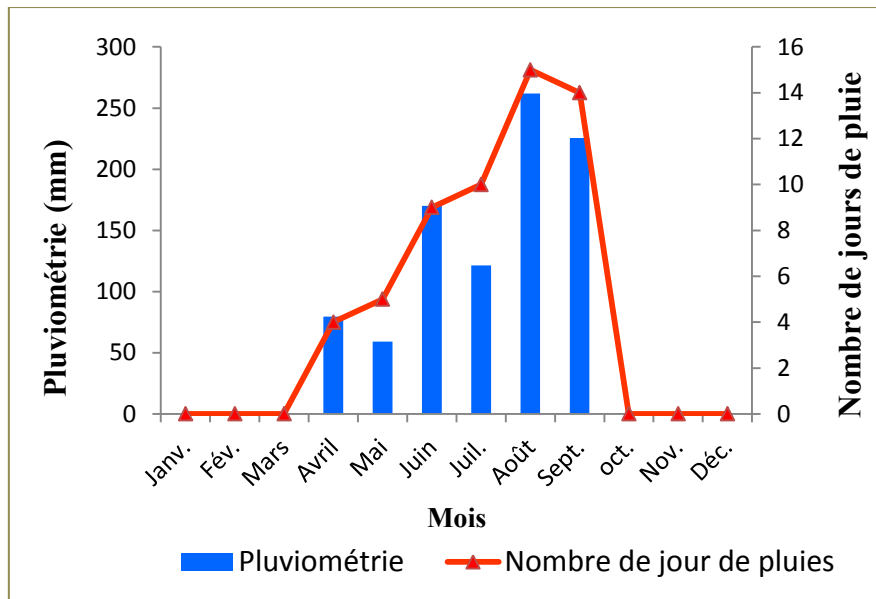
La station de Farako-Bâ se situe à 10 km environ au Sud-Ouest de la ville de Bobo-Dioulasso. Elle est située sur l'axe routier Bobo-Banfora (11°06 de latitude Nord, 4°20 de longitude Ouest). Son altitude par rapport à la mer est de 405 m (Figure 2). Le CPN, situé à 19 km environ au Nord-Ouest de Bobo-Dioulasso, fait partie des villages qui jouxtent la forêt classée de Dindéresso (GUIRO, 2003). Administrativement, il relève du village de Nasso en tant que hameau de culture. Situé entre 4°42 et 4°41 de longitude Ouest et entre 11°24 et 11°25 de latitude Nord, cette localité comme son nom l'indique est peuplée d'éleveurs peuls sédentarisés (Figure 2).



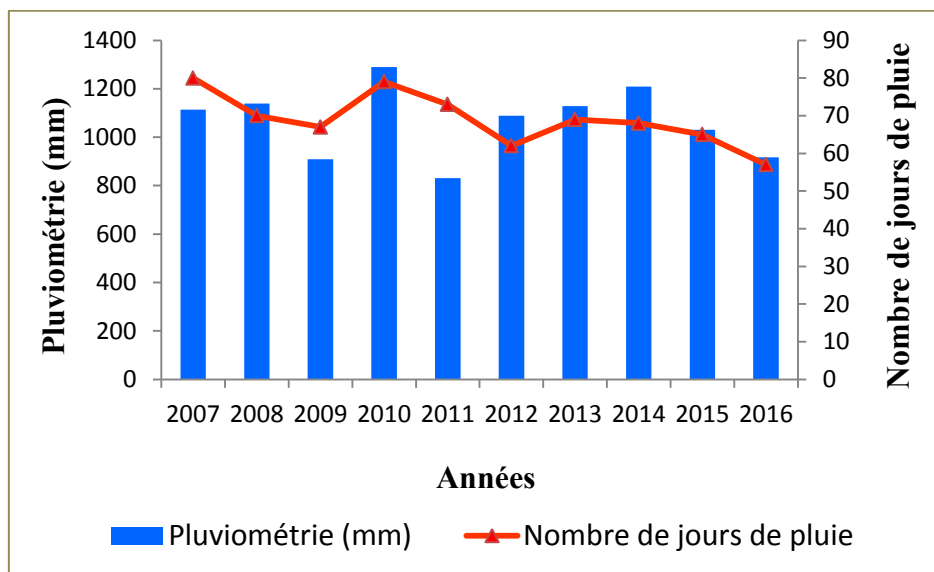
**Figure 2:** Situation géographique des sites d'études.

### 2.1.1.2. Climat et végétation

Selon FONTES et GUINKO (1995), la zone de Farako-Bâ jouit d'un climat de type soudano-guinéen. Ce climat a deux saisons : une saison sèche de novembre à mai et une saison pluvieuse de mai à octobre. La pluviométrie annuelle varie entre 800 et 1000 mm répartie sur 75 à 85 jours. L'évolution de la quantité moyenne des pluies de l'année 2007 à celle 2016 montre une grande variabilité (Figure 4). L'année 2011 a été la moins pluvieuse avec 831 mm en 73 jours de pluie. La plus grande quantité d'eau tombée a été enregistrée en 2010 avec 1289,5 mm en 79 jours de pluie. Au cours de l'année 2016, les pluies se sont étalées de mai à septembre et la quantité d'eau enregistrée est de 917,8 mm répartie sur 57 jours (Figure 3). Ces relevés pluviométriques sur la zone de Farako-Bâ ont été enregistrés par la station météorologique de Farako-Bâ.

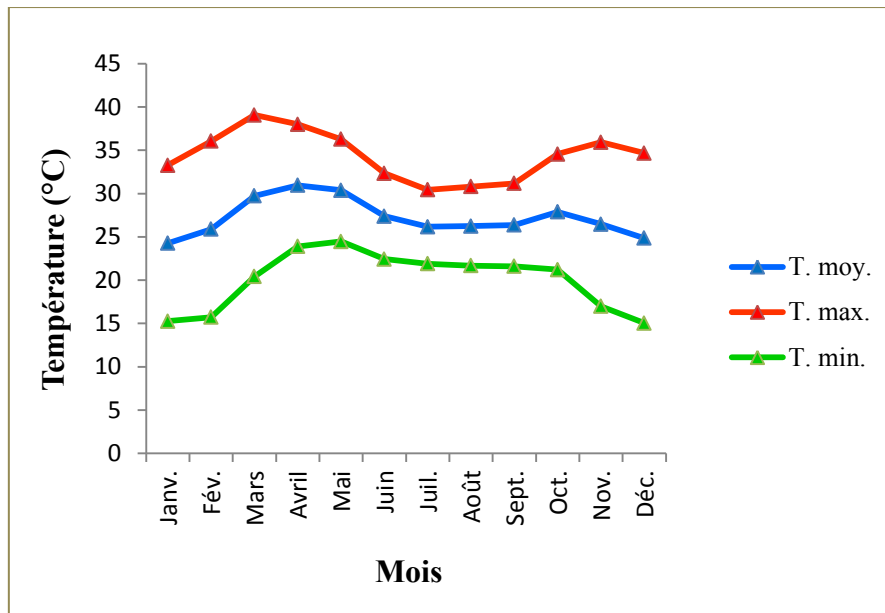


**Figure 3:** Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle et du nombre de jours de pluie à Farako-Bâ pour l'année 2016.



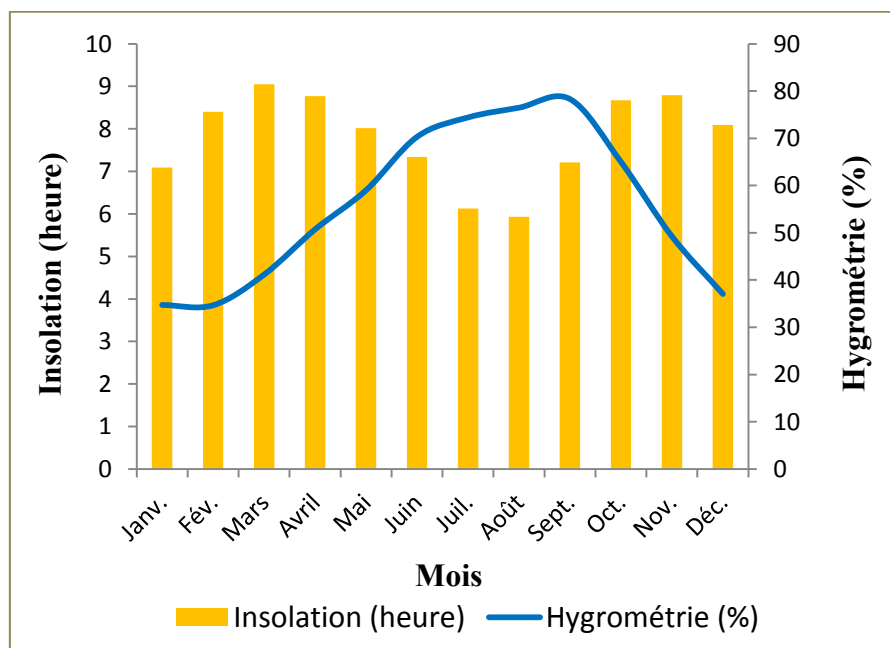
**Figure 4:** Variation de la pluviométrie moyenne annuelle et du nombre de jours de pluie à Farako-Bâ de 2007 à 2016.

Les températures à Farako-Bâ varient d'un mois à un autre et journalièrement. La moyenne mensuelle des minima enregistrés varie entre 24,47°C et 15,05°C s'observant respectivement aux mois de mai et décembre et une moyenne des maxima entre 39,06°C et 30,44°C en mars et juillet (Figure 5).



**Figure 5:** Evolution de la température moyenne mensuelle du site de Farako-Bâ pour l'année 2016.

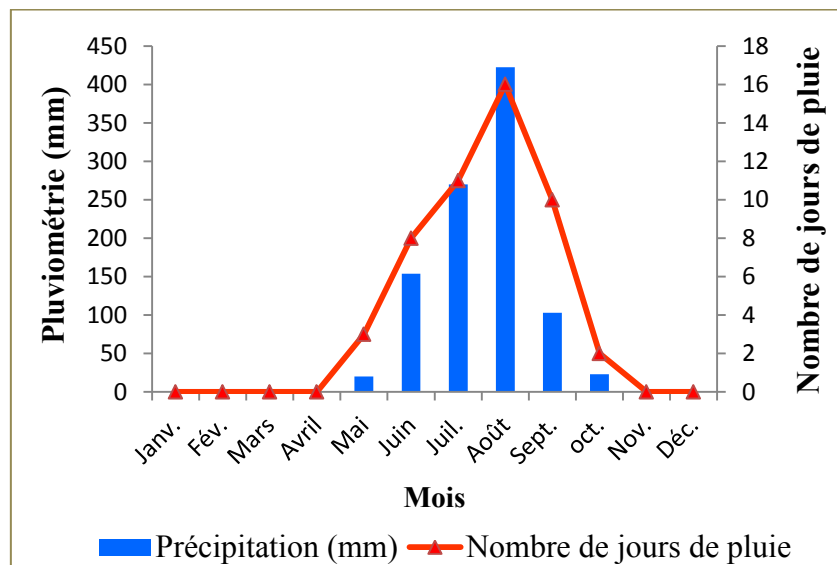
L'évaporation quant à elle, varie au cours de l'année. Elle est en moyenne de 3,12 mm.jour<sup>-1</sup> entre le mois de mai et octobre et 4,98 mm.jour<sup>-1</sup> sur toute l'année. Durant l'année 2016, la durée d'ensoleillement a oscillé entre une moyenne mensuelle de 5,93 et 9,05 heures tandis que l'hygrométrie a fluctué entre 34,66 et 78,31% (Figure 6).



**Figure 6:** Variation de la durée d'ensoleillement et de l'hygrométrie du site de Farako-Bâ pour l'année 2016.

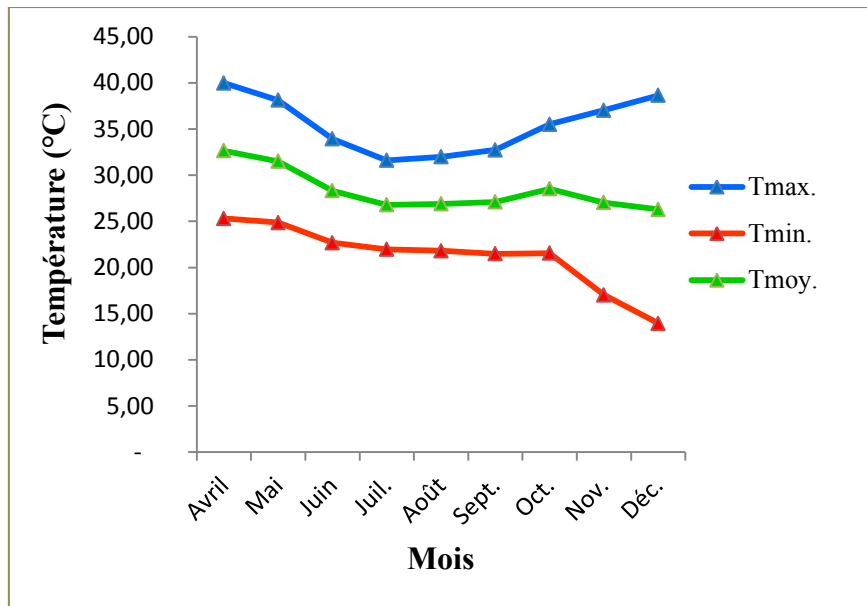
Selon la description de la végétation de l'Ouest du Burkina Faso, Farako-Bâ a une végétation naturelle de type savane arbustive et arborée. Les forêts claires sont rencontrées aux abords des bas-fonds. La strate ligneuse se compose essentiellement de *Parkia biglobosa*, *Detarium microcarpum*, *Sclerocarya birrea*, *Vittelaria paradoxa*, *Tamarindus indica*, etc. Le tapis herbacé se compose essentiellement de *Andropogons gayanus*, *Pennisetum pedicellatum* et *Eragrostis tremula* (FONTES et GUINKO, 1995).

A l'instar de la station de Farako-Bâ, le climat qui dessert le CPN est de type tropical soudano-guinéen. La température moyenne annuelle est de 26,9°C avec une amplitude thermique moyenne mensuelle de 5°C. Durant l'année 2016, cette localité a enregistré 992,5 mm de pluie répartie sur 6 mois (de mai à octobre). Les figures 7 et 8 illustrent respectivement l'évolution de la pluviométrie et de la température au cours de cette année. Les températures maximale et minimale ainsi que la pluviométrie ont été enregistrées à des pas de temps journaliers via une mini station automatique TINYTAG et un pluviomètre (Annexe 2).



**Figure 7:** Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle et du nombre de jours de pluie au CPN pour l'année 2016.





**Figure 8:** Evolution de la température moyenne mensuelle au CPN pour l'année 2016.

Le CPN présente une végétation du type sud-soudanien se caractérisant par un développement important d'essences ligneuses. Deux types de formations végétales peuvent être distingués. Il s'agit: (i) des formations végétales artificielles constituées de plantations d'espèces exotiques telles que: *Cassia siamea*, *Azadirachta indica*, *Oalbergia sisso*, *Albizia lebbec*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Tectona grandis*, *Anacardium occidentale*; (ii) des formations végétales naturelles constituées de forêt galerie, savane arborée dense, savane arborée claire, savane arbustive dense, savane arbustive claire, savane herbeuse et des jachères. On y trouve aussi la présence d'un tapis herbacé dominé par des espèces telles que *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicellatum* sur les vieilles jachères et sur les étendues non cultivées (GUIRO, 2003).

### 2.1.1.3. Sols

Les sols de Farako-Bâ sont des sols à dominance rouges ferrallitiques lessivés, profonds et non graveleux. La texture est sablo-limoneuse en surface à argilo-sableuse en profondeur (ELOLA, 2012). Selon cet auteur, la pente moyenne du terrain est estimée à environ 2 %. Des études réalisées par le bureau national des sols (BU.NA.SOLS) en 1984, il ressort que les sols de la forêt classée de Dindéresso autour duquel se situe notre site d'étude

(CPN) reposent sur des roches sédimentaires. Les principaux sols rencontrés sont: les sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions, les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, les sols ferralitiques (GUIRO, 2003).

## 2.2. Matériel

### 2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé en station est la variété de maïs SR21 provenant de la station de recherche de Farako-Bâ. C'est une variété à cycle intermédiaire de 97 jours. Le tableau suivant récapitule les caractéristiques de la variété ainsi que la quantité de pluies nécessaire à sa culture. Par contre, en milieu paysan nous n'avons pas pu identifier les variétés exploitées par les producteurs.

**Tableau I:** Caractéristiques de la variété de maïs SR21 (SANOU, 2006).

Variété	Couleur du grain	Zone (mm pluie)	Semis flo-mâle (JAS)	Semis maturité (JAS)	Rendement potentiel (t.ha <sup>-1</sup> )
Streat Resistant n°21	Blanc	>900	59	97	5,1

**Semis flo-mâle** : nombre de jours entre du semis à la floraison mâle, **Semis maturité** : nombre de jours du semis à la maturité physiologique, **JAS** : jours après semis.

### 2.2.2. Fertilisants minéraux

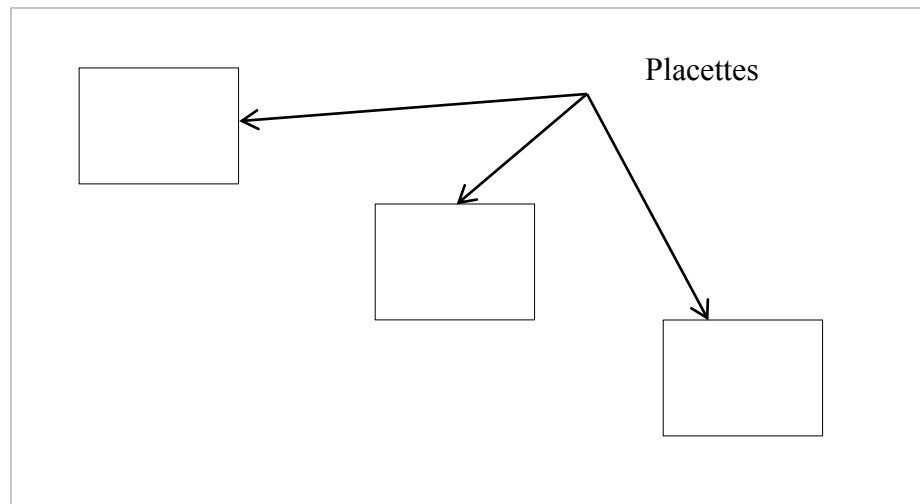
En station comme en milieu paysan, les fertilisants utilisés étaient de nature minérale et comprenaient le complexe N-P-K de formule 15-15-15 et l'urée (46 % de N).

### 2.2.3. Produits phytosanitaires

Les semences ont été préalablement traitées avec le thirame, un fongicide commercialisé sous le nom de Calthio C 50 WS à la dose de 4g.kg<sup>-1</sup> de semence tant en milieu paysan qu'en station. Au CPN, le glyphosate, un herbicide total, du nom commercial Kalach et adwuma a été utilisé comme herbicide de pré-émergence à la dose de 1L.ha<sup>-1</sup>.



Au CPN le dispositif expérimental mis en place est un bloc complet dispersé. Il reposait sur une superficie de 1000 m<sup>2</sup>. L'essai a été reproduit par 6 producteurs choisis par simple volontariat. Au sein de chaque dispositif, ont été disposées sur la diagonale 3 placettes de 25 m<sup>2</sup> chacune (Figure 10). Ce qui donne un total de 18 placettes (champs) sur lesquelles le rendement du maïs a été évalué en fonction de facteurs tels que les précédents culturaux, la texture du sol et le nombre de sarclage.



**Figure 10:** Schéma du dispositif expérimental du CPN.

### 2.3.2. Conduite des essais

L'essai de Farako-Bâ a été installé sur des précédents jachères andropogon (bloc 1) et légumineuse (bloc 2 et 3) dès l'installation des pluies. Sur ce site, la préparation du lit de semis a consisté en un débroussaillage, suivi d'un labour à plat au moyen d'un motoculteur. Le nivellement est fait à l'aide de dabs. Le semis est réalisé manuellement à l'aide de bâtons de semis. Sa géométrie est de 0,8 m entre les lignes et 0,4 m entre les poquets d'une même ligne, soit une densité de 31250 poquets.ha<sup>-1</sup>. Les plants ont été démariés à 2 pieds par poquet. Des désherbages manuels ont été effectués au besoin pour éviter la compétition des adventices. Le buttage est intervenu après le second apport de l'urée plus précisément au 37<sup>ème</sup> jour après semis (JAS). La fertilisation qui a concerné les parcelles des traitements T3 (MaPLUF7) et T4 (MaIRRF7) s'est traduite par une application d'engrais minéraux. Les engrais ont été apportés le long des raies côtoyant la ligne de semis. Ainsi, le N-P-K de formule 15-15-15 a été appliqué au semis à la dose de 250 kg.ha<sup>-1</sup> tandis que l'urée (46-0-0) est apportée au 17<sup>ème</sup> et 32<sup>ème</sup> JAS à la dose de 75 kg.ha<sup>-1</sup>. L'irrigation a été conduite suivant

le cumul pluviométrique hebdomadaire enregistré à l'aide d'un pluviomètre installé aux abords de l'essai (Annexe 2). Il était recommandé d'irriguer si toutefois ce cumul se trouvait en dessous de 40 mm. Ce choix vise donc le maintien de l'eau du sol à un niveau qui soit largement au-dessus de la demande évaporative du climat (évaporation potentielle) qui est de l'ordre de  $3,12 \text{ mm.jour}^{-1}$ . Au total 2 apports artificiels d'eau ont été effectués à une durée de 4 heures et de quantité 9,43 mm chacun. La liste exhaustive des différentes opérations ainsi réalisées est donnée en annexe 3.

En condition réelle de culture (CPN), la préparation du lit de semis a consisté en un labour à plat (pour 5 producteurs) et un billonnage (pour un producteur). Le semis, effectué manuellement, comportait les mêmes écartements que celui en station. Les doses d'engrais appliquées sur toutes les parcelles étaient les mêmes, et représentaient celles recommandées par les services techniques de l'agriculture ( $150 \text{ kg.ha}^{-1}$  de NPK et  $50 \text{ kg.ha}^{-1}$  d'urée). La chronologie des différentes opérations est présentée en annexe 4.

## **2.4. Paramètres étudiés**

### **2.4.1. Paramètres physiologiques**

Le suivi des aspects liés à la croissance des plants a consisté à déterminer, en station, l'indice de surface foliaire (LAI : *Leaf Area index*, abréviation du terme anglophone) et la biomasse aérienne du peuplement végétal.

Le LAI est une grandeur sans dimension, qui exprime la surface foliaire utile d'un peuplement végétal par unité de surface de sol. Dans la présente étude, il a été estimé à l'aide d'un appareil de mesure nommé le «Sunscan». Le système «Sunscan» comme le montre l'annexe 2, est constitué de 3 composantes interactives: la sonde, le PDA avec logiciel intégré (Sundata) pour la collecte des données et un capteur externe type BFS (Beam Fraction Sensor) avec tripode et système de liaison radio (antennes). Son principe de fonctionnement repose sur l'existence d'une relation directe entre les radiations solaires reçues par une plante et la quantité de biomasse de celle-ci (Annexe 5). La période propice pour les mesures est comprise entre 9 heures et 15 heures. En tout, 3 mesures ont pu être effectuées à 35, 52 et 65 JAS.

Le niveau de production de paille, le long du cycle de développement des plantes, était estimé en prélevant périodiquement des échantillons de biomasse (tiges et feuilles). Une fois les plants coupés (au collet), les feuilles et tiges étaient minutieusement séparées et mises dans des enveloppes pour être séchées et pesées. Pour ce faire, 4 zones d'échantillonnage à raison de 4 prélèvements ont été délimitées. Ces zones, d'une superficie de 1,92 m<sup>2</sup> à raison de 12 plantes chacune, ont été espacées pour éviter les effets de prélèvements précédents. Les échantillons ont été prélevés à 21, 37, 50 et 61 JAS. Les feuilles étaient séchées à l'étuve à 70°C pendant 48 heures tandis que les tiges ont d'abord été pré-séchées au soleil avant un séjour final à l'étuve à la même température pendant 72 heures. Après dessiccation, les échantillons étaient pesés au moyen d'une balance de précision.

#### 2.4.2. Paramètres agronomiques

Le rendement en grain et la masse de paille sèche ont été les variables agronomiques appréciées par la présente étude pour élucider l'effet des différents traitements sur le maïs. Ces variables ont été estimées dans les parcelles utiles délimitées dans chaque parcelle élémentaire en éliminant une ligne de bordure de chaque côté de la parcelle et 2 poquets à chaque bout de la ligne de semis. Le rendement final en paille a été estimé en déterminant la masse fraîche totale (MFT) des tiges (pieds). Puis, un échantillon représentatif du lot a été prélevé, pesé pour déterminer sa masse fraîche (MFE) et pré-séché au soleil pendant quelques jours, avant d'être mis à l'étuve pour compléter sa dessiccation à 70°C pendant 48 heures afin de déterminer sa masse sèche (MSE). Les formules (1) et (2) ont permis de calculer respectivement la masse sèche totale (MST) et le rendement (R).

$$\mathbf{MST} = \frac{\mathbf{MSE}}{\mathbf{MFE}} * \mathbf{MFT} \quad (1)$$

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{MST}}{(\mathbf{S} * \mathbf{N})} * \mathbf{10000} \quad (2)$$

**MST:** masse sèche totale (kg); **MFT:** masse fraîche totale (kg); **MSE:** masse sèche de l'échantillon (kg); **MFE:** masse fraîche de l'échantillon (kg), **R :** rendement (kg.ha<sup>-1</sup>) **S :** surface d'un poquet (0,32 m<sup>2</sup>), **N :** nombre total de poquet.

### 2.4.3. Apports supplémentaires d'eau

Les apports artificiels en eau ont été réalisés à partir d'un système d'irrigation goutte-à-goutte. Pour estimer les suppléments d'eau, nous avons placé à plusieurs endroits de la parcelle un récipient sous un goutteur afin de déterminer le volume d'eau réellement apporté aux plantes pendant un temps  $t$  (Annexe 2). Ensuite, ce volume a été multiplié par le nombre total de goutteurs irriguant la parcelle. Au travers de la relation  $1\text{mm} = 1\text{L.m}^{-2}$ , la formule ci-dessous a été établie pour déterminer en millimètre les apports d'eau:

$$Q = (N * q) / S$$

Avec:

- **Q** : la quantité d'eau apportée (mm) pendant un intervalle de temps donné ;
- **N** : le nombre de goutteurs par parcelle ;
- **q** : la quantité d'eau recueillie (L) sous un goutteur pendant un temps donné ;
- **S** : la surface d'une parcelle expérimentale ( $\text{m}^2$ ).

### 2.4.4. Analyses du sol

Le sol de l'essai de Farako-Bâ est analysé à partir d'échantillons prélevés aux horizons 0-20 cm, 20-40 cm, 60-80 cm et 80-100 cm et ce, sur 4 profils avant la mise en place de l'essai. Les échantillons, gardés séparément, ont été analysés par le laboratoire de Gestion des Ressources Naturelles (GRN) de l'INERA dans le but de déterminer les paramètres physico-chimiques majeurs modulant l'alimentation hydrominérale des plantes mis en essai (Annexe 6). Au CPN, les champs des producteurs ont reposé sur des sols dont les caractéristiques ont été déterminées à partir d'observations sur le terrain. Ces observations, qui ont porté sur la texture, ont permis de caractériser 2 principaux sols : les sols à texture argilo-sableuse et gravillonnaire.

## 2.5. Méthodologie de paramétrage et d'évaluation du modèle DSSAT

### 2.5.1. Paramétrage

Le paramétrage de DSSAT a consisté à déterminer ;

– les **paramètres variétaux** : il s'agit des coefficients génétiques qui affectent d'une part les stades phénologiques (P1, P2, P5 et PHINT), et d'autre part les productions de biomasse (G2 et G3) (Tableau II). Leurs valeurs permettent de décrire les cultivars et les distinguer entre eux. Dans notre cas, ils ont été ajustés dans le modèle à l'exception de P5 dont la valeur a été déterminée par calcul à travers la formule ci-dessous :

$$P5 = \sum_i^n \left[ \frac{T_{max_i} + T_{min_i}}{2} - T_{base} \right]$$

**T<sub>max<sub>i</sub></sub>** : température maximale au jour i, **T<sub>min<sub>i</sub></sub>** : température minimale au jour i, **T<sub>base</sub>** : seuil de température en dessous duquel la germination et le développement de la plante sont impossibles. Il a été considéré égal à 8°C pour le maïs (JONES *et al.*, 2003).

**Tableau II** : Coefficients génétiques paramétrés sous DSSAT

Coefficients	Significations	Valeurs
P1	Chaleur cumulée de la levée jusqu'à la fin de la phase juvénile (exprimée en degré-jours)	335,00
P2	Coefficient de sensibilité à la photopériode (exprimé en jours)	0,00
P5	Chaleur cumulée de la floraison femelle à la maturité physiologique (exprimée en degré-jours)	623,50
G2	Nombre potentiel de grains par plante	600,00
G3	Taux de remplissage des grains (exprimé en mg.jour <sup>-1</sup> )	8,50
PHINT	Chaleur cumulée entre l'apparition de deux feuilles successives (exprimée en degré-jours)	45,00



– le **facteur de fertilité du sol** (SLPF) : ce paramètre, variant entre 0 et 1, représente les effets des éléments nutritifs autres que l'azote sur la production de biomasse de la plante. Sa modification influe sur toutes les sorties du modèle. Il a été ajusté à 0,62.

– l'**albédo du sol** : il se définit comme le pouvoir réfléchissant du sol. Il varie également entre 0 (pas de réflexion) et 1 (tout le rayonnement est réfléchi). Dans la partie Ouest du pays, sa valeur correspond à 0,23 (RAES ; 2003).

## **2.5.2. Simulation**

Elle a consisté à introduire dans le modèle des données qualifiées de «variables d'entrée» en vue d'obtenir a posteriori d'autres types de données appelées «variables de sortie» qui ont servi par la suite à évaluer le modèle. Les variables d'entrée, collectées à Farako-Bâ, étaient relatives au climat, les caractéristiques des sols de la variété SR21 ainsi que les techniques culturales. La version 4.6 du logiciel DSSAT a permis de réaliser les différentes simulations, dont les résultats sont donnés sous forme de graphiques.

### **2.5.2.1. Climat**

Les informations concernant le climat étaient basées sur les données météorologiques journalières enregistrées à la station météorologique de Farako-Bâ au cours de l'année 2016. Il s'agit spécifiquement de la température maximale et minimale de l'air, la pluviométrie, le rayonnement global, l'hygrométrie, la vitesse du vent, l'évaporation. Ces données, traitées avec l'opérateur «*Weatherman*» de DSSAT, ont permis de créer une station météo dans le modèle.

### **2.5.2.2. Sol**

Les principales caractéristiques de sols utilisées pour renseigner le module «sol» provenaient d'une part des analyses physico-chimiques des échantillons prélevés in situ, et d'autre part de la littérature (Annexe 6). L'outil «*Soil data*» de DSSAT a permis d'organiser et de générer un fichier sol (IN.SOL) récapitulant les propriétés édaphiques spécifiques à chaque parcelle.

### 2.5.2.3. Techniques culturales

Les différentes opérations culturales ainsi que leur date de réalisation ont également été renseignées dans le modèle en créant un fichier de gestion (INFA1601.MZT) à partir du programme «*Crop management*» de DSSAT. Il s'agit essentiellement de la date de semis (28/06/2016), la densité de semis (6,25 plants.m<sup>-2</sup>), les dates et doses d'apport d'engrais, dont le complexe NPK (250 kg.ha<sup>-1</sup>) appliqué au semis et l'urée (75 kg.ha<sup>-1</sup>) apporté en 2 tranches au 17<sup>ème</sup> et 32<sup>ème</sup> JAS. Les deux apports d'eau sont intervenus au 39<sup>ème</sup> et 44<sup>ème</sup> JAS à une quantité de 9,43 mm chacun. La récolte a été effectuée le 10/10/2016 soit 104 JAS.

### 2.5.3. Evaluation

Les écarts entre valeurs prédites et celles observées ont été appréciés à travers des représentations graphiques combinées à des statistiques quantitatives. Deux indicateurs statistiques ont été utilisés pour apprécier la performance du modèle : la valeur de la racine de l'erreur quadratique moyenne relative (RRMSE) et l'indice d'agrément (IA) (WILLMOTT, 1982). La RRMSE est exprimée en pourcentage (%) et l'IA en valeur relative. Un modèle ayant une bonne performance a des valeurs de RRMSE qui tendent respectivement vers 0 % et des valeurs de IA qui tendent vers 1. Selon BELLOCCHI *et al.* (2009) la performance du modèle est bonne quand la valeur de RRMSE est inférieure ou égale à 10 % et IA est supérieure ou égale à 0,95 ; acceptable quand la valeur de RRMSE est comprise entre 10 % et 20 % et IA supérieure ou égale à 0,90 et mauvaise quand la valeur de RRMSE est supérieure à 20 % et IA est inférieure à 0,90.

$$\text{RRMSE} = \frac{\sqrt{[\sum_i^n (\text{Pi} - \text{Oi})^2] / n}}{\bar{\text{O}}} * 100$$

$$\text{IA} = 1 - \frac{\sum_i^n (\text{Pi} - \text{Oi})^2}{\sum_i^n (|\text{Pi} - \bar{\text{P}}| + |\text{Oi} - \bar{\text{O}}|)^2}$$

Où **Pi** = valeur prédite ; **Oi** = valeur observée, **n** = nombre de cas considérés,  $\bar{\text{P}}$  = moyenne des valeurs prédites et  $\bar{\text{O}}$  = moyenne des valeurs observées.

## **2.6. Analyse des données**

Le logiciel Microsoft Office Excel 2010 a permis de saisir les données et de réaliser les graphiques. Le Logiciel statistique XLSTAT 2015 version 4.1 a été utilisé pour faire les analyses de variance. Le test de Fisher a été choisi pour séparer les moyennes lorsque ANOVA révèle des différences significatives au seuil de 5 %.

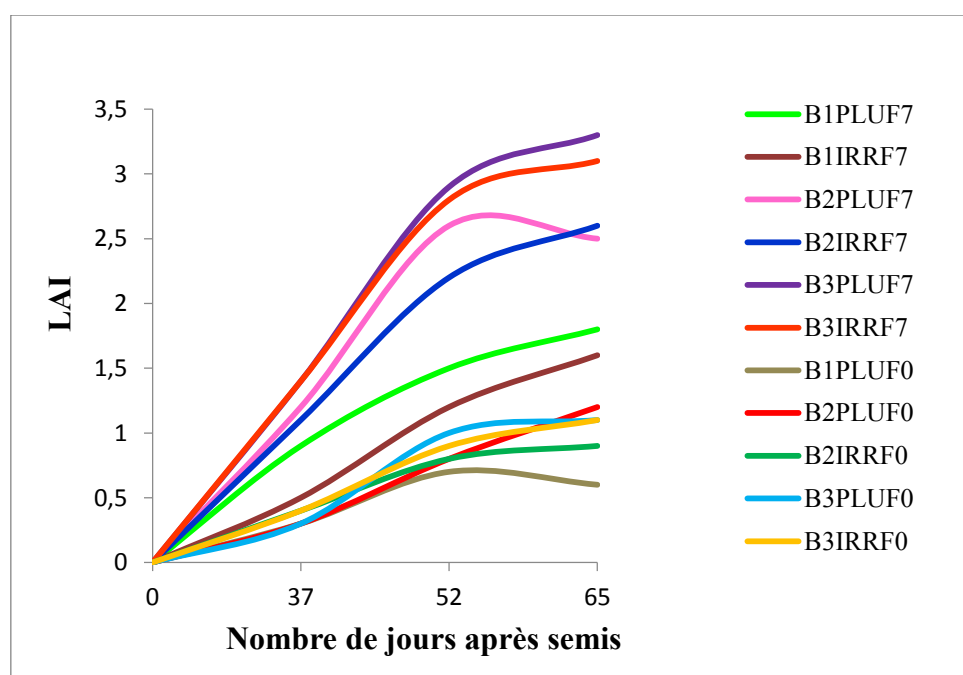
## **TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION**

### 3.1. Croissance et développement du maïs dans les conditions expérimentales de la station de Farako-Bâ

#### 3.1.1. Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution du LAI

La figure 11 traduit les effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution du LAI. Les résultats présentent une augmentation du LAI sur l'ensemble des parcelles suivant l'âge des plantes. Cependant, au 65<sup>ème</sup> JAS la parcelle pluviale-fertilisée du bloc 2 (B2PLUF7) et celle pluviale-non fertilisée du bloc 1 (B1PLUF0) ont présenté un LAI inférieur au précédent (52 JAS). Aussi, on a pu remarquer une variation plus ou moins grande du LAI sur les parcelles partageant les mêmes traitements. Il ressort enfin que les parcelles fertilisées ont présenté des LAI nettement supérieurs à ceux des parcelles non fertilisées.

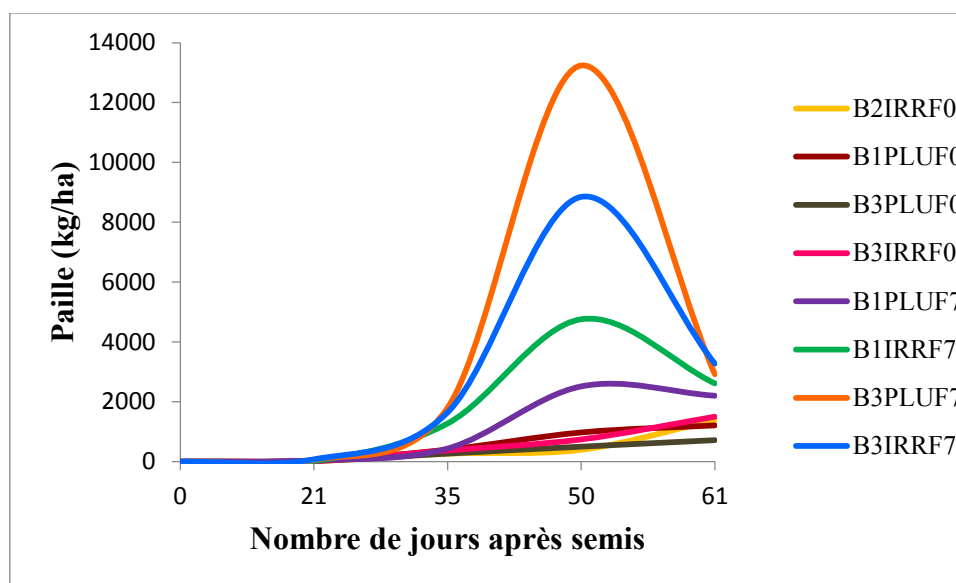
A noter que la parcelle irriguée-non fertilisée du bloc 1 (B1IRRF0) a été retirée de l'essai du fait des dégâts répétés des ravageurs (écureuils) sur les plantes durant la période semis-levée. Ce qui a réduit le nombre de parcelles à 11 au lieu de 12.



**Figure 11:** Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution de l'indice foliaire du maïs. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F0** : 0 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 0 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée, **F7** : 250 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 75 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.

### 3.1.2. Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution de la paille du maïs

Au cours de l'essai, les effets de l'irrigation d'appoint et de l'engrais sur l'évolution de la paille ont été observés (Figure 12). Au regard de l'allure des courbes, on constate une divergence plus ou moins grande entre les parcelles. On peut percevoir qu'en général les courbes d'évolution des parcelles fertilisées sont restées largement au-dessus de celles non fertilisées. Ce qui traduit donc une forte production en paille des parcelles fertilisées par rapport à celles non fertilisées. Cependant, on a pu noter une évolution quasi-similaire de la production de paille sur l'ensemble des parcelles non fertilisées (irriguées et pluviales). A l'instar du LAI, on constate que la paille produite par traitement a varié plus ou moins considérablement d'une parcelle à une autre ou d'un bloc à un autre. Des pertes d'échantillons ont été notées au cours de leur séchage et ont concerné les parcelles B2PLUF0, B2IRRF7 et B2PLUF7. Ce qui a réduit de plus à ce niveau le nombre de parcelles à 8 au lieu de 11.



**Figure 12:** Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur l'évolution de la paille du maïs. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F0** : 0 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 0 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée, **F7** : 250 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 75 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.

### 3.1.3. Effets de l'irrigation de complément et de l'engrais sur les rendements en grain et en paille du maïs

L'analyse de variance a permis de mettre en évidence une différence significative entre les traitements. En ce qui concerne le rendement en grain, le traitement MaIRRF7 s'est distingué des autres traitements en se montrant le plus productif avec un rendement de  $3088 \pm 1482 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Cependant, les plus faibles productions en maïs grain ont été enregistrées avec MaPLUF0 ( $205 \pm 121 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) et MaIRRF0 ( $359 \pm 171 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) considérés comme homogènes. Aussi, par rapport au rendement en paille, le constat est le même. On remarque que le traitement MaIRRF7 a donné la plus forte production en raison de  $4457 \pm 146 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Les rendements les plus bas ont également été obtenus sur les traitements MaPLUF0 et MaIRRF0 respectivement  $1236 \pm 203 \text{ kg.ha}^{-1}$  et  $684 \pm 327 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

**Tableau III :** Effets combinés de l'irrigation d'appoint et de la fertilisation sur les rendements en grain et en paille du maïs.

Traitements	Rendement paille ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )	Rendement grain ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )
MaIRRF7	$4457 \pm 146$	$3088 \pm 1482$
MaPLUF7	$2943 \pm 135$	$2617 \pm 302$
MaIRRF0	$684 \pm 327$	$205 \pm 121$
MaPLUF0	$1236 \pm 203$	$359 \pm 171$
<b>Probabilité</b>	<b>0,015</b>	<b>0,02</b>
<b>Signification</b>	<b>S</b>	<b>S</b>

S : significatif

### 3.2. Rendements en grain et en paille du maïs en condition réelle de culture (CPN)

#### 3.2.1. Effets des précédents culturels sur les rendements en grain et en paille du maïs

ANOVA a révélé une différence significative entre les rendements en paille et en grain en relation avec les passés culturels des parcelles paysannes (Tableau IV). Concernant la production en grain, on constate une répartition des rendements suivant 4 groupes homogènes. Il ressort que les parcelles ayant maïs//coton//jachère comme précédents ont induit les meilleurs rendements soit  $3325 \pm 1103$  kg de grain.ha<sup>-1</sup>. Cependant, les analyses ont montré que les parcelles soumises aux précédents maïs//coton//aubergine et sorgho//aubergine//sorgho ont enregistré les rendements en grain les plus faibles en moyenne  $704 \pm 269$  kg.ha<sup>-1</sup>. En ce qui concerne la fourniture en paille, on a pu constater une distribution des rendements selon 3 groupes homogènes. Les résultats ont montré que les parcelles caractérisées par des précédents maïs//coton//jachère, coton//sorgho//sésame et maïs//coton//aubergine ont donné les rendements en paille les plus conséquents en moyenne  $3378 \pm 556$  kg.ha<sup>-1</sup>. Cependant, il a été constaté que les plus bas niveaux en paille soit  $1176 \pm 680$  kg.ha<sup>-1</sup> ont été obtenus sur les parcelles ayant sorgho//aubergine//sorgho comme passés culturels.

**Tableau IV** : Effets des précédents culturels sur les rendements en grain et en paille du maïs

<b>Précédents culturels</b>	<b>Rendement paille (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendement grain (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
maïs//coton//jachère	$3514 \pm 1143$	$3325 \pm 1103$
coton//sorgho//sésame	$3250 \pm 382$	$2338 \pm 405$
mil//maïs//maïs	$2455 \pm 1012$	$1364 \pm 205$
maïs//coton//aubergine	$3369 \pm 1502$	$724 \pm 319$
sorgho//aubergine//sorgho	$1176 \pm 680$	$498 \pm 197$
<b>Probabilité</b>	<b>0,043</b>	<b>0,004</b>
<b>Signification</b>	<b>S</b>	<b>S</b>

S : significatif, // : Succession interannuelle des cultures.



### 3.2.2. Effets de la texture du sol sur les rendements en grain et en paille du maïs

La texture du sol n'a pas influé significativement sur la productivité du maïs comme le témoigne le tableau V. ANOVA stipule que les rendements en paille et en grain ne sont pas statistiquement différents selon que le sol soit de texture argilo-sableuse ou gravillonnaire.

**Tableau V** : Effets de la texture du sol sur les rendements grain et paille du maïs.

<b>Texture du sol</b>	<b>Rendement paille (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendement grain (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
Argilo-sableuse	2843 ± 504	1787 ± 408
Gravillonnaire	1869 ± 262	921 ± 165
<b>Probabilité</b>	<b>0,166</b>	<b>0,209</b>
<b>Signification</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>

NS : non significatif

### 3.2.3. Effets du nombre de sarclage sur les rendements en grain et en paille du maïs

L'influence du nombre de sarclage sur les rendements du maïs a été perceptible au regard des résultats dégagés dans le tableau VI. L'analyse de variance a révélé une différence significative du nombre de sarclage sur le rendement en grain. Nous avons constaté à ce niveau que les champs bénéficiant de 2 sarclages ont produit les meilleurs rendements à raison de 2184 ± 419 kg.ha<sup>-1</sup> soit un surplus de près de 140 % par rapport aux rendements obtenus avec un seul sarclage. Cependant, concernant la production en paille, la situation est tout autre ; le nombre de sarclage n'a pas eu d'effets significatifs sur les rendements.

**Tableau VI :** Effets du nombre de sarclage sur les rendements en grain et en paille du maïs.

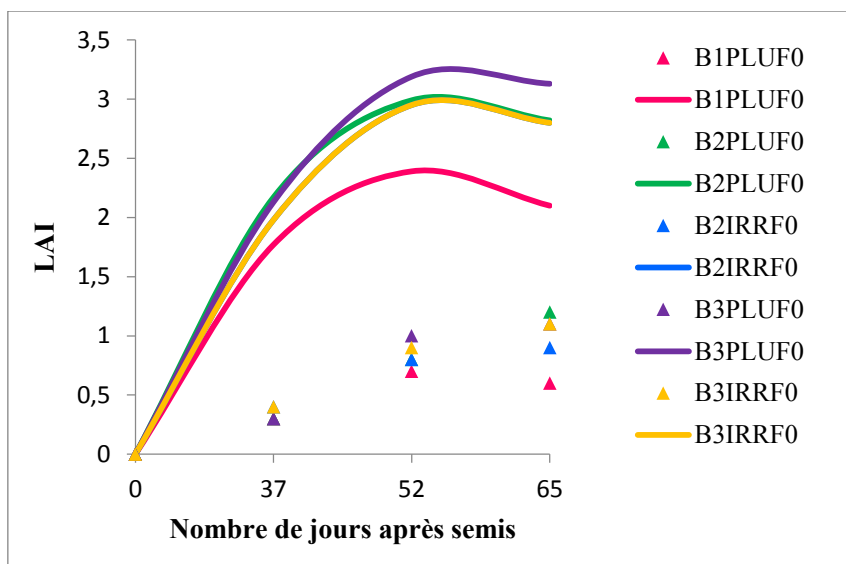
<b>Nombre de sarclage</b>	<b>Rendement paille (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendement grain (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
un sarclage	2333 ± 258	907 ± 163
deux sarclages	2812 ± 176	2184 ± 419
<b>Probabilité</b>	<b>0,457</b>	<b>0,02</b>
<b>Signification</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>

NS : non significatif, S : significatif

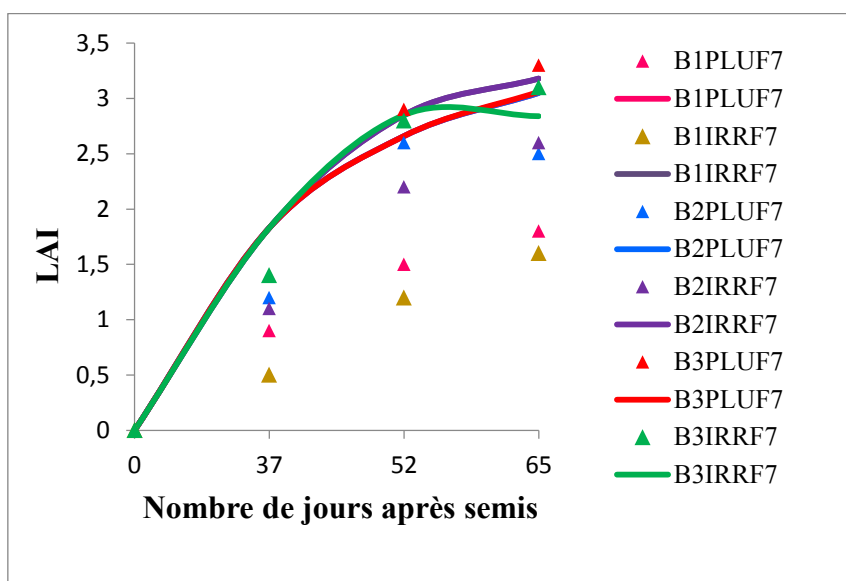
### 3.3. Résultats du paramétrage du modèle DSSAT

#### 3.3.1. Evolution du LAI

Les résultats de paramétrage n'ont pas été satisfaisants par rapport à l'estimation du LAI en condition de stress minéral (Figure 13). On a pu observer une surestimation des indices foliaires sur l'ensemble des parcelles exemptées d'apports azotés. Cependant, les LAI simulés en condition d'absence de stress azoté se sont rapprochés, dans certains cas, des valeurs mesurées (Figure 14). Ce qui a permis de noter une différence d'aptitude du modèle selon le niveau de fertilité des parcelles. Par ailleurs, nous avons fait la remarque que les LAI simulés sur les parcelles irriguées et celles pluviales ont évolué presque similairement.



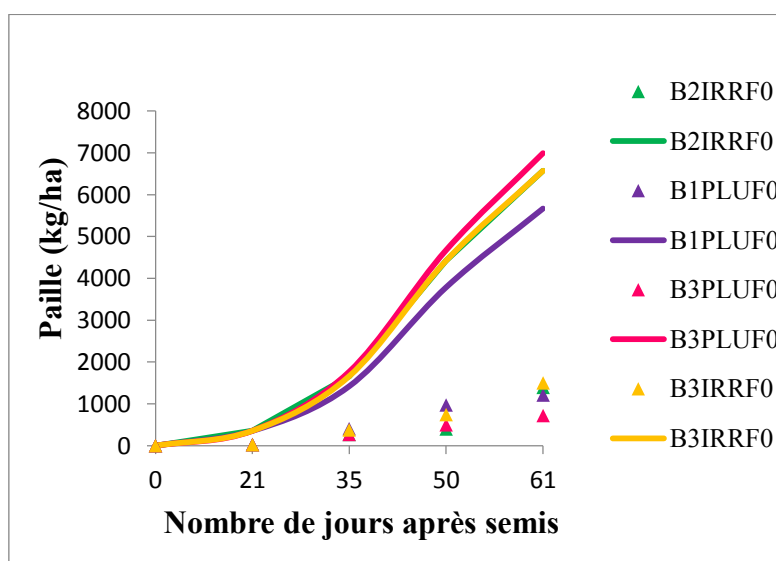
**Figure 13:** Résultats de paramétrage de la variété SR21 sous différentes conditions d'alimentation hydrique et en condition de stress azoté pour le LAI. Les points représentent les valeurs observées et les lignes continues les valeurs simulées. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F0** : 0 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 0 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.



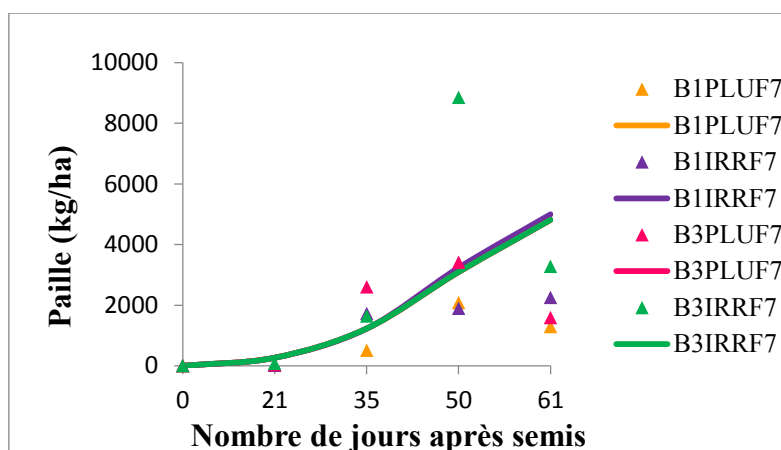
**Figure 14:** Résultats de paramétrage de la variété SR21 en condition optimale d'apports azotés et sous différentes conditions hydriques pour le LAI. Les points représentent les valeurs observées et les lignes continues les valeurs simulées. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F7** : 250 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 75 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.

### 3.3.2. Evolution de la paille

A l'instar du LAI, le paramétrage du modèle paraît insuffisant pour estimer la quantité de paille produite par les plantes en condition de stress azoté (Figure 15). Une surestimation de la paille sur les parcelles non fertilisées a été constatée. Par contre, les prédictions du modèle se sont relativement améliorées en condition d'apports azotés où l'on pourrait remarquer moins d'écart entre rendements simulés et observés surtout au niveau de la parcelle B3PLUF7 à 50 JAS (Figure 16).



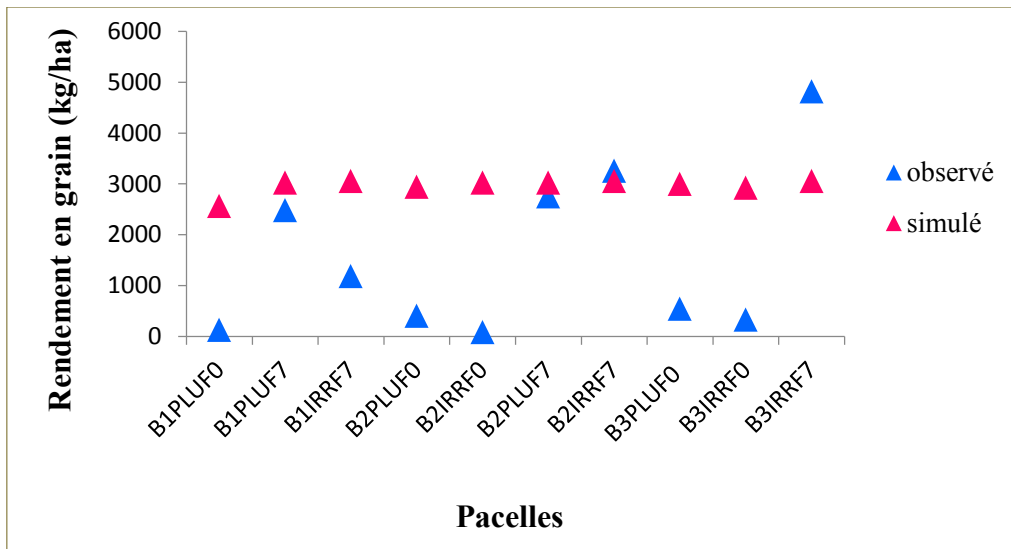
**Figure 15 :** Résultats de paramétrage de la variété SR21 sous différentes conditions d'alimentation hydrique et en condition de stress azoté pour la biomasse aérienne. Les points représentent les valeurs observées et les lignes continues les valeurs simulées. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F0** : 0 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 0 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.



**Figure 16** : Résultats de paramétrage de la variété SR21 en condition optimale d'apports azotés et sous différentes conditions hydriques pour la biomasse aérienne. Les points représentent les valeurs observées et les lignes continues les valeurs simulées. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F7** : 250 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 75 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.

### 3.3.3. Rendement en grain

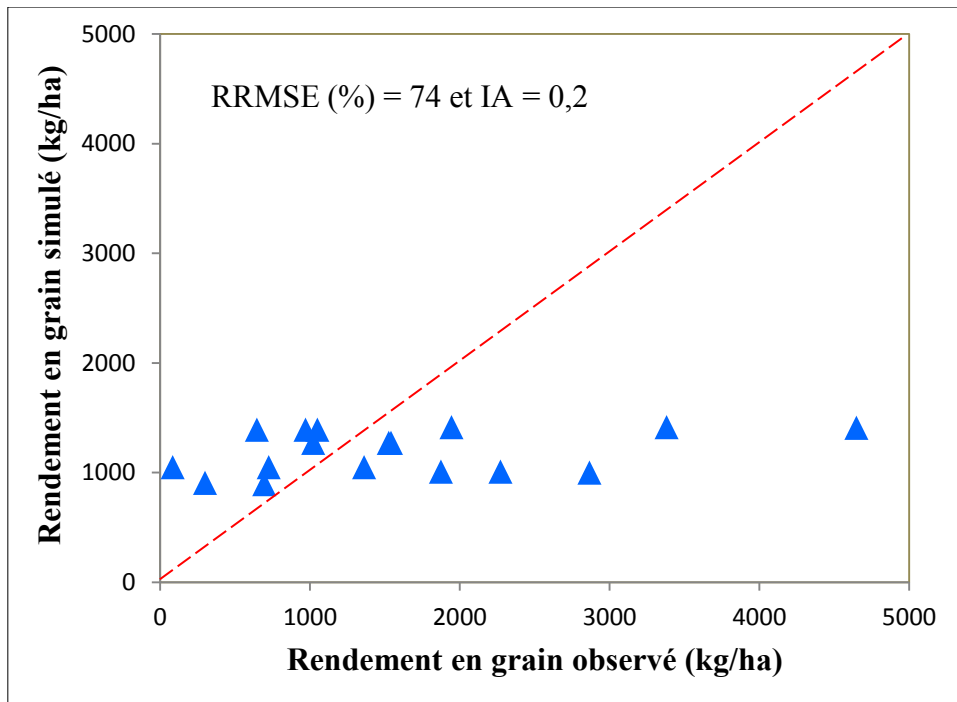
De façon générale, on constate qu'il y a une uniformisation des rendements simulés, qui ont présenté moins de variation que les observés (Figure 17). Tout comme le LAI et la paille, nous avons fait le constat que le modèle n'était pas capable d'une part de simuler le rendement en grain des parcelles soumises au stress minéral, et d'autre part de distinguer les simulations des parcelles irriguées de celles pluviales. Cependant, le modèle a pu imiter le rendement en grain de certaines parcelles (B2IRRF7 et B2PLUF7) en conditions optimales d'apport d'éléments nutritifs.



**Figure 17 :** Résultats de paramétrage de la variété SR21 sous différentes conditions d'alimentation hydrique et d'apport azotés pour le rendement en grain. **B1** : bloc 1, **B2** : bloc 2, **B3** : bloc 3, **PLU** : régime pluvial, **IRR** : régime pluvial + irrigation de complément, **F0** : 0 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 0 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée, **F7** : 250 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK et 75 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée.

### 3.4. Evaluation de la performance du modèle DSSAT

L'évaluation de la performance du modèle a uniquement été dirigée sur le rendement en grain. La figure 18 permet de constater un écart plus ou moins grand entre les rendements simulés et observés. On y remarque une répartition des points au-dessus et en dessous de la droite de référence ou droite 1:1 ; ce qui signifie que le modèle a respectivement surestimé et sous-estimé les rendements du maïs. Si le modèle était un bon simulateur tous les points devraient se placer sur la droite 1:1. De plus, les valeurs de RRMSE (74%) et de IA (0,2) se sont respectivement éloignées de 0 et de 1.



**Figure 18** : Représentation dispersée du rendement en grain simulé en fonction du rendement en grain observé. La ligne en pointillé représente la droite 1:1.

### 3.5. Discussion

Durant la période de croissance végétative, l'effet de l'irrigation de complément sur le maïs a été moins perceptible comme le témoignent nos résultats. Force est de constater que les indices foliaires (LAI) et rendements en paille les plus élevés ont été enregistrés sur les parcelles pluviales (avec ou sans apports azotés). Cette situation indiquerait donc que les 2 apports d'eau n'ont pas eu une grande incidence sur les besoins hydriques des plantes pendant cette période. Cependant, il a été constaté un effet positif de la dose d'engrais F7 (250 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK + 75 kg.ha<sup>-1</sup> de l'urée) sur l'évolution du LAI et du rendement en paille. Cela pourrait s'expliquer par l'action des éléments fertilisants majeurs notamment l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) qui sont indispensables pour une bonne croissance végétative du maïs (BRASSARD, 2007 ; ZIADI *et al.* 2006). Par ailleurs, une différence plus ou moins grande a été constatée entre les courbes d'évolution du LAI et de paille sur les parcelles soumises aux mêmes traitements. Cela serait en partie dû au gradient de fertilité initiale du sol puisque que les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de sol présentés en annexe 6 ont montré une variation plus ou moins grande vis-à-vis des teneurs en éléments minéraux d'une parcelle à une autre. Par ailleurs, la chute du LAI sur les parcelles B1PLUF0 et B2PLUF7 à 65 JAS, comme l'ont montrée nos résultats, serait liée aux effets de l'hétérogénéité spatiale pendant la mesure comme rapporté par BREDA (1999). Selon cet auteur, au sein d'une même parcelle d'un peuplement végétal, l'indice foliaire peut varier du simple au double en raison d'une trouée.

Les résultats agronomiques obtenus sur l'essai de Farako-Bâ ont permis de distinguer le traitement MaIRRF7 des autres traitements. Bénéficiant d'un apport hydrominéral optimal, le traitement MaIRRF7 a permis d'induire un surplus de rendement de 18 et 51% respectivement en maïs grain et paille. Ce qui pourrait laisser croire que les 2 apports d'eau ont eu un effet positif sur les rendements finaux du maïs. Pourtant, les rendements obtenus en condition de stress azoté sans apport d'eau (Traitement MaPLUF0) et en condition d'apport hydrique sans engrais (Traitement MaIRRF0) n'ont pas présenté de différence significative. Cette situation tenterait donc de montrer que l'irrigation de complément à elle seule ne peut induire un surplus de rendement chez le maïs, mais combinée à une fertilisation azotée adéquate, elle peut booster son rendement final.. Ces résultats corroborent des travaux de nombreux auteurs, aussi bien au Burkina Faso qu'un peu partout dans le monde concernant la pratique de l'irrigation de complément et son impact sur le rendement des cultures (YUAN *et al.*, 2003 ; HE *et al.*, 2007 ; ZONGO 2016). Ainsi, ZONGO (2016) a montré que la pratique



de l'irrigation de complément à partir de bassins de collecte d'eau a permis d'accroître le rendement du maïs de plus de 80 % en zone sahélienne du Burkina Faso. Des auteurs tels que YUAN *et al.* (2003) ont rapporté qu'en Chine, cette pratique a entraîné une augmentation des rendements de la patate douce de 58 % (15 à 22,5 t.ha<sup>-1</sup>), du coton de 25 % (2953 à 3703 kg.ha<sup>-1</sup>) et du blé de 24 % (2431 à 3031 kg.ha<sup>-1</sup>). Néanmoins, il serait raisonnable de relativiser l'impact de l'irrigation d'appoint sur la productivité des cultures. Par exemple, les résultats des travaux de BARRON et OKWACH (2005) au Kenya ont révélé une absence de différence significative entre les rendements du maïs sous irrigation de complément et sans irrigation lorsque la pluviométrie est assez régulièrement répartie au cours de la campagne agricole. Ces résultats sous-entendent que l'importance de l'irrigation d'appoint dépend de la répartition spatio-temporelle des pluies durant la campagne agricole.

En ce qui concerne les résultats agronomiques obtenus auprès des agriculteurs, nous avons pu constater une influence accrue des antécédents culturaux sur le rendement des cultures. En effet, il a été enregistré de faibles rendements sur les précédents à dominance sorgho. Cette situation serait en partie due à la culture répétée du sorgho, qui en raison de sa plus grande capacité à utiliser les ressources du sol, bénéficie rarement des apports azotés de la part des paysans. Ce qui justifierait la mauvaise réputation de cette céréale en tant que précédent cultural par rapport aux autres cultures sarclées (HUGUES, 1966). Cependant, la hausse des rendements en grain au niveau des précédents maïs//coton//jachère serait liée aux effets indirects de jachère pousse que durant l'année de jachère étaient parqués les animaux (bœufs) sur les sites considérés. Ce qui aurait impacté positivement la réserve nutritive des sols, tout en influant positivement sur le rendement du maïs. Concernant la texture du sol, il en résulte que son effet est resté négligeable sur la productivité du maïs. Ces résultats attestent ceux de GROS (1974) qui, au terme de son étude a conclu que le maïs est une plante qui se développe sur la quasi-totalité des sols, pourvu qu'ils soient sains, profonds, aérés et bien drainés. Par ailleurs, les analyses de variance ont montré que le nombre de sarclage n'a pas affecté significativement la production de paille sur les parcelles paysannes. Ces résultats soutiennent ceux de ROUANET (1984) qui ont montré que l'effet compétitif des mauvaises herbes sur la croissance végétative du maïs n'est important qu'en début de végétation. Cependant, il ressort que les paysans, effectuant deux sarclages, ont enregistré les meilleurs rendements en grain. Il apparaît donc une différence d'impact des mauvaises herbes sur le rendement en grain par rapport à celui en paille. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait

que le prélèvement des éléments nutritifs dans le sol par les adventices affecte plus la culture pendant la phase d'accumulation des assimilats comme traduit par FORBES en 1985.

Pour ce qui concerne les résultats du paramétrage, des défauts majeurs de concordance entre simulations et mesures pour le LAI, la paille et le rendement en grain ont été constatés. Le paramétrage, tel qu'il a été conduit, n'a pas permis à DSSAT de prendre en compte l'effet des 2 apports d'eau sur la croissance et le développement du maïs. Tous ces aspects concourent à montrer que les résultats du paramétrage n'ont pas été en partie satisfaisants. Cela pourrait être dû essentiellement à l'utilisation de données ou paramètres ne correspondant aux caractéristiques intrinsèques du système sol-plante de la majorité des parcelles puisque que beaucoup d'entre elles (données d'entrée) ont été prises dans la littérature ou conservées par défaut dans le modèle. C'est pour cette raison que des auteurs tels que JONES *et al.* (1998) ont rapporté que la disponibilité de données de qualité est un préalable indispensable à l'utilisation des modèles de culture. A cela, l'on pourrait ajouter comme un second facteur limitant, l'effet des jachères andropogon et indofera sur la fertilité initiale des parcelles, que le modèle n'a pas pris en compte, et qui pourrait influencer sur les processus physiologiques du maïs. Toutefois, il a été constaté quelques simulations relativement satisfaisantes après paramétrage de DSSAT surtout pour le rendement en grain sous condition d'absence de stress azoté. Cet état de fait pourrait être justifié par le fait que les paramètres utilisés sur ces parcelles correspondraient relativement mieux aux caractéristiques réelles du terrain.

Les résultats d'évaluation ont montré des écarts plus ou moins grands entre rendements simulés et observés. Le modèle a d'une part surestimé et d'autre part sous-estimé le rendement réel. Des valeurs de RRMSE et de IA qui sont respectivement de 74 % et 0,2, ont témoigné de l'incapacité de DSSAT à prédire le rendement en maïs grain sur les parcelles des agriculteurs (WILLMOTT 1982 ; BELLOCCHI *et al.* 2009). Cette insuffisance de simulations serait fortement liée à l'utilisation de données sur le sol et les coefficients génétiques ne correspondant pas aux caractéristiques réelles des champs et des variétés. Cependant, les simulations sur certaines placettes se sont relativement approchées des observations. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les échantillons de sol, prélevés, analysés et utilisés pour évaluer le modèle, provenaient de ces placettes. Ce qui aurait permis à DSSAT de simuler le rendement en grain avec plus de précision sur ces placettes par rapport aux autres placettes.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre travail avait pour objectif d'améliorer la productivité du maïs dans les systèmes de culture de l'Ouest du Burkina Faso. Pour ce faire, il était question d'évaluer l'effet de l'irrigation de complément sur la productivité du maïs, ensuite paramétrer le modèle DSSAT en condition potentielle, et enfin tester sa performance à prédire le rendement du maïs en milieu réel de culture. Les résultats agronomiques obtenus ont confirmé la nécessité de combiner l'irrigation d'appoint à la fertilisation minérale en vue d'une meilleure productivité du maïs dans la partie Ouest du pays. Cela s'est avéré par l'obtention des rendements grain ( $3088 \pm 1482 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) et paille ( $4457 \pm 146 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) nettement meilleurs en condition optimale d'apport d'eau et de nutriments (Traitement MaIRRF7). Toutefois, il serait nécessaire de réaliser une étude plus exhaustive en vue d'évaluer les enjeux socio-économiques et environnementaux d'un tel traitement (**H<sub>1</sub>** vérifiée).

Par ailleurs, les résultats de modélisation ont montré que le paramétrage du modèle n'était pas assez bon. Des écarts plus ou moins importants ont été constatés entre valeurs simulées et mesurées pour le LAI, la paille et le rendement en grain. Cette situation pourrait trouver d'une part son fondement par rapport à l'utilisation de paramètres décrivant avec peu de précision les propriétés intrinsèques du système sol-plante de l'essai, et d'autre part aux effets des précédents jachères andropogon et indigofera sur l'état initial du sol, que le modèle dans sa version actuelle est incapable de prendre en compte. Cependant, des résultats de simulation relativement satisfaisants ont été observés sur certaines parcelles en condition optimale d'apport azoté et hydrique. De ce fait, nous ne pouvons être conclusifs au rejet total de la deuxième hypothèse de l'étude (**H<sub>2</sub>** rejetée partiellement).

Au terme du paramétrage, l'évaluation de la performance prédictive du modèle s'en est suivie. Il s'est agi de montrer le degré de précision avec lequel DSSAT prédit le rendement en grain en condition paysanne. Préalablement, les résultats agronomiques montrant l'effet des facteurs tels que les précédents culturaux, le nombre de sarclage et la texture du sol sur la productivité du maïs ont été appréciés. Il a été constaté une variation significative des rendements en fonction du précédent cultural et du nombre de sarclage. Les analyses ont montré que les parcelles qui avaient pour précédents maïs//coton//jachère et celles bénéficiant de 2 sarclages avaient produit les rendements en grain les plus importants respectivement  $3325 \pm 1103 \text{ kg.ha}^{-1}$  et  $2184 \pm 419 \text{ kg.ha}^{-1}$ . Par rapport aux résultats d'évaluation, DSSAT s'est montré peu performant pour simuler le rendement du maïs sur les

parcelles paysannes. Des écarts importants ont été perçus entre rendements simulés et observés. Des valeurs de RRMSE et de IA qui sont respectivement de 74 % et 0,2 ont traduit la mauvaise performance de DSSAT à simuler le rendement du maïs dans le contexte édapho-climatique soudanienne. Nonobstant cette situation, nous ne pouvons rejeter que partiellement la troisième hypothèse de l'étude puisque celle-ci semblerait se corréler à la seconde ( $H_3$  rejetée partiellement).

En définitive, cette étude nous a permis d'étayer nos connaissances sur la modélisation des systèmes agricoles. De façon précise, elle nous a permis de découvrir les étapes préliminaires dont le modèle DSSAT doit parcourir afin d'être utilisé par la recherche pour proposer des solutions permettant d'accroître le rendement du maïs. Les résultats ainsi dégagés de cette étude ont montré une insuffisance de paramètres (surtout sur le sol) devant permettre à DSSAT de reproduire avec plus d'exactitude le fonctionnement du système sol-plante en interaction avec le climat et les opérations culturales. Cependant, les résultats de la présente étude ne pourraient aucunement infirmer l'utilisation de DSSAT pour d'éventuelles études aussi bien dans notre zone d'étude qu'ailleurs dans le monde. Mais, il nous semble opportun de soumettre un certain nombre de perspectives visant à mieux orienter les études ultérieures. De ce fait, nous proposons :

- de poursuivre la collecte des données expérimentales sur d'autres sites et durant plusieurs années pour améliorer le paramétrage ;
- de mieux paramétrer le bilan hydrique et azoté en fournissant par mesure les indicateurs hydrominéaux spécifiques à chaque parcelle expérimentale;
- d'identifier les variétés de maïs utilisées par les paysans en vue de déterminer les paramètres variétaux spécifiques à chacune d'elles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABGA P. T., 2013.** Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire de Master II en Sciences du sol, IDR/UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 61p.
- AHMADI N., CHANTEREAU J., LETHEVE C.H., MARCHAND J.L., et OUENDEBA R., 2006.** Les céréales in : Mémento de l'agronome MAE, CIRAD, GRET. Editions du GRET-CIRAD, 777-792.
- BADO B. V., SEDOGO P. M., CESCAS M. P., LOMPO F. et BATIONO A., 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements de maïs au Burkina-Faso. Agriculture, vol 6, n°6, 547-626.
- BAMBARA F. A., 2012.** Optimisation de la fertilisation azotée du maïs en culture pluviale dans l'ouest du BURKINA FASO : utilisation du modèle agronomique DSSAT. Mémoire de fin d'études, Option : Agronomie, IDR/UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 38p.
- BÂNZINGER M. et DIALLO A., 2000.** Stress tolerant maize for farmers in Sub-Saharan Africa. Maize Research High lights 1999-2000, 1-8.
- BARRON J. et OKWACH G., 2005.** Run-off water harvesting for dry spell mitigation in maize (*Zea mays* L.): results from on-farm research in semi-arid Kenya. Agricultural Water Management, 74, 1-21.
- BELLOCCHI G., RIVINGTON M., DONATELLI M. et MATTHEWS K., 2009.** Validation of biophysical models: issues and methodologies. A review. Agronomy of sustainable development, vol. 30, n.1, p. 109-130.
- BOLI Z., ROOSE E., ZAHONERO, P., BEP AZIEM B., SANON K., WAECHTER F. et WAHOUNG F. 1998.** Effets et arrières effets des pratiques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production d'une rotation intensive (coton-maïs) sur un sol sableux des savanes humides du Nord-Cameroun. Bulletin - Réseau Erosion18: 246-259.
- BRASSARD M., 2007.** Développement d'outils diagnostiques de la nutrition azotée du maïs-grain pour une gestion optimale de l'engrais azoté. Mémoire de maîtrise. Université de Laval, 105 p.
- BREDA N., 1999.** L'indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. Revue forestière française, (2) : 135-150.

- BRISSON N., 2009.** Principes et utilité des modèles de culture, In Modélisation En Biologie Végétale. Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France du 28 janvier 2009, Académie d'Agriculture de France, Paris, France. 4p.
- BRISSON N., RUGET F., GATE P., LORGEOU J., NICOULLAUD B., TAYOT X., PLENET D., JEUFFROY M.-H., BOUTHIER A., RIPOCHE D., MARY B. et JUSTES E., 2002.** STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize; *Agronomie* Vol.22; pp.69–92.
- CHISANGA C. B., PHIRI E., SHEPANDE C. et SICHINGABULA H., 2015.** Evaluating CERES-Maize Model Using Planting Dates and Nitrogen Fertilizer in Zambia. *Journal of Agricultural Science*, 7 (3) 79-96.
- CIMMYT, 1991.** CIMMYT 1989/1990, réalités et tendances: potentiel maïsicole de l'Afrique Subsaharienne, Mexico, Mexique, 71p.
- CIMMYT, 2006.** Maïs pour l'Afrique résistant à la sécheresse (DTMA). Rapport de projet pour la valorisation de la production des semences de maïs en Afrique, CIMMYT-IITA, Nairobi, Kenya.
- DAKOUO D., 1991.** Le maintien de la fertilité dans les systèmes de culture conduits en motorisation intermédiaire. Cas de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. IN.E.R.A/Programme coton-ESFIMA, 49p+annexes.
- DAKOUO D., 1994.** Les carences en potassium sur cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) dans les systèmes de culture: cas de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Thèse de Docteur-ingénieur. FAST, Université nationale de Côte d'Ivoire, 141p.
- DE WIT C., BROUWER R. et PENNING DE VRIES F., 1970.** The simulation of photosynthetic system, In Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. Proceedings of the IBP/PP technical meeting, Třeboň, 14-21 September 1969, Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 632p.
- DELFORGE J., 1984.** Sur l'identifiabilité et l'identification des modèles linéaires. Exemples d'application dans le cadre de la théorie des systèmes de transformations. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Angers, France, 388 p.
- DEMBELE Y. et SOME L., 1991.** Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso. Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone. M. V. SIVAKUMAR, K. WALLACE, J. S. RENARD and C. GIROU. Niamey, Niger, IAHS. Proceedings of a workshop, Niamey, February 1991: 628.
- DU TOIT A.S., BOOYSEN J. et HUMAN H.H., 2001.** Use of Linear regression and a correlation matrix to evaluate CERES-Maize. In: White, J.W., and P.R. Grace (eds),

Modeling extremes of wheat and maize crop performance in the tropics, Proceedings of a workshop. CIMMYT, El Batan (Mexico), 19-22 April 1999, Mexico, D.F. CIMMYT.

**DZOTSI K., 2002.** Application du modèle CERES-Maize de DSSAT à l'analyse de stratégies de semis pour le maïs (*Zea mays* L.) dans les conditions de Sévé-Kpota. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Option : Agronomie, UL-ESA, Lomé, Togo, 92p.

**ELOLA D., 2012.** Evaluation multilocale d'hybrides et de lignées de maïs. Mémoire de fin d'études, Option: Agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 64 p

**FAO, 2007.** Annuaire statistique de la FAO 2007-2008, Rome Italie. 1p

**FETCHER J., AJJISON B.E., SIVAKUMAR M.K.V., VAN DER PJOEG R.R. et BLEY J., 1991.** An evaluation of the SWATRER and CERES-Millet models for south west Niger. In: SIVAKUMAR M.V.K, Wallace J.S., RENARD C., GIROUX C., (eds.), Soil Water Balance in the Sudano-Sahellian Zone. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, 505-513.

**FONTES J. et GUINKO S., 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Ministère de la Coopération Française : projet campus (88 313101).

**FORBES J.C., 1985.** Weed-crop competition studies in swedes. II. The effects of weed competition on crop growth parameters. Ann. appl. Biol. 106 : 513-523.

**GAY J.P., 1984.** Fabuleux maïs : Histoire et avenir d'une plante. AGPM, Info compo, Pau. 295p.

**GEOFFROY W., 2008.** Modélisation et simulation de la décision : Pilotage d'un système de production agricole. Mémoire de Master en Ingénierie du logiciel libre, INRA, Toulouse, France, 43p.

**GNIS.** Physiologie et reproduction du maïs. ([http://www.gnis\\_pedagogie.org/maisplante-physiologie-reproduction.html](http://www.gnis_pedagogie.org/maisplante-physiologie-reproduction.html) consulté le 25/08/2016 à 22h 00)

**GRET, 2002.** Mémento de l'agronome. CIRAD-GRET, Paris, France, 1683 p.

**GROS A., 1974.** Engrais: Guide pratique de la fertilisation, Paris, France, 436 p.

**GUIRO O. A., 2003.** Problématique d'agression des forêts classées de Dindéresso et du Kou «cas des exploitantes frauduleuses de Bois des secteurs 10, 11, 21 et 22 de la ville de Bobo-Dioulasso» recherche de perspectives. Rapport de fin de cycle présenté en vue de l'obtention du diplôme de contrôleur des eaux et forêts. 37 p.

**HANSEN J.W., PICKERING N.B., JONES J.W., WELLS C., CHAN H. et GODWIN D.C., 1994.** Weatherman. In DSSAT version 3, Tsuji G., Uehara G. et Balas S. (Eds.). pp. 138-200. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

- HE X.F., CAO H. et LI F.M., 2007.** Econometric analysis of the determinants of adoption of rainwater harvesting and supplementary irrigation technology (RHSIT) in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 89 (3), 243–250.
- HIEMA S. C., 2005.** Caractérisation et classification de lignées de maïs (*Zea mays* L.). Mémoire de fin de cycle. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 71p.
- HIEN, 2016.** Evaluation de l'efficacité de nouvelles formules d'engrais minéraux sur la nutrition minérale et le rendement du cotonnier sur des sols ferrallitiques, ferrugineux et brun eutrophes. Mémoire de fin d'études, Option : Agronomie, Institut de Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 35p.
- HOOGENBOOM G., JONES J. W., PORTER C. H., WILKENS P. W., BOOTE K. J., BATCHELOR W. D., HUNT L. A. et TSUJI G. Y., 2003.** Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- HOOGENBOOM G., WILKENS P.W. et TSUJI G.Y (Eds.), 1999.** DSSAT v3, University Of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- <http://dssat.net>. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.6. Overview. 24/03/2017 à 15h25.
- HUGUES P., 1966.** «Les sorghos fourragers» (27): 71-107
- IBSNAT, 1990.** IBSNAT progress report 1987-1990. International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer, Honolulu, USA. 54 p.
- INSD, 2015.** Annuaire statistique 2014. 420 Ouagadougou, Burkina Faso: INSD.
- JONES C.A. et KINIRY J.R., 1986.** CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A & M University Press: 165p.
- JONES J.W. et LUYTEN J.C., 1998.** Simulation of biological processes. In: Peart, R.M. and Bruce Curry, R. (Eds.), *Agricultural systems modeling and simulation*. Marcel Dekker, New York, 19-62.
- JONES J.W., HOOGENBOOM G., PORTER C.H., BOOTE K.J., BATCHELOR W.D., HUNT L.A., WILKENS P.W., SINGH U., GIJSMAN A.J. et RITCHIE J.T., 2003.** The DSSAT cropping system MODEL. *EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY* 18: 235-265.
- JONES J.W., TSUJI G.Y., HOOGENBOOM G., HUNT L.A., THORNTON P.K., WILKENS P.W., IMAMURA D.T., BOWEN W.T. et SINGH U., 1998.** Decision support system for Agrotechnology transfer: DSSAT v3. In *Understanding options for*



agricultural production, Tsuji, G.Y. et al. (Eds.), pp 157-177. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

**KOUAKOU P. K., 2013.** Amélioration de la prévision des rendements du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) au Sénégal par l'utilisation de modèles de culture : prise en compte de la sensibilité à la photopériode des variétés et de la fertilité dans les parcelles d'agriculteurs. Thèse de Doctorat en biologie, physiologie et pathologies végétales. Université Cheik Anta Diop de Dakar, Sénégal, 96p.

**KOULIBALY B., TRAORE O., DAKUO D. et ZOMBRE P. N. 2009.** Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 13(1): 103-111.

**LAL R., 2002.** Carbon sequestration in dry land ecosystems of west Asia and North Africa. *Land Degradation & Development*, 13 (1): 45-59.

**LAMBONI M., MAKOWSKI D., LEHUGER S., GABRIELLE B. et MONOD H., 2009.** Multivariate global sensitivity analysis for dynamic crop models; *Field Crops Research* Vol.113; pp.312-320.

**MACAULEY H. et RAMADJITA T., 2015.** Nourrir l'Afrique : Les cultures céréalières: riz, maïs, millet, sorgho et blé. Rapport d'action pour la transformation de l'agriculture africaine, Centre international de conférences Abdou Diouf Dakar, Sénégal, 36 pp.

**MARHASA, 2015.** Le maïs au Burkina : Renforcer la résilience de la filière aux chocs climatiques, Capitaliser les opportunités d'exportation du maïs, Promouvoir le développement d'une filière commerciale structurée et Lutter contre les inefficiences de marché. Note d'orientation politique, SAPAA, Ouagadougou, Burkina Faso ([www.agriculture.gov.bf](http://www.agriculture.gov.bf)).

**NORMAN M.J., SEARLE P. et PGE., 1995.** The ecology of tropical food crops. Cambridge University Press, USA, 430p.

**OUBDA W.Y.C., 2014.** Evaluation de lignées stables obtenues dans des variétés de maïs de cycles intermédiaire, précoce et extra-précoce vulgarisées au Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, Option : Agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 68 p.

**PALIWAL L.R., GRANADOS G., LAFITTE R.H. et VIOLIC D.A., 2002.** Le maïs en zone tropicales: Amélioration et production. Collection FAO: Production végétale et protection des plantes, University of Manitoba, Manitoba, Canada, n°28, 382p.

**PERNÈS, J. 1983.** La génétique de domestication des céréales. *La Recherche*, 146(14) :910–919.

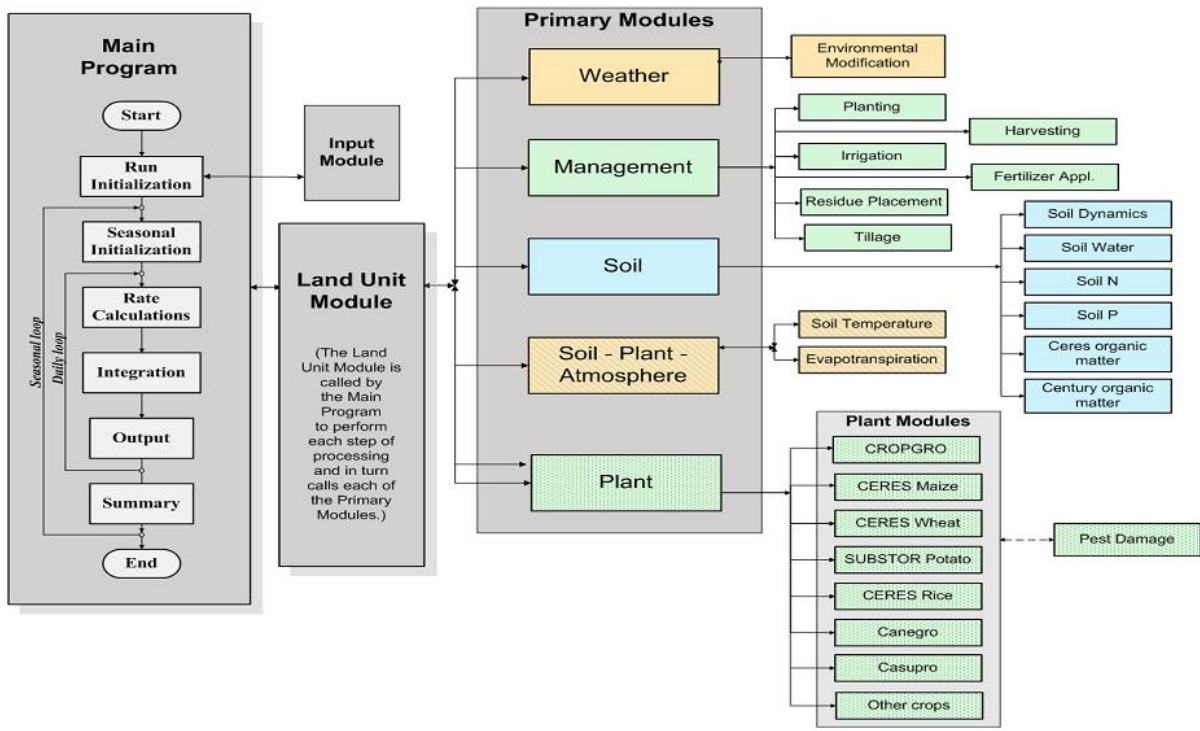
- PIERI C., 1989.** Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la coopération, IRAT/CIRAD, 444p.
- PODA E., 1979.** L'amélioration du maïs pour la productivité et la valeur nutritionnelle, Etude de la prolificité en épis et des facteurs de richesse en lysine du grain. Mémoire de fin d'études, DESTOM, INRA Montpellier, France, 106 p.
- PRESAO, 2011.** Analyse de la compétitivité de la filière maïs au Burkina Faso. Rapport final N° 3- 2011-12-Maïs, PRESAO, Ouagadougou, Burkina Faso, 29 p.
- RAES D., 2003.** Renforcement de la capacité de gestion des ressources en eau dans l'agriculture moyennant des outils de suivi-évaluation. Rapport Annuel No 2 ; MAHRH, EIER et KUL, Ouagadougou, Burkina Faso, 114p.
- ROUANET G., 1984.** Le maïs: Le technicien d'Agriculture tropicale. Édition Maisonneuve et Larose, Paris, France, 142p.
- ROY R.N., MISRA R.V., LESSCHEN J.P. et SMALING E.M., 2005.** Evaluation du bilan en éléments nutritifs du sol; Approches et méthodologies. Bulletin FAO, engrais et nutrition végétale, FAO, Rome, Italie, N°14, 85p.
- SAMBA A., SARR B., BARON C., GOZE E., MARAUX F., CLERGE B., DINGKUHN M., 2001.** La prévision agricole à l'échelle du Sahel, in: Modélisation des agrosystèmes et aide à la décision. Malezieux E., Trebreil G., Jaeger M. (eds). CIRAD-INRA, pp. 243–261.
- SANOUE J., 2006.** Fiche technique de maïs de consommation. Variété SR 21. CNRST/INERA/DPV/CT, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 1p.
- SARR B. et LONA I., 2009.** Les fortes pluies et les inondations enregistrées au Sahel au cours de l'hivernage 2007 : variabilité et/ou changement climatique. 14<sup>ème</sup> Colloque International, SIFEE «Changement climatique et évaluation Environnementale» Outils et enjeux pour l'évaluation des impacts et l'élaboration des plans d'adaptation, Niamey, Niger 9p.
- SARR B., KAFANDO L., ATTA S., 2011.** Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. International journal of Biological and chemical Sciences, 1659 -1675 pp.
- SCHLENKER W. et LOBELL D.B., 2010.** Robust negative impacts of climate change on African agriculture. Environment Resources Letter. New York, USA, 9p.
- SCHWARTZ A., 1996.** Pratiques paysannes et gestion de la fertilité des terres sur les exploitations cotonnières dans l'ouest du Burkina Faso. Cah. Sci. Hum 32(1): 153-775.

- SCHWARTZ A., 2000.** Culture du coton, sécurité alimentaire et développement durable dans les savanes de l'Afrique subsaharienne. L'exemple du Burkina Faso. In Sécurité alimentaire et développement durable, Paris, France, 189-198 p.
- SEDOGO P.M., BADO B.V., HIEN V. et LOMPO F., 1991.** Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière: l'expérience du Burkina Faso. In A.U. MOKWUYE (Ed) Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa; Kluwer Academy Publishers, Netherlands, 115-123.
- SINGH U., REULER H. van, CHUDE V., AIHOU K., DEJEAN P., 1999.** Using Decision Support Systems to stimulate resource conserving practices. Paper presented at the MODSS'99 Conference, 1 – 6 August 1999, Brisbane, Australia, 639-643.
- SISSOKO F., COULIBALY D., CISSE O. et DUGUE P., 2015.** Évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali. In AGRAR-2013 : 1<sup>re</sup> conférence de la recherche africaine sur l'agriculture, l'alimentation et la nutrition. Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 4-6 juin 2013. L'agriculture face aux défis de l'alimentation et de la nutrition en Afrique : quels apports de la recherche dans les pays cotonniers, 689 (Eds M. Fok, O. Ndoye and S. Koné). Yamoussoukro, Côte d'Ivoire: Presses Agronomiques de Gembloux, 149-160.
- STRUIF BONTKES T.E. et WOPEREIS M.C.S., 2003.** Outils d'aide à la décision pour l'agriculture en Afrique sub-saharienne. Un guide pratique. IFDC-CTA; Alabama, Etats-Unis, 207p.
- SULTAN B., BELLA-MEDJO M., BERG A., QUIRION P. et JANICOT S., 2010.** Multi-scales and multi-sites analyses of the role of rainfall in cotton yields in West Africa. *International Journal of Climatology*30: 58–71.
- TOULET S., 2012.** Exploration et analyse de modèles pour l'agronomie et l'environnement: création d'un package de ressources pédagogiques sous le logiciel R. Mémoire de Master II, Option : Modélisation des systèmes écologiques. Université de Toulouse, France, 40p.
- TRAORE K., 2007.** Effets de l'activer «compost plus» sur la qualité et l'efficacité des composts de résidus de culture sur la productivité du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Mémoire de fin de cycle, Option: Agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 39p
- WECAMAN, 1999.** Essais variétaux uniformes régionaux, Dakar, Sénégal, 6p + annexes.
- WILLMOTT C., 1982.** Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of The American Meteorological Society* 63: 1309–1369.

- YUAN T., FENGMIN L. et PUHAI L., 2003.** Economic analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China. *Agricultural Water Management*, 60 (3), 217–226.
- ZIADI N., GAGNON B., ROCHETTE P., ANGERS D. et CHANTIGNY M., 2006.** Nitrogen use efficiency and N<sub>2</sub>O emission reduction in corn receiving mineral fertilizers. Rapport de projet, Québec, Canada, 12 p.
- ZOMA W.O., 2010.** Amélioration de variété Espoir de maïs en vue de l' intensification de sa culture, Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 51p.
- ZONGO B., 2016.** Stratégies innovantes d'adaptation à la variabilité et au changement climatiques au Sahel : Cas de l'irrigation de complément et de l'information climatique dans les exploitations agricoles du Burkina Faso. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Université de Liège, Belgique, 259p.

# ANNEXES

**Annexe 1 : Le système DSSAT montrant les principaux modules (JONES *et al.*, 2003)**



**Annexe 2 : Les photos des principaux outils utilisés**



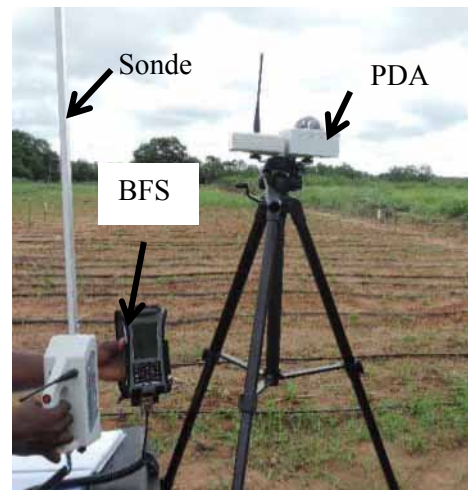
**Photo 1 : Un pluviomètre**



**Photo 2 : Une étuve**



**Photo 3 : Mini station Tinytag**



**Photo 4 : Le Sunscan**



**Photo 5 : Boîte mise sous un goutteur pour recueillir l'eau d'irrigation**



**Photo 6 : Une personne utilisant une tarière**

**Annexe 3 : L'itinéraire technique suivi à la station de Farako-Bâ**

<b>Dates</b>	<b>Activités réalisées</b>
15/06	Débroussaillage
22/06	Labour à plat (motoculteur)
24/06	Planage
28/06	Semis, apport NPK
11/07	Sarclage 1 et démariage
14/07	Apport Urée 1
26/07	Sarclage 2
29/07	Apport Urée 2
4/08	Buttage
6/08	Irrigation 1
11/08	Irrigation 1
10/10	Récolte



**Annexe 4:** Les itinéraires techniques appliqués par les agro-éleveurs du CPN

Activités et dates de réalisation								
Paysans	PS	Semis	sarclage1	sarclage2	Traitement herbicide	Apport du NPK	Apport de l'urée	Récolte
1	18/06 (L)	18/06	20-21/08	11/09	17/07	27/07	22/08	9/11
2	25/06 (L)	13/07	14/08	29/08	15/07	01/08	30/08	9/11
3	16/07 (L)	18/07	14/08	29/08	21/07	02/08	5/09	9/11
4	16/07 (L)	18/07	24/08	**	19/07 et 31/08	03/08	2/09	3/11
5	23/06 (L)	21/07	28/08	9/09	**	4/08	30/08	3/11
6	13/07 (B)	14/07	14/08	**	29/06	5/08	24/08	2/11

\*\* : Néant, **PS** : Préparation du sol, **L** : Labour à plat, **B** : Billonnage

**Annexe 5 : Mesure du LAI avec le Sunscan**



**Annexe 6 : Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol de Farako-Bâ**

<b>Horizons (cm)</b>	<b>Profil 1</b>				<b>Profil 2</b>			
	<b>0-20</b>	<b>20-40</b>	<b>60-80</b>	<b>80-100</b>	<b>0-20</b>	<b>20-40</b>	<b>60-80</b>	<b>80-100</b>
Texture	SL	SA	AS	A	SL	SA	AS	A
Argile (%)	12,67	20,59	20,59	20,59	12,67	20,59	20,59	20,59
Limons totaux (%)	17,62	15,92	15,92	15,92	17,62	15,92	15,92	15,92
Sables totaux (%)	69,70	63,43	63,43	63,43	69,70	63,43	63,43	63,43
<b>Carbone et matière organique</b>								
Matière organique totale (%)	0,60	0,38	0,19	0,22	0,58	0,34	0,19	0,22
Carbone total (%)	0,35	0,22	0,11	0,13	0,34	0,19	0,11	0,13
Azote total (%)	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
C/N	12,01	12,56	8,15	8,40	12,15	11,53	8,15	8,40
Phosphore as. (mg/kg sol)	2,09	0,97	0,97	0,97	2,09	0,97	0,97	0,97
<b>Réaction du sol</b>								
pH eau	5,27	4,70	4,70	4,70	5,27	4,70	4,70	4,70

<b>Horizons (cm)</b>	<b>Profil 3</b>				<b>Profil 4</b>			
	<b>0-20</b>	<b>20-40</b>	<b>60-80</b>	<b>80-100</b>	<b>0-20</b>	<b>20-40</b>	<b>60-80</b>	<b>80-100</b>
Texture	SL	SA	AS	A	SA	S	AS	AS
Argile (%)	8,71	21,58	48,63	44,36	23,14	14,65	48,63	44,36
Limons totaux (%)	19,60	15,64	13,18	14,57	15,29	13,66	13,18	14,57
Sables totaux (%)	71,68	62,77	38,20	41,70	61,57	71,68	38,20	41,70
<b>Carbone et matière organique</b>								
Matière organique totale (%)	0,58	0,51	0,43	0,38	0,82	0,44	0,43	0,38
Carbone total (%)	0,34	0,29	0,25	0,22	0,47	0,26	0,25	0,22
Azote total (%)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02
C/N	13,34	11,97	11,64	9,97	11,46	10,45	11,64	9,97
Phosphore as. (mg/kg sol)	2,49	1,05	0,48	0,32	3,86	1,37	0,48	0,32
<b>Réaction du sol</b>								
pH eau	5,1	5,1	5,02	5,06	5,28	4,75	5,02	5,06

**NB :** Les données ci-dessous sont communes aux 4 profils de sol

<b>Horizons (cm)</b>	<b>0-20</b>	<b>20-40</b>	<b>60-80</b>	<b>80-100</b>	<b>Sources</b>
Potassium dis. (mg/kg sol)	28	30	30	30	HIEN, 2016
CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	5,12	6,23	6,23	6,23	HIEN, 2016
CAC (mm)	0,085	0,131	0,193	0,186	DEMBELE <i>et al.</i> , 1991
Pf (mm)	0,028	0,078	0,13	0,129	DEMBELE <i>et al.</i> , 1991

CAC : Humidité du sol à la capacité au champ, Pf : Humidité du sol au point de flétrissement

