



# INFORMATION CLIMATIQUE ET CALCULS DE RENDEMENT SUR PARCELLE EXPERIMENTALE DANS LA PROVINCE DU BAM

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE  
DE  
**MASTER**  
**SPECIALITE EAU SOUTERRAINE**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 03/07/2020 par

**Amina MAHAMAN LAMINOUM AMADOU (20140093)**

Et sous l'encadrement de Dr **Malicki ZOROM, Dr Dial NIANG**

Enseignant-Chercheur 2IE/

Maitre-Assistant du CAMES

Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agricultures (LEHSA)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Babacar LEYE

Membres et correcteurs :

Dr Fowé TAZEN

Boubé BASSIROU

**Promotion [2019/2020]**

## **DEDICACE**

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents, mon père Mahaman Laminou AMADOU et à ma mère Maïmou WALI que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

A mes deux frères Souleymane et Amadou qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie.

## REMERCIEMENT

Après avoir rendu Grâce à Dieu le Tout puissant et le Miséricordieux, je tiens à remercier vivement tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document.

En premier je tiens à adresser mes sincères remerciements au Pr. Harouna KARAMBIRI, Directeur de la recherche d'avoir accepté ma personne pour y effectuer ce stage au sein du 2iE

Ma profonde gratitude va naturellement à l'égard de Dr Malicki ZOROM, Dr Dial NIANG, qui m'ont formé et accompagné tout au long de la période du stage.

A Dr Vivien Chaim DOTO, Mr. Roland YONABA, tous enseignants au 2iE pour leurs disponibilités et tous les stagiaires du projet « Irrigation de Complément et Information Climatique » qu'ils reçoivent ici toute ma gratitude.

Au corps professoral et administratif de l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 2iE. Merci pour la formation scientifique reçue.

Je pense aussi à Abdoul Salam KARIMOU BONDABOU pour la pertinence de ses précieux conseils.

Je remercie enfin l'ensemble de mes proches, ma source de motivation.

## RESUME

Le changement climatique figure au nombre des questions importantes en ce début du XXI<sup>ème</sup> siècle. En effet, il a un impact direct sur plusieurs secteurs, notamment le secteur agricole. La présente étude qui s'inscrit dans le cadre du Projet Irrigation de Complément et Information Climatique (PICIC), propose des stratégies d'adaptation pour réduire la vulnérabilité des producteurs sahéliens. Les caractéristiques climatiques de la saison (début, fin, longueur) ont été calculées à partir des pluies journalières de la station de Ouahigouya sur la période 1989 à 2018 ensuite la prévision de ces caractéristiques a été établie en utilisant les modèles régionaux RACMO, REMO et CCLM4 sur la période de 2020 à 2050 selon deux scénarios à savoir RCP4.5 et RCP8.5. Les résultats présentent une très forte variabilité des écarts autour des dates de début de saison, par contre les dates de fin des saisons varient moins.

L'analyse des informations collectées lors de notre enquête, ressort que les paysans utilisent plus leurs techniques endogènes basés sur l'événement pluvieux (44%), la tradition (17%), la croyance (19%) et la phénologie de certains arbres (7%) pour la prévision saisonnière, au détriment de l'information climatique (12%). Les producteurs souhaitent recevoir comme informations, le début de l'hivernage (83%), la durée de la saison des pluies (7%) et les informations journalières (4%) au cours du mois d'Avril pour la préparation de la campagne agricole. Afin de leur fournir ces informations, nous nous sommes basés sur le critère de Sivakumar pour établir un calendrier des dates de début et fin de saison. Aussi, sur les 15 producteurs participant à l'expérimentation, seuls deux (2) ont pu mener à terme l'expérimentation. Le site de Sakou a obtenu le rendement le plus élevé (1,1t/ha) sur la parcelle irriguée contre 0,02t/ha.

Mots clés : changement climatique ; Information climatique ; Prévision saisonnière ; Perception paysanne ; Rendement.

## ABSTRACT

Climate change is one of the important issues at the start of the 21st century. Indeed, it has a direct impact on several sectors, notably the agricultural sector. To allow producers to adapt to the variability of the rainy seasons in Burkina Faso. This study, which is part of the Complementary Irrigation and Climate Information Project (PICIC), proposes adaptation strategies to reduce the vulnerability of Sahelian producers. The climatic characteristics of the season (beginning, end, length) were calculated from the daily rains of the Ouahigouya station over the period 1989 to 2018 then the forecast of these characteristics was established using the regional models RACMO, REMO and CCLM4 over the period from 2020 to 2050 according to two climate scenarios RCP4.5 and RCP8.5. The results show a very high variability in the differences around the start dates of the season, on the other hand the end dates of the seasons vary less.

The analysis of the information collected during our survey shows that the farmers use their endogenous techniques more based on the rainy event (44%), the tradition (17%), the belief (19%) and the phenology of certain trees. (7%) for seasonal forecasting, to the detriment of climate information (12%). Producers wish to receive as information the start of wintering (83%), the duration of the rainy season (7%) and daily information (4%) during the month of April for the preparation of the campaign agricultural. In order to provide them with this information, we used Sivakumar's criteria to establish a calendar of the start and end dates of the season. Also, of the 15 producers participating in the experiment, only two (2) were able to complete the experiment. The Sakou site obtained the highest yield (1.1 t / ha) on the irrigated plot against 0.02 t / ha.

**Key words:** Climate change; Climate information; Seasonal forecast; Peasant perception ; Yield.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**2iE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

**ACMAD** : Centre Africain des Applications de la Météorologie au Développement

**AGRHYMET** : Centre Régional de Formation et d'Application en Agro météorologie et en Hydrologie Opérationnelle

**BCER** : Bassin de Collecte des eaux de ruissellement

**CC** : Changement Climatique

**CES** : Conservation des Eaux et des Sols

**CRDI** : Centre de Recherche pour le Développement International

**FAO** : Food and Agriculture Organization (Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture)

**IC** : Informations Climatique

**ICRISAT** : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

**GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

**LEHSA** : Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture

**ONG** : Organisation Non Gouvernementale

**PE** : Parcelles Expérimentales

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**PT** : Parcelles Témoins

**PRESAO** : Prévision Saisonnière en Afrique de l'Ouest

## Table des matières

<i>DEDICACE</i>	<i>i</i>
<i>REMERCIEMENT</i>	<i>ii</i>
<i>RESUME</i>	<i>iii</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>iv</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i>	<i>v</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>viii</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>ix</i>
<i>INTRODUCTION</i>	<i>16</i>
<b>I. PROBLEMATIQUE :</b>	<b>17</b>
<b>II. Objectif de l'étude :</b>	<b>18</b>
<b>III. Hypothèses de l'étude :</b>	<b>18</b>
<b>CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIE :</b>	<b>20</b>
<b>I. Introduction :</b>	<b>20</b>
<b>II. Moyens endogènes pour la prévision saisonnière :</b>	<b>21</b>
<b>III. Prévisions saisonnières à partir des modèles climatiques :</b>	<b>22</b>
<b>IV. Impact du changement climatique sur le secteur agricole :</b>	<b>26</b>
<b>V. Stratégies d'adaptions :</b>	<b>27</b>
<b>VI. Diffusion de l'information climatique :</b>	<b>28</b>
<b>VII. Méthodes de détermination des dates de début et fin de saison d'une campagne agricole :</b>	<b>30</b>
<b>VIII. Généralités :</b>	<b>19</b>
<b>CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES :</b>	<b>18</b>
<b>I. Présentation de la zone d'étude :</b>	<b>18</b>
1. Milieu physique	18
2. Cadre humain	21
<b>II. Matériels utilisés :</b>	<b>21</b>
1. Description des Bassins de Collectent d'Eau de Ruissellements (BCER)	21
	<i>vi</i>

2.	Logiciels utilisés :	23
3.	Données utilisées :	23
<b>III.</b>	<b>Démarche méthodologique :</b>	<b>23</b>
1.	Phases des enquêtes auprès des ménages agricoles de la collecte des données	23
2.	Description du matériel utilisé :	25
3.	Parcelles d'expérimentation ;	25
4.	Détermination des dates de début et de saison :	25
<b>CHAPITRE III. Résultats et discussion</b>		<b>29</b>
<b>I.</b>	<b>indicateurs utilisés pour la prévision saisonnière dans le BAM</b>	<b>29</b>
<b>II.</b>	<b>informations climatiques utiles pour les producteurs :</b>	<b>30</b>
<b>III.</b>	<b>Détermination des dates de début et fin de saison :</b>	<b>32</b>
1.	Analyse de l'impact du CC sur l'agriculture :	32
2.	Elaboration de l'information climatique :	34
2.	Effet comparés de l'utilisation de l'information climatique et des prévisions endogènes sur la production de la campagne 2018-2019 :	52
<b>CONCLUSIONS :</b>		<b>54</b>
<b>RECOMMANDATION</b>		<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		<b>56</b>
<b>ANNEXES</b>		<b>i</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Avantages et Inconvénients des différents critères	32
Tableau 2: Résultats obtenus pour les différents critères	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 3: Résultats des dates de début et fin de saison obtenus par la boîte à moustache	37
Tableau 4: Ecart Quadratique moyen (EQM) entre les données des modèles et les données historiques	43
Tableau 5: Ecart moyen absolu (MAE) entre les données des modèles et les données historiques	43
Tableau 6 : Ecart relatif entre les données des modèles et les données historiques	44
Tableau 7: Moyenne et écart-types des différents modèles (scénario RCP4.5)	45
Tableau 8: Moyenne et écart-types des différents modèles (scénario RCP8.5)	45
Tableau 9: Résultats dates de début et fin de saison campagne 2020	50
Tableau 10 : Dates probable de l'installation de la saison des pluies 2020 au Burkina en zone sahélienne	51
Tableau 11: Rendements de maïs sur les parcelles de Sakou et Sanrgho 1(campagne agricole 2019)	53

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Présentation de la zone d'étude	18
Figure 2: Evolution des indices de pluie annuelle de la période 1989-2018	19
Figure 3: Carte des isohyètes au Burkina Faso	20
Figure 4: Réseau hydrographique de la province du Bam	21
Figure 5 : Maïs récolté sur parcelle expérimentale et maïs récolté sur parcelle témoin	22
Figure 6 : Bassin de Mr GAMSSORE dans le village de Sakou (Kongoussi)	22
Figure 7: Bassin dans le village de Rissiam	23
Figure 8: Echange entre Mahaman Laminou Amina et le chefs de ménage Julien SAWADOGO dans le village de Horé ( kongoussi)	24
Figure 9: Pourcentage des modes de prévision endogène des producteurs pilotes:	30
Figure 10: Informations climatiques utiles	31
Figure 11: Mode de diffusion	31
Figure 12: Période souhaitée	31
Figure 13: Observations des producteurs sur la date de début et fin de saison	32
Figure 14: Analyse de l'impact du CC sur l'agriculture	33
Figure 15: Dates de début et fin pour le critère climatique	34
Figure 16: Dates de débuts et fins pour le critère hydrologique	34
Figure 17: Dates de débuts et fins par le critère agronomique (Sivakumar)	35
Figure 18: Boite à moustache des dates de début et fin de saison de 1989 à 2018	37
Figure 19: Probabilités d'occurrence des dates de débuts selon les décades	38
Figure 20: Dates de fin selon les décades	39
Figure 21: Probabilités d'occurrence des dates de débuts selon les semaines	39
Figure 22: Probabilités d'occurrence des dates de fin selon les semaines	40
Figure 23: Groupes d'années en fonction des découpages des dates de début et fin de saison en décade (1989 à 2018)	41
Figure 24: Représentations des différents modèles par rapport aux données historiques sur la période 1960 – 2005	42
Figure 25: Dates de début de saison en décade pour les différents modèles( scénario RCP4.5)	46
Figure 26: Dates Début Semaines pour les différents modèles(scénario RCP4.5)	46
Figure 27: Dates Fin Décades pour les différents modèles(scénario RCP4.5)	47
Figure 28: Dates Fin Semaines pour les différents modèles(scénario RCP4.5)	47

Figure 29: Dates Début Décades ( scénario RCP8.5)	48
Figure 30: Dates Début Semaines(scénario RCP8.5)	48
Figure 31: Dates fin décades pour différents modèles( scénario8.5)	49
Figure 32: Dates fin semaines pour les différents modèles (scénario RCP8.5)	49
Figure 33: Prévision des Dates de la saison 2020 pour les parties Centres et Est du Sahel	51

## INTRODUCTION

Les pays Sahéliens dans la quasi-totalité sont victimes d'épisodes de « jour sans pluie » ou pauses pluviométriques qui sont néfastes pour le secteur agricole (Yaka, 2017). Dans cette région, il existe une corrélation positive entre les années de mauvaises pluies et les années de crises alimentaires. A titre illustratif, l'irrégularité des pluies suivie d'un arrêt précoce de la campagne agricole 2011-2012 au Niger, au Tchad, dans le Nord-Est du Mali, le Nord du Burkina Faso et l'extrême Nord du Nigeria a provoqué un important déficit vivrier engendrant une crise alimentaire dont plus de 10 millions de personnes ont été victimes (FAO, 2011).

A l'instar des pays sahéliens, le Burkina Faso observe une irrégularité des pluies due au changement climatique. Pays continental du bouclier Ouest africain, le Burkina Faso possède un climat de type soudano-sahélien marqué par une saison sèche, longue et variable du Nord au Sud et une saison humide brève et variable au cours de laquelle les précipitations ont lieu.

Au Burkina Faso, le secteur agricole joue un rôle important dans l'économie nationale car il génère plus de 30% du Produit Intérieur Brut (PIB) (Dipama, 2016.). L'agriculture occupe près de 86% de la population active en même temps qu'elle assure 60% des revenus monétaires des ménages ruraux (Dipama, 2016.). Mais cette agriculture qui repose essentiellement sur les cultures pluviales est confrontée à la baisse de la pluviométrie depuis de nombreuses années (Yaka, 2017).

En effet, on observe depuis plusieurs années, un déplacement latitudinal des isohyètes vers le sud, ce qui traduit par une baisse de la moyenne pluviométrique annuelle de 100 à 200 mm ( Bayce, 2009). Selon (Sivakumar, 1988), la saison pluvieuse dure 3 à 6 mois en fonction des zones au Burkina de façon sporadique au mois d'avril, puis s'installe progressivement dans le pays du sud ( mois de mai) vers le nord (mois de juin). Elle est également marquée tout le long par des épisodes sèches pouvant entraîner la rupture du cycle culturale.

Pour pallier à ce déséquilibre pluviométrique, de nombreuses techniques culturales ont été testées au Sahel. Il s'agit principalement des techniques de zaï, de demi-lune pour la collecte des eaux de ruissellement, d'irrigation d'appoint en utilisant des bassins de rétention. Cependant ces pratiques agricoles de Conservation des Eaux de Surfaces (CES) adoptées par les paysans restent insuffisantes pour de meilleur rendement agricole face à une fréquence élevée des poches de sécheresses.

En ce sens pour cette agriculture pluviale qui se pratique à l'échelle de tout le territoire, victime des aléas climatiques, le challenge est de mettre en place des stratégies innovantes.

C'est ainsi que l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) en collaboration avec plusieurs groupements villageois et partenaires public-privé ont mis en place le projet pilote « Irrigation de Complément et Information Climatique » financé par le Centre de Recherches de Développement Internationale (CRDI) dans la province du Bam et du Yatenga au Burkina Faso. La stratégie du projet comprend l'irrigation de complément à partir des Bassins de Collecte des Eaux de Ruissellement (BCER), la mise à disposition d'une information climatique de pré-campagne et le renforcement des capacités.

La présente étude dont le thème « Information climatique et calculs rendements sur parcelle expérimentale dans la province du Bam » s'inscrit dans le cadre dudit projet.

Ce manuscrit donne une synthèse de notre démarche et des principaux résultats obtenus :

Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique de contexte similaire. Le second chapitre se base sur les matériels et méthodes. Enfin, le dernier chapitre est consacré à l'analyse des données récoltées à la suite des enquêtes effectuées auprès des ménages sur le terrain et une discussion des résultats obtenus. Cette analyse permettra de déterminer les informations climatiques utiles pour les ménages pilotes, les moyens utilisés pour leur diffusion et enfin les pratiques endogènes utilisés par les agriculteurs pour faire la prévision. La détermination des dates de début et de fin de saison par différentes méthodes et aussi le calcul de rendement sur les sites témoins et expérimentales.

## **I. PROBLEMATIQUE :**

Le début des campagnes agricoles et les choix des variétés au Burkina Faso, sont déterminés par les conditions météorologiques notamment la pluviométrie. En effet, dans les pays sahéliens, le début de la saison pluvieuse est souvent brusque et irrégulier (Sultan, 2005). La saison pluvieuse est marquée par des poches de sécheresse fréquentes et d'une certaine durée. Une telle situation empêche la germination des jeunes plants dans la majorité des cas, et peut occasionner une baisse du rendement agricole. Ainsi la maîtrise des informations climatiques comme la date de début et la date de fin de la saison pourraient permettre aux producteurs d'adopter des attitudes préventives pour éviter de mauvaises

récoltes. Pour une meilleure planification de la campagne agricole il faudrait assurer une diffusion de ces informations climatiques au moment opportun au producteur. Certes, les agriculteurs utilisent des moyens endogènes pour prévoir la saison pluvieuse (Zuma, 2013) , néanmoins avec la persistance du changement climatiques ils sont à la recherche de nouvelles techniques de prévision saisonnière.

C'est pourquoi des réflexions sont menées à travers cette étude afin d'établir les informations climatiques utiles au producteur de la province du Bam afin de lui permettre d'accroître son rendement agricole.

## **II. OBJECTIF DE L'ETUDE :**

L'objectif global poursuivi par cette étude est d'évaluer la mise en œuvre de l'information climatique dans les exploitations familiales.

À cet objectif global, sont assignés quatre objectifs spécifiques qui sont :

(O<sub>1</sub>) : Identifier les informations climatiques utiles pour les ménages ;

(O<sub>2</sub>) : Identifier les connaissances endogènes des ménages agricoles pour les prévisions des saisons hivernales ;

(O<sub>3</sub>) : Déterminer les dates de début et de fin de saisons pour la planification de la campagne agricole 2019-2020 et les prévisions sur la période 2020 à 2050 en fonction des scénarios 8.5 et 4.5 ;

(O<sub>4</sub>) : Evaluer les rendements des cultures dans les parcelles témoins et expérimentales en vue d'une comparaison.

## **III. HYPOTHESES DE L'ETUDE :**

Pour aboutir aux objectifs, on dispose de quatre (4) hypothèses (H) qui sont :

(H<sub>1</sub>) : L'adhérence à l'utilisation de l'information climatique est fonction des besoins des producteurs pour la planification des activités agricoles.

(H<sub>2</sub>) : Au regard du changement climatique, les moyens endogènes sont de moins en moins utilisés au profit de l'information climatique pour la prévision saisonnière.

(H<sub>3</sub>) : La connaissance de la date de début et fin de saison permet aux agriculteurs de mieux se préparer pour la campagne agricole.

(H<sub>4</sub>) : L'annonce du type de saison aux agriculteurs guide sur le choix des spéculations adaptées et le choix d'activités extra-agricoles à mener.

#### IV. GENERALITES :

**Changement climatique** : le changement climatique correspond à une modification durable du climat au niveau planétaire due à une augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. la Convention des Cadres des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) le définit comme « les changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité du climat observée au cours de périodes comparable »

**BCER** : Ouvrage qui permet de capter et de stocker les eaux de ruissellement destinées à la pratique de l'irrigation de complément en cas de poches de sécheresse en agriculture pluviale.

**Irrigation de complément** : L'irrigation de complément consiste à apporter un supplément d'eau en vue de stabiliser et/ou d'augmenter les rendements en quantité et en qualité dans les sites où les conditions hydriques normales ne sont pas réunies pour permettre la production optimale des cultures pluviales (FAO, 1987).

**Information climatique** : Le chercheur (Franquin, 1973), à travers ses travaux explique qu'une information climatique de pré-campagne est l'application à l'agriculture, en temps différé ou réel de l'information de nature climatologique, météorologique ou statistique, qui s'accumule avec le temps. Cette information nous renseigne également sur les risques climatiques et s'adresse surtout à la planification de toutes les activités à caractère agricole

**Prévision saisonnière** : La prévision d'une façon générale, consiste à rechercher des liens statistiques entre certains indicateurs de la saison de

pluie et des paramètres caractérisant l'état de l'atmosphère/océan(Yaka, 2017).

## **CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIE :**

### **I. INTRODUCTION :**

L'Afrique Subsaharienne apparait sans aucun doute comme l'une des régions les plus vulnérables aux effets néfastes du changement climatique. Le début de la saison pluvieuse est précédé d'une succession d'averses isolées avec une intermittence marquée par des séquences

de jours secs d'une certaine durée (Ozer, 2005) rendant difficile le début des semis. Quant à la date de fin, elle est conditionnée par l'importance de la saison.

Pour mener à bien cette étude, un parcours dans la littérature a permis de connaître les moyens endogènes utilisés par les paysans pour la prévision saisonnière, les informations climatiques utiles aux producteurs et le mode de diffusion de ces informations aux paysans adoptées par les structures. Aussi, les enjeux de l'utilisation de l'information climatique sur la productivité agricole.

## **II. MOYENS ENDOGENES POUR LA PREVISION SAISONNIERE :**

Traditionnellement, les agriculteurs se basent sur le savoir endogène transmis de génération en génération pour les dates de semis et le type de culture à utilisée.

Une étude effectuée dans le Yatenga (Burkina Faso) (Mathieu, 2013), ressort qu'une bonne saison est fonction des indicateurs comme une bonne production des arbres fruitiers (notamment karité, noisetier, résinier, figuier), une abondante production de miel, la construction de nids d'oiseaux au sommet des arbres au niveau des bas-fond, ou encore beaucoup de mise bas du troupeau en début de saison ( plus de petits de sexe mâle). Et les indicateurs d'une mauvaise saison sont essentiellement l'apparition de petites étoiles au ciel accompagnée du vent, une alternance de journées chaudes et nuits fraîches, la présence de fourmis noirs nombreux ou encore chute de fruits non mûre.

Dans le cadre du projet Zambie et Zimbabwe instauré par l'ACCA (Adaptation aux Changements Climatiques en Afrique) menée en 2014, l'étude ressort que les principaux indicateurs endogènes utilisés pour les prévisions climatiques et météorologiques étaient l'observation de la mise à fruit, des pousses de feuilles et d'herbe et des directions et la force des vents. Les vents soufflant du nord au sud dits vents mâles, tandis que les vents allant du sud au nord sont appelés vents femelles. Lorsqu'un des vents allant du sud au nord sont forts, des précipitations sont à prévoir (Alioune, 2014).

Les principaux indicateurs utilisés par les producteurs pour la prévision sont essentiellement d'ordre environnementale comme la lune, nuage ou le vent, d'ordre biologique (animaux et plantes).

Certains producteurs se basent également sur une observation des événements pluviométriques. Ainsi une redondance sur les dates de début et fin de pluie leur permet de faire une prévision approximative de la saison à venir. Mais force est de constater qu'avec l'avènement du changement climatique ces dates ont connus des changements. Ainsi à partir d'une enquête menée par Bintou (2012) auparavant le début de la saison en zone sahélienne était observée en début Juin et la fin de saison entre fin Septembre et début Octobre alors que de nos jours les pluies commencent dans la deuxième quinzaine du mois de Juin et s'arrêtent dans la première quinzaine du mois de Septembre.

Au regard du changement climatique observé qui affecte leurs moyens de prévision basés sur des connaissances autochtones et transmises de génération en génération (Thiam, 2012), une étude menée au Burkina Faso a montré que les paysans s'ouvrent aux méthodes leur permettant une bonne prévision notamment les prévisions scientifiques (Magistro, 2001).

### **III. PREVISIONS SAISONNIERES A PARTIR DES MODELES CLIMATIQUES :**

La modélisation est une discipline qui ne date pas d'hier, les premiers modèles purement atmosphériques datent des années 60 (le premier modèle atmosphérique date même de 1950, et a été testé sur le premier ordinateur existant, l'ENIAC) (Zeghoud, 2018). Les modèles climatiques possèdent la capacité d'effectuer une prévision, sur l'évolution du climat futur à travers sa simulation sur plusieurs années. Le système climatique est en réalité très complexe, au sein duquel divers milieux sont en interaction : l'atmosphère, l'océan, la végétation, les rivières... échangent notamment de l'eau et de l'énergie en permanence (Christensen, 2007)

Les saisons sont devenues très instables ce qui a entre autres des conséquences sur l'agriculture, la faune et la flore (Williams, 2007). Les besoins d'information sur l'évolution du climat à l'échelle régionale et locale deviennent ainsi importants. Cette information est très importante pour évaluer les répercussions des changements climatiques sur les systèmes humains et naturels et pour mettre au point de bonnes stratégies nationales d'adaptation et d'atténuation (IPCC, 2013).

Selon Zeghoud (2018) la manière dont ils sont construits et ce qu'ils prennent en compte, les modèles sont désignés avec des sigles différents. En voici quelques-uns :

**GCM** signifie « Global Circulation Model », Il s'agit d'un modèle global, à larges mailles, pour donner des tendances de long terme sur de

larges zones.

**AGCM** signifie « Atmospheric Global Circulation Model ». Il s'agit d'une catégorie particulière de GCM, qui ne prend en compte que l'atmosphère. Cela ne donne des prédictions valables que tant que les autres composantes (sols, océans, glaces) ne bougent pas, et en pratique il s'agit des modèles utilisés pour les prévisions météorologiques.

**OGCM** signifie « Oceanic Global Circulation Model » Un modèle de circulation générale océanique est un modèle numérique représentant de façon simplifiée les principales caractéristiques physiques (i.e. Température, salinité, vitesse du courant) de la circulation océanique.

**AOGCM** signifie « Atmospheric Oceanic Global Circulation Model ». Il s'agit d'une autre catégorie de GCM, qui prend en compte l'atmosphère et l'océan. On voit parfois aussi « Atmospheric Oceanic Global Coupled Model », car dans ces modèles non seulement l'océan est pris en compte, mais aussi les interactions entre l'océan et l'atmosphère. Ce sont ces modèles qui sont utilisés en climatologie.

Les modèles sont établis sous forme d'équations mathématiques qui sont résolues dans des grilles tridimensionnelles représentant les résolutions verticale et horizontale tout modèle de climat est composé de deux parties principales : une partie dynamique qui décrit les équations de la circulation générale de l'atmosphère et une partie physique qui est introduite dans les modèles sous forme de paramétrisation physiques. Selon leur résolution, il existe principalement deux grands groupes de modèles climatiques : les modèles globaux (MCGA 1, MCGAO) et les modèles régionaux (Seidou, 2017).

**Les modèles climatiques globaux** (CNRM-CM5, IPSL-CM5, BCC\_CSM1.1, BNU-ESM, MRI-CGCM3, etc...), ces modèles, quoiqu'efficace dans l'analyse à grande échelle des changements climatiques, sont difficilement utilisables pour des régions plus restreintes (Caron, s. d.) ; avec une faible résolution numérique spatiale (300 à 400 km) d'une part et d'autre part, le temps de calcul considérable que requièrent ces modèles est toujours plus complexes. Par conséquent ils coûtent cher en termes de temps de calculs. Ces modèles n'arrivent pas à prévoir les précipitations compte tenu de leur très grande variabilité spatio-temporelle. (Zeghoud, 2018 )

C'est pourquoi, pour obtenir des informations climatiques à haute résolution qui tiennent compte des modèles globaux et des connaissances locales précieuses il nous faut utiliser **les modèles régionaux** de climat (CCLM, HadRM3P, RACMO, RCA et REMO). Il s'agit de modèles

atmosphériques exécutés sur une zone géographique limitée en utilisant des conditions aux limites issues des MCG (Danis, 2013). Leur résolution spatiale plus fine permet de simuler plus précisément les conditions climatiques locales.

Selon Zeghoud, (2018) l'utilisation de ce type de modèle et des données pluviométriques ont permis de déterminer la période de la saison, la fréquence et l'intensité des pluies, les périodes et durées des séquences sèches sur le bassin du Nakanbé au Burkina Faso (Boubacar, 2012). Des programmes internationaux impliquant plusieurs centres de recherche ont été entrepris pour produire des scénarios de CC dans le cadre d'expériences coordonnées utilisant plusieurs MCR : PRUDENCE ( Prédiction of Régional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects ) avait pour objectif de regrouper les divers modèles climatiques régionaux européens pour faire une expérience coordonnée, une synthèse et une base de données sur le changement climatique des années 2071-2100.

Aussi, plusieurs structures œuvrent dans l'établissement des prévisions climatiques à travers l'utilisation des modèles climatiques dont le projet Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine (AMMA), le Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sècheresse dans le Sahel (CILSS), la Prévion Saisonnière en Afrique de l'Ouest (PRESAO). Ainsi le projet AMMA a permis l'amélioration de la connaissance et la compréhension de la mousson en Afrique de l'Ouest ; aussi l'étude de sa variabilité à l'échelle journalière, interannuelle et au-delà. Le projet AMMA a, en ce sens, contribué à la mise en œuvre des modèles climatiques de différentes résolutions spatiales (régionale et globale) pour la description de l'ensemble des composantes climatiques et des processus hydrologiques de surface en se servant de données satellitaires (Ruti, 2011).

Le PRESAO (Prévion Saisonnière en Afrique de l'Ouest) lancée en 1998 par un consortium comprenant notamment l'ACMAD, l'AGRHYMET, l'ABN et l'ICRISAT vise le renforcement des capacités dans le domaine de la prévision climatique par la mise à disposition d'informations climatiques saisonnières de précampagne (Niasse, 2004). Les modèles issus de la PRESAO consistent à donner une appréciation qualitative de la saison des pluies ou de l'écoulement des grands fleuves de l'Afrique de l'Ouest. La démarche consiste à élaborer et diffuser au début de chaque saison des pluies et à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, une tendance moyenne et globale des conditions pluviométriques et d'écoulements des cours d'eau ( Hamatan, 2004). Cependant, ces expériences ont été réalisées sur des régions limitées (Zeghoud, 2018 ).

Le programme CORDEX (Coordinated Regional climate Downscaling EXperiment) a été mis en place afin de produire des scénarios de CC fiables à des fins d'étude d'impact sur la plupart des terres émergées en utilisant des MCR de dernière génération (Stocker, 2013).

Pour commencer, CORDEX se concentrera sur les simulations de scénario. Différente des simulations effectuées lors du quatrième cycle d'évaluation du GIEC, qui étaient fondées sur des scénarios d'émission de gaz à effet de serre RSSE (GIEC, 2000), cette nouvelle génération de simulations de scénario fait appel à des concentrations de référence (RCP), c'est-à-dire un ensemble de concentrations de gaz à effet de serre prescrites pour le XXI<sup>e</sup> siècle correspondant à différents niveaux de stabilisation du forçage radiatif d'ici l'année 2100. Quatre niveaux RCP ont été fixés : RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 et RCP6.0.

Lors de la préparation du 5<sup>ème</sup> Rapport du GIEC, une approche différente a été adoptée afin d'accélérer le processus d'évaluation. Pour analyser le futur du changement climatique, les experts du GIEC ont cette fois défini a priori quatre trajectoires d'émissions et de concentrations de gaz à effet de serre, d'ozone et d'aérosols, ainsi que d'occupation des sols baptisés RCP (« Representative Concentration Pathways » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration ») (Casquet, 2015).

Les RCP (pour Representative Concentration Pathways), représentant chacun des profils d'évolution possibles des concentrations de gaz à effet de serre (ou GES).

Selon le profil RCP 8.5 est le plus extrême (pessimiste). Il est un peu plus fort que le scénario A2 ; Les profils RCP 6.0 et RCP 4.5 correspondent sensiblement et respectivement aux scénarios A1B (utilisation des différentes sources énergétiques sans en privilégier une en particulier) et B1. Enfin, le profil RCP 2.6 est sans équivalent dans les anciennes propositions du GIEC. En effet, sa réalisation implique, et c'est une nouveauté importante, l'intégration des effets de politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C (GIEC, 2015.). Les 4 profils RCP correspondent chacun à une évolution différente de ce forçage à l'horizon 2300.

Les différents modèles climatiques régionaux (CORDEX) sont entre autre :

**RCA4** : Une nouvelle version du modèle atmosphérique régional du Centre Rossby sera utilisée pour la réduction d'échelle à venir pour

CORDEX en utilisant les MCG CMIP5 comme conditions aux limites.

**HIRHAM** est un modèle climatique atmosphérique régional (MRC) basé sur un sous-ensemble des modèles HIRLAM (Undén, 2002) et ECHAM (Roeckner, 2003), combinant la dynamique du premier modèle avec les schémas de paramétrisation physique de ce dernier.

**CCLM** est un modèle climatique régional non hydrostatique développé à partir du Modèle Local (LM) du Service Météorologique Allemand par la Communauté CLM. Depuis 2005, c'est le modèle communautaire de la recherche climatique allemande. Le modèle a été utilisé pour des simulations sur des échelles de temps allant jusqu'à des siècles et des résolutions spatiales entre 1 et 50 km.

**RACMO** : Le KNMI a été développé, en coopération avec l'Institut météorologique danois, le modèle de recherche RACMO basé sur le modèle numérique de prévision météorologique à haute résolution (HIRLAM).

Toutefois, le problème rencontré avec les modèles régionaux de climats est qu'ils demandent une grande capacité de calcul et qu'ils sont relativement coûteux et complexes à utiliser.

Les modèles climatiques nous permettent de suivre l'évolution d'une situation météorologique donnée comme attestent les prévisions climatiques journalières ou saisonnières (Bouali, et al. 2008). En effet, c'est grâce aux résultats de ces modèles climatiques, que le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) a pu tirer la sonnette d'alarme sur le changement climatique depuis les années 1990 (Houghton, 1990).

#### **IV. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE SECTEUR AGRICOLE :**

Selon les projections réalisées sous un scénario de réchauffement climatique de 4°C, une diminution jusqu'à 30% de la pluie sera observée en Afrique du Sud, pendant que l'Afrique de l'Ouest connaîtra une baisse de 50 à 70% du taux de recharge des nappes souterraines. Cela va entraîner un accroissement substantiel du risque de sécheresse aussi bien en Afrique de l'Ouest qu'en Afrique centrale (World Bank 2013). La

baisse des rendements du mil et du sorgho dans les régions semi-arides du Burkina Faso, du Tchad et du Niger est due à la variabilité et aux changements climatiques, et la diminution de la fertilité des sols (Sarr, 2015) . 69% des producteurs de la province du BAM ont constaté une baisse du sorgho et du mil durant les 15 dernières années dues à l'arrêt précoces des pluies (68%), aux séquences sèches (40%), à la baisse de la fertilité des sols (46,7%), l'action des vents violents (18,7%) et aux attaques du striga sp. (19,3%) (Kabore,. 2019) .

La mise en place de stratégie permettant de minimiser l'impact des variations climatiques sur la production agricole devient alors une nécessité.

## V. STRATEGIES D'ADAPTIONS :

De tout temps, les Africains ont adopté des stratégies endogènes dans la zone sahélienne en situation de déficit hydrique, pour faire face aux effets de la variabilité du climat. La plupart des recherches effectuées dans la région du Centre-Nord du Burkina-Faso nous montre que les producteurs ont réagi en adoptant des techniques CES/DRS telles que les cordons pierreux, le zaï manuel et les demi-lunes.

Ces pratiques paysannes apparues entre 1980 et 1985 et très exigeantes en temps de travail et efforts physiques, constituent néanmoins des alternatives novatrices pour le développement d'une agriculture résiliente au Sahel (Vivien, 2016). Ces techniques ont permis non seulement la récupération de nombreuses terres incultes (Fatondji, 2001), mais aussi l'amélioration des rendements céréaliers. Fatondji (2001) ont rapporté qu'avec la technique du zaï, 100000 à 300000 ha de terre dégradée ont été récupérée au Burkina Faso tandis que Roose (1993) ont montré dans le même pays que les rendements du sorgho sont multipliés par environ 1,6 sous le zaï en saison humide alors qu'en saison plus sèche ce coefficient passe à 2,5. Cependant, ces rendements restent faibles et varient autour d'une tonne à l'hectare, soit moins de 25% du rendement potentiel (Fox, 2005).

Les études réalisées par Roose (1993) ont pu montrer au Burkina Faso que la technique du zaï connaît des limites lorsque les poches de sécheresse excèdent plus de 2 à 3 semaines ou lors des grandes averses. De même, la grande incertitude qui plane sur le début et la fin de la

saison agricole conduit à l'utilisation de variété à cycle court. En ce sens, il est envisageable de concilier les pratiques endogènes avec les connaissances scientifiques en vue d'asseoir une véritable stratégie d'adaptation capable de réduire ces phénomènes majeurs dans le sahel.

La connaissance par exemple des paramètres de la saison agricole pourrait contribuer à l'amélioration des rendements agricoles. Selon Klopper (2006), les variables de prévisions les plus pertinentes fournies aux agriculteurs sont le démarrage des pluies marquant le début des semis, la fin de la saison des pluies ainsi que la distribution des pluies à l'intérieur de la saison (distribution intra-saisonnière). A partir de ces informations, des conseils peuvent être également donnés aux agriculteurs pour la planification de leurs activités culturales (Hamatan, 2004). L'utilité de l'informatique climatique étant dégagée, quels sont les différents canaux de diffusion accessible aux producteurs ?

## **VI. DIFFUSION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE :**

Les enjeux liés à la variabilité climatique croissante suscitent l'inquiétude pour les agriculteurs en zone sahélienne. L'information prévisionnelle sur les dates de début et de fin de saison, sur l'intensité des précipitations et la longueur des périodes sèches peut aider à opter pour des stratégies susceptibles d'accroître leur production.

Depuis 2007, le programme Adaptation aux Changements Climatiques en Afrique (ACCA), a appuyé 46 projets dans 33 pays Africains. Ces projets ont permis de constater l'intégration de l'information climatique à de nouvelles applications pratiques améliorées. En effet, outre l'information climatique de sources locales et scientifiques, ils offraient des recommandations sur la façon d'intégrer ces données aux décisions en matière d'agriculture. Les résultats étaient favorables car ceux ayant eu recours à ces pratiques ont constaté une hausse du rendement des cultures. Ainsi un climat de confiance fut instauré entre les différents intervenants.

Ainsi pour renforcer les capacités en matière d'utilisation des prévisions saisonnières, la mise en place de partenariats directe avec les institutions compétentes et les collectivités locales est nécessaire pour faire face aux changements climatiques et améliorer la production. Il faudrait notamment prévoir des canaux de diffusion autochtones et ne pas se limiter aux moyens de communications traditionnels comme la radio, et la télévision. En effet, dans la majorité des cas, les informations fournis par le biais de la télévision ou la radio ne parviennent pas à

temps aux agriculteurs. A titre d'exemple, un projet de l'ACCA effectué au Bénin a montré que le canal de diffusion radiophonique d'information climatique était utile que s'il était diffusé aux heures d'écoutes des agriculteurs, qui varient selon les saisons. Comme solution, les chercheurs ont proposé à ce que les informations soient diffusées en soirée lorsque les agriculteurs sont occupés à labourer leurs champs et en après-midi lorsqu'ils attendent la saison des pluies. De plus les précisions à grande échelle ne sont pas toujours adaptées à la réalité de la localité concernée. Une intégration des savoirs autochtones est importante puisque celui-ci est particulier à chaque région.

Au Mali, une expérience visant à apporter aux paysans des informations agro-météorologiques dans les opérations culturales a été réalisée afin de réduire les effets négatifs de la variabilité climatique et augmenter la production agricole (Maïga, 2002). Du calendrier prévisionnel, à travers la prévision saisonnière et journalière, les informations agro météorologiques étaient diffusées aux paysans sous forme de conseils. Ces conseils étaient basés sur l'évolution de la campagne agricole à partir du bulletin décadaire, de la détermination des zones à risque à partir de la répartition spatiale des pluies et de l'estimation qualitative de la saison. Cela leur a permis, à travers les prises de décisions pratiques sur le terrain, d'enregistrer une augmentation des rendements de 20-25% des cultures (mil, sorgho et maïs).

L'information fournit au paysan influence sa décision sur la superficie à exploiter (réduction ou augmentation), le choix préférentiellement de la culture à semer, et pratique une technique de conservation de l'eau pour les poches de sécheresse longues. Les études menées par Diarra, (2013) ont pu démontrer par différents scénarios, l'importance d'un système d'alerte précoce dans la diffusion des paramètres de la saison à venir. Un premier lot d'agriculteurs sont mis au courant de la survenue d'une année mauvaise en terme de pluviométrie, alors que le second lot ne reçoit aucune information sur la prévision saisonnière. Dans le premier cas ceux-ci décident de produire du mil sur 1,62 ha dans les glacis et du sorgho sur 0,96 ha dans les bas-fonds et égalisent en moyenne un gain de 110 730 francs CFA et un besoin de 267 kg de céréales sous forme de subvention. Dans le deuxième cas, on note 97 671 francs CFA de gain et une subvention de 290 kg de céréales avec comme disposition 1,31 ha de mil, 0,31 ha de maïs et 0,96 ha de sorgho. En somme l'information climatique aide le paysan sur la superficie à exploiter, les variétés de culture, etc. L'information climatique influe positivement sur les rendements agricoles et les agriculteurs en prennent de plus en plus conscience.

## VII. METHODES DE DETERMINATION DES DATES DE DEBUT ET FIN DE SAISON D'UNE CAMPAGNE AGRICOLE :

Apprécier une saison des pluies au point de vue de l'agro climatologie consiste notamment en une détermination des dates du début et de fin de cette saison ainsi qu'en l'estimation du risque de séquences sèches au sein de celle-ci. Selon que l'on soit en climat tropical ou sous un climat sahélien les critères de détermination peuvent être différents (Ercicum, 1987).

Les précipitations tropicales sont essentiellement locales et ont des fréquences fortement variables dans l'espace et dans le temps. Ainsi, on utilise les précipitations de plusieurs stations pour déduire les effets régionaux et pour pallier au caractère aléatoire on utilise l'humidité de l'air qui garde de façon plus large et plus durable, les effets des précipitations locales. L'humidité n'est hélas pas assez notée. Une méthode simple et rapide devrait donc se fonder sur les seules précipitations dont la collecte est plus largement organisée et depuis plus longtemps (Ercicum, 1987).

A titre illustratif, une étude menée par Trabousli (2009), au Proche-Orient sur 20 stations couvrant le Liban, la Syrie, la Jordanie et Israël, lui a permis de déterminer la date de début et fin de saison par la méthode de l'Analyse en Composante Principale (ACP). La série temporelle utilisée s'étend sur la période de 1970-2002. Cette méthode est justifiée par les caractéristiques climatiques et l'extension géographique (308 702 Km<sup>2</sup>) de la région étudiée. L'auteur a adopté, pour la détermination des dates de démarrage et de fin de la saison de pluies, une échelle régionale et non locale. Elles ne s'appuient donc pas sur des critères agronomiques locaux, mais ont l'avantage de fournir une information pertinente, à valeur régionale, sur l'évolution de la saison des pluies.

En effet, afin d'obtenir des résultats pertinents, l'auteur a utilisé l'ACP en utilisant une matrice de corrélation en prenant les stations en variables et les pluies quotidiennes en observations. Aussi l'ACP a été appliqué sur la racine carrée des données journalières des 20 stations afin d'atténuer l'asymétrie liées à leurs distributions. Ensuite la méthode de rotation de type Varimax des composantes obtenues par l'ACP classique fut utilisée afin de régionaliser les stations. Ce qui leur a permis de faire une comparaison des dates sous régionales calculées avec celle de l'ensemble de l'espace proche-oriental. Ce qui leur a permis de situer les dates moyennes de démarrage au 17 novembre et de fin au 25 mars de la saison pluvieuse, par méthode factorielle. Cette méthode descriptive, notamment appliquée en climatologie tropicale où la saison des pluies est bien structurée, donne également de bons résultats sous climat méditerranéen, caractérisé par des épisodes pluvieux discontinus dans le temps et

dans l'espace (Traboulsi, 2009).

Toutefois en ce qui concerne l'Afrique et le Sahel en particulier, selon Balme, il existe plusieurs critères d'identification du début de la saison de pluies selon l'intérêt du domaine. Ces critères sont appliqués aux données des modèles climatiques pour déterminer les dates de démarrage et de fin d'une campagne agricole. Les méthodes utilisées peuvent être probabilistes (Fiona, 2007) ; statistiques (Ibrahim, 2011), hydrologiques (Balme, 2005) ou agronomique (Sivakumar, 1988).

Sivakumar qui a élaboré sa méthode en 1987 à partir d'observations effectuées sur le mil au Centre Sahélien de l'ICRISAT pour une série de stations sahéliennes et soudaniennes, considère comme début de saison la date à partir du 1er Mai où l'on enregistre un cumul pluviométrique de 20 mm en trois jours consécutifs non suivis d'une séquence sèche de 7 jours durant les 30 jours qui suivent. Pour la fin de saison c'est la date à partir du 1er Septembre où l'on n'enregistre pas de pluie pendant deux décades.

La méthode probabiliste élaborée par Erpicum (1988) au Sénégal avant d'être appliquée au Niger a montré que, selon des critères climatiques, le début de la saison des pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade » (période de cinq jours) déterminée est supérieure à celle d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours. Quant à la fin de saison de pluies, elle est fixée au jour où la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade ».

En 2011, Ibrahim a élaboré dans le cadre de son étude sur le bassin versant de Nakanbé au Burkina Faso une méthode statistique. Cette méthode est basée essentiellement sur la méthode hydrologique, agronomique et des résultats des études des caractéristiques de la saison des pluies sur le degré carré de Niamey (Ramel, 2005). En effet selon Ibrahim (2011), le début de saison est déterminé lorsqu'un seuil de 5% de la pluie totale annuelle est atteint. La fin de la saison est déterminée après l'atteinte d'un seuil de 95% de la pluie annuelle totale. Le début de saison correspond à la date de pluie supérieure à la moyenne des premiers événements pluvieux sur la période d'étude. De plus, ce premier événement pluvieux ne doit pas être suivi par une séquence sèche de longueur supérieure à la médiane des séquences sèches moyennes de la station ou de la

maille considérée. La fin de saison est marquée par un évènement pluvieux permettant d'atteindre le seuil de 95% de la pluie totale annuelle et suivie par une séquence sèche supérieure à la médiane de la durée des séquences sèches à la station ou à la maille considérée. Toutes ces différentes méthodes et moyens permettent une prévision saisonnière en terme de calendrier agricole. Le tableau ci-dessous présente les avantages et inconvénients des critères agronomique, climatique et hydrologique.

	<b>Avantages</b>	<b>Limites</b>
<b>Critères hydrologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Elle permet de s'affranchir des faux démarrages de la saison pluvieuse ;</li> <li>**Elle permet de toujours définir les dates de début et fin de saison des pluies, et elle est relativement simple et facile à programmer informatiquement (Arvor et al.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sensible aux événements pluvieux isolés et</li> <li>**Néglige une caractéristique importante des précipitations, à savoir les périodes sèches intercalaires séparant les épisodes pluvieux et qui sont parfois longues (Traboulsi, 2012)</li> </ul>
<b>Critères agronomiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Permet d'appréhender le stress hydrique des plantes au travers du seuillage des précipitations; ces valeurs seuil garantissent la disponibilité en eau nécessaire à la plante durant la période végétative afin d'éviter le flétrissement des plantes et la perte des récoltes (Walter,1967)</li> </ul>	32  Peu restrictifs pour les stations les plus méridionales, au climat soudanien (Descroix et al. 2015)

	**En termes d'applications agronomiques, la possibilité de prévoir la longueur de la saison des pluies peut aider les agriculteurs dans le choix des variétés à semer pour minimiser les risques, par exemple en choisissant un mil à cycle plus court si la saison a démarré tardivement.	
<b>Critères climatique</b>	Cette méthode a l'avantage de ne pas dépendre de données météorologiques concomitantes plus difficiles à rassembler pour de longues séries et pour de nombreuses stations (Epicum, 1987).	Elle prend pas en compte les besoins agro-climatologiques (Epicum, 1987)
<b>Critères statistiques</b>	Produit des dates du début des saisons de pluies comprises entre les dates de la méthode hydrologique et les dates de la méthode agronomique (Ibrahim, 2011)	La fin des saisons de pluies de la méthode statistique est plus précoce que les dates identifiées avec les méthodes hydrologique et agronomique (Ibrahim, 2011)

Tableau 1 : Avantages et Inconvénients des différents critères

## CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES :

### I. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

Kongoussi est une ville du Burkina Faso, chef-lieu de la province du Bam accessible à partir de la route nationale n°22 (RN22) à 110 km de la capitale Ouagadougou.

Située dans la région du Centre Nord, la province du Bam (figure 1) est délimitée au Nord par la province du Soum, à l'Est par la province du Sanmatenga, à l'Ouest par la province du Yatenga, et au Sud-Ouest par la province du Passoré. Elle s'étend sur une superficie de 4 084 km<sup>2</sup>. Toute la zone d'étude est caractérisée par une forte dégradation des ressources naturelles due aux actions anthropiques et climatiques. L'agriculture y est de type extensif avec de faibles rendements (Barbier, 2009).

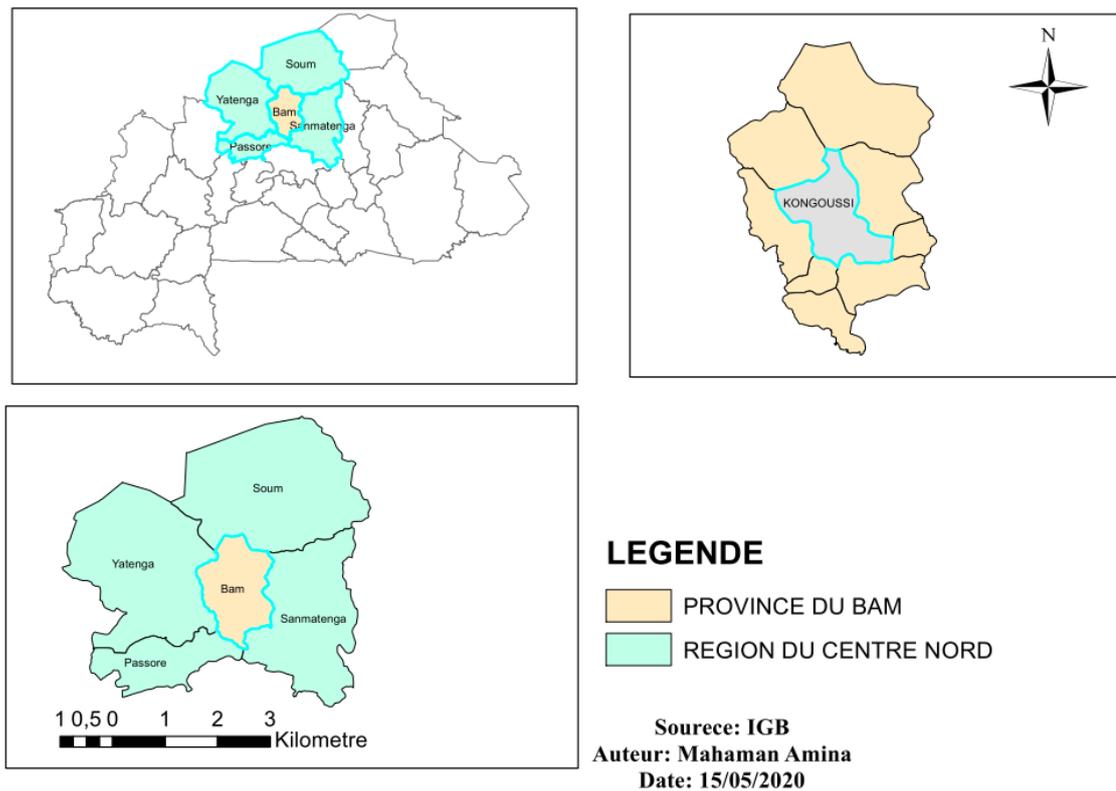


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

#### 1. Milieu physique

La commune de Kongoussi fait partie de la péninsule centrale (Plan Communal de Développement de Kongoussi, 2010). La répartition de la pluviométrie dans l'espace et dans

le temps est irrégulière et inégale. Selon la Direction Régionale de l’Environnement et du Développement Durable, cette répartition est caractéristique du climat sahélien et influence considérablement la production agro-Sylvio-pastorale (DRED-CN, 2008) par une saison sèche de Novembre à Mai et une saison des pluies de Juin à Septembre-Octobre avec les maxima de précipitation enregistrés en Juillet et Août. Les rendements sont par conséquent faibles et le bilan céréalier déficitaire (DRED-CN, 2008).

L’analyse de la pluviométrie à partir de l’indice de pluviométrie standard montre une discorde dans l’évolution de celle-ci (figure 2). La période 1989-2006 se révèle relativement sèche avec une légère interruption en 1994.

Les douze (12) années qui suivent (2006 à 2018) ont eu l’effet inverse avec plus d’années pluvieuses marquées par une singularisation en 2011.

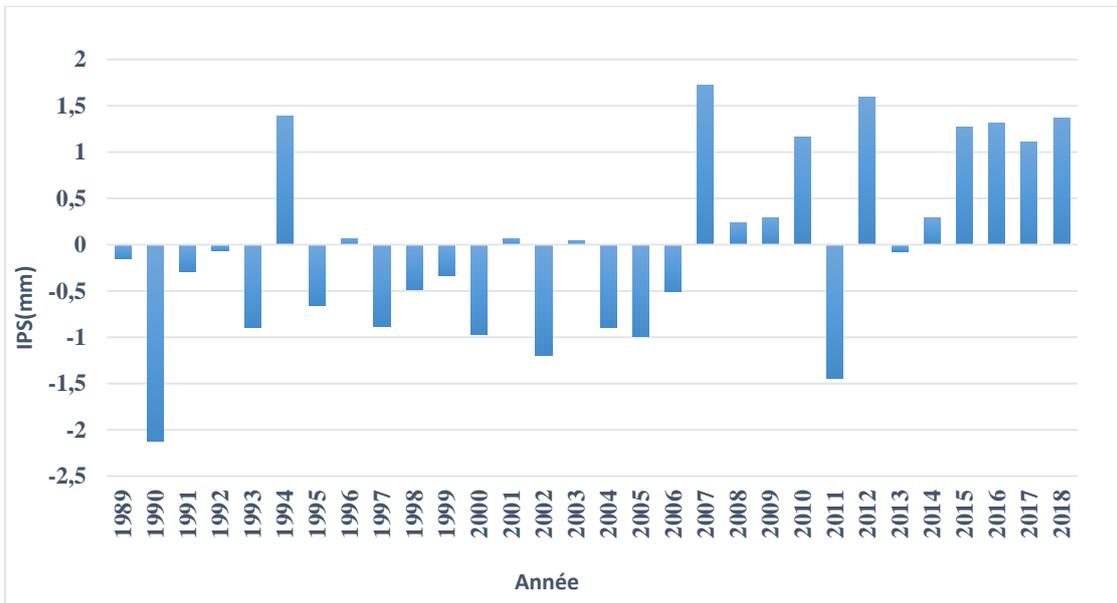


Figure 2: Evolution des indices de pluie annuelle de la période 1989-2018

La province du Bam est caractérisée au sud par un climat soudano sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 600 à 700 mm et au nord par un climat sahélien et une pluviométrie de 600 mm (figure 3).

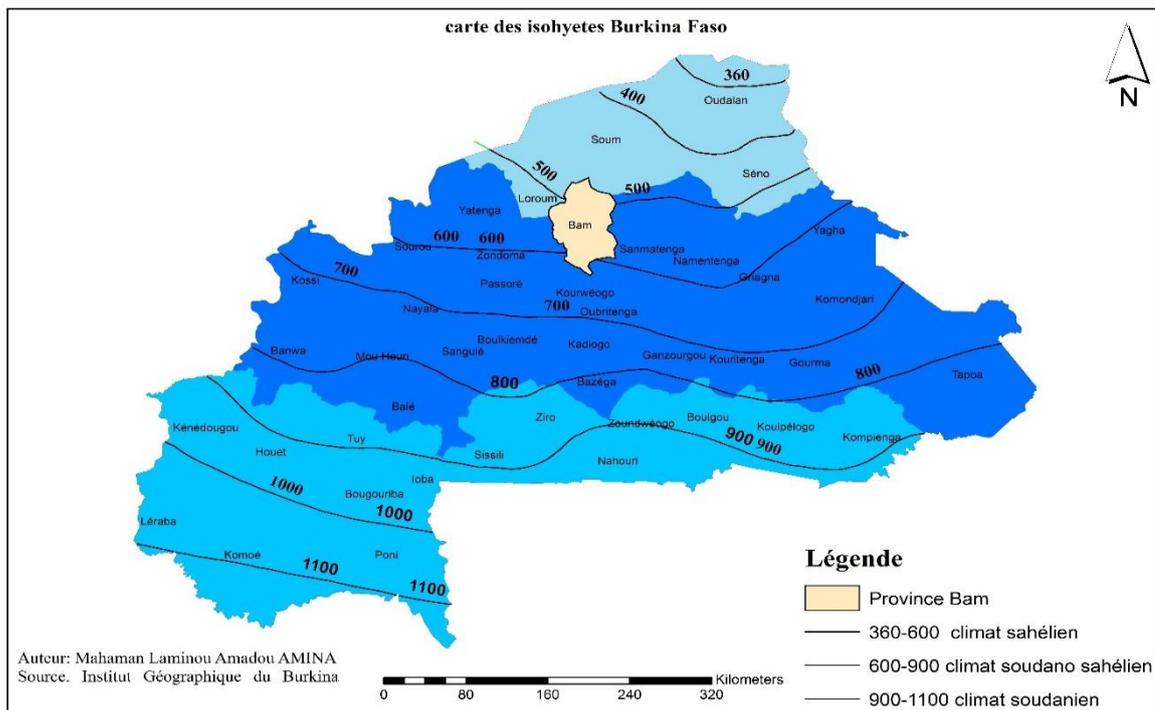


Figure 3: Carte des isohyètes au Burkina Faso

Le climat conditionne la végétation mise en place dans une localité donnée. La végétation du Centre Nord est essentiellement constituée de savane arborée et de savanes aux hautes herbes qui ont tendance à remplacer les steppes d'épineux. Les espèces végétales généralement rencontrées dans la région sont entre autres le Karité, le Kapokier, le Baobab, le Tamarinier, la gomme arabique etc.

Le réseau hydrographique de la province du Bam est traversé par plusieurs cours d'eau secondaire dont la majeure partie prend sa source dans le Nakanbé (figure 4).

Au niveau du sous-sol, la présence de fractures dans le socle granitique constitue un aquifère fourni. Néanmoins dans certaines zones, la disponibilité en eau souterraine constitue un réel problème, notamment dans le nord de la commune

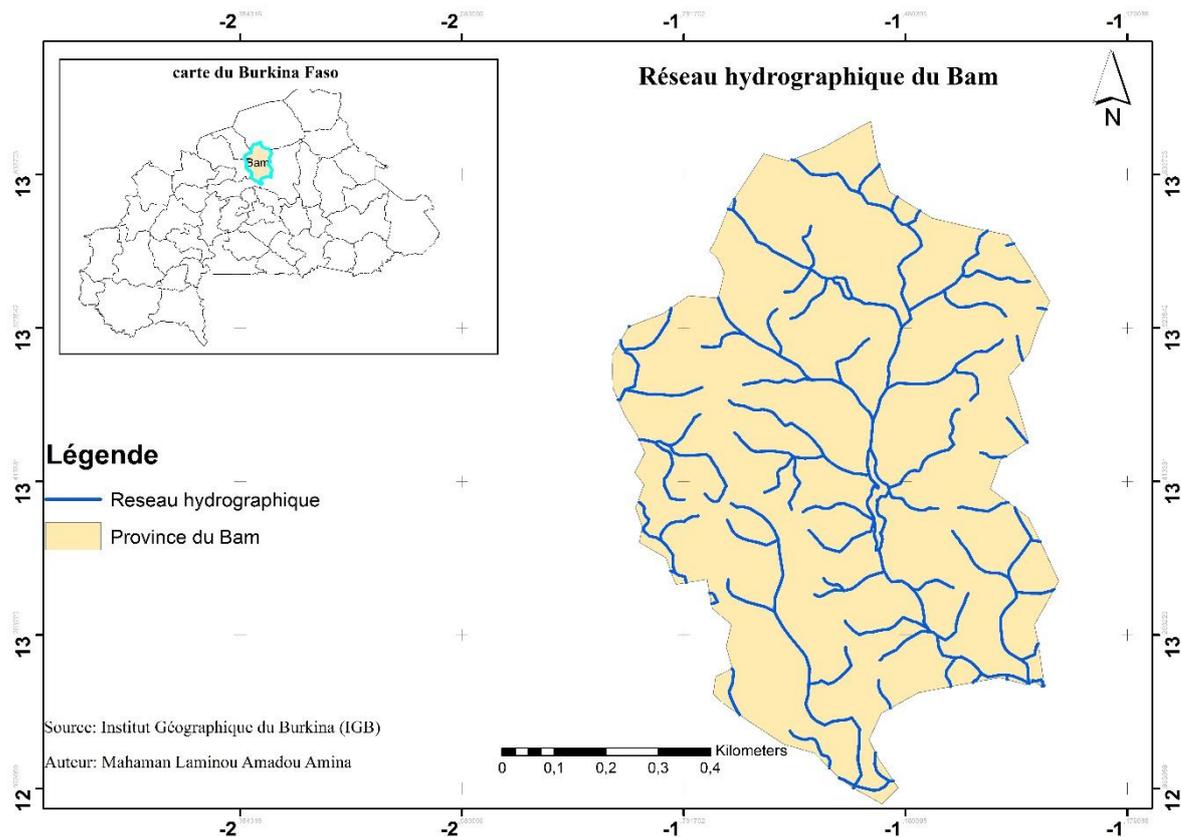


Figure 4: Réseau hydrographique de la province du Bam

Les sols dominants sont de types ferrugineux tropicaux composés de deux variantes à savoir des sols ferrugineux tropicaux peu profonds et lessivés sur les glacis et les plateaux et des sols ferrugineux tropicaux profonds au niveau des bas-fonds.

## 2. Cadre humain

La commune de Kongoussi comptait 70 840 habitants (INSD, 2006). Cette population est répartie en deux groupes : la commune urbaine de Kongoussi avec 25 172 habitants et la commune rurale avec 45 668 habitants.

## II. MATÉRIELS UTILISÉS :

### 1. Description des Bassins de Collectent d'Eau de Ruissellements (BCER)

Les bassins construits dans le cadre du projet « Irrigation de Complément et Information Climatique », sont de forme prismatique. Les BCERs ont une section de 13\*12 m au pied du talus, une profondeur de 1,6 m et une pente de talus de 1/1 soit une capacité de 357 m<sup>3</sup>. Au cours de notre sortie sur le terrain, nous avons eu à visiter quelques bassins dans les villages Sakou et Sanrgho; Mr Gamssoré qui est un détenteur de BCER dans le village de Sakou, a eu une bonne récolte (figure 5) car son bassin contenait de l'eau qu'il a utilisée

durant les périodes de poches de sécheresse pour irriguée son champ de maïs.



Figure 5 : Maïs récolté sur parcelle expérimentale et maïs récolté sur parcelle témoin

La photo illustre la variété de maïs semé par Mr Gamssoré, nous constatons que le maïs de la parcelle expérimentale qui a été irrigué par l'eau du bassin durant les périodes de poches de sécheresses diffère de celui de la parcelle témoin qui était uniquement sous régime pluvial de par sa couleur, la densité des graines et le gout.



Figure 6 : Bassin de Mr GAMSSORE dans le village de Sakou (Kongoussi)

La photo illustrée ci-dessus prise lors de la visite nous montre que jusqu'à la date du 2 novembre 2019, le bassin contenait encore de l'eau. Mr GAMSSORE utilise l'eau comme boisson pour abreuver ses animaux mais également permet à ses voisins de l'utiliser dans diverses tâches.



Figure 7: Bassin dans le village de Rissiam

Lors de notre visite dans le village de Rissiam, le 02 novembre 2019 ce bassin ne contenait pas d'eau due à la présence de multiples fissures empêchant le stockage de l'eau.

#### 2. Logiciels utilisés :

Microsoft Access nous a permis de créer une base de donnée actualisées sur les caractéristiques socio-économiques et démographiques des ménages agricoles et leur perception des changements climatiques. Pour l'analyse statistique de ces données, nous avons eu recours au logiciel RStudio.

Les logiciels de Système d'Information Géographique (SIG) tels que ArcGis a été utilisé pour l'élaboration des différentes cartes. Les calculs ont été faits à travers des programmes élaborés par le logiciel Excel à cet effet. La rédaction a été faite par le logiciel Word.

#### 3. Données utilisées :

Il s'agit des données climatiques sur 29 ans de 1989 à 2018, observées à partir de la station de Ouahigouya et fourni par l'Agence de Météorologie du Burkina. Ces données sont utilisées afin de décrire la variabilité temporelle de la pluviosité à différentes échelles : annuelles, mensuelles, décadaires et journalières.

### III. DEMARCHE METHODOLOGIQUE :

#### 1. Phases des enquêtes auprès des ménages agricoles de la collecte des données

La collecte des données a été organisée en deux phases d'enquêtes individuelles. La première enquête individuelle s'est déroulée du 28 octobre au 03 novembre 2019 dans les

localités de Horé, Rissiam, Sakou et Sanghro et la seconde enquête a été réalisée au cours de la période allant du 14 janvier au 19 janvier 2020 dans les localités de Zouguyiri, Sorgho yarcé, Mogodin, Zoura, Pouni, Yennega mossi.

Elle a consisté à collecter les données auprès de quatre-vingt-quinze (95) ménages agricoles. Nous avons ciblé essentiellement le chef de chaque ménage pour répondre au questionnaire. Notons également que sur 95 ménages seulement quinze (15) participent aux projets donc détenteurs de BCERs. Les grands critères de sélection de ces ménages pilotes ont été défini lors de la première phase du projet. Ces critères sont essentiellement la motivation personnelle des producteurs, la pratique de maïs de case, avoir une accessibilité aux parcelles et exploiter un champ d'au moins 0,25 ha, maîtriser les techniques culturales liées aux conditions de la zone, avoir suffisamment de mains d'œuvre familiales et le fait de ne pas être chercheur d'or (Zongo, 2016).

Le premier questionnaire portait sur les caractéristiques des ménages, leurs productions annuelles et les mois de couverture, les avantages liés à l'obtention des BCERs et les difficultés rencontrées pendant après sa construction. Le second questionnaire qui regroupe les points principaux de cette étude, nous permettra de faire une analyse des perceptions sur les changements climatiques et les stratégies d'adaptation des ménages, ainsi que leurs perceptions sur l'information climatique. Les questionnaires se trouvent en annexe (cf. Annexe 15 : questionnaire N°1).

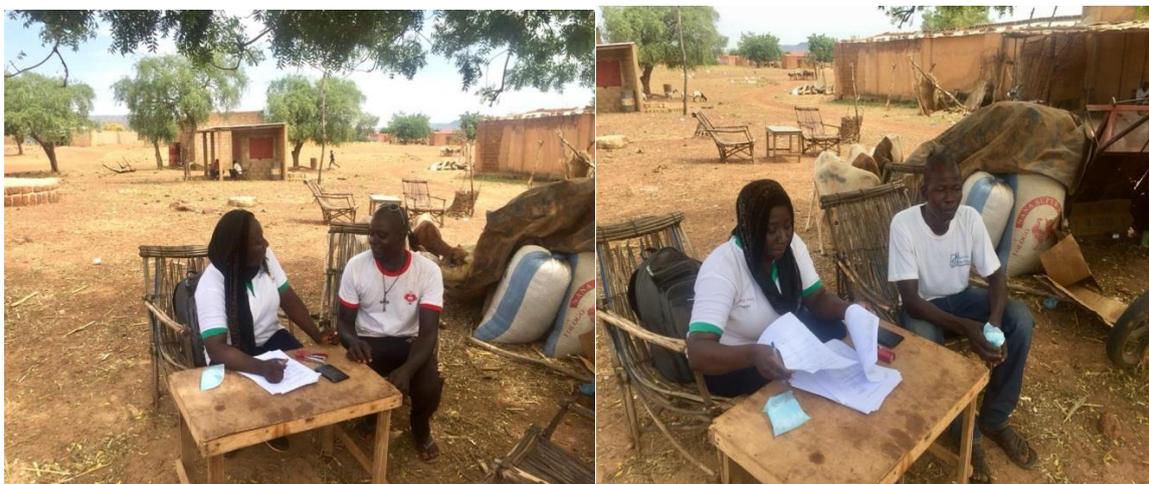


Figure 8: Echange entre Mahaman Laminou Amina et le chefs de ménage Julien SAWADOGO dans le village de Horé ( kongoussi)

Le jeu de données collectées à cette première (figure 8) étape a englobé des informations permettant de répondre aux objectifs spécifiques O<sub>1</sub> & O<sub>2</sub>. En rappel, l'objectif spécifique O<sub>1</sub> consiste à identifier les informations climatiques utiles pour les ménages pilotes et l'objectif

spécifique O<sub>2</sub> à déterminer les connaissances endogènes des ménages agricoles pour les prévisions des saisons.

### 2. Description du matériel utilisé :

Le matériel végétal sur lequel a porté l'évaluation était le maïs (*Zea mays* (L.)). C'est un monocotylédone de la grande famille des Poaceae, classé dans la tribu des Maylae ou Trisaceae. Les variétés cultivées étaient le Barka qui signifie en langue locale moré « merci » qui est une variété extra-précoce de 80 jours, résistante à la sécheresse et aux fortes densités et pouvant produire jusqu'à 5,5 t/ha dans les conditions hydriques et agronomiques optimales (Vivien, 2016).

### 3. Parcelles d'expérimentation ;

Chaque détenteur de BCER a sur son exploitation, une parcelle expérimentale et une parcelle témoin de 0,10 ha chacune. La même variété de maïs est semée sur les deux parcelles et les quantités de semences et d'engrais sont proportionnelles aux superficies. Un complément d'eau est apporté à la culture lors d'une séquence sèche par le biais des BCERs sur les parcelles expérimentales. La parcelle témoin n'est jamais irriguée et reste sous régime pluviale.

Les producteurs pilotes devaient respecter des écartements (80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets), respecter les dates d'application du NPK et l'urée 1 (100 kg/ha soit 20 kg pour la parcelle expérimentale et 0,5 kg pour la parcelle témoin), s'assurer de la bonne application de l'urée 2 (50 kg/ha soit 10 kg pour la parcelle expérimentale et 0,25 kg pour la parcelle témoin) (Zongo, 2016).

Pour la détermination des rendements sur chaque parcelle, on utilise la méthode de la pose des carrés de rendement. La technique consiste à jeter au hasard dans la parcelle (en lui faisant dos) un caillou facilement identifiable tout en évitant les bords de la parcelle. Une fois le caillou identifié, on mesure 2,5 m suivant une ligne droite de part et d'autre du caillou suivant les quatre points cardinaux. Ensuite on trace le carré de façon à ce que la position du caillou soit le centre du carré. Après avoir effectué les mesures des distances, un piquet (souvent en bois) est fixé à chaque sommet et on fait passer une ficelle autour des piquets pour matérialiser les limites du carré (Walbéogo, 2014).

Lors de notre sortie, les producteurs avaient déjà effectué la récolte, nous n'avons donc pas participé à la pose des carrés de rendement.

### 4. Détermination des dates de début et de saison :

Ces paramètres sont importants pour l'élaboration d'une campagne agricole dans le sens où

cela pourrait réduire considérablement les effets des aléas climatiques sur le secteur agricole. La première pluie, après plus de cinq mois de saison sèche, est attendue chaque année avec beaucoup d'impatience et suscite un grand espoir chez la population (Boubacar, 2012). Par conséquent, la prédiction de la date du démarrage de la saison des pluies est une préoccupation importante pour une meilleure planification de la production agricole au Sahel (Sivakumar, 1988).

Selon Ibrahim, (2012) on a besoin de quatre points pour appliquer la méthode statistique qui sont :

- Le cumul annuel des pluies ( $CP_i$ ), le début de la saison des pluies est à déterminer après les 5% du cumul annuel et la fin de la saison des pluies est à déterminer après les 95% du cumul annuel ;

$$CP_i = \sum_{j=1}^m P_{j,i}, CP_d = 5\% * CP \text{ et } CP_f = 95\% * CP$$

Avec j indice des pluies et m nombre total des pluies de l'année i

- Les pluies à considérer pour le démarrage de la saison des pluies sont supérieures à un seuil  $P_1$  (hauteur moyenne des premières pluies à la station). La hauteur moyenne des premières pluies est  $P_1 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{1,i}}{n}$  avec  $P_{1,i}$  : Première pluie de l'année i et n le nombre d'années de la série.

- Le début de la saison est marqué par une pluie supérieure à  $P_1$  après le  $CP_d$  et qui n'est pas immédiatement suivie par une séquence sèche plus longue que  $MSeq$ .

$MSeq$  est la médiane des séquences sèches moyennes annuelles  $MSeq = \text{médiane}(\text{seq}_{\text{moy},i})$ ,  $\text{seq}_{\text{moy},i}$  est la durée moyenne de toutes les séquences sèches de l'année i déterminées entre la première et la dernière pluie.

- La fin de la saison des pluies est marquée par la première pluie après le  $CP_f$  ou qui complète le  $CP_f$  et suivie par une séquence sèche plus longue que  $MSeq$ .

La détermination des séquences sèches ne faisant pas partie de notre travail, nous ne pourrions pas utiliser la méthode statistique pour le calcul des dates de début et de saison.

La méthode élaborée par Erpicum stipule que, selon des critères climatiques, la saison des pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie (pluie  $\geq 1$  mm) au cours d'une période donnée de cinq jours consécutifs (pentade) est supérieure à celle d'avoir un jour sec au cours d'un épisode de sept jours. La fin de la saison des pluies correspond au jour où la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une période donnée de cinq jours.

Les jours de pluie (précipitations  $\geq 1$  mm), tout comme les jours secs (précipitations  $< 1$  mm),

sont comptés par « pentade » sur une période englobant la saison pluvieuse. Des pourcentages de jours pluvieux et jours secs sont ensuite calculés par pentade. Un graphe établi sur la période retenue met dans un même référentiel la courbe traduisant les pourcentages de jours pluvieux et celle des pourcentages de jours secs. Le recoupement des deux courbes permet de définir les différentes périodes pluvieuses ou sèches. La période pluvieuse se définit par la position de la courbe des jours pluvieux au-dessus de la courbe des jours secs. La période sèche se définit par la position de la courbe des jours secs au-dessus de la courbe des jours pluvieux(Ozer,1995.) .

Pour la méthode hydrologique (Balme, 2005), la saison des pluies démarre avec la première pluie supérieure à 5 mm/jour (seuil déclenchant l'écoulement de surface) et finit avec la dernière pluie supérieure à 5mm/jour.

Selon Sivakumar (1987), la date de début de saison correspond à la date  $j_1$  pour laquelle une quantité de 20 mm de pluies aura été enregistré sur 3 jours consécutifs après le 1<sup>er</sup> Mai sans période sèche supérieure à 7 jours dans les 30 jours qui suivent. Trois paramètres sont importants à savoir la quantité de pluie, le nombre de jours pluvieux et le seuil de pluie permettant de déterminer les poches de sécheresse.

La fin de saison  $j_2$  est le jour où il n'y a plus de pluie pendant deux décades après le 1<sup>er</sup> septembre. La longueur de la saison  $L_s$  est obtenue en effectuant la différence entre  $j_1$  et  $j_2$  :

$$L_s = j_1 - j_2.$$

Ainsi pour la suite de notre travail nous allons utiliser les critères climatiques, hydrologiques et agronomiques pour déterminer les dates de début et fin de saison.

Pour la prévision de ces paramètres, nous avons choisi quatre (4) modèles climatiques régionaux du programme CORDEX à savoir, CM5A-MR(RCA4), CNRM-CM5(CCLM4), CNRM-CM5(RCA4), EC-EARTH(CCLM4), EC-EARTH(HIRHAM5), EC-EARTH(RACMO22T), EC-EARTH(REMO2009), HadGEM2-ES(CCLM4), HadGEM2-ES(RACMO22T), HadGEM2-ES (REMO2009, MPI-ESM-LR(CCLM4) et MPI-ESM-LR(REMO2009). Les sorties des quatre modèles ont été comparés aux données historiques sur une période de 1961 à 2005.

L'évaluation d'un modèle climatique se fait en comparant ses sorties avec les observations sur la période historique. La performance des modèles dans la reproduction des différentes caractéristiques sera évaluée en utilisant les critères numériques. Pour cela, l'Erreur Relative (ER) et l'Ecart Moyen Absolu (MAE) ont été calculés (Willmott, 2005).

L'écart moyen absolu est la moyenne des écarts entre les données des deux séries prises deux à deux :

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|e_i\|$$

$$ER = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{e_i}{X_{i_{observé}}} \right)$$

Outre l'écart moyen absolu et l'écart relatif, on a calculé l'écart quadratique moyen (EQM). L'EQM est une mesure de l'erreur moyenne, pondérée par le carré de l'erreur. Elle permet de répondre à la question, « quelle est la magnitude de l'erreur de la prévision », mais n'indique pas la direction des erreurs. Parce qu'il s'agit d'une quantité au carré, l'EQM est influencée plus par les grandes erreurs que par les petites erreurs. Sa portée est de 0 à l'infini, un score de 0 étant un score parfait (Canada, 2013). Il est fréquemment utilisé pour mesurer des différences entre les valeurs prédites par un modèle et les valeurs observées. Nous choisirons (parmi les quatre (4) modèles) le modèle le plus proche des données historiques pour nos différentes prévisions. Les meilleurs RCMs couplés aux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été utilisés pour générer un ensemble de projections de précipitations.

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2}$$

Avec  $N$  : la taille de l'échantillon,  $X_{i_{calculé}}$  et  $X_{i_{observé}}$  les variables calculées et observées au pas de temps  $i$ . L'écart moyen absolu est la moyenne des écarts en valeurs absolues entre les données des deux séries prises deux à deux. Soit  $(X_i, 1 \leq i \leq N)$  la série des observations et  $(Y_i, 1 \leq i \leq N)$  la série des simulations avec  $N$  le nombre de données, posons  $e_i = X_i - Y_i$  l'écart entre les deux données au rang  $i$ . La MAE est d'autant proche de zéro que les deux séries de données sont similaires.

### **CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION**

#### **I. INDICATEURS UTILISES POUR LA PREVISION SAISONNIERE DANS LE BAM**

L'ensemble des producteurs agricoles peuvent prévoir le démarrage de la saison des pluies. Ce qui réfute notre hypothèse selon laquelle, au regard du changement climatique, les moyens endogènes sont de plus en plus abandonner par les paysans au profit de l'information climatique pour la prévision saisonnière. Seuls 12% utilisent l'information climatique comme moyens de prévisions. En effet, les producteurs se basent sur leurs connaissances endogènes comme l'événement pluvieux, la croyance, ou encore la tradition pour la prévision saisonnière.

Comme nous l'indique la figure (10), 44% des producteurs se basent sur l'événement pluvieux pour faire les prévisions saisonnières. Ils se basent ainsi sur l'observation des nuages. Ils considèrent comme période d'observation les mois d'Avril et Mai. En effet, durant cette période, la prévision de la date de début de saison est conditionnée par la concentration en nuage, en ce sens la saison s'annonce bonne lorsqu'il y a aucune concentration de nuage (ciel dégagé) et mauvaise lorsque les nuages se laissent voir en grand nombre.

Les producteurs se basent également sur leurs croyances (19%) et les traditions (17%) pour prédire les dates de semis (figure 10). Cependant lors de nos entretiens, ils ne nous ont pas fournis plus d'informations sur ces pratiques. Avec la documentation, il en ressort qu'en zone sahélienne, la prédiction des dates de début de saison se fait à travers l'observation des étoiles et l'apparition des oiseaux (les cigognes), la régénération de *Zizyphus mauritiana*, *Acacia* sp, *Adropogon*, la maturation de *Laneaa microcarpus* et la ponte des pintades. La qualité de la saison dépend essentiellement, de la bonne production de certains arbres comme *Lanea*, *Furcea virosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Daniella Olivieri* et par la régénération totale d'*acacia albida*. Aussi l'apparition matinale (vers 5H du matin) d'une étoile qui brille, la ponte des volailles en hauteur sont également des indicateurs d'une bonne saison.

Enfin, seulement 7% utilisent la phénologie des arbres comme moyens de prévision. La décision sur la date de semis est fonction de la fluctuation d'arbres répandue dans la zone tels que les *Anogeissus leiocarpus*, *Butyrospermum parkii* et les *Sclerocarya birrea*. Les producteurs utilisent également la phénologie des arbres pour prédire la qualité de la saison.

Ainsi, la saison est considérée bonne lorsque la fructification est généralisée sur l'ensemble des branches de ces arbres et mauvaise lorsque la fructification se fait de façon localisée sur l'arbre.

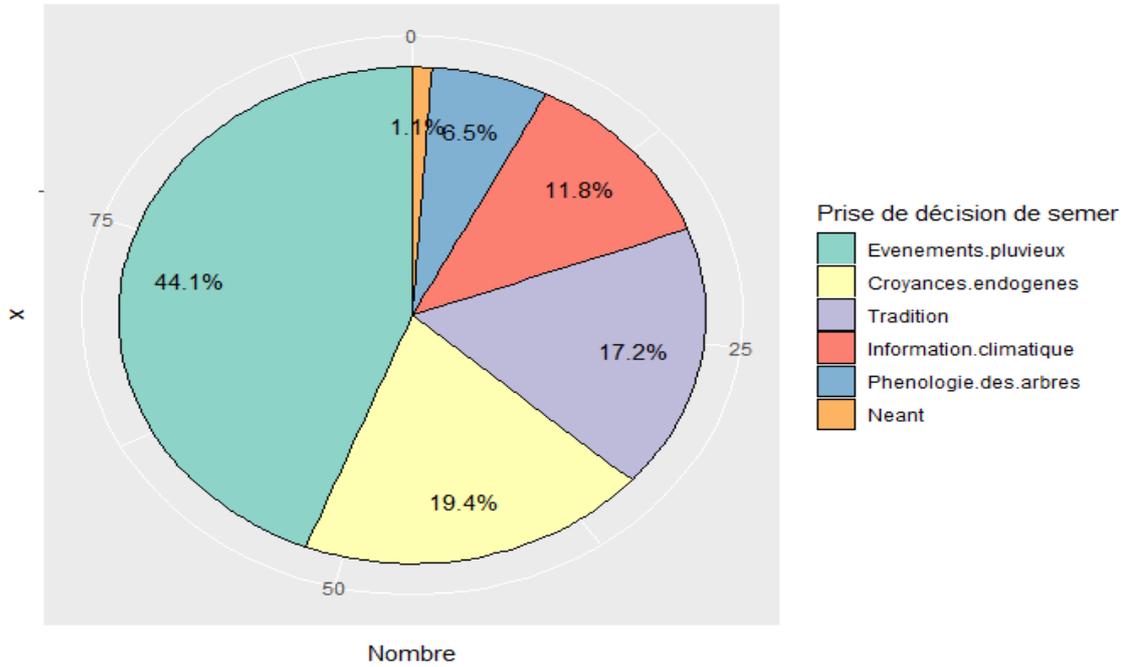


Figure 9: Pourcentage des modes de prévision endogène des producteurs pilotes:

## II. INFORMATIONS CLIMATIQUES UTILES POUR LES PRODUCTEURS :

Les informations climatiques utiles pour les producteurs sont le début de l'hivernage (73%), la durée de la saison des pluies (7%) comme nous l'indique la figure (11) ci-dessous.

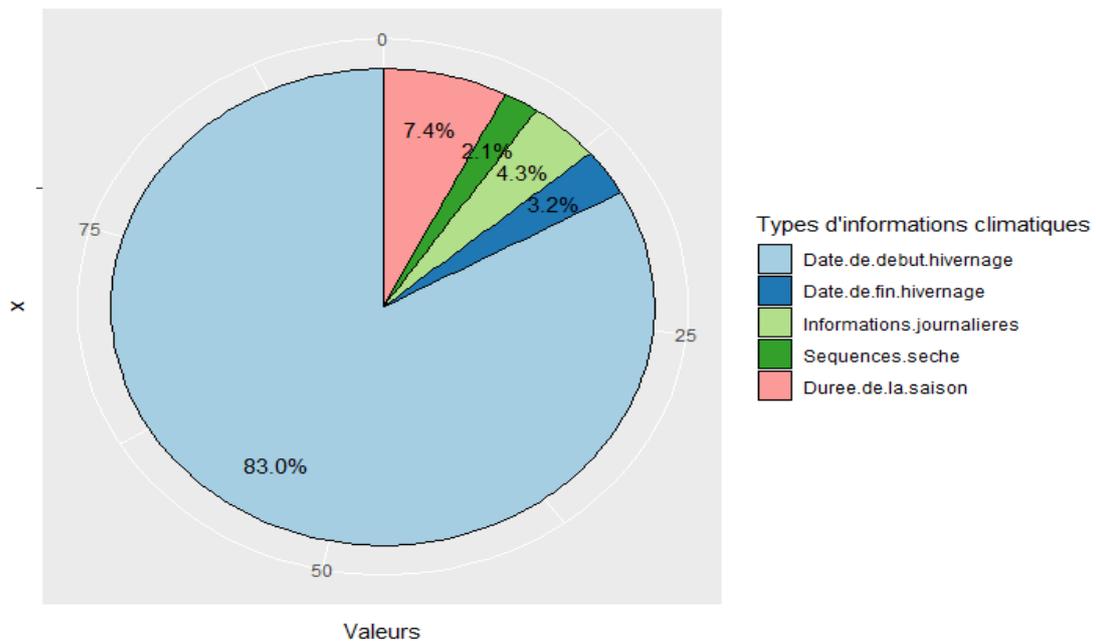


Figure 10: Informations climatiques utiles

Comme nous l'indique la figure (12), la diffusion de la date de semis se fait principalement par le biais de la radio (64,51%). Certains producteurs se basent également sur l'expérience des plus vieux du village pour aller semer.

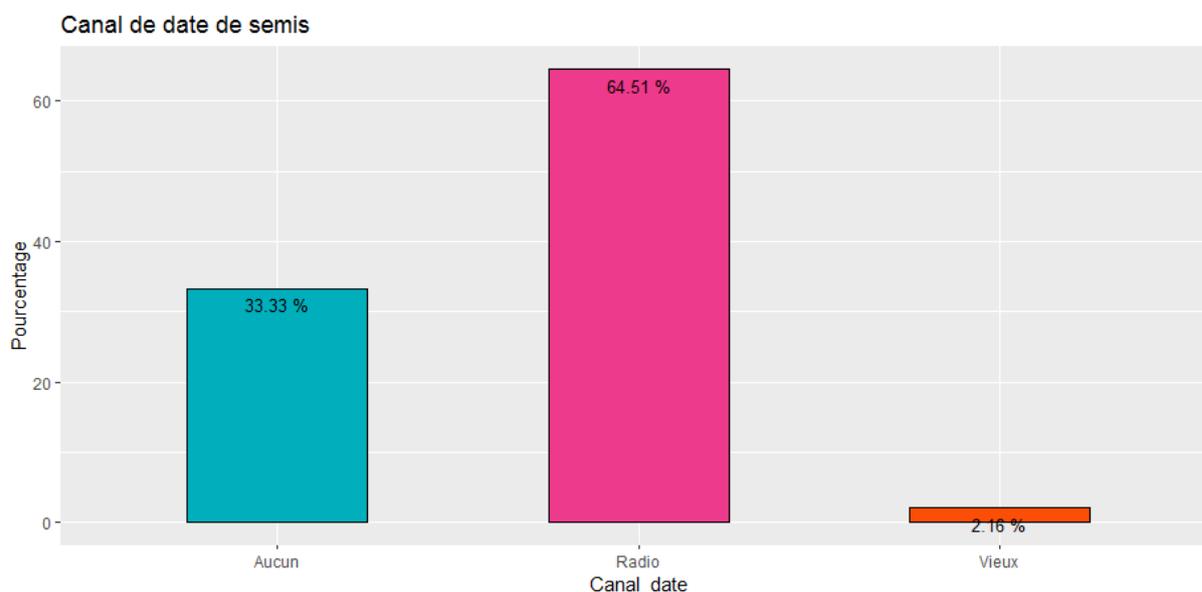


Figure 11: Mode de diffusion

Selon 74,47% des ménages interrogés, le mois d'avril est la période adéquate pour la diffusion des informations climatiques. Ce mois correspond au démarrage des activités agricoles pré-semis telles que la pratique du zaï et l'épandage de la fumure organique dans les champs (Zongo 2016).

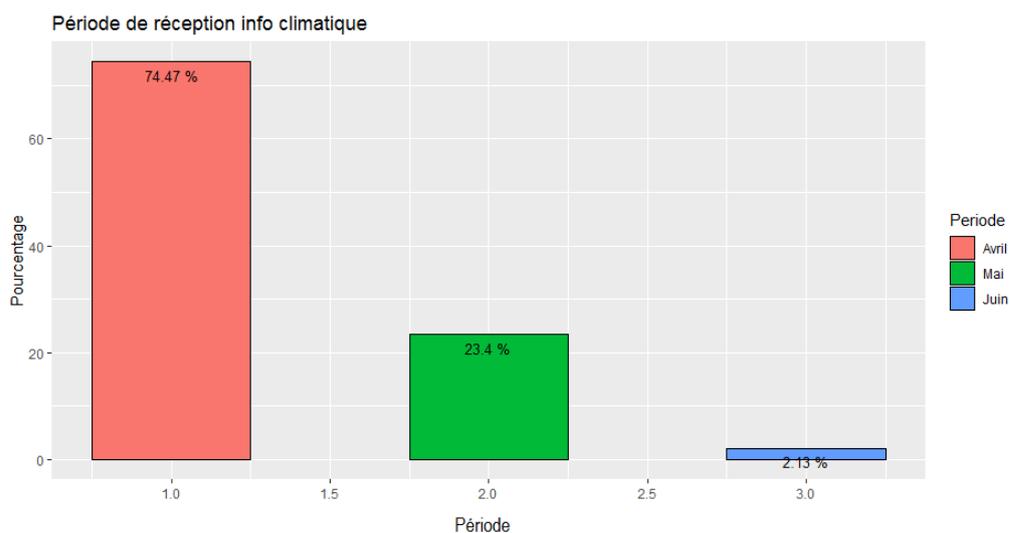


Figure 12: Période souhaitée

L'analyse des informations collectées lors de nos différents échanges avec les producteurs

ressort que seulement 12% utilisent l'information climatique comme indicateur pour la prévision. La diffusion de cette information majoritairement par la radio (64,54%) présente quelques failles affirment les producteurs. « *Les informations sur la date de début fournies à la radio, nous sont communiquées tardivement (fin mai) et aussi le plus souvent ils parlent que de la zone de Bobo-Dioulasso* » (selon un producteur du nom d'Albert Yabri Ouédraogo du village de Rissiam, enquête octobre 2020). Il apparaît donc nécessaire d'analyser au préalable les besoins et la meilleure période pour l'acheminement des informations aux producteurs.

Selon une étude de Zongo (2016) dans la même zone, ressort également que le faible niveau d'organisation et d'accès des agriculteurs aux services des agents de vulgarisation constituent les contraintes majeures à la diffusion des innovations agricoles.

### III. DETERMINATION DES DATES DE DEBUT ET FIN DE SAISON :

#### 1. Analyse de l'impact du CC sur l'agriculture :

L'analyse de notre enquête a révélé que l'information climatique utile aux agriculteurs pour la préparation de leur campagne agricole est la date de début d'hivernage. La figure (13) ci-dessous nous renseigne sur la date de début et fin de pluie généralement (sur les dix dernières saisons) observées par les producteurs dans notre zone d'étude. En effet, nous remarquons que les premières pluies sont enregistrées au cours de la troisième décennie (3D) du mois de Mai mais sont plus récurrentes au cours de la première décennie du mois de juin et la fin de la saison est observée dans la troisième décennie du mois d'octobre. Aussi sur les 10 saisons, seulement quatre ont été mauvaises.

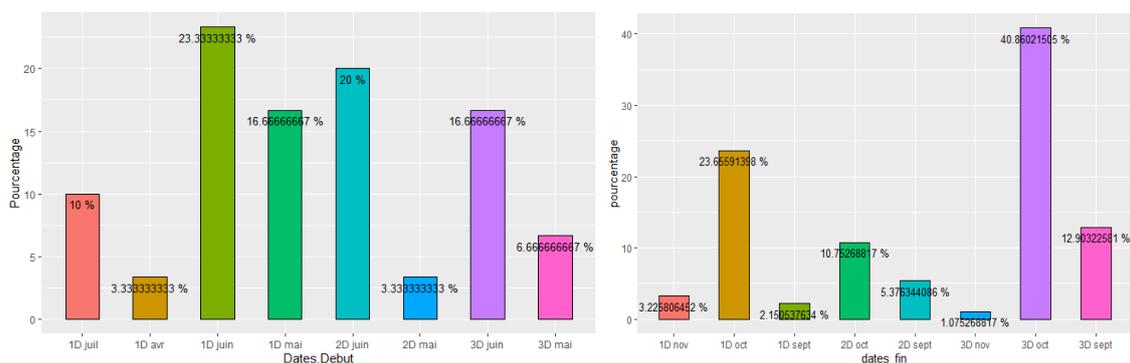


Figure 13: Observations des producteurs sur la date de début et fin de saison, selon les décades, iD avec i = 1,2,3

Aussi en fonction de la saison prédite, le choix du type de semences (améliorées ou pas) et

la pratique d'activité extra-agricole, sont important ainsi comme nous l'indique la figure (13) ci-dessous, pour une saison sèche les producteurs utilisent les semences améliorées (77,65%) tandis que pour une bonne saison ils n'adoptent aucun changement (67,02%). Que la saison soit bonne ou pas ils pratiquent l'élevage, mais plus en saison sèche (63,82) qu'en bonne saison (54,25%). Pour la question de migration, les producteurs restent unanimes sur un refus de quitter les terres de leurs ancêtres, ce même si les terres sont fatiguées.

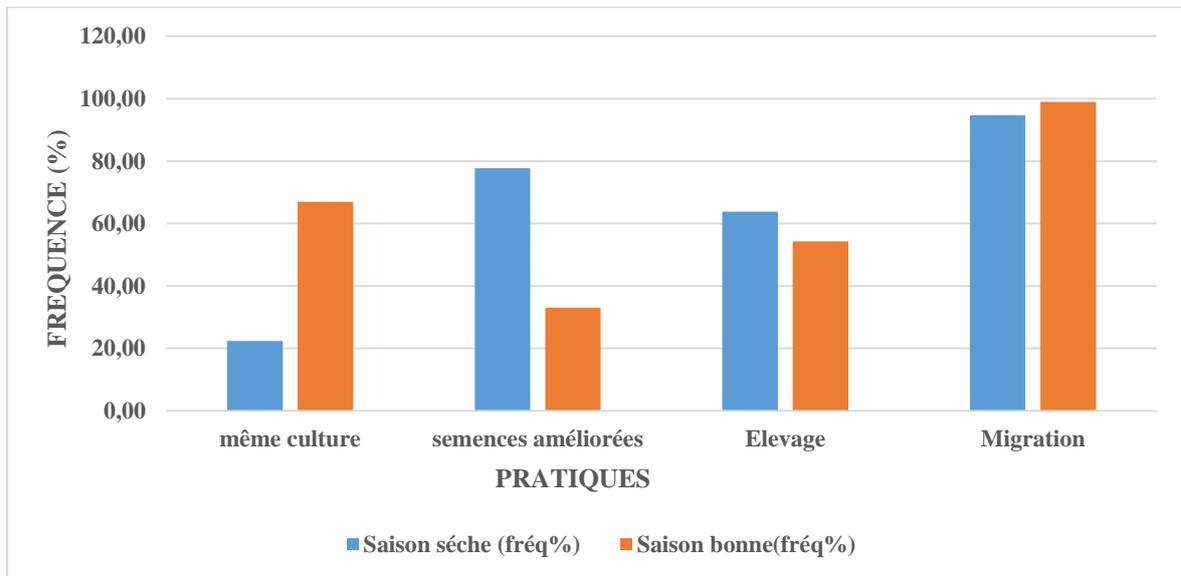


Figure 14: Analyse de l'impact du CC sur l'agriculture

2. Elaboration de l'information climatique :

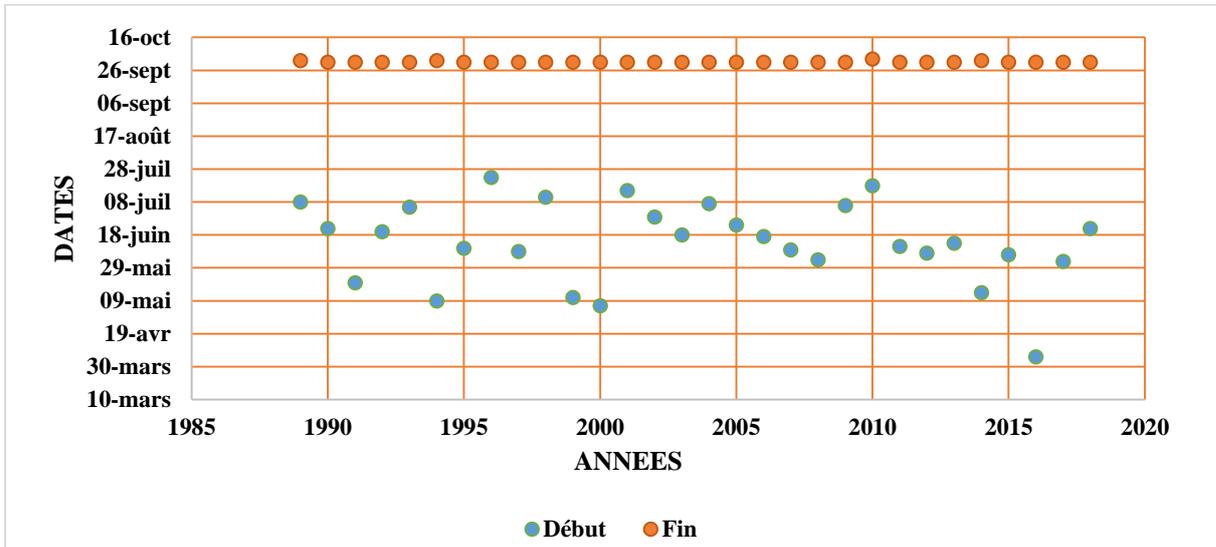


Figure 15: Dates de début et fin pour le critère climatique

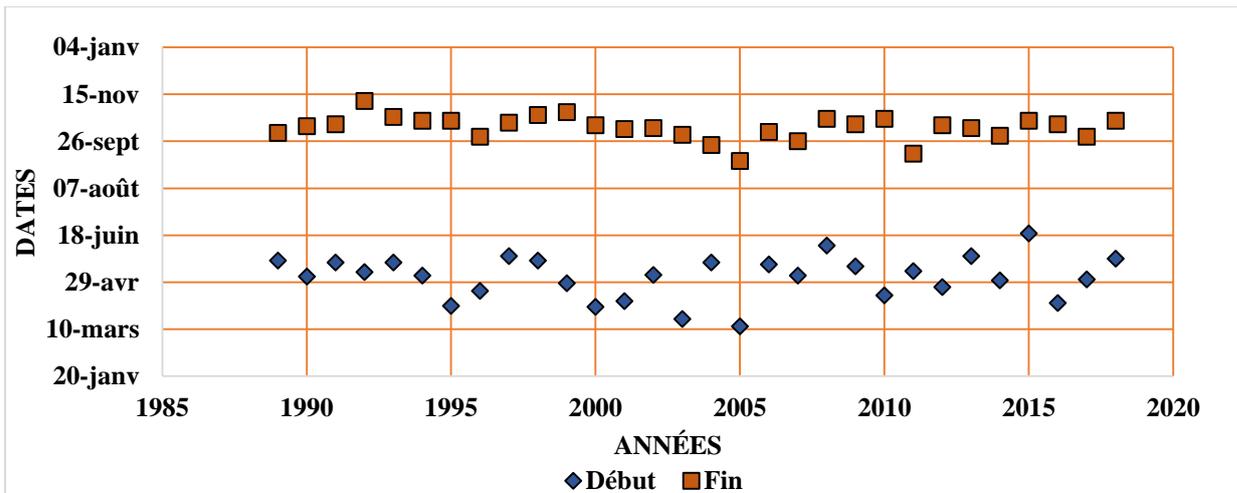


Figure 16: Dates de débuts et fins pour le critère hydrologique

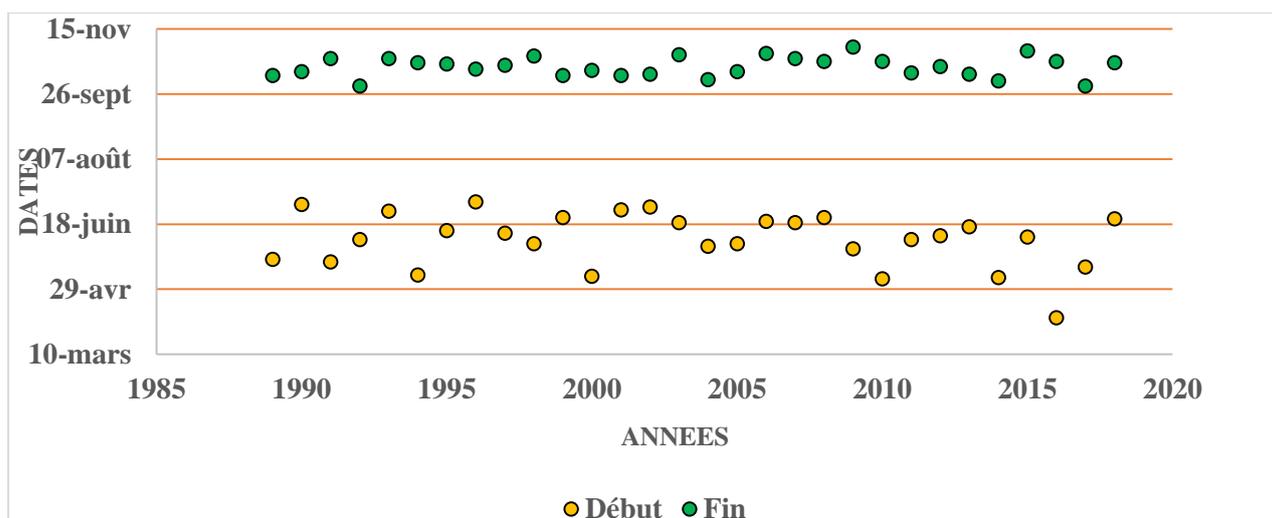


Figure 17: Dates de débuts et fins par le critère agronomique (Sivakumar)

Les figures ci-dessus représentent les dates de début et fin de saison observées sur une période allant de 1989 à 2018. On observe que les dates de début de saison sont variables d’une année à l’autre pour les trois méthodes utilisées. Les dates de fin de saison sont plus ou moins stables.

Tableau 2: Résultats obtenus pour les différents critères

	<b>Critères climatiques (Epicum)</b>	<b>Critères hydrologiques (Balme et al.)</b>	<b>Critères agronomique (Sivakumar)</b>
<b>Date moyenne démarrage</b>	14-juin	03-mai	20-mai
<b>Ecart type démarrage (jours)</b>	26	21	22
<b>Date moyenne fin</b>	1-oct	10-oct	13-oct
<b>Ecart type fin (jours)</b>	10	16	13
<b>Longueur moyenne de la saison (jours)</b>	110	160	131

Les résultats du tableau (2), indique un écart plus élevé de la date de début du critère

climatique alors que l'écart des deux autres critères sont légèrement proches. Les valeurs élevées des écart-types autour des moyennes des dates de début de l'hivernage confirment l'installation capricieuse de celle-ci, tandis que les fins de pluies se réalisent à peu près toujours aux mêmes dates à une dizaine de jours près (Moussa, 2006). La fin de l'hivernage présente moins de variation interannuelle que le début qui est imprévisible.

Les deux critères (hydrologique et agronomique) se ressemblent sauf que le deuxième est un peu exigeant par rapport à l'autre car il exige un cumul pluviométrique de 20 mm en trois jours tandis que celui de Balme et al, se base directement sur la première pluie supérieure à 5 mm. Ainsi on note un démarrage précoce de la saison pour les critères hydrologiques en comparaison avec la méthode agronomique. Pour ce qui est des critères climatiques élaborés par Erpicum, on observe une date de début tardive en comparaison aux deux autres critères (hydrologiques et agronomiques).

Dans le cadre de notre étude, on s'intéresse plus particulièrement aux critères présentant un intérêt à l'agriculture, afin d'effectuer une analyse poussée sur la date de début et fin de saison. Selon Erpicum la méthode probabiliste ne prend pas en compte les besoins agro-climatologiques aussi à travers son étude, Traboulsi affirme le critère hydrologique néglige une caractéristique importante des précipitations, à savoir les périodes sèches intercalaires séparant les épisodes pluvieux et qui sont parfois longues. En outre, le critère agronomique de Sivakumar de par son application dans plusieurs pays Sahélien, fournit des résultats respectant au mieux la réalité du paysan. Selon Balme et al., en moyennant chaque année avec le critère agronomique, on s'aperçoit qu'on peut définir le début d'une période assez stable où la mousson est bien établie et qui représente, en termes d'apports pluviométriques, 90 % du cumul saisonnier. A cet effet nous retenons le critère de Sivakumar (1988) dans la suite de notre travail.

## 2.1 Analyse des dates de début et fin selon Sivakumar :

La boîte à moustache (box plot figure (18)) nous a permis de représenter le maximum et le minimum des dates de début et fin de saison calculées.

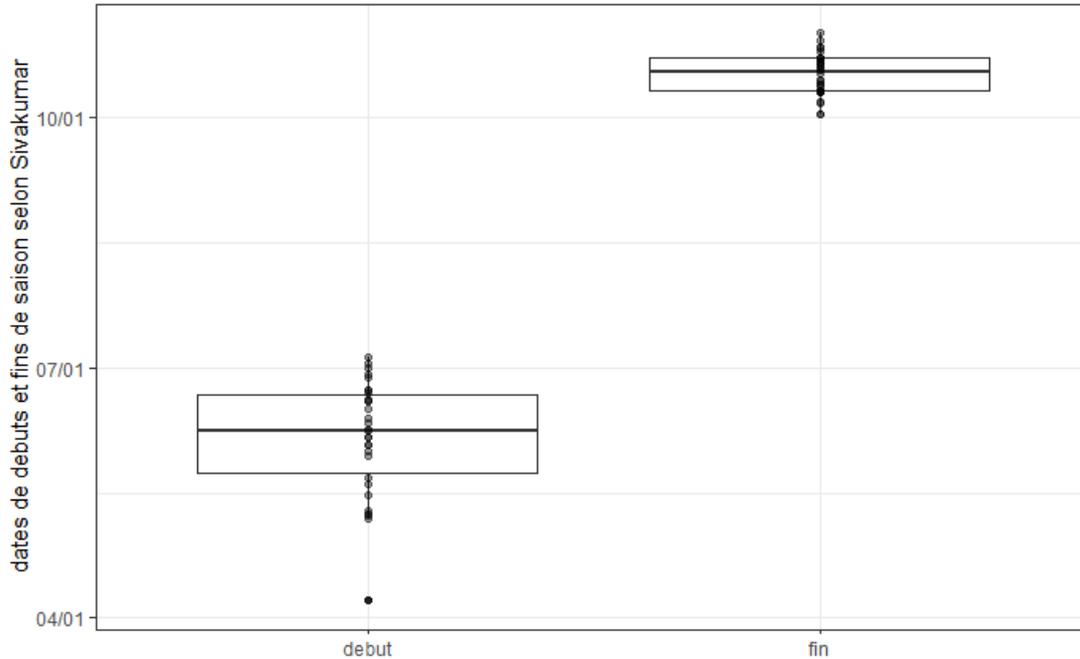


Figure 18: Boîte à moustache des dates de début et fin de saison de 1989 à 2018

Les ordonnées de la figure ci-dessus présentent les correspondances des dates de débuts et fins de saison en variable quantitative.

Ainsi, les résultats sont assignés dans le tableau (3) :

Tableau 3: Résultats des dates de début et fin de saison obtenus par la boîte à moustache

	Début	Fin
Minimum	07 avril	02 octobre
1 <sup>er</sup> quartile	22 mai	11 octobre
Médiane	09 juin	18 octobre
3 <sup>rd</sup> quartile	23 juin	21 octobre
maximum	05 juillet	01 novembre

En effet on remarque que la date de début du 09 juin et la date de fin 18 octobre représentent 50% sur la plage de donnée. Les dates du 22 mai et 23 juin ainsi que les dates du 11 octobre et 21 octobre sont observées à 25% sur la plage de donnée. La date de début au plus

tôt correspond au 7 avril et la date de fin au plus tôt le 2 octobre. La date de début au plus tard correspond au 5 juillet et la date de fin au plus tard le 1 novembre.

### 2.2 Analyse des dates de début et fin par découpage (décades et semaines) :

Dès les premières pluies, les paysans s'activent dans la préparation (désherbage) des terres pour le semis. C'est également une période de doute, car la date de début de pluie ne correspond pas toujours à la date de semis.

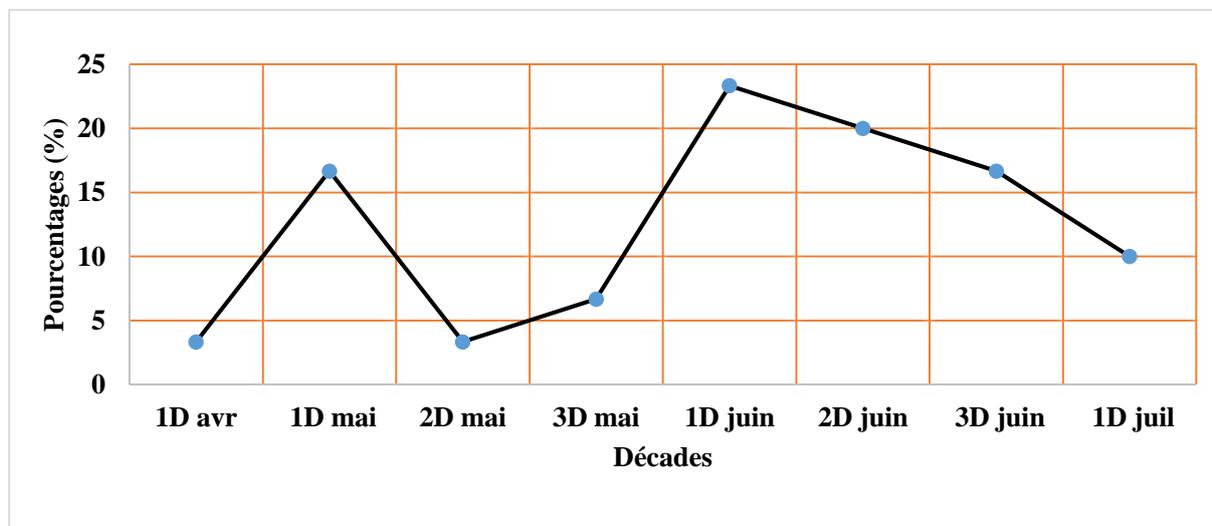


Figure 19: Probabilités d'occurrence des dates de débuts selon les décades, selon les décades, iD avec  $i = 1,2,3$

En effet, la date de début de campagne analysée du point de vue journalier est une information singulière qui peut être entachée de biais quand elle est assimilée à la date de semis. Ainsi, l'analyse décadaire des dates de début permet de prendre en compte le temps minimal de stockage et de restitution d'eau par le réservoir sol et de réduire les risques d'échec de semis (Vivien Chaim DOTO 2016). L'analyse de la figure ci-dessus montre que pour le mois d'avril et les deux premières décades du mois de Mai, la chance qu'un semis marche est quasi nulle. Nous remarquons que le début de saison est observé au cours de la première décade du mois de juin, ainsi un semis à partir de cette période aurait plus de chance de marcher.

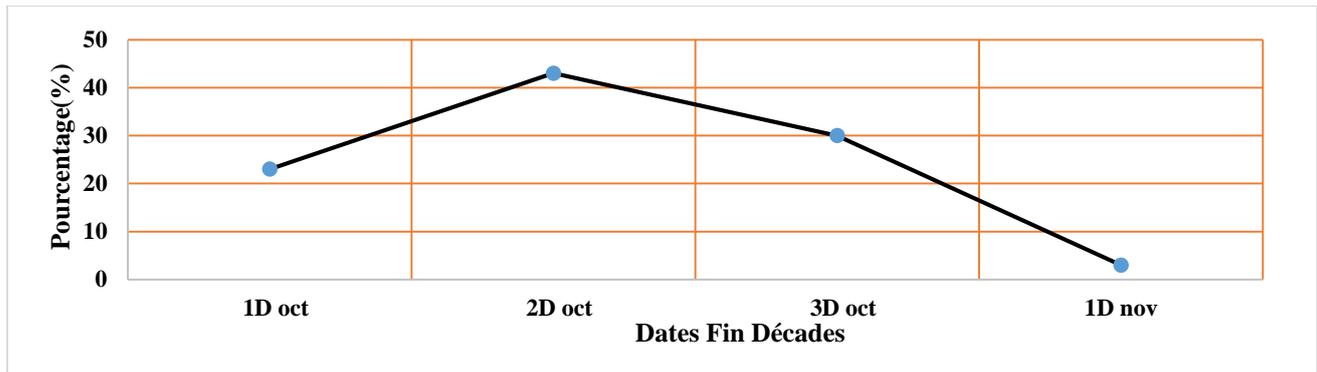


Figure 20: Dates de fin selon les décades, selon les décades, iD avec  $i = 1,2,3$

La fin de la saison est observée dans la deuxième décade du mois d'octobre.

Toutefois, l'objectif étant de rechercher la date la plus probable du début ou de la fin de la saison des pluies, un pas de temps inférieur à la décade est à prendre en compte. Ainsi, afin de mieux apprécier la date de début et la date de fin de saison, nous avons effectué une seconde analyse en période de sept jours.

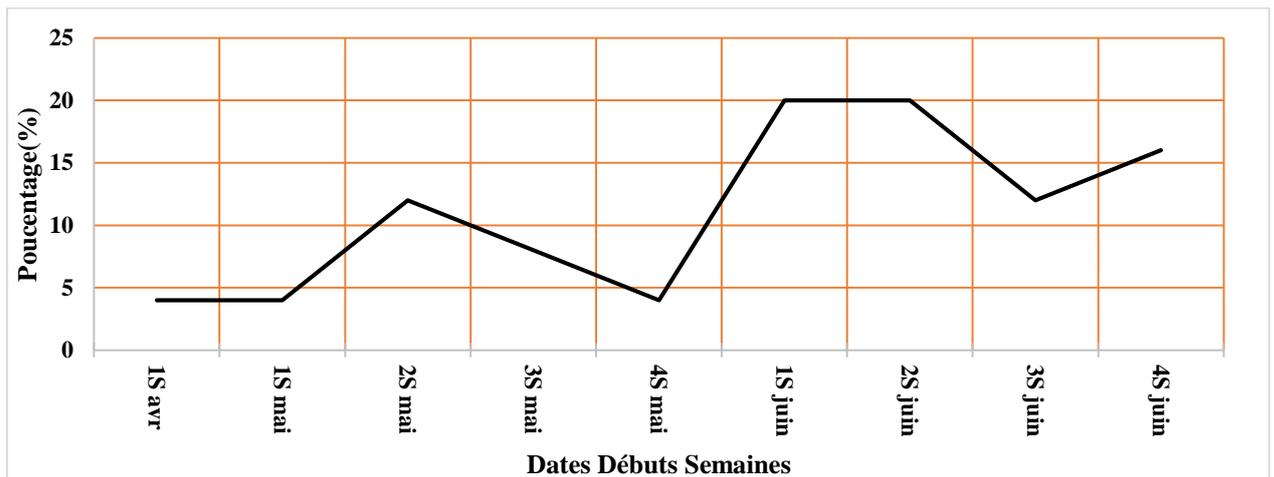


Figure 21: Probabilités d'occurrence des dates de débuts selon les semaines, selon les semaines, iS avec  $i = 1,2,3,4$

L'analyse de la figure ci-dessus montre que pour le mois d'avril et les trois premières semaines du mois de mai, la chance qu'un semis marche est quasi nulle. Nous remarquons que le début de saison est observé au cours de la dernière semaine du mois de mai, ainsi un semis au cours de cette période aurait plus de chance de marcher.

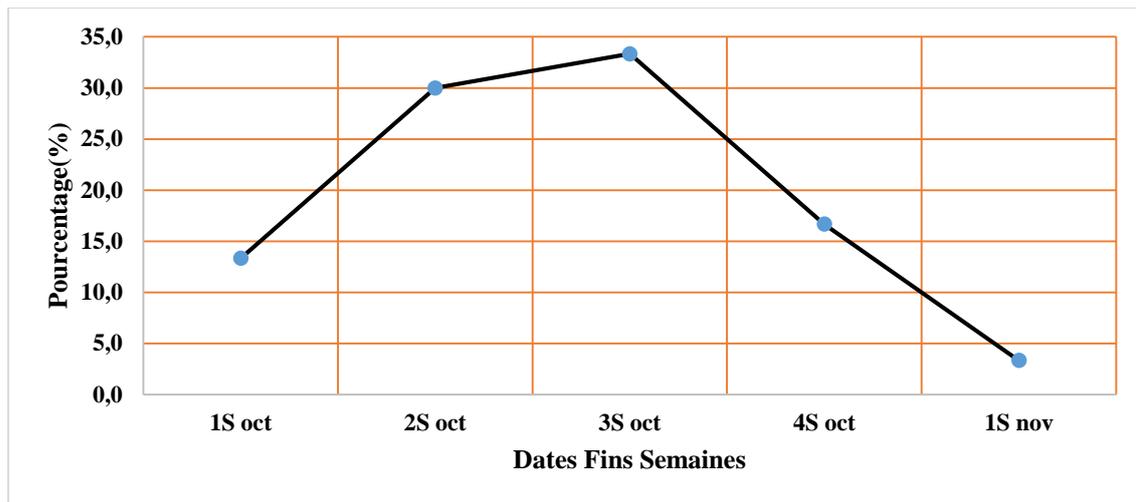


Figure 22: Probabilités d'occurrence des dates de fin selon les semaines, selon les semaines,  $iS$  avec  $i = 1,2,3,4$

L'analyse des dates de débuts établit par le critère de Sivakumar montre que le début de la saison dans notre zone d'étude est généralement observé au cours de la deuxième décennie du mois de mai (voir figure (21)). Cependant l'analyse sur la seconde partie sur sept jours, nous a permis de peaufiner les résultats obtenus sur les décades. Ainsi, on constate qu'un semis effectué à partir de la dernière semaine du mois de mai aurait plus de chance de réussir. En comparaison avec les observations sur les dates de début et fin fournies par les paysans, on constate une similitude sur les dates de début de saison et une différence de 10 jours sur la fin de saison ; Ce qui éventuellement confirme nos résultats car ils sont approximativement très proche de la réalité.

### 2.3 Analyse de la longueur :

Dans le cadre de notre étude, outre l'analyse des dates de début et fin de saison, la connaissance sur l'évolution de la longueur de la saison pendant laquelle se développent les cultures pluviales, constitue une nécessité car elle permettra aux paysans de prévoir des ajustements comme le choix du type de semence à semer. La durée de la saison culturale est donnée par la différence entre les dates de fin des pluies et début des pluies. Les figures ci-dessous, présentent un croisement des périodes de début et fin de saison afin d'identifier la fréquence de la longueur par années.

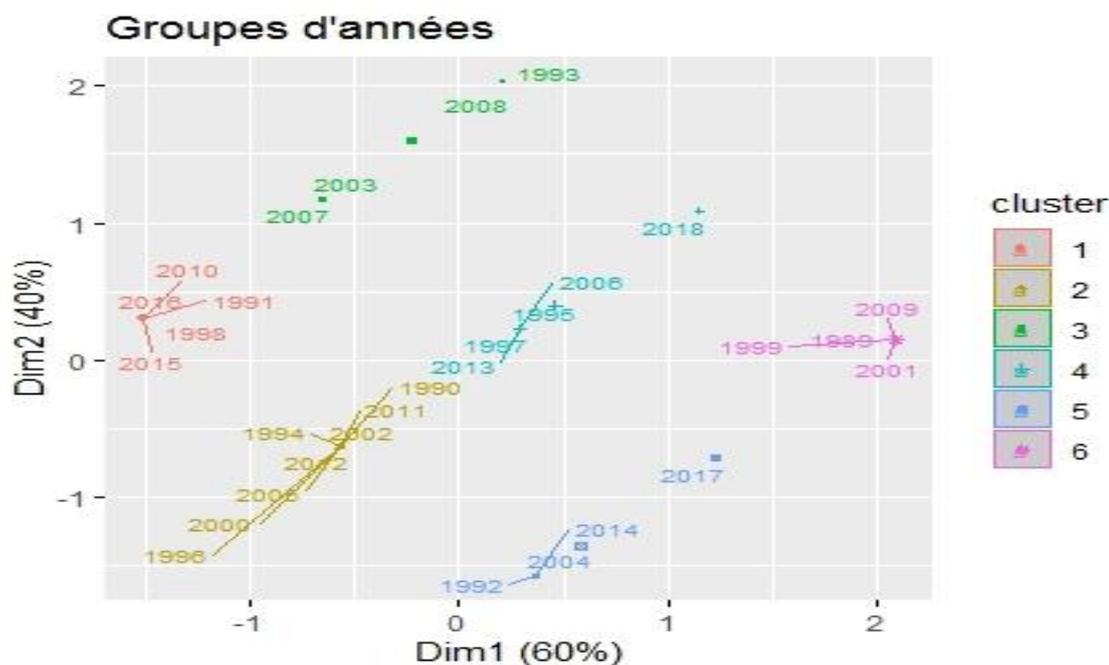


Figure 23: Groupes d'années en fonction des découpages des dates de début et fin de saison en décade (1989 à 2018)

La figure ci-dessus présente les différentes groupes d'années présentant la même évolution des dates de début et fin de saison en décade.

Le **groupe(cluster) 1** englobe les années 1991, 1998, 2010, 2015 et 2016 ayant observées les dates de début au cours de la première décade et la fin de la saison au cours de la troisième décade.

Le **groupe(cluster) 2** englobe les années tels que 1990, 2002 ou 2012. Les dates de début s'installent au cours de la première décade pour une fin au cours de la deuxième décade.

Le **groupe(cluster) 3** est composé d'années partageant une date de fin de saison observée au cours de la troisième décade.

Le **groupe(cluster) 4** englobe les années dont le début et la fin de la saison sont observées au cours de la deuxième décade.

Le **groupe(cluster) 6** présente les années tels que 1999, 2001 et 2009. Ce groupe observe la date de début au cours de la troisième décade pour une fin durant la première décade.

On constate en générale dans notre zone d'étude, les pluies observées très tôt (Début 1), se terminent sur une plus longue durée (groupe 1 et groupe 2). Ainsi nous pouvons dire que plutôt s'installent les pluies, plus longtemps dure la saison culturale. La date moyenne de début et fin de campagne obtenus par la méthode agronomique a été située respectivement à 156 jours (20 mai) et 286 (13 octobre) ; la longueur moyenne de la campagne a été de 131

jours soit un peu plus de quatre (4) mois. Ainsi les variétés précoces de 90 jours et les variétés moyenne (90-120) auront plus de chance de boucler leur cycle. La pratique des variétés à cycle court est la plus adaptée à l’agriculture pluviale dans notre zone d’étude(Maud Balme.al 2005).

## 2.4 Performances des modèles climatiques :

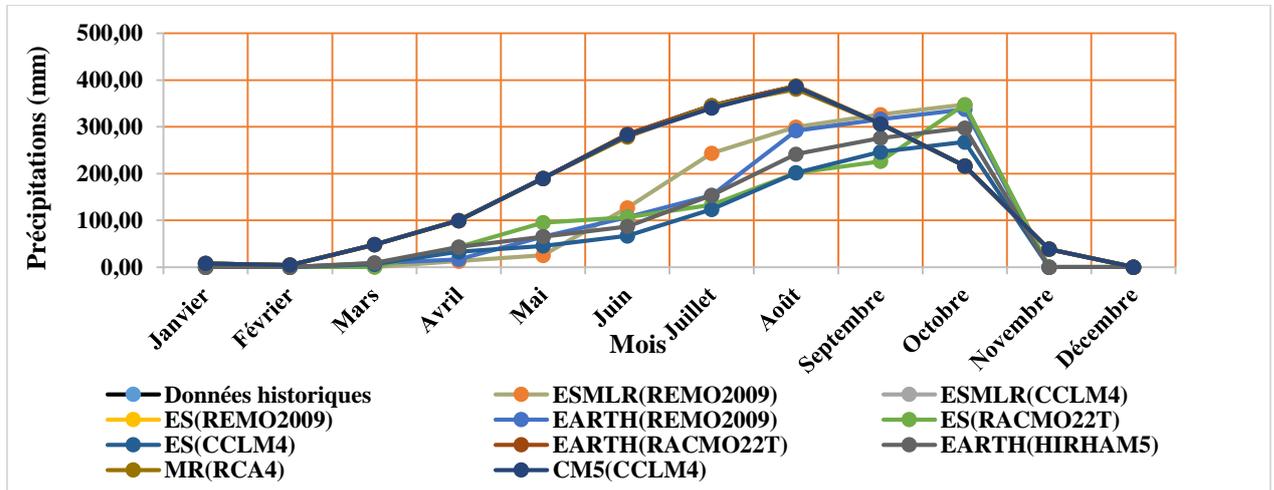


Figure 24: Représentations des différents modèles par rapport aux données historiques sur la période 1960 – 2005

Les courbes des modèles qui se rapprochent au mieux celle des données historiques sont essentiellement EARTH(RACMO22T), CM5(CCLM4), ES(REMO2009), ESLMR(CCLM4) et MR(RCA4). En outre, les courbes des modèles EARTH(RACMO22T), ES(REMO2009) et CM5(CCLM4) épousent parfaitement la courbe des données historiques.

L’analyse de la performance des modèles a également été faite selon le critère numérique de l’erreur relative (ER), l’écart moyen absolu (MAE) et l’écart quadratique moyen (EQM). L’écart quadratique moyen (EQM) entre les sorties des différents modèles et les données observées a été calculé. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: Ecart Quadratiques moyens (EQM) entre les données des modèles et les données historiques

Modèles	Ecart quadratique moyen		
	pluies journalières	pluies mensuelles	pluies annuelles
MR(RA4)	150,30	23,74	23,74
CM5(CCLM4)	50,94	9,30	9,30
<b>EARTH(HIRAM5)</b>	41,34	84,21	84,21
<b>EARTH(RACMO22T)</b>	20,07	284,00	284,00
<b>ES(CCLM4)</b>	11,08	633,96	284,00
EARTH(REMO2009)	154,73	171,73	171,73
ES(RACMO22T)	51,01	338,95	294,84
ES(REMO2009)	69,29	9,36	9,36
ESMLR(CCLM4)	204,29	29,39	29,39
<b>ESMLR(REMO2009)</b>	22,64	518,41	518,41

Les modèles ESMLR(CCLM4) et MR(RCA4) présentent les EQM les plus élevés. Les modèles présentant un EQM faible par ordre croissant sont essentiellement ES(CCLM4) EARTH(RACMO22T), ESMLR(REMO2009) et EARTH (HIRAM5). Parce qu'il s'agit d'une quantité au carré, l'EQM est influencée plus par les grandes erreurs que par les petites erreurs. Ainsi nous nous sommes intéressées aux écarts moyens absolus et écarts relatif pour mieux apprécier la performance des différents modèles.

L'écart moyen absolu (MAE) entre les sorties des différents modèles et les données observées a été calculé. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5: Ecart moyens absolu (MAE) entre les données des modèles et les données historiques

Modèles	MAE		
	pluies journalières	pluies mensuelles	pluies annuelles
MR(RA4)	22,65	23,74	23,74
<b>CM5(CCLM4)</b>	7,679	9,30	9,30
<b>EARTH(HIRAM5)</b>	6,23	84,21	84,21
<b>EARTH(RACMO22T)</b>	3,02	284,00	284,00
<b>ES(CCLM4)</b>	1,66	633,96	284,00
EARTH(REMO2009)	23,32	171,73	171,73
<b>ES(RACMO22T)</b>	7,69	338,95	294,84
<b>ES(REMO2009)</b>	10,44	9,36	9,36
ESMLR(CCLM4)	30,79	29,39	29,39
<b>ESMLR(REMO2009)</b>	3,4	518,41	518,41

Les modèles présentant un MAE faible par ordre croissant sont essentiellement ES(CCLM4), EARTH(RACMO22T), ESLMR(CCLM4), EARTH(HIRAM5), CM5(CCLM4), ES(RACMO22T), ES(REMO2009). L'Erreur Relative (ER) permet d'obtenir l'écart "réel" entre les paramètres observés et simulés.

L'écart relatif (ER) entre les sorties des différents modèles et les données observées a été calculé. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6 : Ecart relatif entre les données des modèles et les données historiques

Modèles	Ecart Relatif		
	pluies journalières	pluies mensuelles	pluies annuelles
MR(RA4)	-0,08	-0,00	-0,00
CM5(CCLM4)	-0,00	-0,00	-0,0003
EARTH(HIRAM5)	-0,00	-0,003	-0,003
<b>EARTH(RACMO22T)</b>	0,0001	-0,01	-0,010
<b>ES(CCLM4)</b>	5,96E-05	0,02	0,02
<b>EARTH(REMO2009)</b>	0,0008	-0,006	-0,006
<b>ES(RACMO22T)</b>	0,0002	-0,012	-0,01
<b>ES(REMO2009)</b>	0,0003	0,0003	0,00031
<b>ESMLR(CCLM4)</b>	0,001	0,0010	0,0010
<b>ESMLR(REMO2009)</b>	0,0001	-0,01	-0,015

Les modèles présentant un ER faible sont essentiellement EARTH(RACMO22T), ES(CCLM4), EARTH(REMO2009), ES(RACMO22T), ESMLR(CCLM4), ESMLR(REMO2009), ES(RACMO22T) et ES(REMO2009).

En somme, les modèles EARTH(RACMO22T) et ES(REMO2009) sont les plus performants car graphiquement ils épousent parfaitement la courbe de référence et les valeurs des différents écarts sont faibles. Le modèle ES(CCLM4) présente le plus faible écart sur les trois calculés. Ainsi, les principaux modèles adaptés à notre zone d'étude sont les modèles RACMO, REMO et CCLM. L'étude menée en 2012 par Maladonan pour les prévisions concordent avec nos résultats. Il a établi que, les modèles RACMO et CCLM présentent des écarts élevés par rapport aux observations. Ces écarts sont respectivement -1 (jours) pour RACMO et 3 jours pour CCLM. Pour les fins des saisons, les modèles REMO et CCLM présentent les écarts le plus faibles. L'écart est égal à 1 jour pour les deux modèles. Les modèles CCLM, RACMO et REMO ont été sélectionnés pour les prévisions de la campagne 2020 et de la période 2020-2050.

## 2.5 Prévision des paramètres climatiques à partir des différents modèles :

Les modèles ont permis d'obtenir les prévisions des pluviométries journalières jusqu'en 2050. Nous avons considéré la station ayant les coordonnées les plus proches de notre zone d'étude pour les différentes prévisions. La station ayant pour coordonnées (Longitude : -2.20, Latitude : 13.64) (station Ouahigouya) a été considérée.

Tableau 7: Moyenne et écart-types des différents modèles (scénario RCP4.5)

Modèle	SCENARIO 4.5			
	Paramètres	Début de saison	Fin de saison	Longueur de saison (jours)
ES(REMO2009)	<i>Moyenne</i>	22-juin	25-oct	130
	<i>Ecart type</i>	22	15	23
EARTH(RACMO22T)	<i>Moyenne</i>	14-juin	23-oct	137
	<i>Ecart type</i>	25	19	27
ES(CCLM4)	<i>Moyenne</i>	17-juin	28-oct	136
	<i>Ecart type</i>	25	24	27

Sur la période de 2020 à 2050, les saisons des pluies se présenteront comme l'indique le tableau ci-dessus selon le scénario médiane 4.5.

Tableau 8: Moyenne et écart-types des différents modèles (scénario RCP8.5)

Modèle	SCENARIO 8.5			
	Paramètre	Début de saison	Fin de saison	Longueur de saison (jours)
ES(REMO2009)	<i>Moyenne</i>	13-juin	25-oct	130
	<i>Ecart type</i>	26	15	23
EARTH(RACMO22T)	<i>Moyenne</i>	04-juin	28-oct	146
	<i>Ecart type</i>	27	20	27
ES(CCLM4)	<i>Moyenne</i>	09-juin	23-oct	139
	<i>Ecart type</i>	24	25	23

Les valeurs élevées des écart-types autour des moyennes des dates de début de l'hivernage confirment l'installation capricieuse de celle-ci, tandis que les fins de pluies se réalisent à peu près toujours aux mêmes dates à une dizaine de jours près (Moussa, 2006). Ce constat effectué sur les deux scénarios, nous permet de dire que pour les années à venir les saisons de pluie ne présenteront peut-être aucun changement par rapport au passé.

Une seconde analyse a été faite sur la base des découpages en décade et en semaine afin de mieux peaufiner notre analyse.

## 2.6 Résultats obtenus pour le scénario 4.5 :

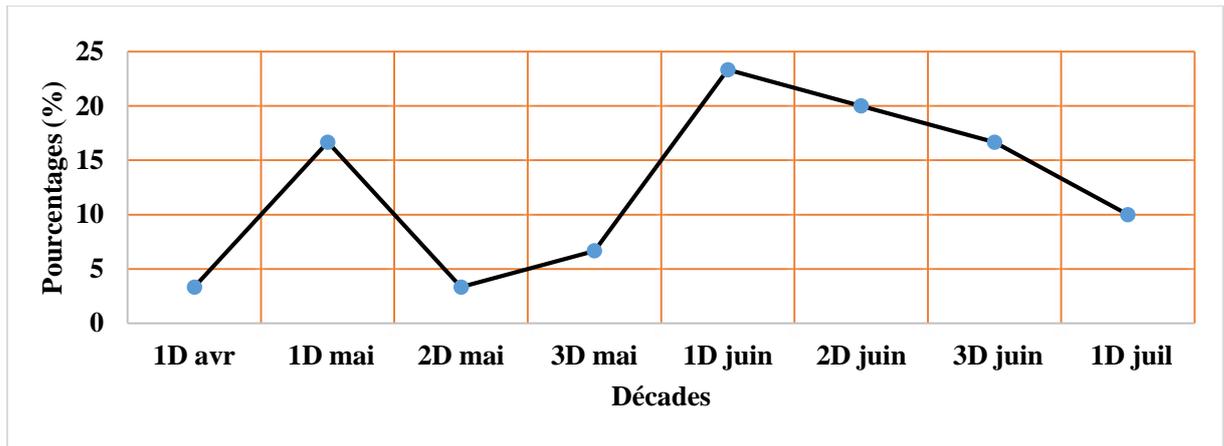


Figure 25: Dates de début de saison en décade pour les différents modèles( scénario RCP4.5) , selon les décades, iD avec i = 1,2,3

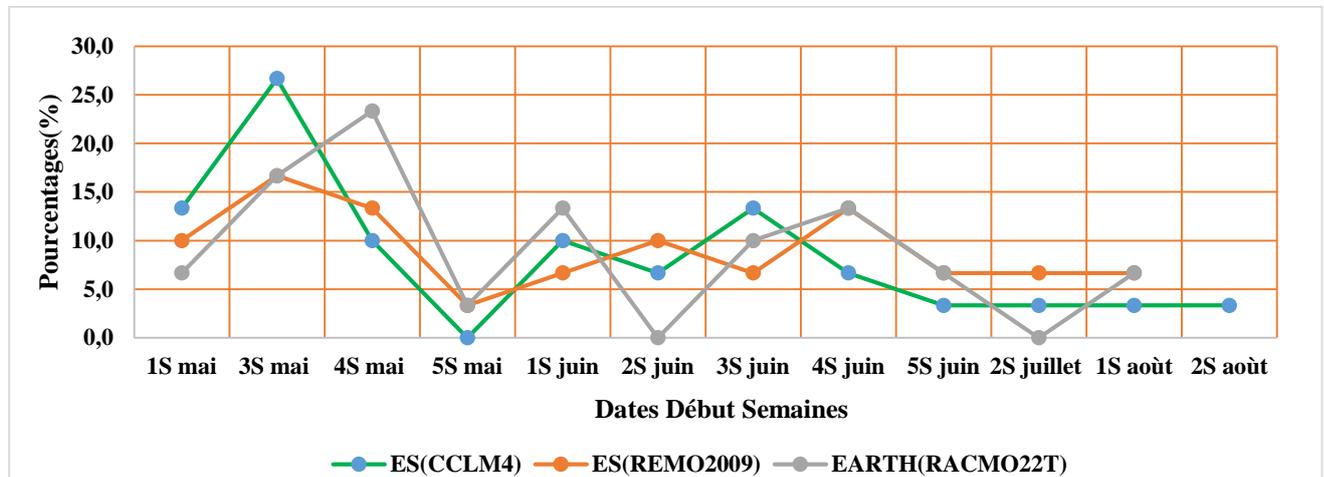


Figure 26: Dates Début Semaines pour les différents modèles(scénario RCP4.5) , selon les semaines, iS avec i = 1,2,3,4

L'analyse des dates de début établit par le critère de Sivakumar, montre que le début de la saison dans notre zone d'étude pour les prochaines années (2020-2050) seront observés au cours de la deuxième décade du mois de mai (voir figure (25)) plus précisément au cours de la troisième semaine (figure 26). Cependant, nous remarquons que le plus faible pic représenté par les trois (3) modèles est observé au cours de la première décade du mois de juin. Ainsi nous pouvons dire qu'un semis réalisé au cours du mois de mai et au cours de la première décade du mois de juin aurait moins de chance de marcher. En outre, les semis qui seront réalisés après cette première décade de juin auront plus de chance de boucler la saison hivernale.

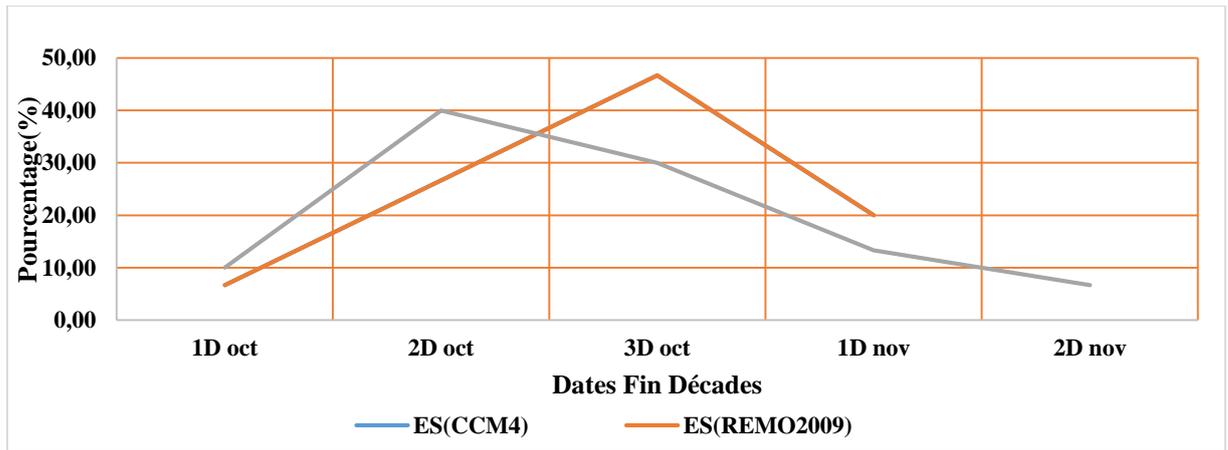


Figure 27: Dates Fin Décades pour les différents modèles(scénario RCP4.5) , selon les décades, iD avec i = 1,2,3

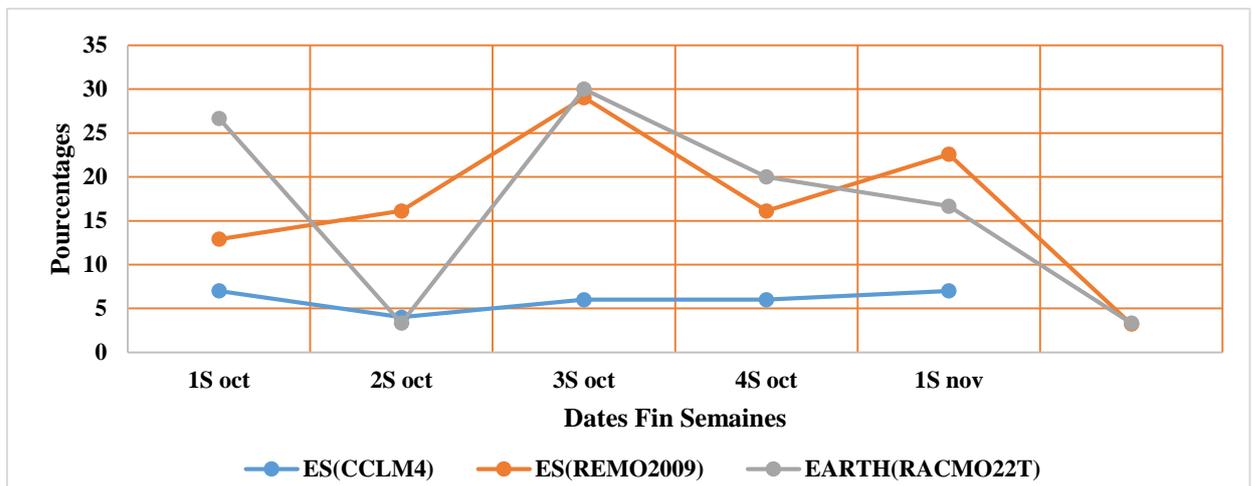


Figure 28: Dates Fin Semaines pour les différents modèles(scénario RCP4.5) , selon les semaines, iS avec i = 1,2,3,4

L'analyse des dates de fin établit par le critère de Sivakumar, montre que la date de fin dans notre zone d'étude pour les prochaines années (2020-2050) seront observés au cours de la troisième décade du mois d'octobre (voir figure (27)) plus précisément au cours de la troisième semaine (figure 28).

## 2.7 Résultats obtenus pour le scénario 8.5

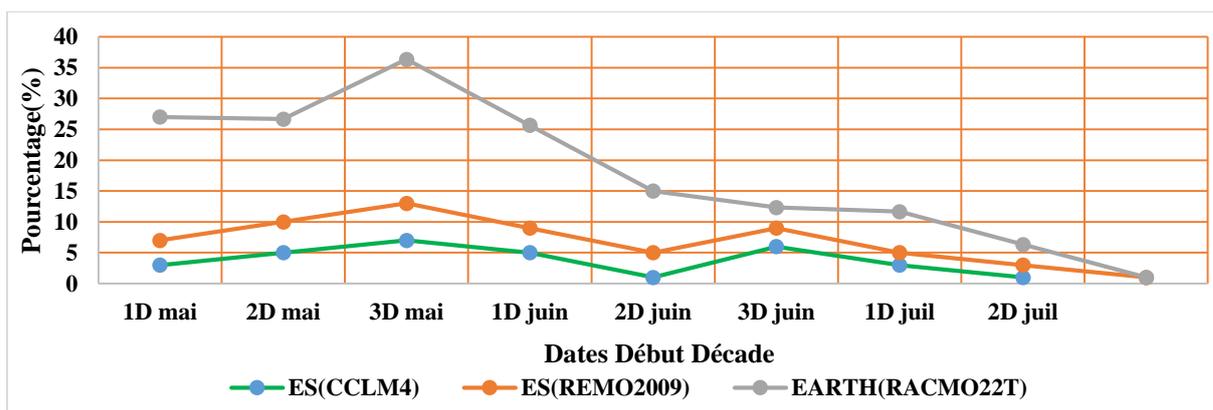


Figure 29: Dates Début Décades (scénario RCP8.5), selon les décades, iD avec  $i = 1,2,3$

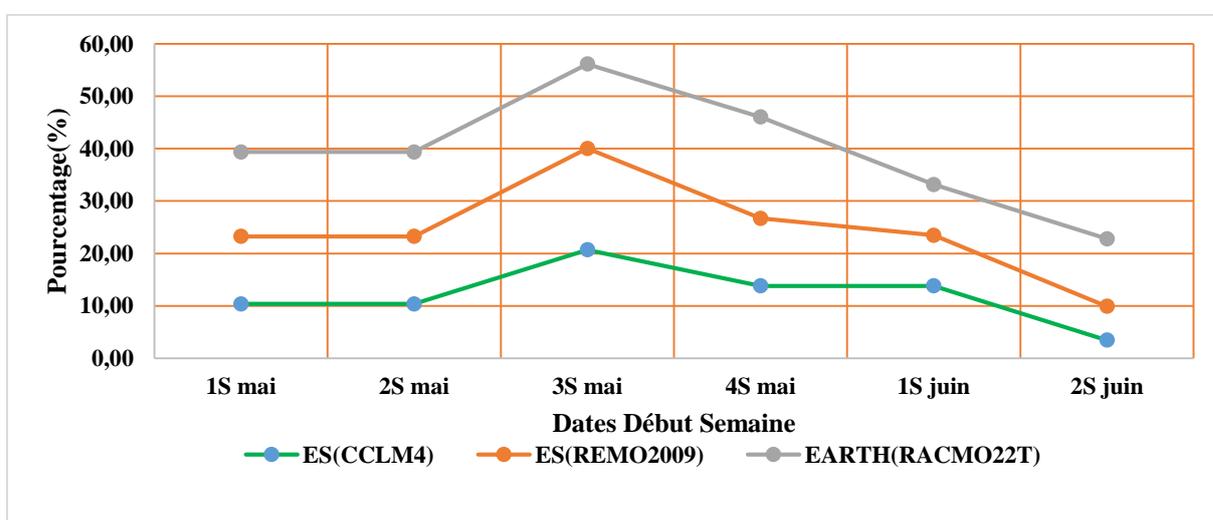


Figure 30: Dates Début Semaines (scénario RCP8.5), selon les semaines, iS avec  $i = 1,2,3,4$

L'analyse des dates de début établit par le critère de Sivakumar, montre que le début de la saison dans notre zone d'étude pour les prochaines années (2020-2050) seront observés au cours de la troisième décade du mois de mai (voir figure (29)) plus précisément au cours de la troisième semaine (figure 30). Cependant, nous remarquons que le plus faible pic représenté par trois (3) modèles est observé au cours de la deuxième décade du mois de juin. Ainsi nous pouvons dire qu'un semis réalisé au cours du mois de mai et au cours des deux premières décades du mois de juin aurait moins de chance de marcher. En outre, les semis qui seront réalisés après cette période auront plus de chance de boucler la saison hivernale.

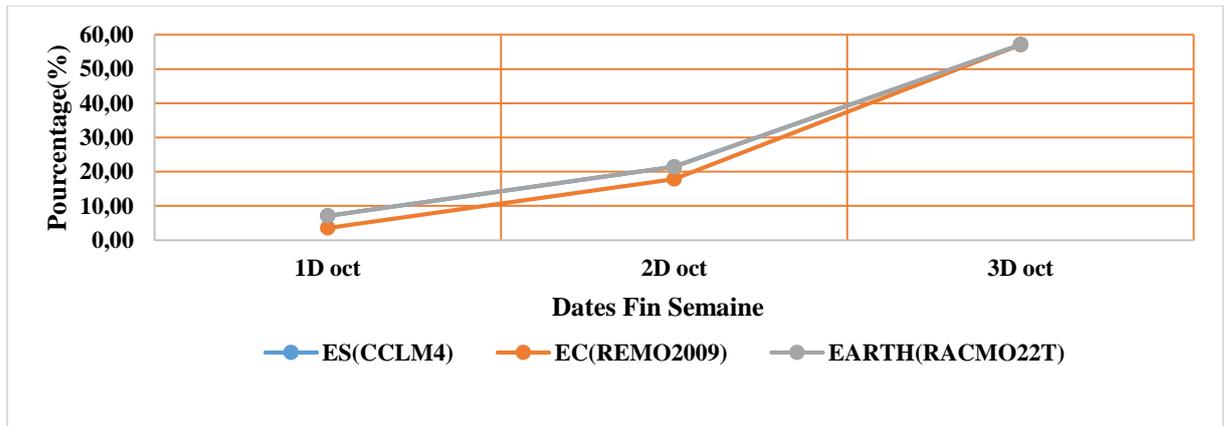


Figure 31: Dates fin décades pour différents modèles( scénario8.5) selon les décades, iD avec  $i = 1,2,3$

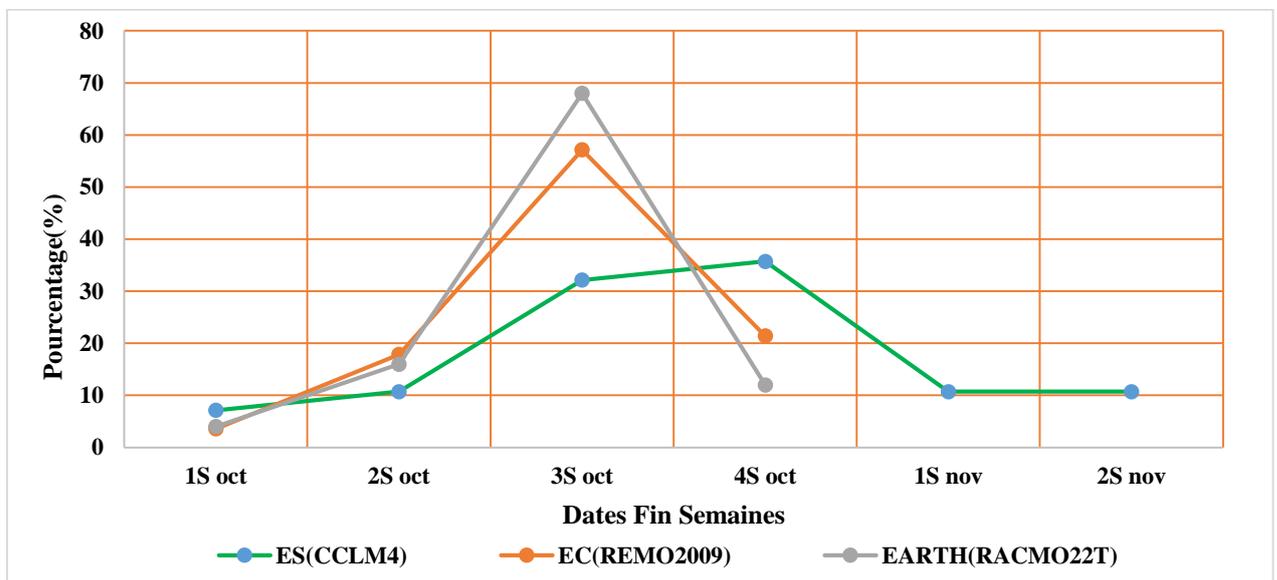


Figure 32: Dates fin semaines pour les différents modèles (scénario RCP8.5) selon les semaines, iS avec  $i = 1,2,3,4$

L'analyse des dates de fin établit par le critère de Sivakumar, montre que la date de fin dans notre zone d'étude pour les prochaines années (2020-2050) seront observés au cours de la troisième décade du mois d'octobre (voir figure (31)) plus précisément au cours de la troisième semaine (figure 32).

Dans les années à venir la variation des dates de débuts de saisons sera de plus en plus accentué. En effet, l'analyse de ce paramètre sur notre période d'étude nous a permis de situer la date de début au cours de la deuxième décade du mois de mai. En outre l'analyse des résultats pour la période de prévision obtenus selon les deux scénarios utilisés déplace de plus

ou moins une à deux décades l'installation de la saison. Cette incertitude sur l'installation du début de la saison fortement liée à la variabilité naturelle des précipitations dans notre zone d'étude, pose des problèmes pour établir un calendrier agricole. La comparaison entre la période historique (1989 à 2018) et la période future (2020 à 2050), montre que les débuts de saison seront de plus en plus tardive avec un raccourcissement de la longueur de la campagne agricole. Selon le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental, prévoit une intensification de la variabilité des précipitations dans les pays sahéliens. Ainsi on observera de plus en plus à l'installation des faux départs et à un arrêt précoce de la saison pluvieuse, aussi une intensification de la fréquence des poches de sécheresses ce qui constitue une véritable menace pour la sécurité alimentaire.

La prévision sur le comportement de la saison des pluies montre un impact global négatif futur des variations climatiques sur le rendement des cultures. Ces impacts négatifs sur les rendements auront probablement des répercussions sur les revenus des populations et entraînent par la même occasion leur vulnérabilité.

### 2.8 Prévisions des paramètres climatiques pour la campagne 2020 :

Pour la campagne 2020, les modèles prévoient comme début et fin de saison les résultats suivants :

Tableau 9: Résultats dates de début et fin de saison campagne 2020

Campagne agricole 2020			
SCENARIO RCP4.5			
MODELES	Début	Fin	Longueur (jours)
RACMO	09-juil	13-oct	87
REMO	18-juil	01-nov	106
CCLM	06-juin	18-oct	116
SCENARIO RCP8.5			
RACMO	09-juil	11-oct	94
REMO	18-juil	01-nov	106
CCLM	13-mai	15-oct	155

Pour la campagne agricole 2020, le début et la fin de la saison seront précoces selon les résultats obtenus à partir des deux scénarios climatiques.

Tableau 10 : Dates probable de l’installation de la saison des pluies 2020 au Burkina en zone sahélienne

	Début	Fin
Précoce	1-20 Juin	-
Moyen	-	10-20 septembre
Tardif	-	15-30 septembre

Source : (ANAM, 2020)

Dans le cadre de la PRESAO (Prévision Saisonnière des Pluies de l’Afrique de l’Ouest, du Tchad et du Cameroun), le Comité Inter-Etats de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) et l’African Centre of Meteorological Applications for Development (ACMAD) produisent les bulletins renseignant les cumuls pluviométriques des mois de Juillet-Août-Septembre, les écoulements des principaux bassins africains et les dates de début des saisons culturales. Pour la saison des pluies 2020, ils prévoient une saison globalement humide. Des quantités de pluies supérieures aux moyennes saisonnières de 1981à 2010 sont attendues sur toute la bande sahélienne et soudanienne allant du Tchad, le Niger, le Burkina Faso, le Mali ect... Un démarrage précoce à normal, une fin tardive à normal des séquences sèches plus courtes en début de saison et moyennes vers la fin de saison.

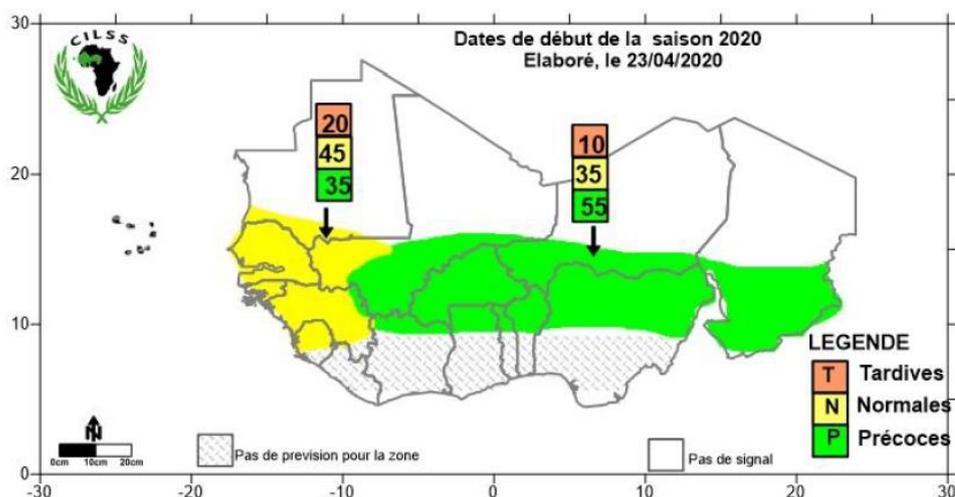


Figure 33: Prévision des Dates de la saison 2020 pour les parties Centres et Est du Sahel

Source : PRESEASS-2020

Pour l’année 2020, on peut voir de la carte diffusée que la situation semble être sur toutes les parties Centre et Est du Sahel de moyen à bon, cette situation permet d’avoir un certain degré de certitude qu’on ne s’attendra pas à une saison de crise.

On souligne que la probabilité que des situations négatives arrivent n'est pas nulle. Il faut toujours suivre l'évolution de tous les paramètres météorologiques qui dans le cours d'avancement de la campagne sont toujours en évolution et qui donnent les informations plus propres pour détecter une éventuelle configuration de possible déficit ou retard des précipitations pour une zone.

3. Effet comparés de l'utilisation de l'information climatique et des prévisions endogènes sur la production de la campagne 2018-2019 :

### **3.1 Date de semis :**

L'ensemble des producteurs pilotes ont semé les parcelles expérimentales et témoins à la même date. En effet, les dates de semis vont de la troisième décennie du mois de Mai à la 2ème décennie du mois de juillet (annexe (1)).

### **3.2 Dates d'application des engrais :**

Selon la fiche technique de la variété maïs Barka, le NPK doit être appliqué en principe entre le 8ème et le 12ème jour après la date de semis. Néanmoins l'ensemble des producteurs pilotes n'ont pas respecté la limite de 15 jours maximum après le semis pour l'application du NPK. En effet les producteurs l'ont appliqué le 5ème, 7ème et le 14ème jours après la date de semis (annexe (15)). L'application de l'urée était prévue sur deux dates dans les parcelles, une première application 25 jours après le semis et une deuxième application 10 jours après la date d'application de la première. Huit agriculteurs n'ont pas appliqué d'urée1 sur les parcelles témoins et aucune application sur les parcelles expérimentales par manque de moyen. Aucun agriculteur n'a appliqué l'urée2 (annexes (13)). Les périodes d'application sont 14, 21 et 25 jours après la date de semis pour l'urée1. Seulement deux producteurs ont respecté la date d'application de l'urée1.

Les producteurs nous ont confiés que la saison ayant été mauvaise, ils n'ont pas respecté les conditions d'utilisation des informations climatiques. La coïncidence sur les dates de semis peut être due à cela ou encore due au fait que la majorité des producteurs disposent déjà des méthodes endogènes de prévision. A l'image des dates de semis, des dates identiques d'application des différents engrais ont été remarquées à 100% pour le NPK.

### **3.3 Evaluation du rendement :**

Le tableau ci-dessous montre l'évolution des rendements en grains du maïs des parcelles

expérimentales. La récolte dans les parcelles expérimentales est supérieure à celle obtenue dans les parcelles témoins à l'image des travaux de Diarra(2003).

Le maïs est adapté au sol peu aride des zones semi-arides de la zone sahélienne du Burkina Faso (région du Nord), mais la faible pluviométrie de la région est à l'origine de la faible production obtenue. En effet, cette faible pluviométrie entraîne la pratique des techniques de conservation des eaux et des sols (CES). Aussi le Bam repose sur un sol de type ferrugineux ce qui peut expliquer ces résultats. Outre la pluviométrie et la réparation spatiale du sol, ces résultats peuvent se justifiés par le non-respect des dates d'applications des engrais qui sont des paramètres déterminant pour le rendement.

Tableau 11: Rendements de maïs sur les parcelles de Sakou et Sanrgho 1(campagne agricole 2019)

Localités	Sakou		Sanrgho 1	
	Expérimentale	Témoin	Expérimentale	Témoin
Paramètres				
Poids échantillonnage (Kg)	0,55	0,55	0,55	-
Poids de la récolte (Kg)	301	9	12	-
Poids des grains de l'échantillonnage (Kg)	0,5	0,3	0,344	-
Poids des grains de la récolte (Kg)	275	6	8	-
Rendement à l'hectare (t)	1,1	0,02	0,03	-

Sur les 15 producteurs participant à l'expérimentation, seuls deux (2) ont pu mener à terme l'expérimentation. Le site de Sakou a obtenu le rendement le plus élevé (1,1t/ha) sur la parcelle irriguée contre 0,02t/ha.

La supériorité des rendements de grains de maïs dans les parcelles expérimentales n'est pas dans le cadre de cette étude liée à l'utilisation de l'information climatique, car la majorité de ces producteurs n'ont pas respectés les conditions d'utilisations. En outre, cette supériorité peut être justifié sur la capacité de stockage des BCERs. En effet, grâce aux BCERs ces producteurs ont pu durant les périodes sèches irriguée le maïs. Aussi durant les entretiens, les non détenteurs de BCERs nous ont confiés que seuls les détenteurs de bassin ont réussi à sauver leurs semences durant les périodes de séquences sèches.

## CONCLUSIONS :

Dans cette étude, nous avons analysé les différents paramètres de la saison des pluies par la méthode agronomique de Sivakumar (1988) à Kongoussi notamment le début, la fin, la durée de la saison. Il en est ressorti que la saison démarre en moyenne entre le 20 mai plus précisément au cours de la troisième semaine et prend fin en moyenne le 13 octobre soit au cours de la troisième semaine. La longueur de la saison en moyenne est de 131 jours, ainsi il serait plus judicieux de semer les variétés à cycle précoce ou moyen pour boucler la campagne.

Ces résultats rejoignent les résultats issus de l'analyse de l'enquête effectuée dans différents villages de Kongoussi, il en ressort que selon que la saison soit sèche ou bonne les producteurs utilisent les semences précoces. Ce qui marque l'importance de leur fournir des informations utiles pour la préparation de leur campagne.

Les données observées par les modèles RACMO, REMO et CCLM4, nous ont permis d'effectuer une prévision des caractéristiques des saisons des pluies dans la province du Bam sur la période allant de 2020 à 2050. Il en ressort sur les trente années à venir la date de début de saison continuera à varier plaçant encore plus une incertitude autour de son installation dans la zone d'étude. Plus spécifiquement, la campagne 2020, pourrait débuter moyennement entre le 4 et 3 juin plus ou moins 25 jours et finir le 13 ou 11 octobre plus ou moins 9 jours.

Cependant à l'issue de cette étude, nous remarquons la perception des paysans à utiliser les informations climatiques est faible. En effet, les avantages de l'information climatique sur le rendement des cultures n'ont pas été concluants à la fin de cette étude. Les agriculteurs dans la majorité n'ont pas mené à bien l'expérience. Aussi ils disposent des moyens endogènes pour la prévision ce qui constitue une limite sur la perception des paysans à l'utilisation de l'information climatique. En outre ils sont disposés à participer à l'expérimentation à condition que des informations utiles leur soit fournis et sur la période souhaitée. Les informations qui pourront aider les paysans dans ce sens sont essentiellement les dates de début d'hivernage fournies sur la période avril à mai.

La différence des récoltes entre parcelles expérimentales et parcelles témoins s'expliqueraient dans le cas de cette étude, par la détention des BCERs des ménages pilotes. En effet, des non détenteurs nous ont affirmé que dans les localités visitées, seuls les

producteurs ayant acquis un bassin ont pu faire une assez bonne récolte.

## RECOMMANDATION

Dans l'objectif de mieux apprécier les résultats de l'expérimentation, il serait indiqué de prendre un agriculteur pour un type parcelle uniquement au lieu d'un agriculteur pour un couple de parcelles (PE et PT). Cela pourrait aider à éviter que les résultats ne soient biaisés car certains agriculteurs, à la quête de bons rendements, appliquaient l'information climatique sur les parcelles témoins.

Aussi, comparer les données de rendement de l'expérimentation à celles de rendements antérieurs pour avoir une idée sur l'impact de l'information climatique pour le rendement et la production agricole au fil des années. L'expérimentation pourrait donc se poursuivre les années à venir pour permettre cette évaluation.

La vulgarisation des bassins de collecte des eaux de ruissellement (BCER) afin de faciliter l'irrigation de complément lors des épisodes de sécheresse.

Un usage plus répandu des méthodes de conservations des eaux et des sols tels que le Zaï et la demi-lune afin de récupérer plus d'eau de ruissellement.

De privilégier le mois de juin (plutôt que le mois de mai) pour les semis et les cultures à cycle moyen (et court) en raison de la faible pluviométrie et pour palier au risque de fin précoce de la saison des pluies

De limiter l'utilisation des espèces dont les besoins hydriques sont élevés et d'adopter des canaux appropriés de communication de l'information climatique afin de s'assurer que l'information climatique arrive à temps. Ce qui permettra de réduire les risques de semis précoces ou tardifs.

Etablir une fonction  $f(t)$  pour faire une prévision climatique.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bernard Bayce. 2009. Les déterminants de la production agricole en Afrique de l'Ouest. Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Ghana et Togo. KARTHALA Editions.
- Bintou Diallo. 2012. « Etude de la vulnérabilité et de l'adaptation au changement climatique : Cas des sites pilotes du projet PRGDT au Burkina Faso »
- Bouali, et al. 2008. « Prévisibilité et prévision statistico-dynamique des saisons des pluies associées à la mousson ouest africaine à partir d'ensembles multi-modèles ».
- Boubacar IBRAHIM. 2012. « Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé. »
- Christensen et al. 2007. « Regional climate projections. In Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. University Press, Cambridge »
- Dipama, Pr Jean-Marie, 2016. « Changement climatique et agriculture durable au Burkina Faso: stratégies de résilience basées sur les savoirs locaux »
- Fatondji et al. 2001. « Alianza SIDALC »
- Franquin, Pierre. 1973. « Analyse agroclimatique en régions tropicales : méthode des intersections et période fréquentielle de végétation ». *Agronomie Tropicale* 28 (6-7): 665-82.
- Hamatan, M, Gil Mahé, Eric Servat, Jean-Emmanuel Paturel, et A Amani. 2004. « Synthèse et évaluation des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest » 15: 8.
- IPCC. 2013. « The costs and risks of coping with drought: livelihood impacts and farmers<sup>1</sup> responses in Burkina Faso »
- Kabore, Pamalba Narcise, Bruno Barbier, Paulin Ouoba, André Kiema, Léopold Some, et Amadé Ouedraogo. 2019. « Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 19 Numéro 1 | mars 2019 » 19: 29.
- Magistro, John, et Carla Roncoli. 2001. « Anthropological Perspectives and Policy Implications of Climate Change Research ». *Climate Research* 19 (2): 91-96.
- Mathieu Ouédraogo. 2013. « Les paysans sont de bons météorologues ! - IED Afrique | Innovations Environnement Développement ».
- Maud Balme.al. 2005. « Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles

- hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger ».
- M.Erpicum et al. 1987. « Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (exemples pris au Sénégal », 43-56.
- Niassé et al., 2004. « Prévenir les conflits et promouvoir la coopération dans la gestion des fleuves transfrontaliers en Afrique de l'Ouest ». 2004.
- Ozer, Pierre, Catherine Bodart, et Bernard Tychon. 2005. « Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux ». *Cybergeo : European Journal of Geography*, mai.
- Ruti, et al. 2011. « The West African climate system: a review of the AMMA model inter-comparison initiatives - Ruti - 2011 - Atmospheric Science Letters - Wiley Online Library ». 2011.
- Sarr, Benoît, Sanoussi Atta, Mohamed Ly, Seyni Salack, Timothée Ourback, Sébastien Subsol, et David Alan George. 2015. « Adapting to Climate Variability and Change in Smallholder Farming Communities: A Case Study from Burkina Faso, Chad and Niger (CVCADAPT) », 12.
- Sivakumar, M. V. K. 1988. « Predicting Rainy Season Potential from the Onset of Rains in Southern Sahelian and Sudanian Climatic Zones of West Africa »
- Sultan, Benjamin, Christian Baron, Michael Dingkuhn, Benoît Sarr, et Serge Janicot. 2005. « Agricultural Impacts of Large-Scale Variability of the West African Monsoon ». *Agricultural and Forest Meteorology* 128 (1): 93-110
- Vivien Chaim Doto. 2016. « L'Irrigation de complément à partir de petits bassins individuels en zone sahélienne Burkinabé : impact sur la production des exploitations agricoles familiales ».
- Walbéogo Paligwindé Rodrigue. 2014. « Perception paysanne de l'information climatique et analyse ex-post de sa mise en œuvre en zone rurale Burkinabé ».
- Zongo, Bétéo. 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 ». Université de Liège, Liège, Belgique.
- Zuma, 2013. « (PDF) Use of Traditional Weather/Climate Knowledge by Farmers in the South-Western Free State of South Africa: Agrometeorological Learning by Scientists ».

## ANNEXES

## Annexe 1 : Dates de début et fin saison (critère agronomique)

Application du principe de Sivakumar							
Année	Début	Fin	long	NJP	Pluie annule (mm)	Début( jours)	Fin( jours)
1989	22-mai	10-oct	141	44	701	142	283
1990	03-juil	13-oct	102	40	403,1	184	286
1991	20-mai	23-oct	156	54	679,5	140	296
1992	06-juin	02-oct	118	58	713,5	157	275
1993	28-juin	23-oct	117	40	589,7	179	296
1994	10-mai	20-oct	163	59	932	130	293
1995	13-juin	19-oct	128	46	624,9	164	292
1996	05-juil	15-oct	102	42	733,1	186	288
1997	11-juin	18-oct	99	39	590,9	162	261
1998	03-juin	25-oct	144	46	650,3	154	298
1999	23-juin	10-oct	109	50	672,5	174	283
2000	09-mai	14-oct	127	38	577,8	129	256
2001	29-juin	10-oct	103	36	733,9	180	283
2002	01-juil	11-oct	102	47	543,6	182	284
2003	19-juin	26-oct	129	52	729,8	170	299
2004	01-juin	07-oct	128	37	589,5	122	250
2005	03-juin	13-oct	132	39	575,1	154	286
2006	20-juin	27-oct	122	54	647,5	171	293
2007	19-juin	23-oct	126	52	983,4	170	296
2008	23-juin	21-oct	120	46	759,3	174	294
2009	30-mai	01-nov	155	50	767,6	150	305
2010	07-mai	21-oct	167	52	898,7	127	294
2011	06-juin	12-oct	128	45	505,3	157	285
2012	09-juin	17-oct	130	54	936,6	160	290
2013	16-juin	11-oct	117	51	712,6	167	284
2014	08-mai	06-oct	152	46	766,6	128	280
2015	08-juin	29-oct	143	57	915,3	159	302
2016	07-avr	21-oct	197	47	920,8	97	294
2017	16-mai	02-oct	139	46	891,1	136	275
2018	22-juin	20-oct	120	48	929,5	173	293

## Annexe 2 : Dates de début et fin de saison (critère climatique)

Application du principe d'Ercicum							
Année	Début	Fin	long	NJP	Pluie annule (mm)	Début(jours)	Fin(jours)
1989	09-août	12-oct	73	44	701	221	215
1990	02-juin	12-sept	106	40	403,1	153	259
1991	14-juil	03-oct	81	54	679,5	195	276
1992	06-juin	12-oct	128	58	713,5	157	285
1993	07-juin	24-oct	139	40	589,7	158	297
1994	12-juil	02-oct	82	59	932	193	275
1995	13-août	09-sept	27	46	624,9	225	252
1996	15-août	01-oct	47	42	733,1	227	274
1997	11-juin	24-oct	139	39	590,9	162	301
1998	03-août	27-sept	63	46	650,3	212	275
1999	05-août	13-sept	39	50	672,5	217	256
2000	09-juil	19-oct	102	38	577,8	190	292
2001	15-juin	17-oct	124	36	733,9	166	290
2002	01-août	28-sept	58	47	543,6	213	271
2003	30-juin	28-sept	120	52	729,8	181	301
2004	17-août	04-oct	48	37	589,5	229	277
2005	08-juil	15-oct	99	39	575,1	189	288
2006	20-août	20-oct	61	54	647,5	232	293
2007	15-août	29-oct	75	52	983,4	170	245
2008	27-juil	22-sept	57	46	759,3	208	265
2009	07-août	01-nov	86	50	767,6	219	305
2010	12-juil	29-sept	79	52	898,7	193	272
2011	10-août	12-oct	63	45	505,3	222	285
2012	17-juin	10-oct	115	54	936,6	168	283
2013	15-juil	29-oct	106	51	712,6	196	302
2014	03-août	23-oct	81	46	766,6	215	296
2015	12-juil	29-oct	109	57	915,3	193	302
2016	09-août	26-oct	78	47	920,8	221	299
2017	19-juil	23-oct	127	46	891,1	200	327
2018	25-août	25-sept	31	48	929,5	237	268

## Annexe 3 : Dates de début et fin de saison (critère hydrologique)

Critère hydrologique							
Année	Début	Fin	long	NJP	Pluie annule (mm)	D(jours)	F(jours)
1989	22-mai	05-oct	136	44	701	142	278
1990	05-mai	12-oct	160	40	403,1	125	285
1991	20-mai	14-oct	147	54	679,5	140	287
1992	10-mai	08-nov	182	58	713,5	130	312
1993	20-mai	22-oct	155	40	589,7	140	295
1994	06-mai	18-oct	165	59	932	126	291
1995	04-avr	18-oct	197	46	624,9	94	291
1996	20-avr	01-oct	164	42	733,1	110	274
1997	27-mai	16-oct	142	39	590,9	147	289
1998	22-mai	24-oct	155	46	650,3	142	297
1999	28-avr	27-oct	213	50	672,5	118	331
2000	03-avr	13-oct	193	38	577,8	93	286
2001	09-avr	09-oct	183	36	733,9	99	282
2002	07-mai	10-oct	156	47	543,6	127	283
2003	21-mars	03-oct	196	52	729,8	80	276
2004	20-mai	22-sept	125	37	589,5	140	265
2005	13-mars	05-sept	176	39	575,1	72	248
2006	18-mai	06-oct	141	54	647,5	138	279
2007	06-mai	26-sept	143	52	983,4	126	269
2008	07-juin	20-oct	135	46	759,3	158	293
2009	16-mai	14-oct	151	50	767,6	136	287
2010	15-avr	20-oct	188	52	898,7	105	293
2011	11-mai	13-sept	125	45	505,3	131	256
2012	24-avr	13-oct	172	54	936,6	114	286
2013	27-mai	10-oct	136	51	712,6	147	283
2014	01-mai	02-oct	154	46	766,6	121	275
2015	20-juin	18-oct	120	57	915,3	140	260
2016	07-avr	14-oct	190	47	920,8	97	287
2017	02-mai	01-oct	152	46	891,1	122	274
2018	24-mai	18-oct	147	48	929,5	144	291

## Annexe 4 : Dates de début et fin de saison selon Sivakumar (décades et semaines)

<b>Année</b>	<b>Début décade</b>	<b>Début semaine</b>	<b>Fin décade</b>	<b>Fin semaine</b>
2016	1D avr.	1S avr.	3D oct.	3S oct.
1991	1D mai	3S mai	3D oct.	4S oct.
1994	1D mai	2S mai	2D oct.	3S oct.
2000	1D mai	2S mai	2D oct.	2S oct.
2010	1D mai	1S mai	3D oct.	3S oct.
2014	1D mai	2S mai	1D oct.	1S oct.
2017	2D mai	3S mai	1D oct.	1S oct.
1989	3D mai	4S mai	1D oct.	2S oct.
2009	3D mai	5S mai	1D nov.	1S nov.
1992	1D juin	1S juin	1D oct.	1S oct.
1998	1D juin	1S juin	3D oct.	4S oct.
2004	1D juin	1S juin	1D oct.	1S oct.
2005	1D juin	1S juin	2D oct.	2S oct.
2011	1D juin	1S juin	2D oct.	2S oct.
2012	1D juin	2S juin	2D oct.	3S oct.
2015	1D juin	2S juin	3D oct.	5S oct.
1995	2D juin	2S juin	2D oct.	3S oct.
1997	2D juin	2S juin	2D oct.	3S oct.
2003	2D juin	3S juin	3D oct.	4S oct.
2006	2D juin	3S juin	2D oct.	3S oct.
2007	2D juin	3S juin	3D oct.	4S oct.
2013	2D juin	2S juin	2D oct.	2S oct.
1993	3D juin	4S juin	3D oct.	4S oct.
1999	3D juin	4S juin	1D oct.	2S oct.
2001	3D juin	5S juin	1D oct.	2S oct.
2008	3D juin	4S juin	3D oct.	3S oct.
2018	3D juin	4S juin	2D oct.	3S oct.
1990	1D juil.	1S juil.	2D oct.	2S oct.
1996	1D juil.	1S juil.	2D oct.	3S oct.

## Annexe 5 : Dates de début et fin de saison ( modèle (CCLM4))

ES(CCLM4)									
Années	Début	Fin	longueur(jours)	Début(jours)	fin(jours)	Début(décade)	Fin(décade)	Début( semaine)	Fin( semaine)
2020	06-juin	18-oct	116	157	273	1D juin	3D oct	1S juin	1S oct
2021	25-mai	27-oct	161	145	306	3D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2022	27-mai	11-oct	137	178	315	3D mai	2D oct	4S mai	2S oct
2023	15-juin	14-nov	145	166	315	2D juin	2D nov	3S juin	4S nov
2024	30-juil	17-oct	169	211	380	3D août	2D oct	4S août	1S nov
2025	11-août	23-oct	73	192	265	2D juillet	2D oct	2S juillet	3S oct
2026	08-août	18-oct	71	219	290	1D août	3D oct	1S aout	4S oct
2027	18-juin	05-nov	140	157	297	2D juin	1D nov	1S juin	1S nov
2028	29-juin	16-oct	130	180	310	3D juin	2D oct	5S juin	3S oct
2029	02-mai	11-oct	162	122	284	1D mai	2D oct	1S mai	2S oct
2030	16-mai	05-nov	173	136	309	2D mai	1D nov	3S mai	1S nov
2031	15-mai	03-nov	172	135	307	2D mai	1D nov	3S mai	1S nov
2032	29-mai	03-nov	158	149	307	3D mai	1D nov	5S mai	1S nov
2033	10-mai	09-oct	152	130	282	1D mai	3D oct	1S mai	3S oct
2034	15-mai	27-oct	114	135	249	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2035	18-mai	20-oct	124	169	293	2D mai	3D oct	3S mai	1S oct
2036	05-mai	20-oct	174	125	299	1D mai	3D oct	1S mai	4S oct
2037	22-juin	07-oct	107	173	280	3D juin	3D oct	3S juin	1S oct
2038	23-juin	25-oct	124	174	298	3D juin	3D oct	4S juin	3S oct
2039	18-mai	19-oct	123	169	292	2D mai	3D oct	3S mai	3S oct
2040	14-juin	09-oct	117	160	277	2D juin	3D oct	2S juin	2S oct
2041	19-mai	25-oct	159	145	304	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2042	07-juin	27-oct	142	178	320	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2043	23-juin	05-oct	104	156	260	2D juin	1D oct	3S juin	1S oct
2044	22-juin	26-oct	126	173	299	2D juin	2D oct	2S juin	2S oct
2045	05-mai	17-oct	165	125	290	1D mai	2D oct	1S mai	3S oct

2046	24-mai	19-oct	134	189	323	3D mai	3D oct	4S mai	1S oct
2047	25-mai	02-nov	123	185	308	3D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2048	16-mai	17-oct	144	190	334	2D mai	2D oct	3S mai	1S oct
2049	19-juin	07-oct	156	156	312	2D juin	1D oct	3S juin	1S oct
2050	22-juin	01-nov	134	168	302	3D juin	1D nov	4S juin	1S nov

## Annexe 6: Dates de début et fin de saison ( modèle REMO)

ES(REMO2009) 4.5									
Années	Début	Fin	longueur(jours)	Début j(ours)	Fin(jours)	Début(décade)	Fin(décade)	Début( semaine)	Fin( semaine)
2020	18-juil	01-nov	118	199	317	2D juillet	1D nov	3S juil	1S nov
2021	19-juil	19-oct	92	200	292	2D juil	2D oct	3S juil	3S oct
2022	29-juin	15-oct	109	180	289	3D juin	2D oct	5S mai	3S oct
2023	22-juin	14-nov	145	172	289	3D juin	2D nov	4S juin	2S nov
2024	01-mai	17-oct	169	121	290	3D mai	2D oct	1S mai	4S oct
2025	26-juin	28-oct	125	177	302	3D mai	3D oct	4S mai	4S oct
2026	08-août	18-oct	71	219	290	1D aout	3D oct	1S aout	3S oct
2027	18-juin	05-nov	140	157	297	2D juin	1D nov	3S juin	1S nov
2028	29-juin	16-oct	130	180	310	3D juin	2D oct	5S juin	3S oct
2029	02-mai	11-oct	162	122	284	1D mai	2D oct	1S mai	2S oct
2030	16-mai	05-nov	173	136	309	2D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2031	15-mai	03-nov	172	135	307	2D mai	2D nov	3S mai	1S nov
2032	29-mai	03-nov	158	149	307	3D mai	1D nov	5S mai	1S nov
2033	10-mai	09-oct	152	130	282	1D mai	1D oct	2S mai	2S oct
2034	15-mai	27-oct	114	135	249	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2035	18-mai	20-oct	124	169	293	2D mai	3D oct	1S mai	1S oct
2036	05-mai	20-oct	174	125	299	1D juin	2D oct	1S juin	2S oct
2037	22-juin	07-oct	107	173	280	2D juin	1D oct	3S juin	1S oct
2038	23-juin	25-oct	124	174	298	2D juin	3D oct	4S juin	4S oct
2039	18-mai	19-oct	123	169	292	2D mai	3D oct	3S mai	3S oct
2040	14-juin	09-oct	117	160	277	2D juin	1D oct	2S juin	1S oct
2041	19-mai	25-oct	159	145	304	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2042	07-juin	27-oct	142	178	320	1D juin	2D oct	1S juin	2S oct
2043	23-juin	05-oct	104	156	260	1D juin	2D oct	2S juin	3S oct
2044	22-juin	26-oct	126	173	299	2D juin	2D oct	2S juin	2S oct
2045	05-mai	17-oct	165	125	290	1D mai	2D oct	2S mai	3S oct

2046	22-juin	19-oct	134	189	323	3D mai	3D oct	4S mai	3S oct
2047	25-mai	02-nov	123	185	308	3D mai	3D oct	4S mai	1S nov
2048	16-mai	17-oct	144	190	334	2D mai	2D oct	3S mai	1S oct
2049	19-juin	07-oct	156	156	312	3D juin	2D oct	4S juin	3S oct
2050	22-juin	01-nov	134	168	302	3D juin	1D nov	4S juin	1S nov

## Annexe 7 : Dates de début et fin de saison (modèle RACMO(RCP4.5))

EARTH(RACMO22T) 4.5									
années	début	fin	Longueur(jours)	Début(jours)	Fin(jours)	Début(décade)	Fin(décade)	Début(semaine)	Fin(semaine)
2020	09-juil	13-oct	87	190	277	1D juillet	2D oct	3S juillet	2S oct
2021	27-juil	19-oct	84	208	292	3D juillet	2D oct	3S juillet	3S oct
2022	28-juil	28-oct	92	209	301	3D juillet	2D oct	4S juillet	3S oct
2023	07-mai	13-nov	190	127	301	1D mai	2D nov	4S mai	4S nov
2024	11-mai	17-oct	159	131	290	2D mai	2D oct	4S mai	1S oct
2025	13-mai	16-oct	126	133	259	2D mai	2D oct	2S mai	3S oct
2026	19-juin	26-oct	140	170	310	2D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2027	06-juin	16-nov	140	157	297	2D juin	2D nov	1S juin	2S nov
2028	07-juin	16-oct	130	180	310	1D juin	2D oct	1S juin	3S oct
2029	02-mai	11-oct	162	122	284	2D mai	2D oct	2S mai	3S oct
2030	16-mai	05-nov	173	136	309	2D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2031	15-mai	03-nov	172	135	307	2D mai	2D nov	3S mai	1S nov
2032	29-mai	03-nov	158	149	307	3D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2033	10-mai	09-oct	152	130	282	1D mai	3D oct	1S juin	3S oct
2034	15-mai	27-oct	114	135	249	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2035	18-mai	20-oct	124	169	293	2D mai	3D oct	1S mai	1S oct
2036	05-mai	20-oct	174	125	299	1D mai	3D oct	4S mai	4S oct
2037	22-juin	07-oct	107	173	280	3D juin	3D oct	3S juin	1S oct
2038	23-juin	25-oct	124	174	298	3D juin	3D oct	4S juin	4S oct
2039	18-mai	19-oct	123	169	292	2D mai	2D oct	3S mai	3S oct
2040	14-juin	09-oct	117	160	277	2D juin	1D oct	2S mai	1S oct
2041	19-mai	25-oct	159	145	304	2D mai	3D oct	3S mai	1S oct
2042	07-juin	27-oct	142	178	320	1D juin	2D oct	3S juin	4S oct
2043	23-juin	05-oct	104	156	260	2D juin	1D oct	3S juin	1S oct
2044	22-juin	26-oct	126	173	299	3D juin	3D oct	4S juin	4S oct
2045	05-mai	17-oct	165	125	290	1D mai	2D oct	1S mai	3S oct

2046	24-mai	19-oct	134	189	323	3D mai	2D oct	4S mai	3S oct
2047	25-mai	02-nov	123	185	308	3D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2048	16-mai	17-oct	144	190	334	2D mai	2D oct	3S mai	1S oct
2049	19-juin	07-oct	156	156	312	3D juin	1D oct	4S juin	1S oct
2050	22-juin	01-nov	134	168	302	3D juin	1D nov	4S juin	1S nov

## Annexe 8: Dates de début et fin de saison (modèle CCLM4(RCP8.5))

ES(CCLM4)_rcp85									
années	début	fin	longueur	Début(jours)	Fin(jours)	Début(décade)	Fin(décade)	Début(semaine)	Fin(semaine)
2020	13-mai	15-oct	155	133	288	2D mai	2D oct	2S mai	3S oct
2021	28-juin	14-oct	108	179	287	3D juin	2D oct	4S juin	2S oct
2022	20-juin	23-nov	150	171	321	3D juin	3D nov	4S juin	4S nov
2023	21-juin	23-oct	124	172	296	3D juin	3D oct	3S juin	4S oct
2024	03-juin	09-oct	128	160	288	1D juin	1D oct	1S juin	1S oct
2025	22-mai	14-oct	145	142	287	3D mai	2D oct	3S mai	1S oct
2026	29-juin	03-nov	133	180	313	3D juin	1D nov	3S juin	2S nov
2027	03-juil	19-oct	105	210	315	1D juillet	2D oct	1S juillet	3S oct
2028	08-juin	28-nov	143	128	271	1D mai	3D nov	1S mai	4S nov
2029	14-mai	31-oct	111	134	245	2D mai	3D oct	3S mai	5S oct
2030	11-juil	04-nov	147	192	339	2D juillet	1D nov	2S juillet	1S nov
2031	21-juin	21-oct	122	141	263	3D juin	3D oct	3S juin	4S oct
2032	18-juin	23-oct	127	138	265	2D juin	3D oct	3S juin	3S oct
2033	17-mai	20-oct	156	140	296	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2034	03-juil	19-oct	108	200	308	1D juillet	3D oct	1S juillet	3S oct
2035	25-mai	16-oct	114	145	259	3D mai	2D oct	4S mai	3S oct
2036	09-juin	20-oct	120	157	277	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2037	13-mai	15-oct	160	205	365	2D mai	2D oct	2S mai	3S oct
2038	23-juin	29-oct	128	174	302	3D juin	3D oct	4S juin	4S oct
2039	27-mai	02-oct	128	147	275	3D mai	1D oct	3S mai	3S oct
2040	06-mai	22-nov	200	126	326	1D mai	3D nov	1S mai	3S nov
2041	21-mai	26-oct	158	141	299	3D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2042	07-juil	26-oct	111	188	299	1D juillet	3D oct	1S juillet	3S oct
2043	25-mai	01-nov	160	145	305	3D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2044	26-mai	30-oct	157	146	303	3D mai	3D oct	4S mai	5S oct
2045	15-mai	03-nov	172	135	307	2D mai	1D nov	3S mai	1S nov
2046	09-mai	30-oct	174	129	303	1D mai	3D oct	1S mai	2S oct
2047	05-juin	15-oct	132	156	288	1D juin	3D oct	1S juin	2S oct
2048	10-juin	23-oct	134	161	295	1D juin	3D oct	2S juin	3S oct

2049	01-juin	28-oct	150	152	302	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2050	21-mai	23-oct	155	141	296	3D mai	3D oct	4S mai	4S oct

## Annexe 9 : Dates de début et fin de saison (modèle REMO(RCP8.5))

ES(REMO2009)_rcp85									
années	début	fin	longueur	Djours	Fin(jours)	Début(décade)	Fin(décade)	Début(emaine)	Fin(emaine)
2020	18-juil	01-nov	106	138	244	2D juillet	1D nov	2S juillet	1S nov
2021	30-juin	02-nov	125	178	303	3D juin	1D nov	5S juin	1S nov
2022	22-juin	14-nov	145	173	318	3D juin	2D nov	4S juin	2S nov
2023	19-juin	28-oct	131	179	310	2D juin	3D oct	3S juin	4S oct
2024	17-mai	12-oct	66	212	278	2D mai	2D oct	3S mai	1S oct
2025	16-juin	25-oct	56	231	287	2D juin	2D oct	3S juin	4S oct
2026	11-juin	03-nov	61	223	284	2D juin	1D nov	2S juin	2S nov
2027	03-mai	19-oct	48	210	258	1D mai	2D oct	1S mai	3S oct
2028	08-mai	28-nov	143	128	271	1D mai	3D nov	1S mai	4S nov
2029	14-mai	31-oct	111	134	245	2D mai	3D oct	3S mai	5S oct
2030	11-juil	04-nov	147	192	339	2D juillet	1D nov	2S juillet	1S nov
2031	21-juin	21-oct	122	141	263	3D juillet	3D oct	3S juillet	4S oct
2032	18-juin	23-oct	127	138	265	2D juin	3D oct	3S juin	3S oct
2033	17-mai	20-oct	156	140	296	2D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2034	03-juil	19-oct	108	200	308	1D juillet	3D oct	1S juillet	3S oct
2035	25-mai	16-oct	114	145	259	3D mai	2D oct	4S mai	3S oct
2036	09-juin	20-oct	120	157	277	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2037	13-mai	15-oct	160	205	365	2D mai	2D oct	2S mai	3S oct
2038	23-juin	29-oct	128	174	302	3D juin	3D oct	4S juin	4S oct
2039	27-mai	02-oct	128	147	275	3D mai	1D oct	3S mai	3S oct
2040	06-mai	22-nov	200	126	326	1D mai	3D nov	1S mai	3S nov
2041	21-mai	26-oct	158	141	299	3D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2042	07-juil	26-oct	111	188	299	1D juillet	3D oct	1S juillet	3S oct
2043	25-mai	01-nov	160	145	305	3D mai	1D nov	4S mai	1S nov
2044	26-mai	30-oct	157	146	303	3D mai	3D oct	4S mai	5S oct
2045	15-mai	03-nov	172	135	307	2D mai	1D nov	3S mai	1S nov
2046	09-mai	30-oct	174	129	303	1D mai	3D oct	1S mai	2S oct

2047	05-juin	15-oct	132	156	288	1D juin	3D oct	1S juin	2S oct
2048	10-juin	23-oct	134	161	295	1D juin	3D oct	2S juin	3S oct
2049	01-juin	28-oct	150	152	302	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2050	21-mai	23-oct	155	141	296	3D mai	3D oct	4S mai	4S oct

## Annexe 10 : Dates de début et fin de saison (modèle RACMO(RCP8.5))

pr_EC-EARTH(RACMO22T)_rcp85									
années	début	fin	longueur	Djours		Début(décade)	Fin(décade)	Début(semaine)	Fin(semaine)
2020	09-juil	11-oct	94	192	286	1D juillet	2D oct	2S juillet	2S oct
2021	03-mai	25-oct	175	123	298	1D mai	3D oct	1S mai	4S oct
2022	10-mai	11-oct	154	130	284	1D mai	2D oct	2S juin	2S oct
2023	01-mai	25-oct	177	145	322	1D mai	4D oct	1S mai	4S oct
2024	17-mai	12-oct	148	137	285	3D mai	2D oct	3S mai	1S oct
2025	16-juin	25-oct	131	167	298	2D juin	2D nov	3S juin	4S nov
2026	11-juin	03-nov	145	162	307	2D juin	1D nov	2S juin	2S nov
2027	03-mai	19-oct	169	123	292	1D juin	1D nov	1S juin	3S nov
2028	18-mai	21-nov	187	138	325	2D mai	3D nov	3S mai	3S nov
2029	14-mai	31-oct	170	151	321	2D mai	3D oct	3S mai	5S oct
2030	11-juil	04-nov	116	192	308	2D mai	3D nov	2S mai	1S nov
2031	21-juil	21-oct	92	202	294	3D juillet	3D oct	3S juillet	4S oct
2032	18-juin	23-oct	127	169	296	2D juin	3D oct	3S juin	3S oct
2033	07-mai	20-oct	166	127	293	1D mai	3D oct	1S mai	4S oct
2034	13-juil	29-oct	108	228	336	2D juillet	3D oct	3S juillet	3S oct
2035	25-mai	16-oct	144	133	277	3D mai	3D oct	4S mai	4S oct
2036	09-juin	20-oct	117	157	274	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2037	13-mai	15-oct	155	205	360	2D mai	2D oct	2S mai	3S oct
2038	23-juin	29-oct	128	133	261	3D juin	3D oct	4S juin	4S oct
2039	27-mai	02-oct	128	147	275	3D mai	1D oct	3S mai	3S oct
2040	06-mai	22-nov	200	126	326	1D mai	3D nov	1S mai	3S nov
2041	21-mai	26-oct	158	141	299	3D mai	3D oct	3S mai	4S oct
2042	07-juil	26-oct	111	188	299	1D juillet	3D oct	1S juillet	3S oct
2043	25-mai	01-nov	160	145	305	3D mai	3D nov	4S mai	1S nov
2044	26-mai	30-oct	157	146	303	3D mai	3D oct	4S mai	5S oct
2045	15-mai	03-nov	172	135	307	2D mai	1D nov	3S mai	1S nov

2046	09-mai	30-oct	174	129	303	1D mai	3D oct	1S mai	2S oct
2047	05-juin	15-oct	132	156	288	1D juin	3D oct	1S juin	2S oct
2048	10-juin	23-oct	134	161	295	1D juin	3D oct	2S juin	3S oct
2049	01-juin	28-oct	150	152	302	1D juin	3D oct	1S juin	4S oct
2050	21-mai	23-oct	155	141	296	3D mai	3D oct	4S mai	4S oct

## Annexe 11 : Date de semis

Producteurs	ID	Spéculation	PE	PT
GANSONRE Alexandre	E22	Maïs	2émeD Juin	2émeD Juin
OUEDRAOGO Narcisse	E25	Maïs	1éreD Juillet	1éreD Juillet
IDRISSA Sankara	E27	Sorgho	2émeD Juin	2émeD Juin
SAWADOGO André	E28	Maïs	1éreD Juin	1éreD Juin
SAWADOGO Philippe	E29	Maïs	3émeD Juin	3émeD Juin
ZONGO Seydou	E30	Maïs	1éreD Juin	1éreD Juin
SAWADOGO Jean-Marie	E57	Maïs	2émeD Juin	2émeD Juin
OUEDRAOGO Francois	E70	Maïs	3émeD Juin	3émeD Juin
OUEDRAOGO Edmon	E77	Maïs	4émeD Juin	4émeD Juin
SAWADOGO N.Samuel	E90	Maïs	2émeD Juin	2émeD Juin
MAIGA Boukary	E91	Maïs	2émeD Juillet	2émeD Juillet
SAWADOGO Dominique	E92	Maïs	2émeD Juin	2émeD Juin
ZONGO Boukary	E93	Maïs	1éreD Juillet	1éreD Juillet
OUEDRAOGO Denis	E94	Maïs	2émeD Juin	2émeD Juin
SAWADOGO Vincent	E95	Maïs	3émeD Mai	3émeD Mai

## Annexe 12 : Date d'application du NPK

Producteurs	ID	Spéculation	PE	PT
GANSONRE Alexandre	E22	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
OUEDRAOGO Narcisse	E25	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
IDRISSA Sankara	E27	Sorgho	14 jours après DS	14 jours après DS
SAWADOGO André	E28	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
SAWADOGO Philippe	E29	Maïs	5 jours après DS	5 jours après DS
ZONGO Seydou	E30	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
SAWADOGO Jean-Marie	E57	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
OUEDRAOGO Francois	E70	Maïs	7 jours après DS	7 jours après DS
OUEDRAOGO Edmon	E77	Maïs	5 jours après DS	5 jours après DS
SAWADOGO N.Samuel	E90	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
MAIGA Boukary	E91	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
SAWADOGO Dominique	E92	Maïs	7 jours après DS	7 jours après DS
ZONGO Boukary	E93	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
OUEDRAOGO Denis	E94	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS
SAWADOGO Vincent	E95	Maïs	14 jours après DS	14 jours après DS

## Annexe 13 : Date d'application de l'Urée 1

Producteurs	ID	Spéculation	PT	PE
GANSONRE Alexandre	E22	Maïs	NA	NA
OUEDRAOGO Narcisse	E25	Maïs	NA	NA
IDRISSA Sankara	E27	Sorgho	21 jours après DS	NA
SAWADOGO André	E28	Maïs	21 jours après DS	NA
SAWADOGO Philipe	E29	Maïs	NA	NA
ZONGO Seydou	E30	Maïs	NA	NA
SAWADOGO Jean-Marie	E57	Maïs	21 jours après DS	NA
OUEDRAOGO Francois	E70	Maïs	NA	NA
OUEDRAOGO Edmon	E77	Maïs	NA	NA
SAWADOGO N.Samuel	E90	Maïs	NA	NA
MAIGA Boukary	E91	Maïs	25 jours après DS	NA
SAWADOGO Dominique	E92	Maïs	14 jours après DS	NA
ZONGO Boukary	E93	Maïs	25 jours après DS	NA
OUEDRAOGO Denis	E94	Maïs	NA	NA
SAWADOGO Vincent	E95	Maïs	21 jours après DS	NA

Annexe 14 : Questionnaire adressé aux paysans

INFORMATION CLIMATIQUE DANS LE CADRE DU PROJET CRDI :

Date de l'enquête.....

Prénom, Nom de l'enquêteur .....

Prénom, Nom de ménage.....

Téléphone .....

Numéro du ménage.....

Nom du village.....

Province .....

Connaissance des changements climatiques

1. Avez- vous entendu parler des changements climatiques ? Oui  Non
2. Selon vous qu'est-ce que le changement climatique ?  
.....  
.....  
.....
3. Sentez- vous les changements climatiques ici? Oui  Non
4. Qu'est-ce qui vous fait dire cela ?  
.....  
.....  
.....
5. Selon vous, quelles sont les causes des changements climatiques ?  
.....  
.....  
.....
6. Selon vous qu'est-ce qui peut être fait pour lutter contre le changement climatique ?  
.....  
.....  
.....
7. Selon vos observations, quelles sont les changements constatés depuis que vous pratiquez l'agriculture?

		En général	2018	2019
Début pluie (mois/décade)				
Fin pluie (mois/décade)				
Séquence sèche	max			
	min			
Mois de récurrence séquence sèche (décade)				
température	+			
	-			
	0			
	R			
récurrence vent	+			
	-			
	0			
	R			
Intensité du vent	V			
	MV			

	+V			
inondation				
sécheresse				

8. Quelles ont été les cultures produites pour les campagnes 2015-2016 ; 2016-2017 ; 2017-2018 ?

.....  
 .....  
 pourquoi ?.....  
 .....

9. Sur quoi se base la décision de semé ?

Croyance  ; Tradition  ; Information climatique  ; Autres

exemples:.....

10. Comment êtes-vous aidé concernant les dates de début de saison ?

Radio  ; autres

comment ?.....  
 .....

### Besoin en informations climatiques pour la campagne agricole prochaine (hivernage 2020)

1. Avez-vous besoin d'informations climatiques pour la campagne agricole prochaine? /...../  
 (0=Non ; 1=Oui)

Pourquoi ?.....  
 .....

**Si oui, quel type d'informations climatiques avez-vous plus besoin ? (Citez au maximum 3 éléments) /...../ (1=Date d'hivernage ; 2= date de fin d'hivernage ; 3=Durée de la saison ; 4=Informations journalières ; 5=Séquences sèches)**

2. A quelle période de l'année aimeriez-vous avoir ces informations climatiques /...../ (1=Avril ; 2=Mai ; 3=Juin ; 4=Juillet)

3. Seriez-vous prêts à dépenser pour avoir l'information climatique ? /...../ (1=Oui ; 0=Non)

**Si oui, supposons que l'information climatique est payante, quel montant seriez-vous prêt à payer pour en bénéficier? /...../ F CFA**

Pourquoi ?.....  
 .....

### Impact de l'information climatique sur les activités

Sur 10 saisons combien sont mauvaises (.....) ; bonne (.....) ; humide (.....)

	agriculture				élevage	migration	Activités extra-agricoles
	Pas changement	Variétés	variantes	Cycle jours			
Très sèche						- - -	- - -
bonne						- - -	- - -
Très humide						- - -	- - -