



**ANALYSE PROSPECTIVE DES SEQUENCES SECHES POUR LA
RESILIENCE DE L'AGRICULTURE PLUVIALE DANS LES
ZONES SEMI-ARIDES :
CAS DE KONGOSSI ET OUAHIGOYA**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER INFRASTRUCTURE ET RESEAUX HYDRAULIQUE
OPTION : COLLECTIVITE LOCALE

Présenté et soutenu publiquement le 04 Novembre 2014 par

OUEDRAOGO Moumouni

Travaux dirigés par :

Dr Malicki ZOROM

Enseignant-Chercheur

Laboratoire Ressources en Eau et Hydrologie

M. Sévère FOSSI

Ingénieur de Recherche au

Laboratoire Ressources en Eau et Hydrologie

M. Bétéo ZONGO

Doctorant au Laboratoire Ressources en Eau et Hydrologie

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Dial NIANG

Membres et correcteurs : M. Abdrahamane GADO

M. Fowe TAZEN

M. Malicki ZOROM

Promotion [2013/2014]

« Les populations les plus touchées par les effets des changements climatiques sont celles qui peuvent le moins se le permettre et qui ont le moins contribué à causer le problème. L'adaptation est à la fois un besoin pratique et un impératif moral. »

-- Discours à la maison du Gouvernement, Oulan-Bator, Mongolie, 27 juillet 2009

DEDICACES

A la mémoire de ma mère

A la mémoire de mes grands parents

*A mon père qui a toujours été là pour moi, et qui m'a donné
un magnifique modèle de labeur et de persévérance.*

*J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma
reconnaissance et tout mon amour.*

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à la collaboration et la bienveillance de certaines personnes. Au terme de cette rédaction, je veux leur exprimer mes sincères remerciements.

Je veux témoigner ma gratitude au Dr. Malicki ZOROM, à M. Sévère FOSSI et à M. Bétéo ZONGO pour avoir accepté de diriger mes travaux. Ils m'ont supporté et guidé dans la recherche scientifique. La confiance qu'ils m'ont accordée a été pour moi une source de motivation.

Je veux exprimer ma reconnaissance au Dr. Abdoulaye DIARRA, au Dr. Bruno BARBIER au Dr. Boubacar IBRAHIM, à M. Fowé TAZEN et à M. Hassan GADO pour leur constante disponibilité.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements au Pr. Hamma YACOUBA, Directeur du LEAH pour m'avoir accepté au sein du LEAH afin d'effectuer ce stage.

J'adresse également mes sincères remerciements au corps professoral de 2ie pour la formation reçue.

Une pensée à mes camarades étudiants en fin de cycle du 2iE que je ne pourrai tous nommer, je souhaite qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance car avec eux, j'ai compris que le trajet était aussi important que la destination.

Enfin, que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce document trouvent en ces lignes ma profonde gratitude.

RESUME

Dans l'optique de réduire la vulnérabilité des paysans dans la zone sahélienne du Burkina Faso et d'améliorer la sécurité alimentaire, le 2IE a entrepris plusieurs études. Cette étude menée dans les provinces du Bam et du Yatenga est l'une d'entre elles. Elle vise à réduire le risque pris par les paysans notamment en ce qui concerne les apparitions des poches de sécheresse et des dates de démarrage de saisons précoces. Pour cela, nous avons considéré qu'un jour est sec s'il ne reçoit pas au moins 1 mm de pluie. Les données pluviométriques observées sont les pluviométries de 1961 à 2013 pour Ouahigouya (Yatenga) et celles de 1960 à 2008 pour Kongoussi (Bam). Le risque lié aux poches de sécheresse a été calculé par la méthode des chaînes de Markov (via le logiciel Instat). D'après les résultats obtenus, les séquences sèches de plus de 7 jours qui sont considérées comme préjudiciables pour les cultures de la zone d'étude (mil, maïs, sorgho) s'observent en mai (début théorique de campagne) et en septembre mais à l'échelle de la saison les séquences sèches de ce type sont les moins fréquentes. Les épisodes secs les plus récurrents sont ceux inférieurs (ou égaux) à 5 jours ; cependant les variétés utilisées résistent bien à ce type de séquences sèches. Le critère agronomique de Sivakumar, nous a permis de faire l'historique des dates de début et de fin des saisons. Il en est ressorti que la saison commence en moyenne entre le 20 et le 25 juin dans les deux localités et prends fin au plus tôt dans la 3^{ème} décade de septembre. Aussi, on retient de cet historique qu'un démarrage précoce de la saison des pluies indique une fin tardive et vice-versa. Les sorties du modèle CCCma-CanESM2 nous ont permis de faire les prévisions sur les dates probables de démarrage et de fin de la saison pour les années 2014 et 2015.

Mots clés : Séquence sèche, Paramètres agro-climatiques, Prévisions saisonnières, Variabilité climatique, Zone sahélienne

ABSTRACT

In order to reduce the vulnerability of farmers in the Sahelian zone of Burkina Faso and to improve food security, scholars of 2IE have been undertaking several studies. This work that was conducted in the province of Bam and Yatenga is one of those studies. It aims at reducing the different risks faced by farmers ,particularly in period of dry spells and at the start of early season. In the framework of this study, we shall consider that a dry day when it does not receive at least 1 mm of rain. The observed rainfall data gathered in this paper date back from 1961 to 2013 as far as Ouahigouya (Yatenga) is concerned. As for Kongoussi (Bam), they date back from 1960 to 2008. The risk associated with dry spells was calculated by the method of Markov chains (through the Instat software). On the basis of the obtained results, the dry spells longer than 7 days and considered harmful to crops as millet, maize and sorghum are more likely to be observed in May (theoretical beginning of the rainy season) and September; but throughout the rainy season such dry sequences are the least frequent ones. The most recurrent dry spells or sequences are those below (or equal) to 5 days. However, the varieties grown by farmers in the area where this work was conducted are resistant to these types of dry spells. Sivakumar's Agronomic criteria allowed us to trace back the history of the start and the end of the seasons. It emerged that the season starts on average between the 20th and the 25th of June in both locations, and take an early end on the third decade of September. Therefore, we hold that this historic early start to the rainy season indicates a late end and mutually. The outputs of CCCma-CanESM2 model allowed us to make predictions about the probable dates of start and the end of the season for the years 2014 and 2015.

Keywords: Dry sequence, Agro-climatic parameters, Seasonal forecasts, Climate variability, Sahelian area

LISTE DES ABREVIATIONS

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

ACMAD : African Centre of Meteorological Applications for Development

BCER : Bassin de Collecte des eaux de ruissellement

CCREC : Centre Commun de Recherche Eau et Climat

CILSS : Comité Inter-Etats de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel

CPC : Climate Prediction Center

CRDI : Centre de Recherche pour le Développement International

DGMN : Direction Générale de la Météorologie Nationale

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

LEAH : Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau

PICIC : Projet Irrigation de Complément et Information Climatique

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

RCM : Modèle Climatique Régional

Table des matières

<i>Dédicaces</i>	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>iii</i>
<i>Résumé</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>vi</i>
LISTE DES TABLEAUX	<i>x</i>
LISTE DES FIGURES	<i>xi</i>
<i>Introduction</i>	<i>1</i>
<i>Hypothèse et objectifs du travail</i>	<i>4</i>
II.1 Hypothèses de travail.....	<i>4</i>
II.2 Objectifs du travail	<i>4</i>
<i>revue bibliographique</i>	<i>5</i>
<i>Matériels et Méthodes</i>	<i>10</i>
IV.1 Sites d'étude.....	<i>10</i>
IV.2 Matériels d'étude	<i>10</i>
IV.3 Méthodologie	<i>11</i>
<i>Résultats</i>	<i>13</i>
V.1 Détection de rupture dans les séries pluviométriques	<i>13</i>
V.2 Écart entre les données des modèles et les données historiques observées	<i>14</i>
V.3 Prévision des paramètres climatiques de Ouahigouya et Kongoussi à partir du modèle	

CCCma-CanESM2	14
V.4 Date de début et de fin de saisons observées à partir du critère de Sivakumar	15
1 Ouahigouya (1961-2013)	15
2 Kongoussi (1960-2008).....	16
V.5 Corrélation entre les différents paramètres de la saison	16
V.6 Relation entre début de pluie et longueur de la saison	17
1 Kongoussi	17
2 Ouahigouya	18
V.7 Risque (probabilité) d'avoir la séquence sèche la plus longue.....	18
1 Kongoussi	18
2 Ouahigouya	19
V.8 Fréquence des séquences sèches pendant la saison pluvieuse	19
V.9 Distribution des probabilités de séquence sèche en fonction de la date de semi	21
1 Mois de Mai	21
2 Mois de juin	22
V.10 Représentation de la moyenne des séquences sèches maximales de mai à septembre sur les trois périodes significatives de la segmentation de Hubert	23
V.11. Similarité entre les mois du point de vue de l'intensité des séquences sèches.....	24
V.12 Analyse de l'évolution de l'état du jour (sec, humide, très humide) pendant la saison pluvieuse.....	25
<i>Discussion et Analyses</i>	28
VI.1 Série pluviométrique.....	28

VI.2 Paramètres de la saison des pluies.....	28
VI.3 Séquences sèches	30
1 Évolution de l'intensité des séquences sèches au cours de la saison.....	30
2 Analyse de la distribution de la fréquence et des probabilités d'occurrence des séquences sèches	31
3. Fonctions de prédétermination des différentes séquences.....	32
4. Impacts des épisodes secs et des dates de fin précoces sur les cultures	32
<i>Conclusions</i>	<i>34</i>
<i>Recommandations - Perspective</i>	<i>35</i>
<i>Travaux cités.....</i>	<i>36</i>
<i>Annexes.....</i>	<i>39</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Test de rupture Ouahigouya.....	13
Tableau II : Test de rupture Kongoussi.....	13
Tableau III : Écart entre les données des modèles et les données historiques observées.....	14
Tableau IV : Corrélation entre les paramètres de la saison pluvieuse	16
Tableau V : Risque des séquences sèches les plus longues à Kongoussi	19
Tableau VI : Risque des séquences sèches les plus longues à Ouahigouya.....	19
Tableau VII : Fréquence des séquences sèches pendant la saison culturale	19
Tableau VIII : Probabilités de transition entre les séquences pour l'année 2014	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Province du Yatenga.....	3
Figure 2 : Province du Bam.....	3
Figure 3 : Dates de début et fin de la saison à Ouahigouya de 1961 à 2013.....	15
Figure 4 : Dates de début et de fin de saison à Kongoussi de 1960 à 2008	16
Figure 5 : Relation entre début de pluie et longueur de la saison à Kongoussi	17
Figure 6 : Relation entre début de pluie et longueur de la saison à Ouahigouya	18
Figure 7 : Probabilités de séquences sèches > 5, 7,10 jours, 30 jours après le semis en mai ..	21
Figure 8 : Probabilités de séquences sèches > 5, 7,10 jours, 30 jours après le semis en juin ..	22
Figure 9 : Moyenne des séquences sèches maximales de mai à septembre	23
Figure 10 : Matrice de similarité	24
Figure 11 : Mois similaires.....	24
Figure 12 : Succession des états d'humidité par saison	25
Figure 13 : Distribution des états d'humidité au cours de la saison pluvieuse	26

INTRODUCTION

Le Burkina Faso a une économie essentiellement basée sur le secteur primaire. Elle a connu une croissance moyenne de 5,5% entre 1998 et 2003 (INSD, 2003). Les activités agropastorales et forestières occupent 86% de la population active et fournissent 40% du PIB (25% pour l'agriculture; 12% pour l'élevage; 3% pour la foresterie et la pêche). Ces activités primaires sont considérées comme étant les principales sources de croissance économique du pays (MAHRH, 2004).

Le rendement agricole étant évidemment lié à l'évolution climatique, cette économie se trouve fragilisée face à un climat en perpétuel changement. Ces changements et variabilités climatiques se manifestent de différentes manières. En effet, depuis la fin des années 1960, les cumuls pluviométriques annuels enregistrés dans les zones semi-arides ont assez brutalement basculé d'une situation excédentaire à une autre très déficitaire, sans précédent. Les années anormalement sèches se sont succédées de façon exceptionnelle, générant ainsi une tendance négative à long terme de la pluviométrie qui installa la période de sécheresse la plus importante durant le XXème siècle sur notre planète (Fontaine et al., 1993). Les saisons pluvieuses connaissent une diminution du nombre de jours de pluie, un démarrage capricieux et une répartition très irrégulière de la pluie dans le temps et dans l'espace.

D'après le rapport du GIEC (IPCC, 2007), les économies des pays en développement paieront le plus lourd tribut, soit entre 75 et 80 % du coût des dommages causés par le changement climatique, du fait de leurs fortes dépendances des ressources naturelles en particulier des rendements de l'agriculture. L'évolution climatique récente est un exemple frappant de ces impacts sur les populations où les sécheresses des années 1970 et 1980 ont provoqué une famine dramatique et décimé les troupeaux (Nicholson, 1986).

C'est dans ce contexte d'impacts socio-économiques forts auquel s'ajoute la perspective de changement global lié au réchauffement climatique qu'il est apparu essentiel à la communauté scientifique d'orienter ses efforts vers le couplage entre le climat et l'agriculture de manière à ce que les progrès en termes de compréhension et de prévision de la variabilité du système de mousson puissent être bénéfiques pour les sociétés (Sultan et al., 2008). Pour cela, depuis 1998, il existe des forums de prévisions saisonnières en Afrique de l'ouest (*Annexes 18-20*) qui publient à partir du mois de mai une prévision probabiliste de la saison de mousson à venir. Ces

prévisions sont utiles pour les décideurs politiques et les organismes d'aide pour anticiper les crises alimentaires et atténuer les effets néfastes sur les populations vulnérables. En effet, elles sont utilisées par le centre régional AGRHYMET pour faire des prévisions de rendements au terme de la saison de mousson en fin septembre. Cependant, étant donné que ces prévisions concernent uniquement le cumul pluviométrique saisonnier, leur utilisation par les agriculteurs est limitée, car le cumul pluviométrique saisonnier ne vient qu'en troisième position (après les dates de démarrage et de fin de la saison des pluies, et la répartition des pluies au sein de la saison humide d'après des enquêtes réalisées par les programmes d'assistance agrométéorologiques au monde rural et par Ingram *et al.* (2002) au Burkina Faso) dans leurs priorités en matière de prévision climatique. En effet, pour un même cumul pluviométrique saisonnier, le rendement d'une culture peut être très différent selon que la saison de mousson s'est installée tardivement ou non, selon qu'il y a eu des épisodes secs au sein de la saison humide et selon que la mousson s'est terminée rapidement ou non. Face à cette insuffisance de l'information climatique, plusieurs auteurs tels que Erpicum *et al.* (1988), Sivakumar *et al.* (1988), Karambiri *et al.* (2011), Ouédraogo (2013) ; se sont penchés sur la caractérisation de la saison des pluies dans le sahel. Cette étude intitulée « Analyse prospective des séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides » s'inscrit globalement dans la même quête de l'information climatique que les auteurs précédemment cités.

C'est conscient de l'importance de cette quête que le 2iE en collaboration avec plusieurs groupements villageois et partenaires public-privé, a mis en place le « Projet Irrigation de complément et information climatique (PICIC) » financé par le CRDI. Ce projet vise principalement à réduire la vulnérabilité des paysans dans la zone sahéenne du Burkina Faso et à améliorer la sécurité alimentaire dans un contexte de variabilité et de changement climatique. Le projet tend à proposer une stratégie d'adaptation innovante et intégrée pour faire face aux poches de sécheresse et à la grande variabilité du début et de la fin de la saison des pluies. Dans le cadre de cette analyse prospective des séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides, les chef-lieux de provinces que sont Kongoussi ([Figure 2](#)) et Ouahigouya ([Figure 1](#)) ont été sélectionnés comme sites expérimentaux.

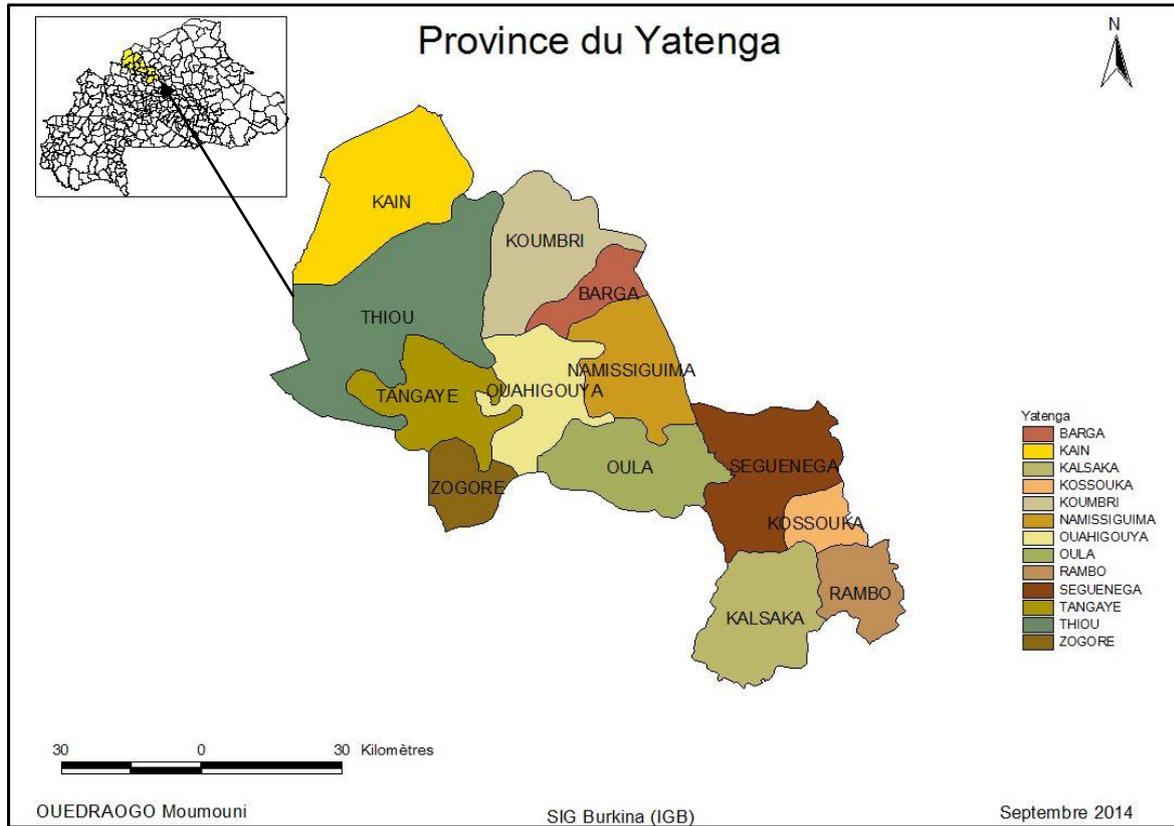


Figure 1 : Province du Yatenga

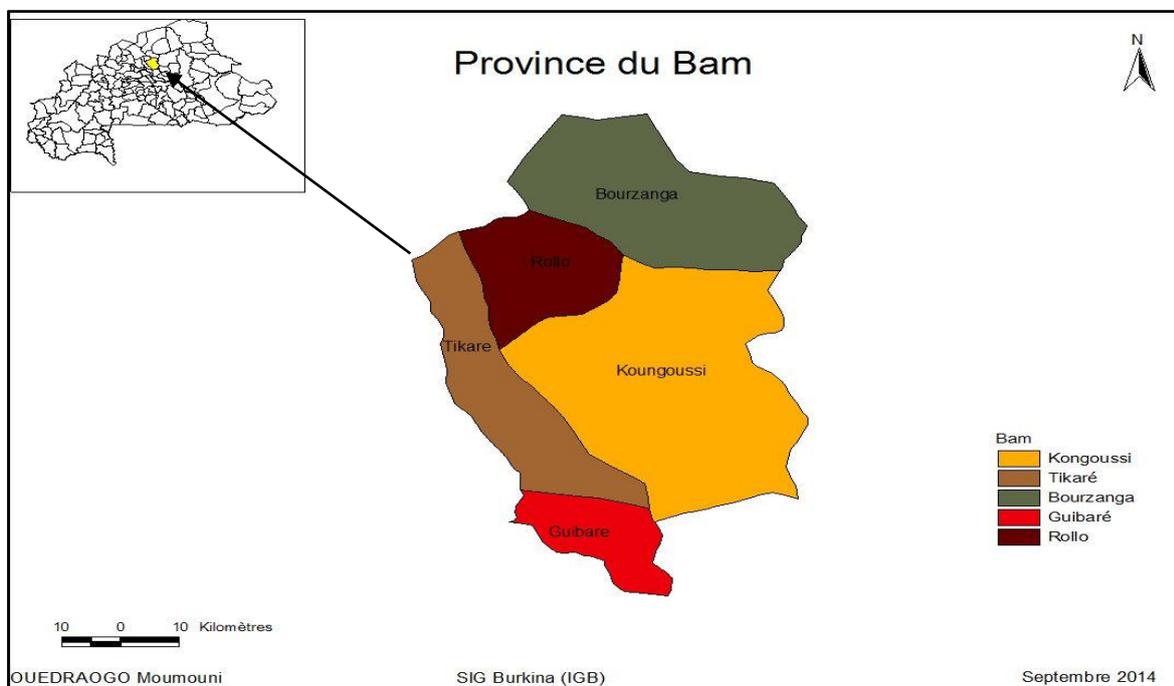


Figure 2 : Province du Bam

HYPOTHESE ET OBJECTIFS DU TRAVAIL

II.1 Hypothèses de travail

- La hauteur de précipitation à partir de laquelle on peut considérer que le jour est sec est de 1 mm (Ozer et al, 2005) ;
- La date de semi est intimement liée aux dates de démarrage et de fin de la saison des pluies ;
- Ayant observé que le minimum des pluviométries maximales journalières (de 1963 à 2013) pour la saison est de 35 mm, nous émettons l'hypothèse que toute journée recevant une pluie supérieure à 35 mm est susceptible d'être un jour très humide.

II.2 Objectifs du travail

L'objectif global de cette étude est de contribuer à la réduction de la vulnérabilité des paysans dans la zone sahéenne du Burkina Faso et d'améliorer la sécurité alimentaire dans un contexte de variabilité et de changement climatique.

Plus spécifiquement, il s'est agi pour nous de :

- Fournir une information climatique robuste sur les dates de début et de fin de saison aux paysans pour une planification adéquate de la campagne agricole ;
- Identifier et analyser les séquences sèches en déterminant leurs fréquences, leurs longueurs potentielles et leurs probabilités d'occurrence de façon prospective ;
- Modéliser l'évolution des séquences sèches et pluvieuses pendant la période agricole

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Une saison des pluies est caractérisée par un ensemble d'évènements agrométéorologiques. Ces évènements sont des caractères ou des facteurs clés de la réussite ou de l'échec de la saison agricole. Selon des enquêtes réalisées par les programmes d'assistance agrométéorologique au monde rural au Mali et au Tchad et par Ingram et al. (2002) au Burkina Faso et par divers auteurs, ces caractères sont :

- la date de démarrage de l'hivernage ;
- la date de fin de la saison des pluies ;
- la durée de la saison des pluies ;
- le cumul pluviométrique saisonnier annuel.

S'y ajoutent :

- la plus longue séquence sèche pendant la phase sensible des plantes ;
- le nombre de jour de pluies.

1. Date du démarrage de la saison des pluies

Selon Balme et al. (2005), il existe en fait plusieurs critères d'identification du début de la saison des pluies selon le domaine d'intérêt. Ainsi, un météorologue considèrera comme début des pluies les premières précipitations liées à la mise en place de la première convection organisée. Pour l'hydrologue, ce même critère sera déterminé par la première pluie générant du ruissellement. Enfin, pour l'agronome, le début de la saison pluvieuse ne peut pas être suivi d'épisodes secs trop longs pouvant porter préjudice aux cultures. Ainsi du point de vue agronomique qui nous intéresse ici, Davey et al. (1976) ont observé que la date des semis du mil au Niger coïncidait avec la première apparition de 20 mm de pluie en deux jours. Cependant, ayant remarqué que ces critères de définition du début de la saison provoquaient des faux départs, Benoit (1977) propose un critère de qualification selon lequel une période sèche de 5 jours ou plus dans les 12 jours suivant le départ potentiel constitue un faux départ. Dodd et Jolliffe (2001), Stern et al (1981) et Sivakumar (1988) ont également fait des suggestions sur le démarrage de la saison. Sivakumar et Somé (1994), situent le début de la saison à partir du 1^{er} Mai, mais à condition qu'on enregistre plus de 20 mm de pluie en 2 ou 3 jours successifs et cela sans épisode sec de plus de 7 jours dans les 30 jours qui suivent le semis. Selon Odenkule

(2005), le début des précipitations peut être considéré comme la période, au début de la saison des pluies, où la distribution de précipitations devient adéquate pour le développement des plantes.

2. La fin de la saison

Dans la littérature, on trouve aussi plusieurs définitions pour la fin de la saison des pluies. Par exemple, Odekunle et al (2005) ont défini la date de fin comme le moment, à la fin de la saison des pluies, où la quantité de pluie qui tombe n'arrive plus à satisfaire les besoins des plantes. Quant à Stern et al (1981), ils définissent la fin de la saison comme la première apparition d'une longue période de sécheresse après une date déterminée. Dans ses études menées par dans le Sahel, Sivakumar (1988) déduit que les saisons des pluies au sahel prennent fin après le premier septembre, lorsqu' il n'y a pas de pluie pendant deux décades (à partir du 1^{er} septembre).

La longueur de la saison est exprimée par la différence entre la date de fin et la date de début de la saison des pluies.

3. Les séquences sèches

Pour Garcia et al (1993), on entend par séquence sèche un ensemble de jours consécutifs sans précipitation appréciable entre deux jours de pluies. Ils déduisent de quelques analyses que le seuil pluviométrique se relève jusqu'à 1 voire 5 mm : autrement dit un jour sera alors considéré comme sec s'il n'atteint pas ces seuils. Selon Karambiri et al. (2011), les séquences sèches sont définies comme le nombre de jours consécutifs avec une pluie inférieure à 1 mm/jour entre le 1^{er} Mai et le 30 Septembre sur la période 1961-2009 pour les observations et 1961-2020 pour les modèles.

4. La méthode des chaînes de Markov

Cette méthode a déjà été utilisée par plusieurs auteurs pour caractériser la saison des pluies dans différentes régions du monde, on peut citer entre autres Meddi et al. (2009) ; Garcia et al. (1993) ; Afouda et al. (1997) ; Dedehouanou et al. (2010).

Pour Garcia et al. (1993), le modèle de Markov réalise un ajustement très acceptable de la fréquence d'apparition des séquences pluvieuses (donc également des séquences sèches), aussi bien au niveau mensuel qu'annuel.

a. Présentation de la méthode de Markov

Le modèle des chaînes de Markov est un modèle stochastique, itératif (Meddi, 2009). Il permet de déterminer ou de prévoir la probabilité d'avoir une séquence sèche après une autre ou non. Ce processus exprime des probabilités conditionnelles de passage de l'état de la veille à l'état actuel. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode des chaînes de Markov. Les chaînes de Markov tiennent compte de la liaison entre les états successifs ; en effet la pluie de la période k dépend de l'état des périodes passées. Ce modèle sera du premier ordre si la pluie de la période k ne dépend que de la période précédente, c'est à-dire du passé le plus proche de l'état. Il sera d'ordre h si la pluie de la période k dépend des $k - 1, k - 2, \dots, k - h$ périodes passées.

Une période peut être caractérisée du point de vue pluviométrique par deux états :

- état 0 : absence de pluie (séquence sèche),
- état 1 : présence de pluie (séquence humide).

L'application des chaînes de Markov nécessite une modélisation statistique du problème.

b. Le modèle statistique

Soit donc à considérer une séquence de n jours consécutifs et soit x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) une série de n variables aléatoires prenant les valeurs $x_i = d$ ou $x_i = w$ où d et w sont utilisés pour désigner respectivement sec (dry) et humide (wet) en anglais. Nous posons $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ la probabilité que la séquence (x_1, x_2, \dots, x_n) se produise. Nous supposons de plus que, d'une année à l'autre, ces probabilités sont constantes.

L'emploi de la chaîne de MARKOV revient à résoudre un problème de probabilité conditionnelle. La loi de multiplication en théorie des probabilités nous donne alors :

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1).P(x_2/x_1) \dots P(x_n/x_{n-2}, x_{n-1}) \quad (1)$$

Où $P(x_1)$ est la probabilité initiale et les autres termes sont les probabilités conditionnelles. La barre (/) se lit (sachant que).

Si la probabilité conditionnelle apparaissant dans l'équation (1) ci-dessus dépend seulement de la veille, alors :

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1).P(x_2/x_1).P(x_3/x_2) \dots P(x_n/x_{n-1}) \quad (2)$$

Cette équation décrit une séquence connue sous le nom de chaîne de MARKOV du 1^{er} ordre et les probabilités conditionnelles sont appelées les probabilités de transitions du fait qu'elles indiquent le passage au cours du temps d'un jour sec à un jour pluvieux (ou la persistance dans le même état) et vice-versa. La détermination de (2) revient à se donner les probabilités initiales et conditionnelles. S'il s'avère que la chaîne de MARKOV du 1^{er} ordre est insuffisante pour décrire le processus en cours on pourrait tenter de voir si les probabilités conditionnelles dans (1) après le deuxième terme du membre de droite dépendent de ce que la veille et l'avant-veille ont été pluvieuses ou sèches. On détermine alors la probabilité $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ à l'aide de la chaîne de MARKOV d'ordre 2. Ainsi comme nous l'avons annoncé ci-dessus pour la chaîne de MARKOV du 2^e ordre, la probabilité d'avoir un jour sec/pluvieux (d/w) sachant que la veille et l'avant-veille ont été pluvieuses/sèches (c'est à dire les séquences wwd/ddw) est identique à l'équation (1). On déduit alors de la même façon les probabilités pour la chaîne de MARKOV du 3^e ordre où les états pluvieux et secs des trois jours précédant le jour considéré sont pris en compte.

c. La matrice de transition

Soit $X = \{X_n \ n \in T\}$ une chaîne de Markov

Le nombre $P(X_{n+1} = j | X_n = i) = p_n(i, j)$ est appelé probabilité de transition de l'état i à l'état j en un pas, ou bien probabilité de transition de l'état i à l'état j , s'il n'y a pas d'ambiguïté. On note souvent ce nombre $p_{ij}(n)$.

La famille de nombres $P = (p_{ij})(i, j) \in E^2$ est appelée matrice de transition, noyau de transition, ou opérateur de transition de la chaîne de Markov.

Soit X une chaîne de Markov de matrice de transition P

Alors P vérifie

- Pour tout $i, j \in E$, on a $p_{ij} \in [0, 1]$
- .Pour tout $i \in E$, on a $\sum_{j \in E} p_{ij} = 1$

On dit que P est une matrice stochastique.

5. Définitions de quelques concepts

a. Information climatique

Une information climatique est une donnée observée ou calculée d'une variable climatique telle que la précipitation, la température de l'air ou de la mer, l'humidité relative de l'air, l'insolation journalière, la vitesse du vent et l'évapotranspiration (Aquastat, 2012).

b. Séquences sèches

Les séquences sèches sont définies comme étant le nombre des jours consécutifs avec une pluie inférieure à 1 mm/jour entre le 1^{er} Mai et le 30 Septembre (Karambiri et al., 2011).

c. Modèle climatique

Un modèle climatique est un logiciel très complexe à l'image du système climatique, dont le but est de reproduire aussi fidèlement que possible le comportement du climat terrestre ou le climat d'une région donnée du globe. (Ibrahim, 2012)

De nos jours, grâce au développement de l'informatique, les modèles climatiques sont élaborés pour faire des simulations du climat terrestre à différentes résolutions spatiales et temporelle sous différents scénarios d'évolution de certains paramètres climatiques appelés forçages. Les modèles globaux (toute la planète) avec une faible résolution spatiale (plus de 400kmx400km) ont constitué la première génération des modèles climatiques globaux ou modèles de circulation générale (MCGs). Ces modèles climatiques globaux ont évolué avec l'intégration de nouveaux processus ou composantes du système climatique (convection, nuages et précipitations, schéma de surface, transferts radiatifs, etc.).

D'après les études menées par Ibrahim (2012) sur les modèles HadRM3P, RACMO, et RCA ; le modèle RCA est le modèle le plus proche des observations notamment en ce qui concerne les dates de démarrage et fin de saison. Les modèles que nous avons considérés dans cette étude (CCCma-CanESM2, CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 et ICHEC-EC-EARTH) sont en fait différents forçages du modèle RCA.

MATERIELS ET METHODES

IV.1 Sites d'étude

L'étude a été menée dans deux régions du Burkina Faso: les régions du Nord et du Centre Nord. Dans chacune de ces régions, nous avons choisi une province pour notre étude, la province du Bam ayant pour chef-lieu le département de Kongoussi et celle du Yatenga ayant le département de Ouahigouya pour chef-lieu. Bam est située à 110 km de Ouagadougou (capitale du Burkina Faso) par la route nationale 22 (RN22), tandis que le Yatenga est à 180 km de Ouagadougou via la route nationale 2 (RN2). Les contraintes climatiques sont globalement moyennes à sévères, mais il faut noter l'existence d'une pluviosité faible et décroissante dans ces deux régions. Le Centre-Nord est caractérisé par deux nuances climatiques reparties comme suit : Une zone climatique sahélo soudanienne et une autre sahélienne. Les précipitations varient entre 600 et 750 mm. La saison des pluies ne dure généralement pas plus de 4 mois dans la localité, et les écarts de température y sont très remarquables avec des fortes amplitudes entre le jour et la nuit (Bado et al., 2009). Quant à la région du Nord, elle s'identifie au climat soudano-Sahélien qui est caractérisé par une faible pluviosité et une alternance de deux saisons à savoir une longue saison sèche et une courte saison pluvieuse. Les précipitations y sont insuffisantes et irrégulières avec une pluviométrie annuelle allant de l'ordre de 600 à 700 mm.

D'autre part, en fonction de leur texture et de leur position topographique, deux principaux types de sol sont distingués dans les régions du Nord et du Centre Nord. Il s'agit des sols de bas-fonds, et des sols ferrugineux tropicaux, supportant périodiquement des cultures de mil, de maïs et de sorgho. La végétation la plus importante du Centre Nord est essentiellement constituée de savane arborée et de savanes aux hautes herbes qui ont tendance à remplacer les steppes d'épineux. Tandis qu'au Nord la végétation rencontrée est constituée de quatre types de formations végétales notamment une formation de steppe, une brousse tigrée, une savane arbustive et une savane arborée.

IV.2 Matériels d'étude

Les données climatiques des séries de cinquante-deux (52) années (de 1961 à 2013) pour Ouahigouya et de 48 années (1960 à 2008) pour Kongoussi, collectées auprès de la Direction Générale de la Météorologie du Burkina Faso, sont utilisées afin de décrire la variabilité

temporelle de la pluviosité à différentes échelles : annuelles, mensuelles, décadaires et journalières. Le logiciel INSTAT+ a servi aux analyses statistiques des données climatiques notamment les dates du début et de fin de saison agricole, la durée et le cumul pluviométrique de la saison, et aussi l'analyse des séquences sèches en période de semis et au cours de la saison culturale.

Pour les données de prévisions sur les mêmes zones d'étude, Maladonan (2012) a utilisé cinq (05) modèles climatiques régionaux CCLM, RACMO, HadRM3P, REMO et RCA ; l'année suivante Ouédraogo (2013) a utilisé les sorties du modèle RACMO pour ses données de prévisions sur la même zone d'étude. Pour cette étude, nous disposons de trois (03) modèles CCCma-CanESM2, CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 et ICHEC-EC-EARTH qui sont en fait différents forçages du modèle RCA SMHI (Samuelsson et al. 2011). Après avoir extrait les données pluviométriques sur le logiciel R, nous choisirons (parmi les trois (03) modèles) le modèle le plus proche des données historiques pour nos différentes prévisions.

IV.3 Méthodologie

Sur le plan statistique, une fluctuation pluviométrique peut être marquée à une date donnée par une rupture ou un changement de moyenne au sein de la série chronologique (BROU 1997). Nous avons donc cherché à l'aide des algorithmes proposés au sein du logiciel Khronostat de l'IRD, à détecter pour les stations de Ouahigouya et de Kongoussi d'éventuelles ruptures dans la série pluviométrique. L'analyse du caractère aléatoire des séries chronologiques s'appuie sur l'examen de l'autocorrélogramme et sur le test de corrélation des rangs. La détection de rupture dans les séries de données de pluies repose sur le test de Pettitt, la statistique U de Buishand, la procédure bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation d'Hubert.

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 et al. 2005).

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

$$\text{à deux : } ER = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{i_{calculé}} - X_{i_{observé}})$$

Avec N : la taille de l'échantillon, $X_{i_{calculé}}$ et $X_{i_{observé}}$ les variables calculées et observées au

pas de temps i .

Le modèle présentant le plus faible biais dans la reproduction des caractéristiques sera retenu pour nos différentes prévisions.

A l'échelle saisonnière, l'analyse se basera sur le nombre de jours de pluies pour déterminer des périodes à risque de «faux départ» de la campagne agricole. Les totaux pluviométriques décennaires et journaliers sont aussi analysés en fonction des probabilités de recevoir des précipitations dépassant différentes valeurs seuils. Pour la détermination de la date de démarrage de la saison agricole, le critère suivant a été utilisé : Le premier jour à partir du mois de mai (début de la saison pluvieuse) lorsqu'on enregistre plus de 20 mm de pluie en 3 jours successifs mais sans qu'aucune séquence sèche de plus de 7 jours dans les 30 jours qui suivent cette date ne survienne (Somé et Sivakumar, 1994). La saison prendra fin lorsqu'après le premier septembre, il n'y aura pas de pluies pendant deux décades.

Les données nécessaires à l'étude des séquences sèches sont basées sur la pluviosité quotidienne. On considère le seuil choisi de 1 mm. Ce faisant, on calculera les séquences sèches des mois de mai, juin, juillet, août et septembre. Ces séquences sèches serviront au calcul des probabilités des séquences sèches supérieures à 5, 7 et 10 jours pour tous les mois indiqués par la méthode de MARKOV.

RESULTATS

V.1 Détection de rupture dans les séries pluviométriques

Les tests de ruptures ont été effectués sur les séries chronologiques des hauteurs de pluies annuelles de 1961 à 2013 à Ouahigouya et de 1960 à 2008 à Kongoussi. Nous avons également effectué le même traitement sur des séries plus courtes incluses dans les deux séries précédentes. Cette double démarche a été adoptée pour palier au fait que la plupart des méthodes soient incapables de détecter plusieurs ruptures au sein d'une même série. Le tableau 1 présente le résultat des tests en indiquant la date probable de rupture dans la série. L'analyse des résultats des tests de ruptures permet de vérifier l'éventuelle présence d'un changement de moyenne dans les séries pluviométriques de chacune des stations étudiées.

Tableau I : Test de rupture Ouahigouya

OUAHIGOUYA	Série pluviométrique					
	1961-1970	1970-1990	1990-2013	1961-2013		
Test de BUIHAND	Existence d'une rupture	Pas de rupture	Pas de rupture	Existence de rupture		
Méthode non paramétrique de PETTITT	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture		
Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN	1968	1981	1990	2006		
Moyenne (pluviométrique) par la segmentation de HUBERT	699,28	540,176	692,2	1961-1968	1969-1990	1991-2013
				732,6	543,364	704,77

Tableau II : Test de rupture Kongoussi

KONGOUSSI	Série pluviométrique			
	1960-1970	1970-1990	1990-2008	1960-2008
Test de BUIHAND	Existence d'une rupture	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture
Méthode non paramétrique de PETTITT	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture
Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN	1969	1981	1990	1966
Moyenne (pluviométrique) par la segmentation de HUBERT	681,455	578,048	634,158	627,122

Les différents tests n'aboutissent pas aux mêmes résultats. Le test le plus significatif est la moyenne par la segmentation de Hubert sur les séries de Ouahigouya.

V.2 Écart entre les données des modèles et les données historiques observées

L'écart moyen entre les sorties des différents modèles et les données observées a été calculé. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2.

Tableau III : Écart entre les données des modèles et les données historiques observées

Ecart moyen absolue	CCCma-CanESM2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	ICHEC-EC-EARTH
Début de saison	21	22	24
Fin de saison	8	22	18
Longueur de saison	27	36	39
Pluie annuelle	108	88	95

Pour le début, la fin et la longueur de la saison des pluies, le modèle **CCCma-CanESM2** présente l'écart le plus faible. Concernant les pluies annuelles, l'écart le plus faible est obtenu avec le modèle **CNRM-CERFACS-CNRM-CM5**.

V.3 Prévision des paramètres climatiques de Ouahigouya et Kongoussi à partir du modèle CCCma-CanESM2

Le modèle a permis d'obtenir les prévisions des pluviométries journalières de plusieurs stations jusqu'en 2050. Nous avons considéré les stations ayant les coordonnées les plus proches des stations de chacune de nos zones d'étude pour les différentes prévisions. . On a donc obtenu que pour Ouahigouya (Longitude : -2.41, Latitude. : 13.56) la station ayant pour coordonnées (Longitude : -2.20, Latitude. : 13.64). Pour Kongoussi (Longitude :-1.53 ; Latitude. : 13.32), celle ayant pour coordonnées (Longitude : -1.32 ; Latitude : 13,64) a été retenue.

Les prévisions pluviométriques obtenues ont permis de déterminer les dates de début et de fin de campagne à partir du critère de Sivakumar pour les années 2014 et 2015 à Ouahigouya et à

Kongoussi.

Concernant l'année 2014, le début de la saison est prévue pour le 16 juillet à Ouahigouya et à Kongoussi, avec une fin de saison prévu pour le 10 novembre à Kongoussi et pour le 11 novembre à Ouahigouya avec un écart type de 20 jours.

En ce qui concerne l'année 2015, la saison sera beaucoup plus précoce avec un début de saison prévu pour le 25 mai à Ouahigouya et pour le 27 mai à Kongoussi. La fin de saison est attendue pour le 29 septembre dans les deux localités avec un écart type de 12 jours.

V.4 Date de début et de fin de saisons observées à partir du critère de Sivakumar

1 Ouahigouya (1961-2013)

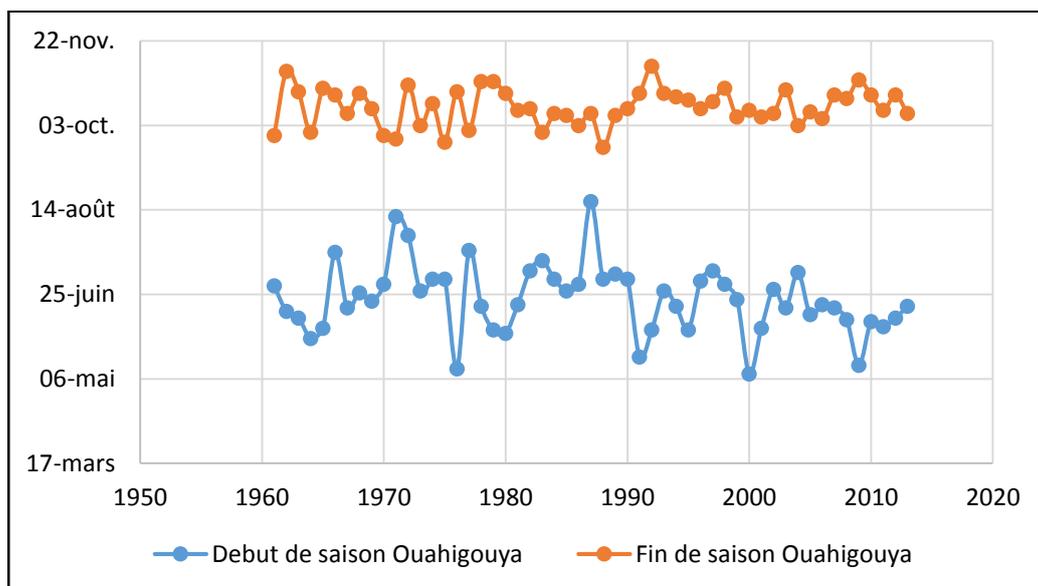


Figure 3 : Dates de début et fin de la saison à Ouahigouya de 1961 à 2013

2 Kongoussi (1960-2008)

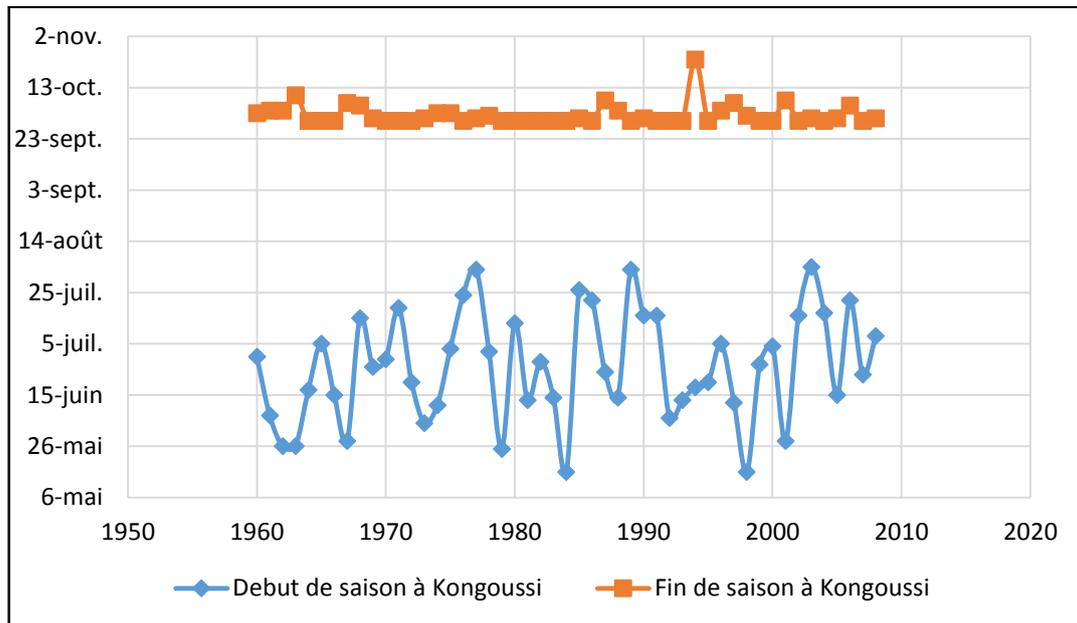


Figure 4 : Dates de début et de fin de saison à Kongoussi de 1960 à 2008

Sur les deux figures, on observe une plus grande variabilité des dates de début de saison que celles de la fin de saison.

V.5 Corrélation entre les différents paramètres de la saison

Le tableau IV met en évidence le fait que la longueur de la saison soit corrélée avec les dates de fin et de début de la saison des pluies. Mais la corrélation négative entre la date de début de saison et la longueur de la saison est la plus significative. On peut aussi observer que la quantité de pluie annuelle est positivement corrélée avec le nombre de jours de pluie de la saison (NJP). Les séquences sèches ont une très faible corrélation avec les autres paramètres.

Tableau IV : Corrélation entre les paramètres de la saison pluvieuse

Variabes	Début de Saison	Fin de Saison	Longueur de la saison (jrs)	NJP	Pluie annuelle (mm)	séquence sèche maximale
Début de Saison	1	-0,409	-0,928	-0,345	-0,384	0,436
Fin de Saison	-0,409	1	0,719	0,442	0,399	-0,238
Longueur de la saison (jrs)	-0,928	0,719	1	0,443	0,455	-0,429
NJP	-0,345	0,442	0,443	1	0,640	-0,373
Pluie annuelle (mm)	-0,384	0,399	0,455	0,640	1	-0,239
séquence sèche maximale	0,436	-0,238	-0,429	-0,373	-0,239	1

V.6 Relation entre début de pluie et longueur de la saison

1 Kongoussi

La figure 5 confirme encore l'existence d'une relation significative entre la date de début des pluies et la longueur de la saison culturale. Le coefficient de détermination nous indique que le début des pluies explique à 97% la longueur de la saison. Plus le début est précoce, plus la saison culturale est longue ; plus le début est tardif, plus la saison est courte.

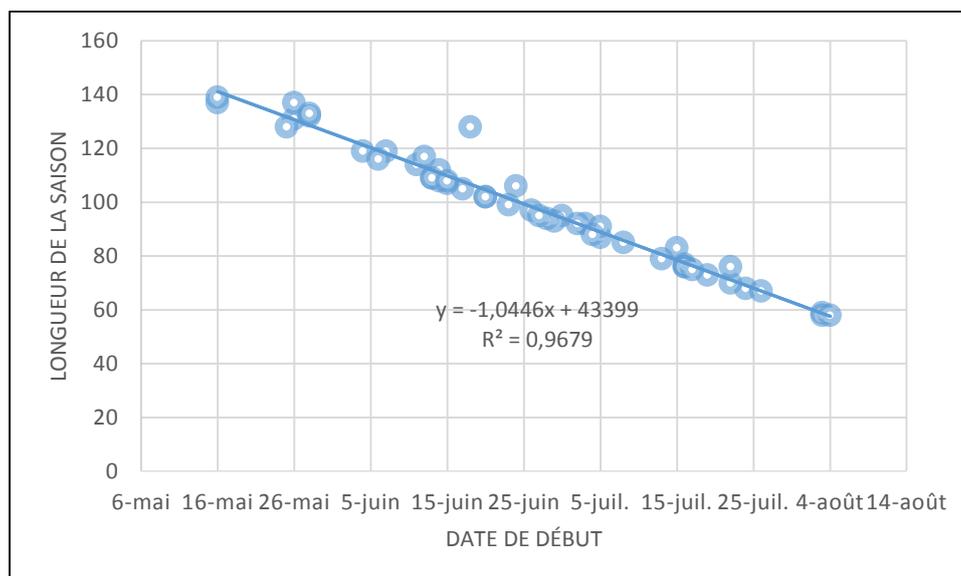


Figure 5 : Relation entre début de pluie et longueur de la saison à Kongoussi

2 Ouahigouya

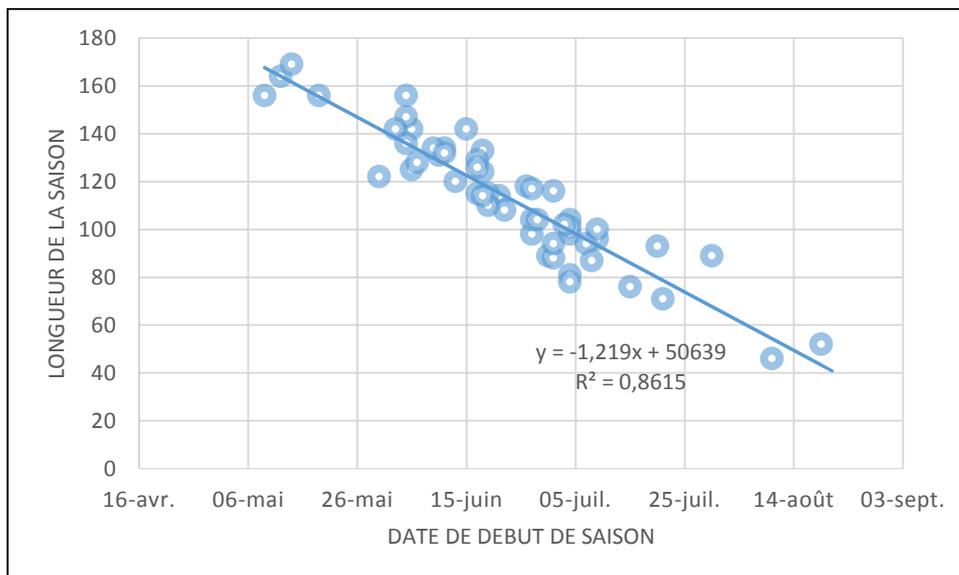


Figure 6 : Relation entre début de pluie et longueur de la saison à Ouahigouya

On peut faire les mêmes remarques que celles faites à Kongoussi, sauf qu'à Ouahigouya le début des pluies explique à 86% la longueur de la saison (un peu moins qu'à Kongoussi).

V.7 Risque (probabilité) d'avoir la séquence sèche la plus longue

Nous estimons ici, le risque d'avoir la séquence sèche la plus longue (5, 7, 10 ou 14 jours) pour les mois de mai, juin, juillet, août et septembre dans les deux localités.

1 Kongoussi

Les résultats du tableau V montrent que les séquences sèches les plus longues en mai dans la plupart des cas (des années) sont supérieures à 7 jours. Environ 50 % des années (prob de 0,5102) ont des séquences sèches les plus longues qui sont généralement inférieures ou égales à 10 jours en juin. En revanche, en juillet et août, plus de 85 % (prob 0,8542) des années ont des séquences sèches n'excédant pas 10 jours. Les séquences sèches les plus courtes s'observent généralement en août (100% des années ont les séquences sèches les plus longues inférieures à 10 jours en août).

Tableau V : Risque des séquences sèches les plus longues à Kongoussi

Seuil des séquences sèches	<=5	<=7	<=10	<=14
Mai	0.1E-3	0.008	0,0612	0,2245
Juin	0,0816	0,2245	0,5102	0,7143
Juillet	0,2708	0,5208	0,8542	1
Août	0,4898	0,8163	1	1
Septembre	0,2449	0,4082	0,7347	0,9796

2 Ouahigouya

Tableau VI : Risque des séquences sèches les plus longues à Ouahigouya

Seuil des séquences sèches	<=5	<=7	<=10	<=14
Mai	0.0001	0.0045	0,1132	0,283
Juin	0,0377	0,283	0,4906	0,6604
Juillet	0,4528	0,7547	0,9245	0,9434
Août	0,6792	0,9057	1	1
Septembre	0,3585	0,5849	0,8868	1

Comme précédemment, on observe que les séquences sèches les plus longues s'observent généralement en mai. Tandis qu'au mois d'août plus de 97% des années ont des séquences sèches inférieures à 7 jours.

V.8 Fréquence des séquences sèches pendant la saison pluvieuse

Afin de pouvoir mieux apprécier la fréquence des épisodes secs durant la saison des pluies, ils ont été classifiés en 3 catégories. Il s'agit des épisodes secs inférieurs ou égaux à 5 jours, de 6 à 10 jours et de 11 à 15 jours.

Tableau VII : Fréquence des séquences sèches pendant la saison culturale

Classe des séquences sèches	[1;5]	[6;10]	[11;15]
Ouahigouya	0,855	0,117	0,028
Kongoussi	0,840	0,128	0,032

On peut constater sur ce tableau que les périodes sèches de courte durée (≤ 5 jours) sont les plus fréquentes durant la période culturale.

V.9 Distribution des probabilités de séquence sèche en fonction de la date de semi

1 Mois de Mai

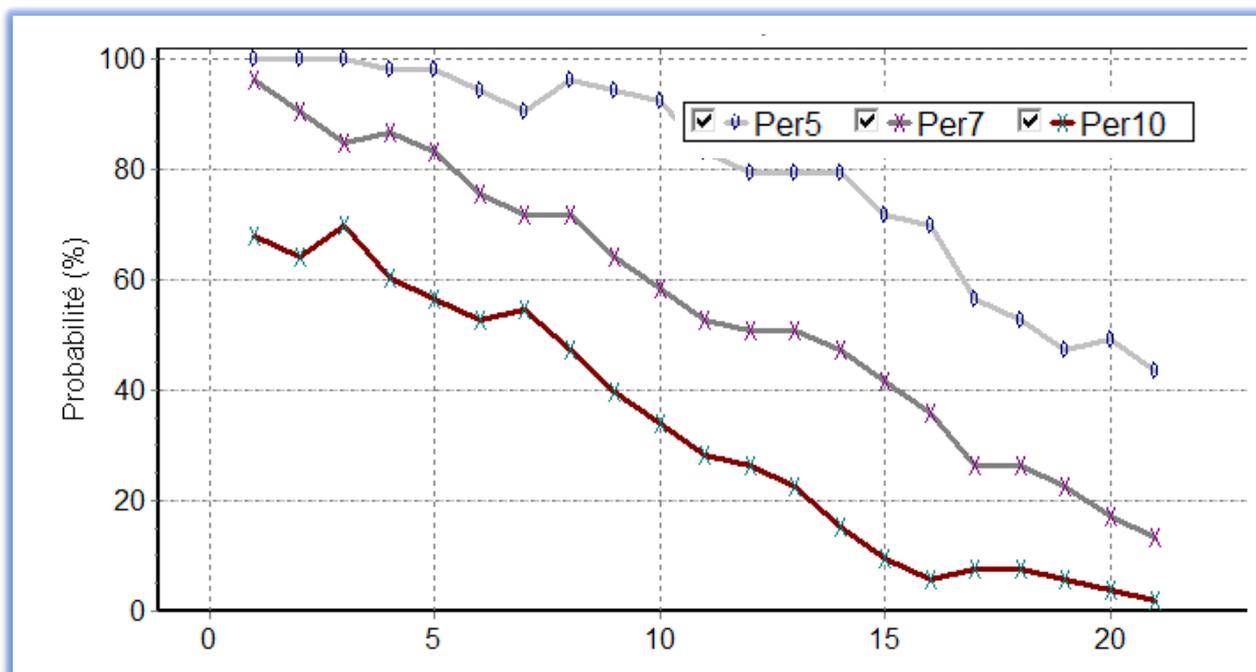


Figure 7 : Probabilités de séquences sèches > 5, 7,10 jours, 30 jours après le semis en mai

Si on considère la date du 20 mai comme la date potentielle de semis, la figure 7 montre que pour cette date, le risque d'avoir une séquence sèche de plus de 10 jours dans les 30 jours qui suivent un semi est de 5% (3 années sur 53). Pour cette même date, la moitié des années environ ont cependant une séquence sèche de plus de 5 jours dans les 30 jours qui suivent un semi. Et sur 19% des années, il est probable d'observer une séquence sèche supérieure à 7 jours.

2 Mois de juin

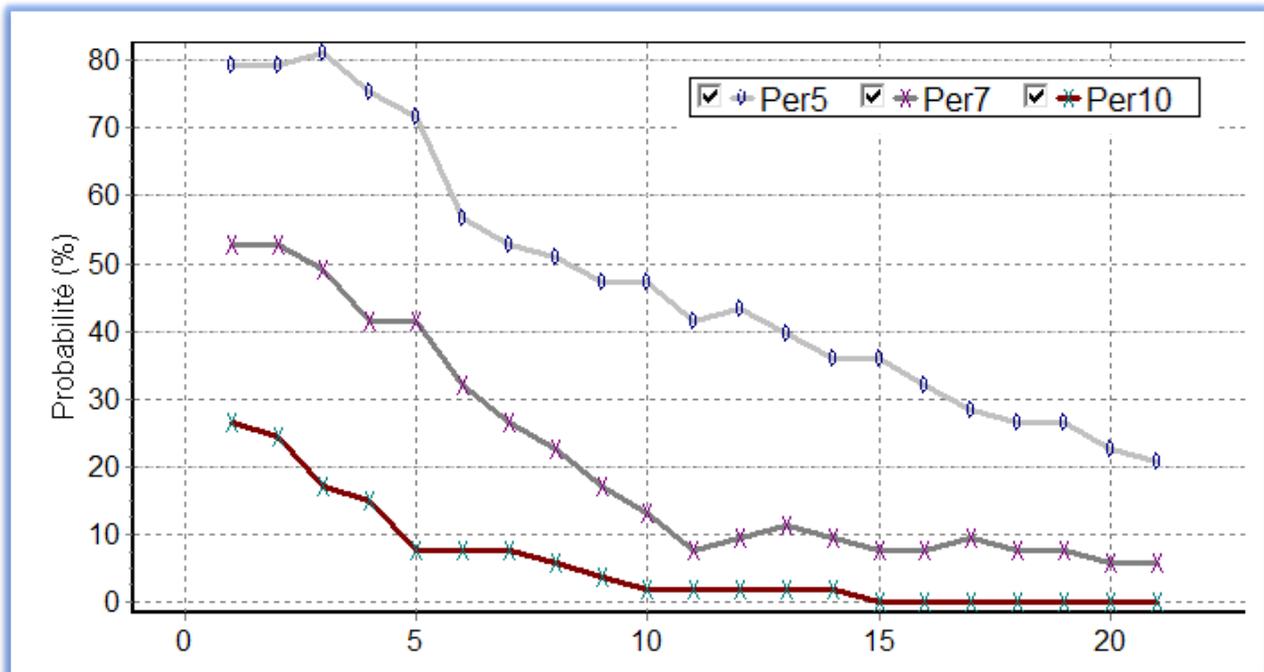


Figure 8 : Probabilités de séquences sèches > 5, 7,10 jours, 30 jours après le semis en juin

Comme précédemment, si on considère que la date du 20 juin est la date potentielle de semi. D'après la figure, seulement 1% des années (moins d'une année sur 53) a une chance d'avoir une séquence sèche de 10 jours dans les 30 jours qui suivent le semi. On observe également que pour cette date, le risque d'avoir une séquence sèche de 7 jours dans les 30 jours qui suivent le semi est de 7% soit 4 années sur 53. On a une séquence sèche de plus de 5 jours sur 23% des années soit 12 années sur 53.

V.10 Représentation de la moyenne des séquences sèches maximales de mai à septembre sur les trois périodes significatives de la segmentation de Hubert

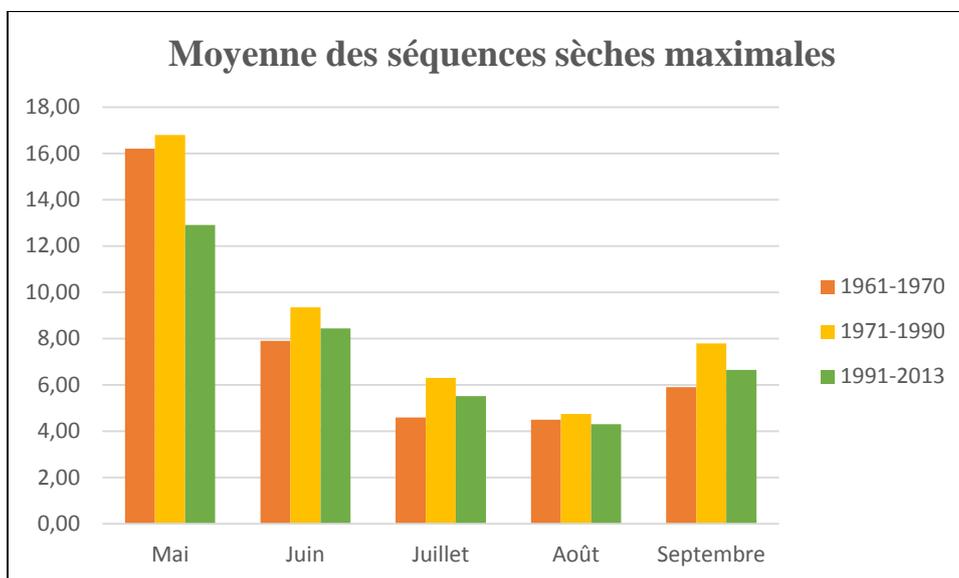


Figure 9 : Moyenne des séquences sèches maximales de mai à septembre

On peut observer sur la figure 9 que la longueur des séquences sèches décroît de mai à août avant de commencer à croître à partir du mois de septembre. On observe également que les plus grandes poches de sécheresse se situent au mois de mai et les séquences sèches les plus courtes s'observent au mois d'août. Cette représentation met en évidence que les séquences sèches les plus longues de ces 52 dernières années ont été observées entre 1971 et 1990. La séquence sèche la plus faible est d'environ 4 jours tandis que la plus grande poche de sécheresse est d'environ 16 jours.

V11. Similarité entre les mois du point de vue de l'intensité des séquences sèches

	mai	juin	juillet	août	septembre
mai	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
juin	0,000	1,000	0,038	0,019	0,038
juillet	0,000	0,038	1,000	0,075	0,057
août	0,000	0,019	0,075	1,000	0,038
septembre	0,000	0,038	0,057	0,038	1,000

Figure 10 : Matrice de similarité

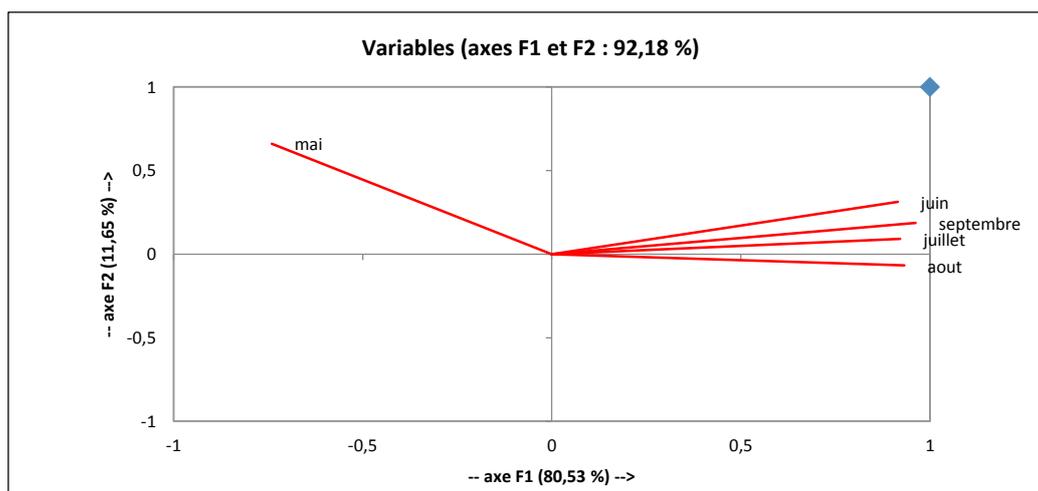


Figure 11 : Mois similaires

Les figures 10 et 11 mettent en exergue le caractère unique du mois de mai comparativement aux autres mois de la saison hivernale par rapport aux séquences sèches. Les séquences sèches du mois de mai n'ont aucune similarité avec les séquences sèches des autres mois de la saison. On observe également que les mois de juillet et août sont les mois les plus similaires du point de vue de l'intensité des séquences sèches.

V.12 Analyse de l'évolution de l'état du jour (sec, humide, très humide) pendant la saison pluvieuse

Pour mener cette analyse, nous avons considéré trois états :

- Etat 1 = S1 = jour ayant encaissé une pluie inférieure à 1 mm = $Pluie < 1\text{ mm}$
- Etat 2 = S2 = jour ayant une pluviométrie entre 1 et 35 mm = $1 \leq Pluie \leq 35\text{ mm}$
- Etat 3 = S3 = jour très humide = $Pluviométrie > 35\text{ mm}$

On $S_i S_j$ lorsque le jour (t) à l'état S_i est précédé du jour (t-1) qui était à l'état S_j avec

$$1 \leq i, j \leq 3 .$$

Autrement dit $S_i S_j$ = jour à l'état S_i sachant que le jour précédent était à l'état S_j .

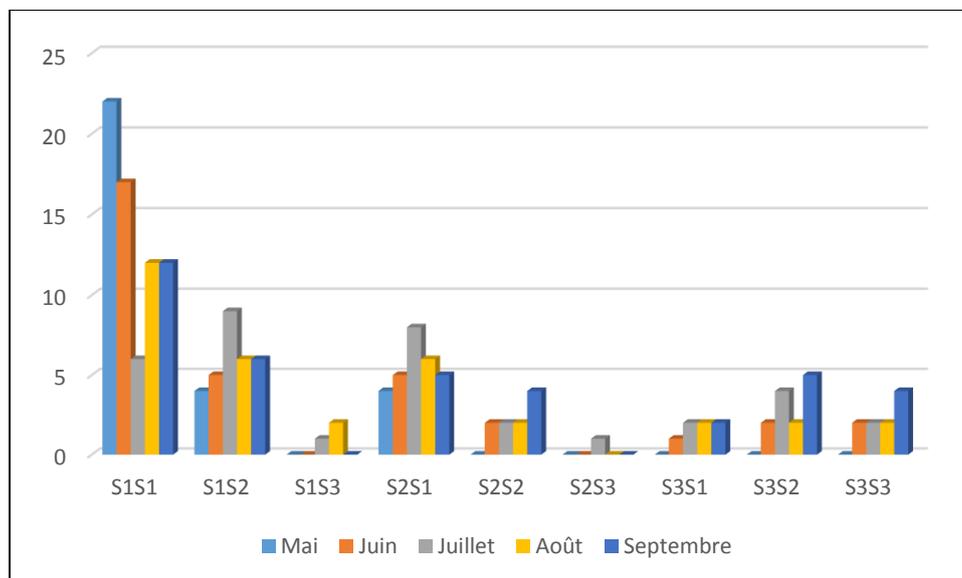


Figure 12 : Succession des états d'humidité par saison

Sur la figure 12, on peut observer que le mois de Mai est celui au cours duquel les jours secs se succèdent le plus souvent. Les pluies intenses se rencontrent généralement pendant le mois de septembre. Les jours de pluies et les jours secs se succèdent plus fréquemment au cours du mois juillet.

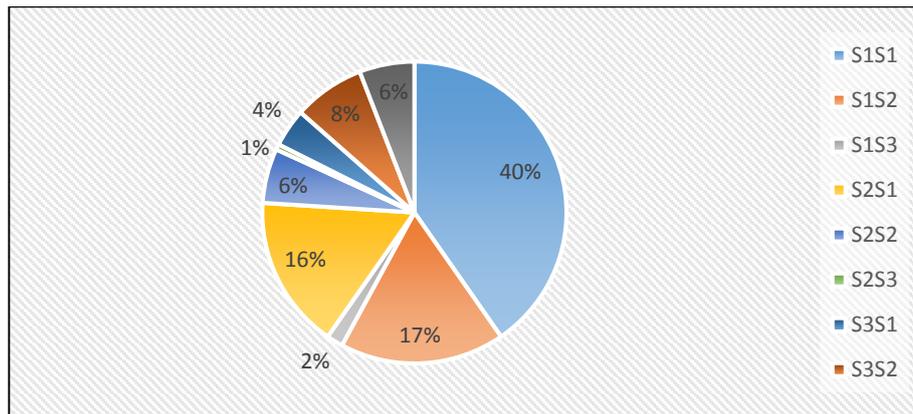


Figure 13 : Distribution des états d'humidité au cours de la saison pluvieuse

La figure 13 illustre le fait que les séquences S1S1 (succession de jours secs) soient les plus fréquentes au cours de la saison des pluies. Les séquences S1S3 et S2S3 ont les fréquences les moins importantes ; ce qui signifie que les pluies intenses sont très peu fréquentes au cours de la période pluvieuse. On peut noter également les fréquences assez significatives pour les séquences S1S2 et S2S1.

V.12 Prédétermination interannuelle des différentes séquences possibles au cours de la saison pluvieuse

Après avoir déterminé les probabilités d'apparition des différentes séquences sèches (S1S1), des séquences pluvieuses (S2S2) ainsi que des autres séquences (S1S3, S1S2, etc.) et ayant obtenu que l'hypothèse nulle de dépendance entre les années et les différentes séquences ne pouvait pas être rejetée à un seuil suffisant; il nous a paru important de trouver une relation entre les années et ces différentes séquences pendant les mois de la saison hivernale. Cette fonction de liaison pourrait permettre, pour une année donnée, de prévoir les différentes occurrences afin de prendre les mesures adaptées pour la protection des cultures. Nous avons tracé les courbes représentant les distributions en pourcentage des probabilités de chaque séquence pour les mois allant de mai à septembre. Puis à l'aide du logiciel MatLab (R2009b), nous avons extrait l'équation de chaque courbe. On obtient que les séquences sèches évoluent suivant une fonction de type sinusoïdale dont la forme est :

$$f(x, \text{séquence}) = a1 * \sin(b1 * x + c1) + a2 * \sin(b2 * x) \quad (3)$$

À l'exception des séquences sèches, toutes les autres séquences évoluent suivant une équation trigonométrique de la forme :

$$f(x, \text{séquence}) = a_0 + a_1 * \cos(x * w) + b_1 * \sin(x * w) \quad (4)$$

Les coefficients a_0 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 , c_2 et w sont différents pour chaque séquence et pour chaque mois. Le x correspond à l'année pour laquelle la prévision doit être faite. L'intervalle de confiance pour ces coefficients est de 95%. Le coefficient de détermination R^2 , mesurant la qualité de l'ajustement de l'équation de régression, est en moyenne de 0.75. Pour les différents coefficients, se référer à l'annexe 7.

A l'aide des équations (3) et (4), nous avons déterminé les probabilités de passage entre les différentes séquences pour l'année 2014. Le tableau VIII est un récapitulatif de ces probabilités.

Tableau VIII : Probabilités de transition entre les séquences pour l'année 2014

Mois	Séquences	S1	S2	S3
Mai	S1	0,52460239	0,47539761	0
	S2	1	0	0
	S3	0	0,58921032	0,41078968
Juin	S1	0,34554888	0,65445112	0
	S2	0	0,52380093	0,47619907
	S3	0,58021349	0,09912149	0,32066502
Juillet	S1	0,06503708	0,67353706	0,26142586
	S2	0,26473888	0,58127232	0,15398881
	S3	0,63072234	0,36927766	0
Août	S1	0,28233649	0,41038275	0,30728076
	S2	0,12499185	0,53133359	0,14852616
	S3	0,68212469	0,25824401	0,14852616
Septembre	S1	0,5059617	0,31429898	0,17973932
	S2	0,38501055	0,43492763	0,18006182
	S3	0,72416875	0,23525813	0,04057313

DISCUSSION ET ANALYSES

VI.1 Série pluviométrique

Il ressort de l'application du test de la méthode bayésienne de Lee et Heghinian que la plupart des points de rupture ont été identifiés entre les années 1968 et 1980. Ce qui met en évidence le déficit pluviométrique des années 1970 et 1980. Ceci est en accord avec les résultats de certains travaux similaires relatifs à l'analyse des séries pluviométriques sahéliennes (Carbonnel et al., 1985 ; Demarée, 1990)

Le test de segmentation de Hubert a mis en évidence trois sous-séries pluviométriques homogènes avant et après les principaux points de rupture. Ainsi, la comparaison des moyennes des sous-séries pluviométriques montre l'ampleur de la transition brutale qui a caractérisé la « grande sécheresse ». Plus de 189 mm séparent les périodes 1961-1968 et 1969-1990 dont la pluviométrie moyenne est respectivement de 704 et 543 mm, soit un déficit pluviométrique de 26%. Par ailleurs, si la période 1990-2013 présente un retour à des précipitations plus abondantes, la moyenne pluviométrique de ces années constitue avec 704.77 mm, un espoir de retour aux conditions pluviométriques d'avant la première rupture (1968).

VI.2 Paramètres de la saison des pluies

L'analyse des données issues des stations de Ouahigouya et de Kongoussi met en évidence les distributions temporelles de la pluviosité et montre que la variabilité est un phénomène général dont les caractéristiques significatives résident dans la persistance et l'ampleur de la variation des paramètres de la saison des pluies. En effet, la troisième décennie du mois de juin constitue en moyenne la période la plus probable du début de saison de la saison agricole dans les deux zones d'étude. La saison débute au plutôt le 09 mai à Ouahigouya et le 16 mai à Kongoussi ; le début le plus tardif a été relevé le 19 août à Ouahigouya et le 04 août à Kongoussi (Annexe 2). Cette fluctuation du début des pluies nécessite une adaptation des activités agricoles car la connaissance des dates du début des pluies est très importante pour la planification des opérations culturales, particulièrement les semis, pour éviter les risques de faux départs. On pourrait se demander, vu la variation des dates de démarrage, s'il ne serait pas judicieux d'utiliser la date moyenne de début pour les semis. L'utilisation de la date moyenne de début des pluies pour l'ensemencement soumettrait l'agriculteur au risque de faux départ, d'autant

plus que la différence entre date moyenne et date observée est souvent importante. Par exemple, sur nos deux sites, la saison débute en moyenne le 22 et le 25 juin ; alors que dans plus de 40% des cas (un peu plus de 2 années sur 5) elle ne débute pas en juin. En ce qui concerne la date de fin de la saison culturale, on relève que la date la plus précoce a été le 20 septembre à Ouahigouya et le 30 septembre à Kongoussi. La fin la plus tardive est observée le 07 novembre à Ouahigouya et le 24 octobre à Kongoussi. Les dates de démarrage de pluie et les dates de fin de pluies présentent une grande variabilité interannuelle. On voit sur le tableau 4 que la relation est inversée entre la date de démarrage et fin de la saison avec un coefficient de corrélation de -0.409 ; ce qui explique qu'en général, un démarrage précoce de la saison des pluies indique une fin tardive.

Les prévisions sur la date de démarrage de la saison ne sont pas totalement en accord avec les prévisions du PRESAO (2014) qui prévoyait un début de saison précoce à normale au Burkina Faso. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les prévisions du PRESAO soient à l'échelle nationale donc intégrant beaucoup plus de contraintes alors qu'ici nous sommes restés à l'échelle départementale. Par contre, nos dates de fin de saison sont tardives comme prévu par les prévisions du PRESAO.

Les dates de démarrage obtenues sont précoces en comparaison des prévisions de Ouédraogo (2013). En effet, à l'issue de ces travaux, Ouédraogo (2013) avait prévu que la saison débiterait le 4 Août 2014 (le 16 juillet selon notre modèle) et prendra fin le 11 Novembre. Même si les dates de fin de saison s'accordent, on remarque l'écart non négligeable entre les deux dates de démarrage. Cet écart s'explique par la différence des modèles, Ouédraogo (2013) a utilisé les sorties du modèle RACMO alors que pour cette étude nous nous sommes basés sur le modèle RCA. Le choix d'un MRC plutôt qu'un autre, voire même une paramétrisation plutôt qu'une autre peut influencer fortement sur le résultat final car les modèles agronomiques sont très sensibles à la qualité du forçage climatique en entrée (Seyni Salack et al, 2012). Il existe donc une part d'incertitude dans l'utilisation des modèles régionaux ; les forçages utilisés dans cette étude sont récents et ont bénéficiés des efforts déployés par les experts réunis autour du GIEC et à travers divers projets, dans le but de réduire cette incertitude.

L'étude a prouvé qu'un rapport significatif existait entre la date de début de la saison des pluies

et la longueur de la saison des pluies. L'équation de la régression obtenue (à Kongoussi) entre le début et la longueur de la saison est la suivante :

$$Y = -1.0446X + 43399$$

$Y = \text{longueur de la saison}$

$X = \text{début de la saison}$

La durée de la saison estimée permet de donner une orientation sur le choix des variétés culturales à pratiquer au cours de la saison. Cet aspect revêt une importance notamment pour l'alerte précoce lorsqu'il s'agit de prendre des mesures pour des zones ayant accusé un retard dans le démarrage de la saison agricole. En effet, à partir de l'analyse de la relation trouvée entre début et longueur de la saison, et de la carte variétale de la zone, il est possible d'élaborer des stratégies agrométéorologiques alternatives en fonction du démarrage de la saison (précoce, normale, tardive). Pour calculer la longueur de la saison des pluies pour une année particulière nous avons fait la différence entre la date de fin et de démarrage de la saison des pluies. Comme il y a une forte variabilité interannuelle des deux dates, ceci se répercute sur la longueur de la saison de pluies. A Ouahigouya, la saison la moins longue est celle de 1971 avec une durée de 46 jours. La plus longue est celle de 1976 avec une durée de 164 jours. A Kongoussi, la saison la moins longue a été observée en 1989/2003 avec une durée de 58 jours. Tandis que la plus longue est celle de 1998 avec une durée de 139 jours. Les années accusant les plus longues saisons des pluies ne sont pas nécessairement celles où la quantité annuelle de pluie est la plus élevée.

VI.3 Séquences sèches

1 Évolution de l'intensité des séquences sèches au cours de la saison

L'analyse de l'historique de la série des séquences sèches de la saison montre que l'intensité (la durée) des séquences sèches est très élevée en début de campagne c'est-à-dire en juin. Ensuite, elle s'atténue en milieu de campagne donc en juillet-août pour s'accroître à partir de septembre qui marque le début de la fin de campagne. Cette atténuation en milieu de campagne

peut s'expliquer par l'intensification du régime pluviométrique dans la période juillet-août. Cette évolution est similaire pour les deux stations.

2 Analyse de la distribution de la fréquence et des probabilités d'occurrence des séquences sèches

Les épisodes secs les plus fréquents au cours de la campagne sont les séquences de moins de 5 jours. Toutefois en termes d'intensité et d'impacts sur les cultures, ils sont les moins préjudiciables surtout en milieu et en fin de campagne. Les séquences sèches prolongées (supérieures à 10 jours) sont à fréquence faible. Ouahigouya et Kongoussi sont deux zones fréquemment soumises à des saisons avec un nombre élevé de séquences sèches. En effet, en moyenne, 32 épisodes secs sont observés chaque saison à Ouahigouya contre 31 à Kongoussi. Les épisodes secs sont généralement plus longs à Ouahigouya qu'à Kongoussi ; et bien que la saison des pluies soit la plupart du temps plus longue à Ouahigouya, on a en moyenne plus de jours de pluie à Kongoussi (*Annexe 2*). Vu que ces deux zones ont approximativement les mêmes précipitations annuelles, dû certainement au fait qu'elles soient toutes deux dans la zone soudano-sahélienne, on peut en déduire qu'il y'a une meilleure répartition des pluies à Kongoussi. La saison des pluies étant relativement plus longue à Ouahigouya, cette zone devient plus propice à la culture des variétés à cycle long que la zone de Kongoussi.

Les figures 7, 8 et 9 démontrent que semer avec les premières pluies demeure assez risqué jusqu'à la première décade de juin. Les probabilités d'enregistrer des périodes de sécheresse après cette date diminuent rapidement et réduisent les risques relatifs à la croissance des cultures. En effet, le risque d'occurrence des séquences sèches de plus de 10 jours est inférieur à 15% au mois de juillet dans les deux zones. En somme, le risque d'occurrence des séquences sèches supérieures à 10 jours est faible (<50%) pour les mois de juin, juillet et août. Cependant, le risque d'occurrence des séquences sèches supérieures à 5 jours est supérieur à 50% aux mois de juin et juillet sur nos deux sites. D'autre part, la probabilité d'occurrence des séquences sèches supérieures à 7 et 10 jours augmente également à partir du mois de septembre ; ce qui limite la culture des variétés à cycles long.

Cette analyse révèle que le mois de juin (notamment dans sa deuxième décade) est la période favorable pour le début de la campagne agricole dans les deux zones alors que la campagne agricole s'installe théoriquement en mai. Ce résultat confirme les dates de recommandations

sur les dates de semis du maïs au Burkina Faso (Sanou, 1989). Le mois de septembre qui peut être marqué par des pluies très intenses marque le début de la fin des pluies sur nos zones d'étude. Ces informations sur les probabilités des périodes de sécheresse au début ou en fin de saison pourraient guider le choix des variétés, et par conséquent, guider celui du système agraire.

3. Fonctions de prédétermination des différentes séquences

Bien que certaines études comme celle de Ouédraogo (2013) aient pu, à l'instar de notre étude, démontrer que les séquences sèches dans nos localités de 1961 à 2013 suivaient une courbe sinusoïdale. Nous avons tout de même évalué nos fonctions de liaison par le critère de Nash, on a obtenu un Nash moyen de 0,12 (valeur éloignée de 1). Les fonctions obtenues sont donc incapables de prédéterminer rigoureusement les séquences pour les années ultérieures. Néanmoins, nous pouvons améliorer le Nash donc améliorer les performances du modèle notamment en intégrant dans le processus de génération des paramètres permettant aux modèles de donner des simulations plus satisfaisantes. L'un de ces paramètres peut être la fonction contrainte, autrement dit nous allons imposer au modèle de nous sortir les résultats sous la forme d'une matrice stochastique ; ce qui permettra au modèle de faire une meilleure estimation. Pour que ce modèle puisse constituer un outil de planification de la stratégie agricole, il faudrait que d'autres études contribuent à l'amélioration de ses performances.

4. Impacts des épisodes secs et des dates de fin précoces sur les cultures

Dans nos deux localités les spéculations les plus en vogue sont le maïs, le mil et le sorgho. Quel que soit la spéculations cultivée, le risque majeur lié aux séquences sèches est celui du déficit hydrique des plantes. Et si le sorgho et le mil peuvent supporter des épisodes de sécheresse de 7 jours sans risque de stress hydrique (Ouédraogo, 2013), ce n'est pas le cas du maïs qui est une plante très exigeante en eau. L'occurrence de ces épisodes a des impacts négatifs sur le rendement grain du maïs au stade de floraison/formation du grain (Benoît SARR et al, 2011). Deux décades consécutives avec une disponibilité hydrique insuffisante pour garantir la survie des plantes pendant la phase de la levée sont une condition nécessaire et suffisante pour la mort des plantes (météorologie July 2003). Au Togo, Poss et al. (1998) ont démontré que si les besoins en eau à la floraison du maïs sont satisfaits à moins de 60%, les rendements deviennent très faibles, quelles que soient les conditions hydriques sur le reste du cycle. Les épisodes secs

à des phases critiques du développement de la plante contribuent donc à la chute du rendement agricole.

Le principal risque lié à la fin précoce de la saison est l'incapacité des cultures à cycle long à boucler leur cycle.

CONCLUSIONS

Dans cette étude, nous avons analysé les différentes caractéristiques de la saison des pluies à Ouahigouya et à Kongoussi notamment le début, la fin, la durée de la saison et les risques d'apparition des épisodes de sécheresse au sein de la saison des pluies. Il en est ressorti que la saison démarre en moyenne entre le 20 et le 25 juin dans les deux localités et prends fin au plus tôt dans la 3^{ème} décade de septembre. Les sorties du modèles CCCma-CanESM2 nous ont permis de prévoir les dates de démarrage et de fin de la saison pour les années 2014 et 2015. Pour l'année 2014, le début de la saison a été prévu pour le 16 juillet à Ouahigouya et à Kongoussi, avec une fin de saison prévu pour le 10 novembre à Kongoussi et pour le 11 novembre à Ouahigouya. En 2015, la saison pourrait être plus précoce avec un début de saison prévu pour le 25 mai à Ouahigouya et pour le 27 mai à Kongoussi. La fin de saison est attendue pour le 29 septembre dans les deux localités.

En ce qui concerne les séquences sèches, les probabilités d'apparition des épisodes secs critiques (>7 jours) pour les cultures comme le mil, le maïs et le sorgho sont plus élevées pendant le début du mois de juin et à partir du mois de septembre. De ce fait, une irrigation de complément pourrait être nécessaire pendant ces périodes. Les séquences sèches les plus courtes donc présentant moins de risques pour les cultures sont les plus récurrentes avec une probabilité d'apparition élevée. Bien que pour la méthode agronomique de Sivakumar la date de démarrage de la saison corresponde à la date de semi, nous avons obtenu après simulations de périodes de semi sur Instat que le mois de juin est la période la plus favorable pour les semis.

Nous avons également dégagé les équations décrivant l'évolution des séquences sèches et des autres états possibles. Ces équations doivent néanmoins être amélioré afin d'en faire un outil performant pour le système agraire dans les zones concernées par cette étude.

Les résultats issus de cette analyse, contribueront à actualiser l'information climatique dans nos deux localités, ce qui constituera un élément important dans la prise de décision par les agriculteurs.

RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVE

Au regard des prévisions fournies, nous pouvons recommander :

- 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 en raison de la forte occurrence des séquences au cours de ce mois.
- De privilégier 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.
- 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.

En perspective, on pourrait envisager de poursuivre cette étude notamment en ce qui concerne les fonctions de prédétermination des séquences sèches. En plus d'imposer qu'on ait à la sortie du modèle une matrice stochastique, on pourrait reprendre ce travail sur les trois périodes significatives : la période avant la sécheresse (avant 1968), pendant la sécheresse (1968-1990) et la période après la sécheresse (après 1990). La considération de ses trois périodes contribuera sûrement à réduire les artefacts et à améliorer la performance des modèles.

Le tableau des transitions entre les séquences pour la campagne de l'année 2014 devra être confronté aux données pluviométriques de l'après campagne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afouda A., Adisso P. «Etude stochastique des structures de séquences sèches au Bénin.» *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports Intern Assoc Hydrological Sciences*, 1997: 43-50.
- Balme, M., S. Galle, et T. Lebel. «Démarrage de la saison des pluies au sahel: Variabilité aux échelles hydrologique et agronomique analysée à partir des données EPSAT-Niger.» *Sécheresse*, 2005: 15-22.
- Brou, T, Y. «Analyse et dynamique de la pluviométrie en milieux forestier ivoirien: recherches de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques.» *Thèse de doctorat Université de Cocody-Abidjan*, 1997: 210.
- Carmelo Conesa Garcia, Javier Martin-Vide. «Analyse par la chaîne de Markov de la sécheresse dans le Sud-Est de l'Espagne.» *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 1993: 123-9.
- Dedehouanou P. V. V., Vodouhe S. D., Tossou R. C., & AgbossoU E. K. «correspondances entre savoirs locaux et scientifiques: perceptions des changements climatiques et adaptations.» 2010.
- Fontaine, B., et Janicot S. «L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest.» *La Météorologie*, 1993: 1 : 28-53.
- G.R., Demarée. «An indication of climatic change as seen from the rainfall data of a Mauritanian station.» *Theoretical and Applied Climatology*, 1990: 139-147.
- Hind Meddi, Mohamed Meddi. «Variabilité des précipitations annuelles au Nord-Ouest de l'Algérie.» *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 2009: 57-65.
- Ibrahim, Boubacar. *Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts* . 2012.
- INSD. *Le burkina en chiffre*. 2003.

IPCC. *Climate change : Synthesis report, Contribution of working groups I,II and III.* Switzerland: IPCC., 2007.

J., Sanou. «Etat de la production du maïs au Burkina Faso. Recommandation de la recherche Agricole.» *INERA Bobo Dioulasso*, 1989.

J.P., Carbonnel, et Hubert P. *Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute Volta).* Comptes rendus de l'académie des Sciences de Paris, 1985.

Karambiri, H., G.-S. Garcia, J. Giraldo, H. Yacouba, Ibrahim, et B., et Polcher, J. Barbier. «Climate variability analysis and impacts assessment on water resources in West Africa .» *Atmos Sci*, 2011: 109-115.

Lionnel Ouedraogo. «prédétermination des séquences sèches et intérêt de l'information climatique sur la production céréalière en zone sahélienne .» *Mémoire master 2 (2IE)*, 2013.

MAHRH, Rapport du. Burkina Faso, 2004.

météorologie, La direction générale de la. «harmonisation of climate prediction for mitigation of global change impact in sudano-sahelian west africa.» *climag west africa*, July 2003.

Ozer P., Catherine B., Bernard T. «Analyse climatique de la région de Gouré, Niger orientale: récentes modifications et impacts environnementaux.» *Cybergeo: European Journal of Geography*, 2005.

PRESAO. «Prévisions saisonnières des pluies, des caractéristiques agro-climatiques et des écoulements en Afrique de l'Ouest, au Cameroun et au Tchad.» Bamako, 2 Mai 2014.

R, Poss, Saragoni H, et Imbernon J. «Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional.» *Agr. trop.*, 1988: 18-29.

Sarr, Benoît, Luc Kafando, et Sanoussi Atta. «Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso.» *Centre Régional Agrymet, Département Formation et Recherche*, 2011: 1659-1675.

SE, Nicholson. *Climate, drought and famine in Africa*. Hansen A, McMillan DE, eds. Food in Sub-Saharan Africa. Boulder (Colorado): Lynne Rienner, 1986.

Seyni Salack, Benjamin Sultan, Pascal Oettli, Bertrand Muller, Amadou T. Gaye, Fr ederic Hourdin. «Representation de la pluie dans les modeles regionaux de climat et application a l'estimation des rendements du mil au Senegal.» *Sécheresse*, 2012: 14-23.

Sultan B., Janicot S., Baron C., Dingkuhn M., Muller B., Traoré S., Saar B. «les impacts agronomiques du climat en Afrique de l'Ouest: une illustration des problèmes majeures.» *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 2008: 29-37.

ANNEXES

Annexe 1 : les séquences sèches maximales pendant la saison pluvieuse	41
Annexe 2 : Paramètre moyen et extrême de la saison.....	43
Annexe 3: Dates de début et fin de saison à Kongoussi (1960-2008).....	44
Annexe 4: Dates de début et fin de saison à Ouahigouya (1961-2013)	46
Annexe 5: Corrélation entre le nombre de séquences sèches et leur intensité à Kongoussi	48
Annexe 6: Corrélation entre le nombre de séquences sèches et leur intensité à Ouahigouya..	49
Annexe 7 : Coefficient des fonctions de liaisons	50
Annexe 8: Evolution des séquences à Ouahigouya.....	52
Annexe 9: Evolution des séquences à Kongoussi	67
Annexe 10: Test de Buishand et ellipse de bois.....	81
Annexe 11: Test de segmentation de Hubert	82
Annexe 12: Zones climatiques du Burkina Faso 1951-1980	83
Annexe 13: Zones climatiques du Burkina Faso 1961-1990	84
Annexe 14: Zones climatiques du Burkina Faso 1971-2000	85
Annexe 15: Zones climatiques du Burkina Faso 1981-2010	86
Annexe 16: Périodes de sensibilité des plantes au stress hydrique	87
Annexe 17: Pluie cumulée à Ouahigouya pour la saison 2014	88
Annexe 18: Prévision des dates de début de saison des pluies dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014).....	89

Annexe 19: Prévision des dates de fin de saison des pluies dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014).....	90
Annexe 20: Prévision des séquences sèches après les dates de début de saison agricole dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)	91
Annexe 21: Prévision des séquences sèches post-floraison dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014).....	92
Annexe 22: prévision des précipitations pour la période de Juin-Juillet-Aout 2014 dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014).....	93
Annexe 23: Prévision des précipitations pour la période de Juillet-Aout-Septembre 2014 dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)	94
Annexe 24: Risque d'occurrence de cumul hebdomadaire extrême du 01 septembre au 08 septembre 2014	95

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

Annexe 1 : les séquences sèches maximales pendant la saison pluvieuse

<i>Mois</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>	<i>Septembre</i>
1961	12	8	3	5	7
1962	9	5	5	6	6
1963	20	9	4	5	5
1964	10	6	4	5	8
1965	13	6	7	4	6
1966	27	8	6	4	9
1967	20	7	4	3	4
1968	9	13	3	4	6
1969	19	11	5	3	4
1970	23	6	5	6	4
1971	19	9	6	3	7
1972	13	8	9	4	4
1973	15	10	7	6	9
1974	14	11	5	3	9
1975	10	5	4	3	7
1976	6	6	5	5	8
1977	16	8	17	7	7
1978	9	5	7	4	4
1979	31	3	9	3	4
1980	18	6	6	6	11
1981	18	15	5	4	5
1982	8	18	8	8	14
1983	19	9	5	4	6
1984	11	6	4	5	12
1985	25	12	4	8	11
1986	9	7	4	4	5

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

<i>1987</i>	<i>31</i>	<i>4</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>5</i>
<i>1988</i>	<i>31</i>	<i>13</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>10</i>
<i>1989</i>	<i>21</i>	<i>11</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>10</i>
<i>1990</i>	<i>12</i>	<i>21</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>8</i>
<i>1991</i>	<i>7</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>2</i>	<i>10</i>
<i>1992</i>	<i>9</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>1993</i>	<i>19</i>	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>
<i>1994</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>1995</i>	<i>11</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>6</i>	<i>6</i>
<i>1996</i>	<i>18</i>	<i>24</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>5</i>
<i>1997</i>	<i>8</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>11</i>
<i>1998</i>	<i>13</i>	<i>11</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>1999</i>	<i>10</i>	<i>16</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>2000</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>8</i>
<i>2001</i>	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>11</i>
<i>2002</i>	<i>9</i>	<i>13</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>2003</i>	<i>16</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>8</i>
<i>2004</i>	<i>15</i>	<i>11</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>2005</i>	<i>20</i>	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>3</i>	<i>9</i>
<i>2006</i>	<i>17</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>3</i>	<i>5</i>
<i>2007</i>	<i>15</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>2008</i>	<i>21</i>	<i>10</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>8</i>
<i>2009</i>	<i>9</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>5</i>
<i>2010</i>	<i>11</i>	<i>8</i>	<i>7</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>2011</i>	<i>17</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>2012</i>	<i>12</i>	<i>6</i>	<i>6</i>	<i>4</i>	<i>3</i>
<i>2013</i>	<i>12</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>5</i>

Annexe 2 : Paramètre moyen et extrême de la saison

	OUAHIGOUYA	KONGOSSI
<i>Date de début moyenne</i>	22-juin	25-juin
<i>Date de fin moyenne</i>	13-oct	02-oct
<i>Date de début au plutôt</i>	09-mai	16-mai
<i>Date de fin au plus tôt</i>	20-sept	30-sept
<i>Date de début au plus tard</i>	19-août	04-août
<i>Date de fin au plus tard</i>	07-nov	24-oct
<i>NJP moyen</i>	46,36	49,43
<i>NJP maximal</i>	72	75
<i>NJP minimal</i>	35	30
<i>Longueur moyenne de la saison</i>	113,58	98,39
<i>Longueur maximale de la saison</i>	164	139
<i>Longueur minimale de la saison</i>	46	58
<i>Nombre moyen de séquences sèches annuel (saison pluvieuse)</i>	32	31
<i>Nombre maximal de séquences sèches annuel (saison pluvieuse)</i>	41	42
<i>Nombre minimal de séquences sèches annuel (saison pluvieuse)</i>	23	20
<i>Moyenne des intensités maximale de séquence sèche</i>	16	10

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

Annexe 3: Dates de début et fin de saison à Kongoussi (1960-2008)

<i>Année</i>	<i>Début de saison</i>	<i>Fin de saison</i>	<i>Longueur de la saison (jrs)</i>	<i>NJP</i>	<i>Pluie annuelle (mm)</i>	<i>Séquence sèche maximale</i>
1960	30-juin	03-oct	95	58	658,3	5
1961	07-juin	04-oct	119	55	875,2	13
1962	26-mai	04-oct	131	64	756,5	6
1963	26-mai	10-oct	137	61	691,9	30
1964	17-juin	30-sept	105	64	632,7	4
1965	05-juil	30-sept	87	51	744,7	8
1966	15-juin	30-sept	107	57	698,1	5
1967	28-mai	07-oct	132	51	537,6	11
1968	15-juil	06-oct	83	75	755,8	9
1969	26-juin	01-oct	97	56	636	5
1970	29-juin	30-sept	93	52	508	4
1971	19-juil	30-sept	73	47	560	6
1972	20-juin	30-sept	102	50	492,4	7
1973	04-juin	01-oct	119	48	621,2	6
1974	11-juin	03-oct	114	50	861,3	24
1975	03-juil	03-oct	92	59	668,5	3
1976	24-juil	30-sept	68	53	564,5	8
1977	03-août	01-oct	59	44	434,1	13
1978	02-juil	02-oct	92	67	787,9	5
1979	25-mai	30-sept	128	60	554,2	13
1980	13-juil	30-sept	79	51	610,4	8
1981	13-juin	30-sept	109	47	751,5	11
1982	28-juin	30-sept	94	48	528	11
1983	14-juin	30-sept	108	38	464,4	10

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

1984	<i>16-mai</i>	<i>30-sept</i>	<i>137</i>	<i>36</i>	<i>413,8</i>	<i>7</i>
1985	<i>26-juil</i>	<i>01-oct</i>	<i>67</i>	<i>39</i>	<i>419,7</i>	<i>8</i>
1986	<i>22-juil</i>	<i>30-sept</i>	<i>70</i>	<i>43</i>	<i>547,1</i>	<i>5</i>
1987	<i>24-juin</i>	<i>08-oct</i>	<i>106</i>	<i>30</i>	<i>484,8</i>	<i>17</i>
1988	<i>14-juin</i>	<i>04-oct</i>	<i>112</i>	<i>50</i>	<i>822,5</i>	<i>5</i>
1989	<i>03-août</i>	<i>30-sept</i>	<i>58</i>	<i>49</i>	<i>567,1</i>	<i>8</i>
1990	<i>16-juil</i>	<i>01-oct</i>	<i>77</i>	<i>34</i>	<i>447,3</i>	<i>8</i>
1991	<i>16-juil</i>	<i>30-sept</i>	<i>76</i>	<i>48</i>	<i>703,4</i>	<i>9</i>
1992	<i>06-juin</i>	<i>30-sept</i>	<i>116</i>	<i>44</i>	<i>637,5</i>	<i>19</i>
1993	<i>13-juin</i>	<i>30-sept</i>	<i>109</i>	<i>35</i>	<i>558,9</i>	<i>6</i>
1994	<i>18-juin</i>	<i>24-oct</i>	<i>128</i>	<i>54</i>	<i>922,2</i>	<i>7</i>
1995	<i>20-juin</i>	<i>30-sept</i>	<i>102</i>	<i>43</i>	<i>513,9</i>	<i>9</i>
1996	<i>05-juil</i>	<i>04-oct</i>	<i>91</i>	<i>53</i>	<i>643,2</i>	<i>15</i>
1997	<i>12-juin</i>	<i>07-oct</i>	<i>117</i>	<i>70</i>	<i>773,1</i>	<i>6</i>
1998	<i>16-mai</i>	<i>02-oct</i>	<i>139</i>	<i>48</i>	<i>775,7</i>	<i>4</i>
1999	<i>27-juin</i>	<i>30-sept</i>	<i>95</i>	<i>57</i>	<i>718,2</i>	<i>6</i>
2000	<i>04-juil</i>	<i>30-sept</i>	<i>88</i>	<i>38</i>	<i>476,9</i>	<i>11</i>
2001	<i>28-mai</i>	<i>08-oct</i>	<i>133</i>	<i>45</i>	<i>720,3</i>	<i>7</i>
2002	<i>16-juil</i>	<i>30-sept</i>	<i>76</i>	<i>35</i>	<i>594,9</i>	<i>11</i>
2003	<i>04-août</i>	<i>01-oct</i>	<i>58</i>	<i>44</i>	<i>749</i>	<i>13</i>
2004	<i>17-juil</i>	<i>30-sept</i>	<i>75</i>	<i>40</i>	<i>494</i>	<i>7</i>
2005	<i>15-juin</i>	<i>01-oct</i>	<i>108</i>	<i>52</i>	<i>762,8</i>	<i>10</i>
2006	<i>22-juil</i>	<i>06-oct</i>	<i>76</i>	<i>45</i>	<i>425,3</i>	<i>11</i>
2007	<i>23-juin</i>	<i>30-sept</i>	<i>99</i>	<i>40</i>	<i>634,8</i>	<i>28</i>
2008	<i>08-juil</i>	<i>01-oct</i>	<i>85</i>	<i>44</i>	<i>497,7</i>	<i>9</i>

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

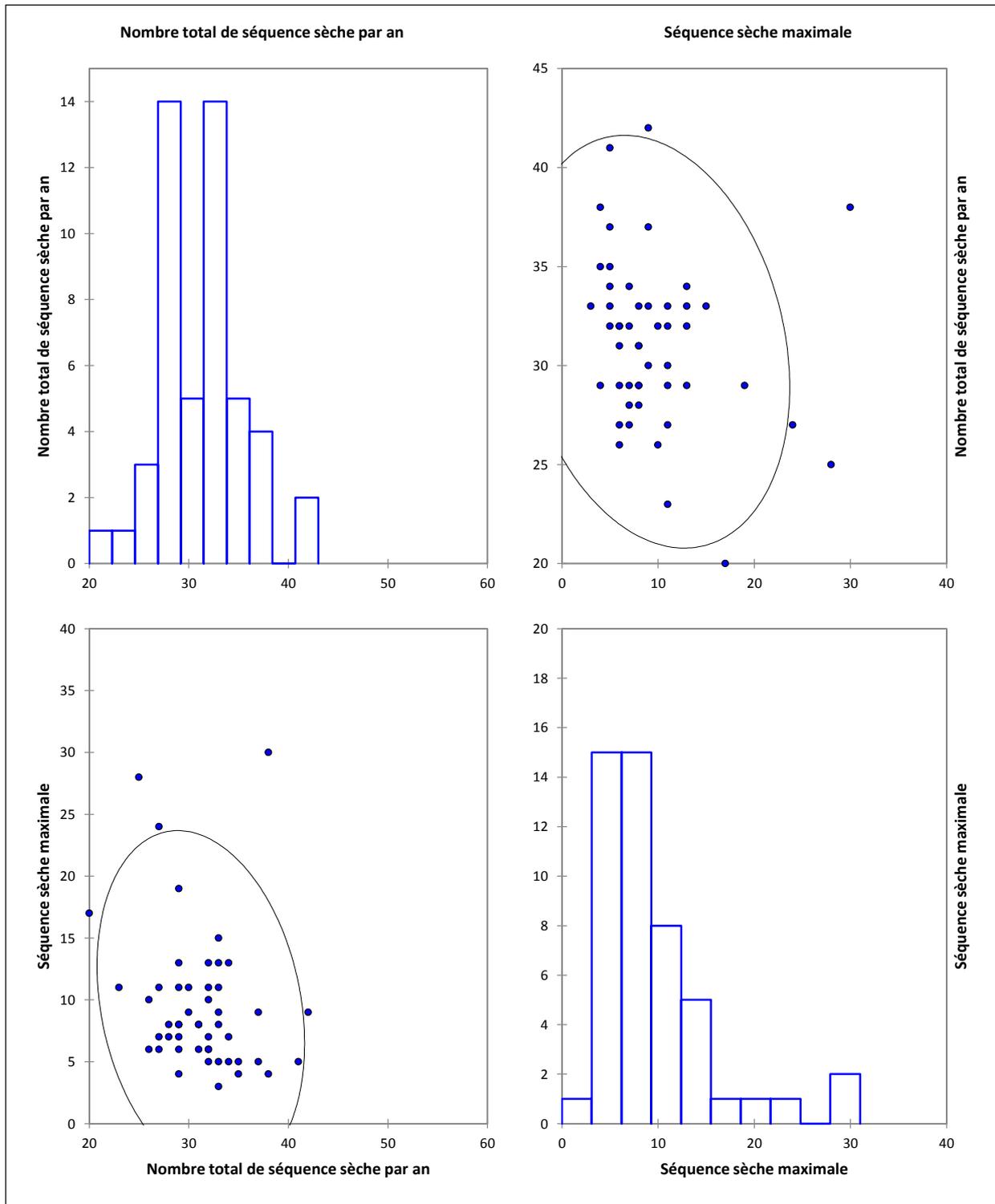
Annexe 4: Dates de début et fin de saison à Ouahigouya (1961-2013)

<i>Année</i>	<i>Début de Saison</i>	<i>de Fin de Saison</i>	<i>Longueur de la saison (jrs)</i>	<i>NJP</i>	<i>Pluie annuelle (mm)</i>	<i>séquence sèche maximale</i>
1961	30-juin	27-sept	89	47	749	12
1962	15-juin	04-nov	142	53	805	9
1963	11-juin	23-oct	134	49	819	20
1964	30-mai	29-sept	122	54	591	10
1965	05-juin	25-oct	142	53	751	13
1966	20-juil	21-oct	93	43	660	27
1967	17-juin	10-oct	115	54	782	20
1968	26-juin	22-oct	118	53	702	13
1969	21-juin	13-oct	114	43	610	19
1970	01-juil	27-sept	88	44	521	23
1971	10-août	25-sept	46	43	481	19
1972	30-juil	27-oct	89	43	501	13
1973	27-juin	03-oct	98	37	477	15
1974	04-juil	16-oct	104	51	758	14
1975	04-juil	23-sept	81	45	583	10
1976	12-mai	23-oct	164	52	520	6
1977	21-juil	30-sept	71	47	425	17
1978	18-juin	29-oct	133	54	775	9
1979	04-juin	29-oct	147	48	578	31
1980	02-juin	22-oct	142	44	576	18
1981	19-juin	12-oct	115	51	836	18
1982	09-juil	13-oct	96	37	360	18
1983	15-juil	29-sept	76	36	358	19
1984	04-juil	10-oct	98	39	391	12
1985	27-juin	09-oct	104	35	420	25
1986	01-juil	03-oct	94	47	590	9

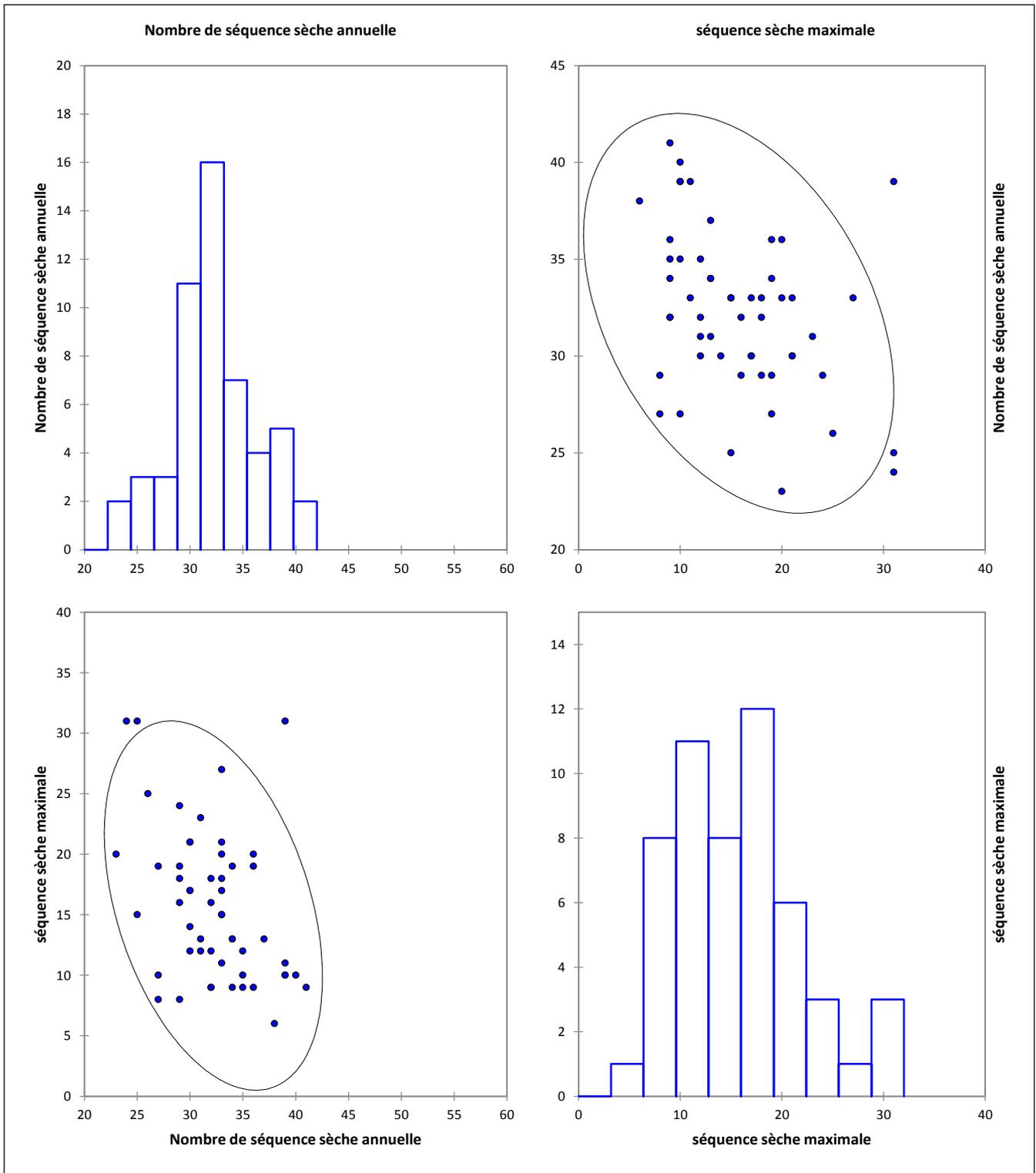
Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

1987	<i>19-août</i>	<i>10-oct</i>	52	42	466	31
1988	<i>04-juil</i>	<i>20-sept</i>	78	35	707	31
1989	<i>07-juil</i>	<i>09-oct</i>	94	44	612	21
1990	<i>04-juil</i>	<i>13-oct</i>	101	39	403	21
1991	<i>19-mai</i>	<i>22-oct</i>	156	55	679	10
1992	<i>04-juin</i>	<i>07-nov</i>	156	58	713	9
1993	<i>27-juin</i>	<i>22-oct</i>	117	41	603	19
1994	<i>18-juin</i>	<i>20-oct</i>	124	60	964	10
1995	<i>04-juin</i>	<i>18-oct</i>	136	46	613	11
1996	<i>03-juil</i>	<i>13-oct</i>	102	42	730	24
1997	<i>09-juil</i>	<i>17-oct</i>	100	41	590	8
1998	<i>01-juil</i>	<i>25-oct</i>	116	48	671	13
1999	<i>22-juin</i>	<i>08-oct</i>	108	49	672	16
2000	<i>09-mai</i>	<i>12-oct</i>	156	39	577	8
2001	<i>05-juin</i>	<i>08-oct</i>	125	35	733	10
2002	<i>28-juin</i>	<i>10-oct</i>	104	47	579	9
2003	<i>17-juin</i>	<i>24-oct</i>	129	48	729	16
2004	<i>08-juil</i>	<i>03-oct</i>	87	38	596	15
2005	<i>13-juin</i>	<i>11-oct</i>	120	37	575,1	20
2006	<i>19-juin</i>	<i>07-oct</i>	110	44	647,5	17
2007	<i>17-juin</i>	<i>21-oct</i>	126	49	935,6	15
2008	<i>10-juin</i>	<i>19-oct</i>	131	46	759,3	21
2009	<i>14-mai</i>	<i>30-oct</i>	169	43	755	9
2010	<i>09-juin</i>	<i>21-oct</i>	134	63	898,7	11
2011	<i>06-juin</i>	<i>12-oct</i>	128	53	505,3	17
2012	<i>11-juin</i>	<i>21-oct</i>	132	72	963,6	12
2013	<i>18-juin</i>	<i>10-oct</i>	114	41	712,6	12

Annexe 5: Corrélation entre le nombre de séquences sèches et leur intensité à Kongoussi



Annexe 6: Corrélation entre le nombre de séquences sèches et leur intensité à Ouahigouya



Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

Annexe 7 : Coefficient des fonctions de liaisons

séquences	coefficients	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
S1S1	a1	15,01	0,3862	0,337	0,3353	0,3263
	b1	0,0005967	0,0003103	0,01714	0,008999	0,0001286
	c1	121,30	121,3	86,9	103,1	120,7
	a2	0,48	0,3958	0,3297	0,3385	0,281
	b2	2,09	2,091	2,106	2,09	2,093
	c2	163,10	166,4	137,1	170	162,1
S2S1	a0	0,2962	0,3341	0,3395	0,3328	0,3317
	a1	0,3741	-0,07921	0,3253	0,1378	-0,2748
	b1	-0,2851	-0,3921	0,08148	-0,3076	0,05862
	w	0,05862	2,095	2,106	2,089	2,094
S3S1	a0	0,2802	0,3287	0,3351	0,3352	0,3306
	a1	-0,2817	0,3422	-0,3266	-0,3378	0,1083
	b1	0,3691	0,1913	0,06014	0,03811	0,2593
	w	2,093	2,095	2,105	2,089	2,095
S1S2	a0	0,4368	0,3345	0,3375	0,3428	0,335
	a1	-0,372	-0,4007	-0,1659	-0,06177	-0,1462
	b1	0,3097	-0,2631	-0,1098	-0,216	0,09272
	w	2,095	2,094	2,088	2,091	2,094
S2S2	a0	0,2785	0,3263	0,3276	0,3272	0,3225
	a1	0,3685	-0,2856	-0,06599	0,1963	-0,1401
	b1	0,2326	0,3767	0,1704	-0,08531	-0,06949
	w	2,092	2,094	2,091	2,093	2,092
S3S2	a0	0,2851	0,3392	0,3347	0,3298	0,3427
	a1	-0,34	-0,1125	0,1152	0,124	-0,02998
	b1	-0,3217	-0,4734	0,1468	-0,1852	-0,1698
	w	2,097	2,093	2,089	2,091	2,097
S1S3	a0	0,07513	0,3245	0,3394	0,3301	0,3315
	a1	-0,124	0,03693	0,3831	0,4668	0,1365

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	b1	0,05399	0,304	-0,2428	0,04433	-0,378
	w	2,527	1,642	2,09	2,1	2,102
S2S3	a0	0,07789	0,2295	0,335	0,3399	0,3379
	a1	0,03883	-0,1832	0,3621	0,2831	-0,3944
	b1	0,1327	0,04236	0,2763	-0,3782	-0,04415
	w	2,565	1,644	2,088	2,1	2,099
S3S3	a0	0,1501	0,3156	0,3256	0,3298	0,3299
	a1	0,1013	-0,1521	-0,2909	0,124	-0,1392
	b1	0,1493	0,2386	0,341	-0,1852	0,4514
	w	2,595	1,66	2,09	2,091	2,096

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

Annexe 8: Evolution des séquences à Ouahigouya

Année	Séquences	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1961	S1S1	22	17	6	12	12
	S1S2	4	5	9	6	6
	S1S3	0	0	1	2	0
	S2S1	4	5	8	6	5
	S2S2	0	2	2	2	4
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	0	1	2	2	2
	S3S2	0	2	4	2	5
	S3S3	0	2	2	2	4
1962	S1S1	22	13	13	7	12
	S1S2	4	8	5	7	7
	S1S3	0	0	1	1	1
	S2S1	3	8	6	6	6
	S2S2	1	0	4	4	2
	S2S3	0	0	0	2	0
	S3S1	0	1	1	1	2
	S3S2	1	0	4	6	3
	S3S3	1	0	4	4	2
1963	S1S1	27	15	11	8	13
	S1S2	2	5	7	7	6
	S1S3	0	1	1	1	0
	S2S1	1	6	6	6	7
	S2S2	0	1	2	7	1
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	0	1	2	1	1
	S3S2	0	1	3	7	1
	S3S3	0	1	2	7	1
1964	S1S1	21	12	8	9	12
	S1S2	4	8	9	7	7

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S1	4	8	9	9	6
	S2S2	1	1	4	3	3
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S1	0	1	0	0	1
	S3S2	1	1	4	3	4
	S3S3	1	1	4	3	3
1965	S1S1	22	15	14	8	13
	S1S2	4	4	8	6	6
	S1S3	0	1	0	1	0
	S2S1	4	4	7	7	5
	S2S2	0	2	1	5	3
	S2S3	0	1	0	1	1
	S3S1	0	2	0	1	1
	S3S2	0	3	1	6	5
	S3S3	0	2	1	5	3
1966	S1S1	28	16	14	12	16
	S1S2	1	6	7	6	5
	S1S3	0	0	0	2	0
	S2S1	1	6	7	7	5
	S2S2	0	1	2	1	3
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	0	2	0
	S3S2	0	1	2	1	4
	S3S3	0	1	2	1	3
1967	S1S1	24	17	8	7	9
	S1S2	2	4	7	5	7
	S1S3	0	1	1	3	1
	S2S1	2	4	8	5	7
	S2S2	2	0	5	8	4
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	0	2	0	3	2

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S2	2	0	5	8	4
	S3S3	2	0	5	8	4
1968	S1S1	17	22	7	8	18
	S1S2	6	2	7	5	4
	S1S3	0	0	1	0	1
	S2S1	6	3	8	6	5
	S2S2	1	2	4	8	0
	S2S3	0	1	1	0	1
	S3S1	0	0	0	0	1
	S3S2	1	2	5	8	0
	S3S3	1	2	4	8	0
1969	S1S1	26	19	12	8	12
	S1S2	2	4	5	7	7
	S1S3	0	0	2	2	1
	S2S1	2	5	6	7	7
	S2S2	0	1	1	5	1
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	0	0	2	2	2
	S3S2	0	1	1	5	1
	S3S3	0	1	1	5	1
1970	S1S1	25	20	5	14	10
	S1S2	1	4	9	7	7
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S1	2	4	10	5	7
	S2S2	0	1	2	2	3
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	1	1	1
	S3S2	0	1	2	2	4
	S3S3	0	1	2	2	3
1971	S1S1	26	21	14	5	15
	S1S2	2	3	4	7	6
	S1S3	0	1	1	1	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S1	2	3	5	8	6
	S2S2	0	0	3	6	2
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	0	2	1	1	1
	S3S2	0	0	3	6	2
	S3S3	0	0	3	6	2
1972	S1S1	24	16	20	11	14
	S1S2	3	5	4	8	5
	S1S3	0	1	1	0	0
	S2S1	3	6	3	9	4
	S2S2	0	0	1	1	2
	S2S3	0	1	0	1	0
	S3S1	0	1	1	0	1
	S3S2	0	0	1	1	3
	S3S3	0	0	1	1	2
1973	S1S1	26	21	14	16	13
	S1S2	2	4	6	5	6
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S1	2	4	6	6	5
	S2S2	0	0	4	1	5
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	0	1	0	1	1
	S3S2	0	0	4	1	6
	S3S3	0	0	4	1	5
1974	S1S1	26	17	10	5	17
	S1S2	2	5	5	7	5
	S1S3	0	0	0	2	0
	S2S1	2	6	4	8	5
	S2S2	0	1	5	5	2
	S2S3	0	1	0	1	0
	S3S1	0	0	2	1	1
	S3S2	0	1	6	5	2

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S3	0	1	5	5	2
1975	S1S1	24	17	8	9	12
	S1S2	3	6	9	7	7
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S1	3	6	10	8	7
	S2S2	0	0	3	2	2
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S1	0	1	0	1	1
	S3S2	0	0	3	3	2
	S3S3	0	0	3	2	2
	1976	S1S1	18	19	14	13
S1S2		6	4	7	7	6
S1S3		0	1	0	0	0
S2S1		6	4	7	7	7
S2S2		0	0	3	3	5
S2S3		0	0	0	0	2
S3S1		0	2	0	0	0
S3S2		0	0	3	3	6
S3S3		0	0	3	3	5
1977		S1S1	22	13	21	13
	S1S2	2	8	4	7	7
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S1	3	8	3	7	7
	S2S2	1	0	1	1	1
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	1	1	0
	S3S2	1	0	1	2	2
	S3S3	1	0	1	1	1
	1978	S1S1	19	14	13	10
S1S2		5	6	3	8	7
S1S3		0	1	3	0	0
S2S1		5	7	3	8	8

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S2	1	0	5	4	2
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	0	1	3	0	1
	S3S2	1	0	5	4	2
	S3S3	1	0	5	4	2
1979	S1S1	30	5	19	5	13
	S1S2	0	11	4	11	4
	S1S3	0	0	1	0	1
	S2S1	0	11	4	11	5
	S2S2	0	2	1	3	3
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	1	0	1
	S3S2	0	2	1	3	3
	S3S3	0	2	1	3	3
1980	S1S1	24	17	10	11	13
	S1S2	3	6	9	7	7
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S1	3	6	7	6	7
	S2S2	0	0	0	6	2
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	0	1	2	0	1
	S3S2	0	0	1	6	2
	S3S3	0	0	0	6	2
1981	S1S1	22	17	12	8	10
	S1S2	2	4	5	8	9
	S1S3	2	1	1	0	0
	S2S1	3	4	5	7	9
	S2S2	0	2	6	7	1
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	2	2	0	0	1
	S3S2	0	2	6	7	1
	S3S3	0	2	6	7	1

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

1982	S1S1	20	18	20	10	22
	S1S2	4	4	5	8	3
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S1	4	3	5	8	3
	S2S2	2	2	0	2	1
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	0	1	0
	S3S2	2	2	0	2	2
	S3S3	2	2	0	2	1
1983	S1S1	26	21	11	11	16
	S1S2	2	4	7	7	7
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S1	2	4	7	7	6
	S2S2	0	0	5	3	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	0	1	0	1	1
	S3S2	0	0	5	3	1
	S3S3	0	0	5	3	0
1984	S1S1	21	17	14	13	20
	S1S2	3	6	6	8	3
	S1S3	0	0	1	0	1
	S2S1	4	6	7	8	4
	S2S2	0	0	1	1	0
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	1	0	1
	S3S2	0	0	1	1	0
	S3S3	0	0	1	1	0
1985	S1S1	26	21	11	11	20
	S1S2	2	3	9	8	3
	S1S3	0	1	1	0	0
	S2S1	2	3	8	7	4
	S2S2	0	0	1	4	2

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	2	1	0	0
	S3S2	0	0	1	4	2
	S3S3	0	0	1	4	2
1986	S1S1	17	14	13	12	11
	S1S2	6	6	7	7	5
	S1S3	0	0	1	2	1
	S2S1	7	7	6	7	5
	S2S2	0	0	2	0	6
	S2S3	0	2	0	0	0
	S3S1	0	0	1	2	2
	S3S2	0	1	2	0	6
	S3S3	0	0	2	0	6
1987	S1S1	30	12	16	14	14
	S1S2	0	5	6	6	4
	S1S3	0	1	0	0	0
	S2S1	0	5	6	6	5
	S2S2	0	5	2	4	4
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	0	2	0	0	1
	S3S2	0	5	2	4	4
	S3S3	0	5	2	4	4
1988	S1S1	30	21	15	8	17
	S1S2	0	3	3	7	3
	S1S3	0	0	2	2	2
	S2S1	0	3	3	7	3
	S2S2	0	0	3	2	2
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S1	0	1	3	2	3
	S3S2	0	0	4	3	2
	S3S3	0	0	3	2	2
1989	S1S1	24	21	11	7	17

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S1S2	3	4	9	7	6
	S1S3	0	0	1	1	0
	S2S1	3	4	8	7	6
	S2S2	0	0	1	6	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S1	0	1	1	1	1
	S3S2	0	0	1	7	0
	S3S3	0	0	1	6	0
1990	S1S1	24	18	10	13	17
	S1S2	3	5	7	8	5
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S1	3	6	7	8	5
	S2S2	0	0	4	2	2
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	0	0	1	0	1
	S3S2	0	0	4	2	2
	S3S3	0	0	4	2	2
1991	S1S1	20	13	13	6	13
	S1S2	4	5	8	8	7
	S1S3	1	1	0	0	0
	S2S1	4	7	8	8	7
	S2S2	0	0	1	8	2
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	1	1	0	0	1
	S3S2	0	0	1	8	2
	S3S3	0	0	1	8	2
1992	S1S1	24	8	7	11	12
	S1S2	3	9	7	4	7
	S1S3	0	0	0	1	1
	S2S1	3	9	7	5	8
	S2S2	0	4	7	4	1
	S2S3	0	0	0	2	1

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S1	0	0	1	1	0
	S3S2	0	4	8	6	1
	S3S3	0	4	7	4	1
1993	S1S1	28	21	9	10	17
	S1S2	1	3	8	8	6
	S1S3	0	1	1	0	0
	S2S1	1	3	9	8	5
	S2S2	0	0	2	0	1
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	0	2	0	1	1
	S3S2	0	0	2	1	1
	S3S3	0	0	2	0	1
1994	S1S1	19	19	8	7	10
	S1S2	5	4	9	6	5
	S1S3	0	1	1	3	1
	S2S1	5	4	8	7	6
	S2S2	1	0	3	2	6
	S2S3	0	0	0	2	1
	S3S1	0	2	1	2	1
	S3S2	1	0	3	3	6
	S3S3	1	0	3	2	6
1995	S1S1	22	12	13	8	13
	S1S2	4	8	7	7	7
	S1S3	0	0	0	1	1
	S2S1	4	7	7	7	7
	S2S2	1	0	3	2	6
	S2S3	0	0	0	2	1
	S3S1	0	2	1	2	1
	S3S2	1	0	3	3	6
	S3S3	1	0	3	2	6
1996	S1S1	25	26	13	8	11
	S1S2	2	1	7	5	8

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S1S3	0	0	1	2	0
	S2S1	2	2	7	5	8
	S2S2	1	0	1	4	2
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	0	0	1	3	1
	S3S2	1	0	1	5	2
	S3S3	1	0	1	4	2
1997	S1S1	21	14	15	15	20
	S1S2	4	6	5	5	4
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S1	4	7	5	5	5
	S2S2	1	2	1	3	0
	S2S3	0	1	0	0	1
	S3S1	0	0	2	1	0
	S3S2	1	2	2	4	0
	S3S3	1	2	1	3	0
1998	S1S1	22	18	12	13	13
	S1S2	3	5	7	6	6
	S1S3	1	0	1	0	1
	S2S1	3	5	7	6	6
	S2S2	0	1	3	4	2
	S2S3	0	0	1	1	0
	S3S1	1	1	0	0	2
	S3S2	0	1	3	5	2
	S3S3	0	1	3	4	2
1999	S1S1	23	21	8	6	16
	S1S2	3	3	7	8	4
	S1S3	0	0	2	0	1
	S2S1	3	4	8	8	3
	S2S2	1	1	1	6	2
	S2S3	0	1	1	1	1
	S3S1	0	0	2	0	2

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S2	1	1	2	7	4
	S3S3	1	1	1	6	2
2000	S1S1	19	20	15	11	21
	S1S2	4	4	3	7	4
	S1S3	0	0	1	2	0
	S2S1	4	5	4	7	4
	S2S2	3	0	4	1	0
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S1	0	0	1	2	1
	S3S2	3	0	4	1	0
	S3S3	3	0	4	1	0
2001	S1S1	24	21	16	11	18
	S1S2	3	4	3	5	4
	S1S3	0	0	3	4	0
	S2S1	3	4	3	6	4
	S2S2	0	0	1	1	1
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	0	1	2	4	1
	S3S2	0	0	1	1	1
	S3S3	0	0	1	1	1
2002	S1S1	21	17	8	12	15
	S1S2	4	4	7	8	6
	S1S3	0	2	2	0	1
	S2S1	4	4	8	8	5
	S2S2	1	0	3	2	1
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	0	3	1	0	2
	S3S2	1	0	3	2	2
	S3S3	1	0	3	2	1
2003	S1S1	27	15	7	10	13
	S1S2	1	6	10	6	6
	S1S3	0	1	0	1	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S1	1	5	10	7	5
	S2S2	1	1	4	4	5
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S1	0	2	0	1	1
	S3S2	1	2	4	4	6
	S3S3	1	1	4	4	5
2004	S1S1	24	17	12	10	17
	S1S2	3	4	6	7	6
	S1S3	0	1	1	2	0
	S2S1	3	5	8	8	6
	S2S2	0	1	0	1	0
	S2S3	0	1	0	1	0
	S3S1	0	1	1	1	1
	S3S2	0	1	0	1	0
	S3S3	0	1	0	1	0
2005	S1S1	26	17	18	9	18
	S1S2	2	2	4	8	3
	S1S3	0	2	2	0	0
	S2S1	2	2	3	8	2
	S2S2	0	3	2	3	1
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	0	2	2	0	2
	S3S2	0	3	2	3	3
	S3S3	0	3	2	3	1
2006	S1S1	26	16	13	9	15
	S1S2	2	5	7	7	6
	S1S3	0	0	0	2	0
	S2S1	2	5	7	8	6
	S2S2	0	1	3	2	2
	S2S3	0	1	0	0	1
	S3S1	0	1	0	2	0
	S3S2	0	2	3	2	3

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S3	0	1	3	2	2
2007	S1S1	26	11	13	7	15
	S1S2	2	8	7	4	5
	S1S3	0	0	2	3	2
	S2S1	2	6	6	5	5
	S2S2	0	2	0	7	0
	S2S3	0	0	0	1	1
	S3S1	0	2	2	2	2
	S3S2	0	4	0	7	1
	S3S3	0	2	0	7	0
2008	S1S1	27	14	10	7	16
	S1S2	1	7	7	7	5
	S1S3	0	0	2	2	0
	S2S1	1	8	7	6	6
	S2S2	1	0	2	3	0
	S2S3	0	1	1	0	0
	S3S1	0	0	1	4	1
	S3S2	1	0	2	5	0
	S3S3	1	0	2	3	0
2009	S1S1	19	18	11	12	15
	S1S2	5	5	6	7	6
	S1S3	0	0	2	1	1
	S2S1	5	5	6	6	5
	S2S2	1	1	2	1	1
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S1	0	1	2	2	2
	S3S2	1	1	3	2	2
	S3S3	1	1	2	1	1
2010	S1S1	23	19	14	8	14
	S1S2	3	4	5	7	5
	S1S3	1	1	1	0	0
	S2S1	2	4	5	7	4

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S2	0	0	4	6	4
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S1	1	2	1	1	2
	S3S2	0	0	4	7	5
	S3S3	0	0	4	6	4
2011	S1S1	26	14	14	9	14
	S1S2	2	8	8	8	8
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S1	2	8	7	8	8
	S2S2	0	0	1	4	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S1	0	0	0	0	0
	S3S2	0	0	1	4	0
	S3S3	0	0	1	4	0
2012	S1S1	26	11	16	9	6
	S1S2	2	6	6	5	5
	S1S3	0	2	1	3	1
	S2S1	2	8	5	4	5
	S2S2	0	0	1	2	11
	S2S3	0	2	0	1	0
	S3S1	0	1	1	4	2
	S3S2	0	0	1	4	11
	S3S3	0	0	1	2	11
2013	S1S1	23	14	12	8	9
	S1S2	3	5	7	7	7
	S1S3	0	0	1	2	1
	S2S1	3	4	7	7	8
	S2S2	1	2	0	4	3
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S1	0	1	2	2	1
	S3S2	1	2	1	4	3
	S3S3	1	2	0	4	3

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

Annexe 9: Evolution des séquences à Kongoussi

Années	Séquences	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
1960	S1S1	23	15	8	10	15
	S2S1	4	7	9	9	6
	S3S1	0	0	0	0	0
	S1S2	3	7	8	8	6
	S2S2	0	1	3	3	3
	S3S2	0	1	3	3	3
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S3	0	1	3	3	3
1961	S1S1	20	14	10	7	14
	S2S1	5	7	9	6	5
	S3S1	0	0	0	1	1
	S1S2	5	7	8	4	6
	S2S2	1	2	3	2	3
	S3S2	1	2	3	3	4
	S1S3	0	0	0	3	0
	S2S3	0	0	0	3	0
	S3S3	1	2	3	2	3
1962	S1S1	23	15	17	3	10
	S2S1	3	6	5	6	6
	S3S1	0	0	1	1	1
	S1S2	3	7	5	5	7
	S2S2	1	0	1	8	3
	S3S2	1	0	2	10	4
	S1S3	0	0	0	1	1
	S2S3	0	0	0	2	1
	S3S3	1	0	1	8	3
1963	S1S1	29	12	8	9	12
	S2S1	0	5	8	7	6

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S1	0	1	0	2	0
	S1S2	1	6	8	8	6
	S2S2	0	2	2	1	2
	S3S2	0	3	2	2	2
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	2	2	1	2
1964	S1S1	26	8	8	7	16
	S2S1	2	11	8	8	5
	S3S1	0	0	1	1	0
	S1S2	2	11	8	7	6
	S2S2	0	0	4	4	3
	S3S2	0	0	4	5	3
	S1S3	0	0	1	1	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	0	0	4	4	3
1965	S1S1	22	17	13	9	14
	S2S1	4	4	6	8	5
	S3S1	0	1	1	0	2
	S1S2	4	4	7	8	6
	S2S2	0	1	1	6	2
	S3S2	0	2	1	6	3
	S1S3	0	1	0	0	1
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S3	0	1	1	6	2
1966	S1S1	23	16	12	13	11
	S2S1	2	5	9	5	8
	S3S1	1	1	0	2	0
	S1S2	3	5	9	6	8
	S2S2	0	2	0	3	1
	S3S2	0	2	0	3	1
	S1S3	1	1	0	2	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	2	0	3	1
1967	S1S1	18	22	15	8	13
	S2S1	6	4	5	6	7
	S3S1	0	0	2	0	0
	S1S2	6	4	5	7	8
	S2S2	0	0	1	6	2
	S3S2	0	0	1	7	2
	S1S3	0	0	2	0	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	0	0	1	6	2
1968	S1S1	11	19	7	13	12
	S2S1	7	4	7	7	4
	S3S1	1	0	3	1	0
	S1S2	7	4	7	7	5
	S2S2	3	1	3	1	9
	S3S2	3	1	3	1	9
	S1S3	1	0	3	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	3	1	3	1	9
1969	S1S1	24	16	12	7	13
	S2S1	2	5	7	9	7
	S3S1	0	1	0	0	0
	S1S2	3	6	8	8	7
	S2S2	1	1	1	6	3
	S3S2	1	1	1	6	3
	S1S3	0	1	0	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	1	1	1	6	3
1970	S1S1	24	26	8	13	17
	S2S1	3	2	10	4	4
	S3S1	0	0	0	1	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S1S2	3	2	10	5	5
	S2S2	0	0	2	7	4
	S3S2	0	0	2	7	4
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	2	7	4
1971	S1S1	20	16	17	9	22
	S2S1	5	6	5	10	2
	S3S1	0	1	0	0	1
	S1S2	4	6	5	9	2
	S2S2	1	0	3	0	2
	S3S2	1	0	3	1	2
	S1S3	0	1	0	0	1
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	1	0	3	0	2
1972	S1S1	20	16	16	12	22
	S2S1	5	6	5	6	3
	S3S1	0	0	0	2	0
	S1S2	4	5	6	6	4
	S2S2	1	1	1	2	1
	S3S2	1	1	1	2	1
	S1S3	0	1	0	2	0
	S2S3	0	1	0	0	0
	S3S3	1	1	1	2	1
1973	S1S1	20	16	19	16	11
	S2S1	5	6	4	6	7
	S3S1	0	1	2	0	0
	S1S2	5	6	3	6	8
	S2S2	0	0	1	2	2
	S3S2	0	0	1	2	2
	S1S3	0	1	2	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S3	0	0	1	2	2
1974	S1S1	26	21	10	7	19
	S2S1	2	4	6	8	4
	S3S1	0	0	1	1	1
	S1S2	2	4	6	6	4
	S2S2	0	1	6	4	0
	S3S2	0	1	6	4	0
	S1S3	0	0	1	3	1
	S2S3	0	0	0	2	0
	S3S3	0	1	6	4	0
1975	S1S1	20	19	7	9	16
	S2S1	5	5	9	8	6
	S3S1	0	0	0	1	0
	S1S2	5	5	8	7	5
	S2S2	0	1	3	4	1
	S3S2	0	1	4	4	1
	S1S3	0	0	0	1	1
	S2S3	0	0	1	0	1
	S3S3	0	1	3	4	1
1976	S1S1	21	17	19	16	14
	S2S1	4	6	4	4	5
	S3S1	0	0	1	1	0
	S1S2	4	6	4	5	6
	S2S2	1	1	2	4	3
	S3S2	1	1	2	4	3
	S1S3	0	0	1	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	1	1	2	4	3
1977	S1S1	16	17	19	13	15
	S2S1	7	5	4	6	5
	S3S1	0	1	0	1	0
	S1S2	6	6	4	5	5

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S2	1	0	3	2	1
	S3S2	1	1	3	2	1
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	1	0	3	2	1
1978	S1S1	20	15	12	10	10
	S2S1	4	7	5	9	6
	S3S1	0	0	3	0	0
	S1S2	4	7	4	9	6
	S2S2	2	1	1	2	8
	S3S2	2	1	2	2	8
	S1S3	0	0	3	0	0
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S3	2	1	1	2	8
1979	S1S1	23	12	14	12	17
	S2S1	4	6	7	6	5
	S3S1	0	1	0	0	0
	S1S2	3	6	7	6	5
	S2S2	0	4	2	6	1
	S3S2	0	4	2	6	1
	S1S3	0	1	0	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	4	2	6	1
1980	S1S1	22	18	14	12	16
	S2S1	4	5	5	6	5
	S3S1	0	1	2	1	0
	S1S2	4	5	7	6	5
	S2S2	0	0	0	4	2
	S3S2	0	0	1	4	2
	S1S3	0	1	1	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	0	4	2

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

1981	S1S1	22	16	16	10	17
	S2S1	4	6	4	7	4
	S3S1	1	1	2	1	1
	S1S2	3	6	5	8	4
	S2S2	0	0	1	1	3
	S3S2	0	0	2	2	3
	S1S3	1	1	1	1	1
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	0	0	1	1	3
1982	S1S1	21	20	16	10	24
	S2S1	4	4	7	8	3
	S3S1	0	1	0	1	0
	S1S2	4	4	6	7	3
	S2S2	1	0	1	1	0
	S3S2	1	0	1	2	0
	S1S3	0	1	0	1	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	1	0	1	1	0
1983	S1S1	22	18	12	16	22
	S2S1	3	6	5	5	3
	S3S1	0	0	1	1	0
	S1S2	3	6	6	5	3
	S2S2	0	0	3	2	2
	S3S2	0	0	3	2	2
	S1S3	0	0	1	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	3	2	2
1984	S1S1	21	19	17	18	18
	S2S1	3	5	6	5	6
	S3S1	1	0	0	1	0
	S1S2	3	6	6	5	6
	S2S2	1	0	1	0	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S2	1	0	1	0	0
	S1S3	1	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	1	0	1	0	0
1985	S1S1	28	19	17	7	16
	S2S1	1	5	6	7	7
	S3S1	0	0	0	1	0
	S1S2	1	5	7	7	7
	S2S2	0	1	0	5	0
	S3S2	0	1	0	5	0
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	1	0	5	0
1986	S1S1	23	17	18	8	11
	S2S1	4	6	6	11	8
	S3S1	0	0	0	0	1
	S1S2	3	6	5	10	9
	S2S2	0	1	1	1	0
	S3S2	0	1	1	1	1
	S1S3	0	0	0	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	1	1	1	0
1987	S1S1	28	23	17	17	17
	S2S1	1	3	6	5	3
	S3S1	0	0	0	1	2
	S1S2	1	3	5	5	4
	S2S2	0	1	0	1	2
	S3S2	0	1	0	1	3
	S1S3	0	0	0	1	1
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	1	0	1	2
1988	S1S1	30	17	16	7	10

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S1	0	5	5	6	9
	S3S1	0	1	1	4	0
	S1S2	0	5	6	7	10
	S2S2	0	1	1	2	1
	S3S2	0	1	1	3	1
	S1S3	0	1	1	3	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	1	1	2	1
1989	S1S1	25	21	12	6	17
	S2S1	3	4	6	10	6
	S3S1	0	0	0	0	0
	S1S2	2	4	7	9	6
	S2S2	0	1	3	1	1
	S3S2	0	1	3	1	1
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	0	1	3	1	1
1990	S1S1	26	18	16	18	14
	S2S1	1	6	6	5	8
	S3S1	1	0	0	1	0
	S1S2	1	6	6	5	8
	S2S2	0	0	2	0	0
	S3S2	0	0	2	0	0
	S1S3	1	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	2	0	0
1991	S1S1	19	15	15	9	22
	S2S1	4	6	5	4	4
	S3S1	1	0	2	3	0
	S1S2	4	7	6	7	4
	S2S2	1	0	0	0	0
	S3S2	1	0	1	2	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S1S3	1	0	1	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	1	0	0	0	0
1992	S1S1	26	17	10	9	19
	S2S1	2	6	10	9	5
	S3S1	0	0	0	0	0
	S1S2	2	6	9	8	6
	S2S2	0	1	1	3	0
	S3S2	0	1	1	3	0
	S1S3	0	0	0	0	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	0	1	1	3	0
1993	S1S1	29	22	15	11	20
	S2S1	0	4	5	10	4
	S3S1	0	0	2	0	0
	S1S2	1	4	4	9	5
	S2S2	0	0	0	0	1
	S3S2	0	0	0	0	1
	S1S3	0	0	3	0	0
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S3	0	0	0	0	1
1994	S1S1	22	16	12	13	17
	S2S1	4	5	7	3	4
	S3S1	0	0	1	1	1
	S1S2	4	5	6	4	4
	S2S2	0	2	1	1	3
	S3S2	0	2	1	2	3
	S1S3	0	0	2	0	1
	S2S3	0	0	1	1	0
	S3S3	0	2	1	1	3
1995	S1S1	28	22	15	9	10
	S2S1	1	4	7	7	8

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S1	0	0	0	1	0
	S1S2	1	4	6	7	8
	S2S2	0	0	0	3	4
	S3S2	0	0	0	4	4
	S1S3	0	0	1	1	0
	S2S3	0	0	1	1	0
	S3S3	0	0	0	3	4
1996	S1S1	24	21	10	13	15
	S2S1	3	3	9	6	6
	S3S1	0	0	1	1	1
	S1S2	3	3	9	6	5
	S2S2	0	3	0	3	0
	S3S2	0	3	0	3	0
	S1S3	0	0	1	1	2
	S2S3	0	0	0	0	1
	S3S3	0	3	0	3	0
1997	S1S1	23	19	8	12	17
	S2S1	3	4	6	5	3
	S3S1	0	1	2	0	2
	S1S2	3	4	8	5	3
	S2S2	1	1	4	2	3
	S3S2	1	1	6	2	3
	S1S3	0	1	0	0	2
	S2S3	0	0	0	2	0
	S3S3	1	1	4	2	3
1998	S1S1	20	16	14	14	11
	S2S1	4	5	6	6	8
	S3S1	1	2	1	1	1
	S1S2	4	5	6	6	9
	S2S2	0	0	1	1	0
	S3S2	1	0	2	1	0
	S1S3	0	2	0	2	1

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S3	0	0	1	1	0
1999	S1S1	28	21	8	6	14
	S2S1	1	3	8	7	6
	S3S1	0	0	1	0	0
	S1S2	1	3	7	7	6
	S2S2	0	3	3	6	4
	S3S2	0	3	3	7	4
	S1S3	0	0	2	0	0
	S2S3	0	0	1	1	0
	S3S3	0	3	3	6	4
2000	S1S1	22	25	11	16	19
	S2S1	4	1	7	5	4
	S3S1	0	1	1	1	0
	S1S2	4	1	6	5	4
	S2S2	0	1	4	2	3
	S3S2	0	1	4	2	3
	S1S3	0	1	1	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	1	4	2	3
2001	S1S1	20	18	14	15	14
	S2S1	2	5	4	5	7
	S3S1	1	0	2	1	0
	S1S2	3	6	5	4	8
	S2S2	3	1	3	2	1
	S3S2	3	1	4	2	1
	S1S3	1	0	1	2	0
	S2S3	0	0	0	1	0
	S3S3	3	1	3	2	1
2002	S1S1	22	24	15	13	24
	S2S1	4	3	6	6	3
	S3S1	0	0	1	1	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

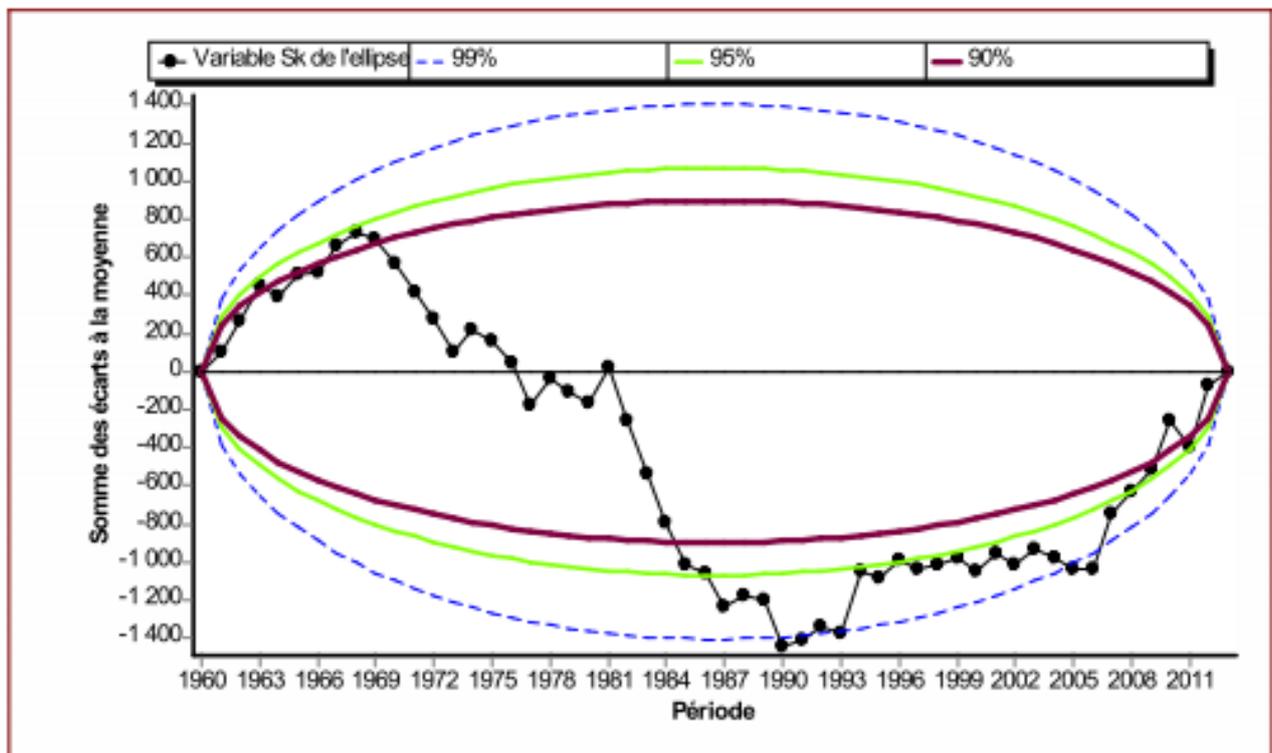
	S1S2	4	3	6	8	3
	S2S2	0	0	1	1	0
	S3S2	0	0	1	2	0
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	1	1	0
2003	S1S1	26	15	17	9	13
	S2S1	1	7	7	7	4
	S3S1	1	0	0	2	2
	S1S2	1	7	6	6	6
	S2S2	0	1	0	2	1
	S3S2	0	1	0	3	3
	S1S3	1	0	0	2	1
	S2S3	0	0	0	1	1
	S3S3	0	1	0	2	1
2004	S1S1	26	23	10	16	15
	S2S1	2	3	9	7	7
	S3S1	0	0	1	0	0
	S1S2	2	4	7	7	7
	S2S2	0	0	0	0	1
	S3S2	0	0	0	0	1
	S1S3	0	0	2	0	0
	S2S3	0	0	1	0	0
	S3S3	0	0	0	0	1
2005	S1S1	25	17	13	9	16
	S2S1	1	5	4	9	6
	S3S1	0	0	2	1	0
	S1S2	1	6	6	10	6
	S2S2	0	2	4	0	2
	S3S2	0	2	5	1	2
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0

Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

	S3S3	0	2	4	0	2
2006	S1S1	28	21	10	12	21
	S2S1	1	4	8	7	4
	S3S1	0	0	0	0	0
	S1S2	1	4	8	7	4
	S2S2	0	1	4	2	1
	S3S2	0	1	4	2	1
	S1S3	0	0	0	1	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	1	4	2	1
2007	S1S1	28	20	12	13	19
	S2S1	1	4	8	6	4
	S3S1	0	1	0	2	0
	S1S2	1	4	8	6	5
	S2S2	0	0	2	1	2
	S3S2	0	0	2	1	2
	S1S3	0	1	0	2	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	2	1	2
2008	S1S1	24	18	14	8	21
	S2S1	3	6	7	9	4
	S3S1	0	0	1	0	0
	S1S2	3	6	7	10	5
	S2S2	0	0	0	3	0
	S3S2	0	0	0	3	0
	S1S3	0	0	1	0	0
	S2S3	0	0	0	0	0
	S3S3	0	0	0	3	0

Annexe 10: Test de Buishand et ellipse de bois

Identification Année
Variable étudiée Pluie
Unité mm
Chronique de 1961 à 2013



Hypothèse nulle (absence de rupture) **acceptée** au seuil de confiance de 99%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 95%
Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

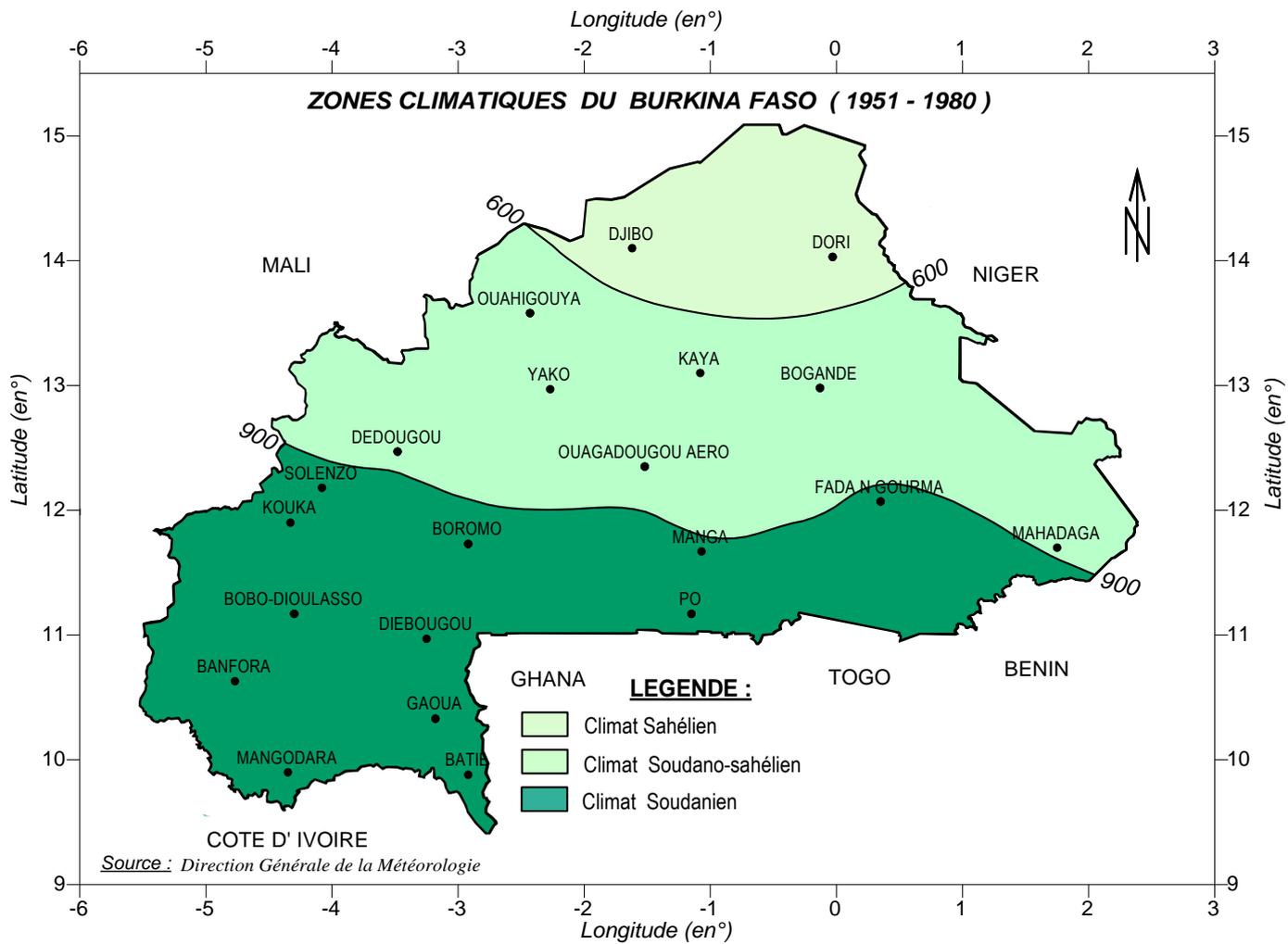
Annexe 11: Test de segmentation de Hubert

Segmentation de HUBERT

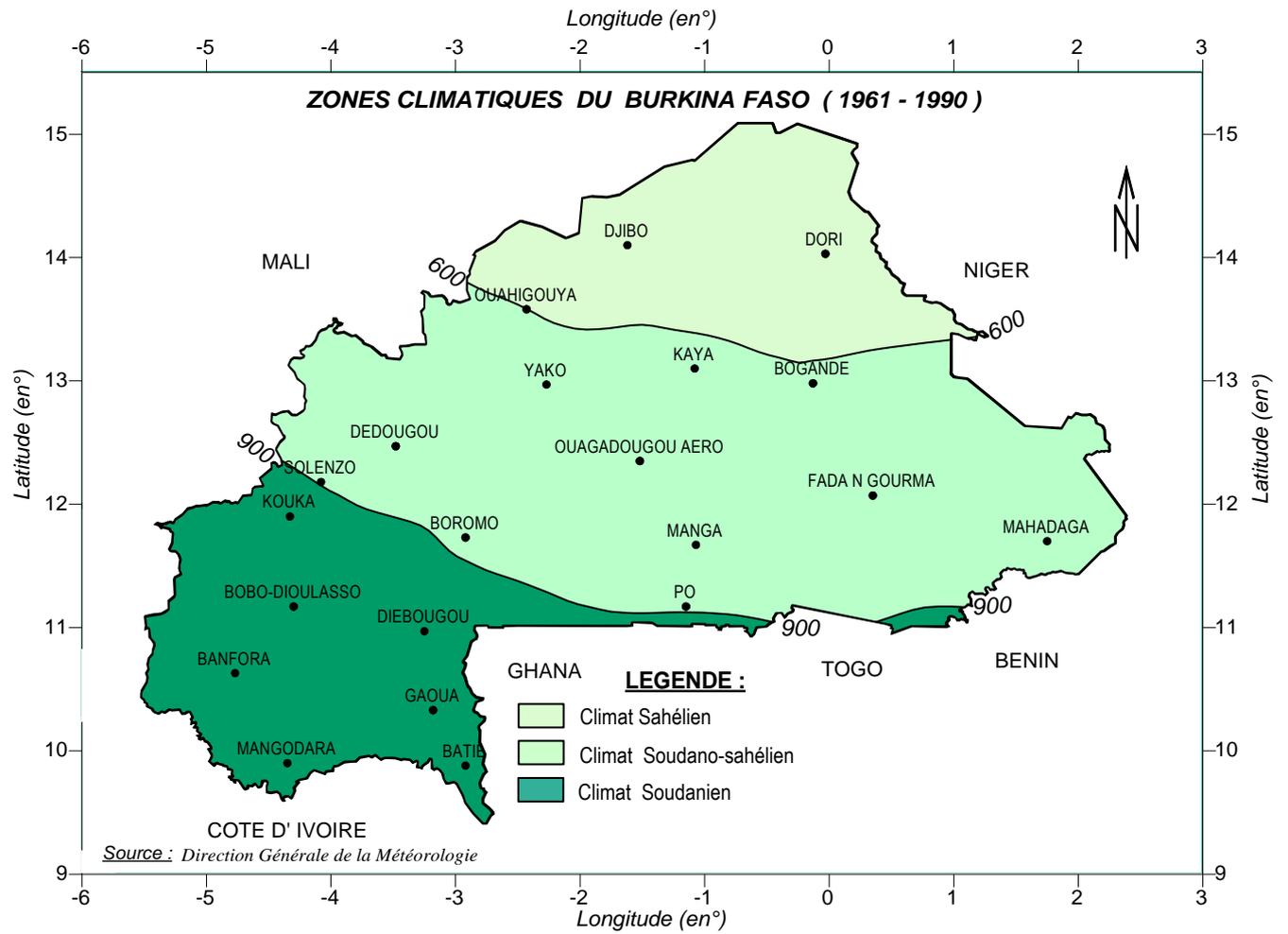
Niveau de signification du test de Scheffé: 1%

Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1961	1968	732,600	77,612
1969	1990	543,364	135,378
1991	2013	704,770	129,868

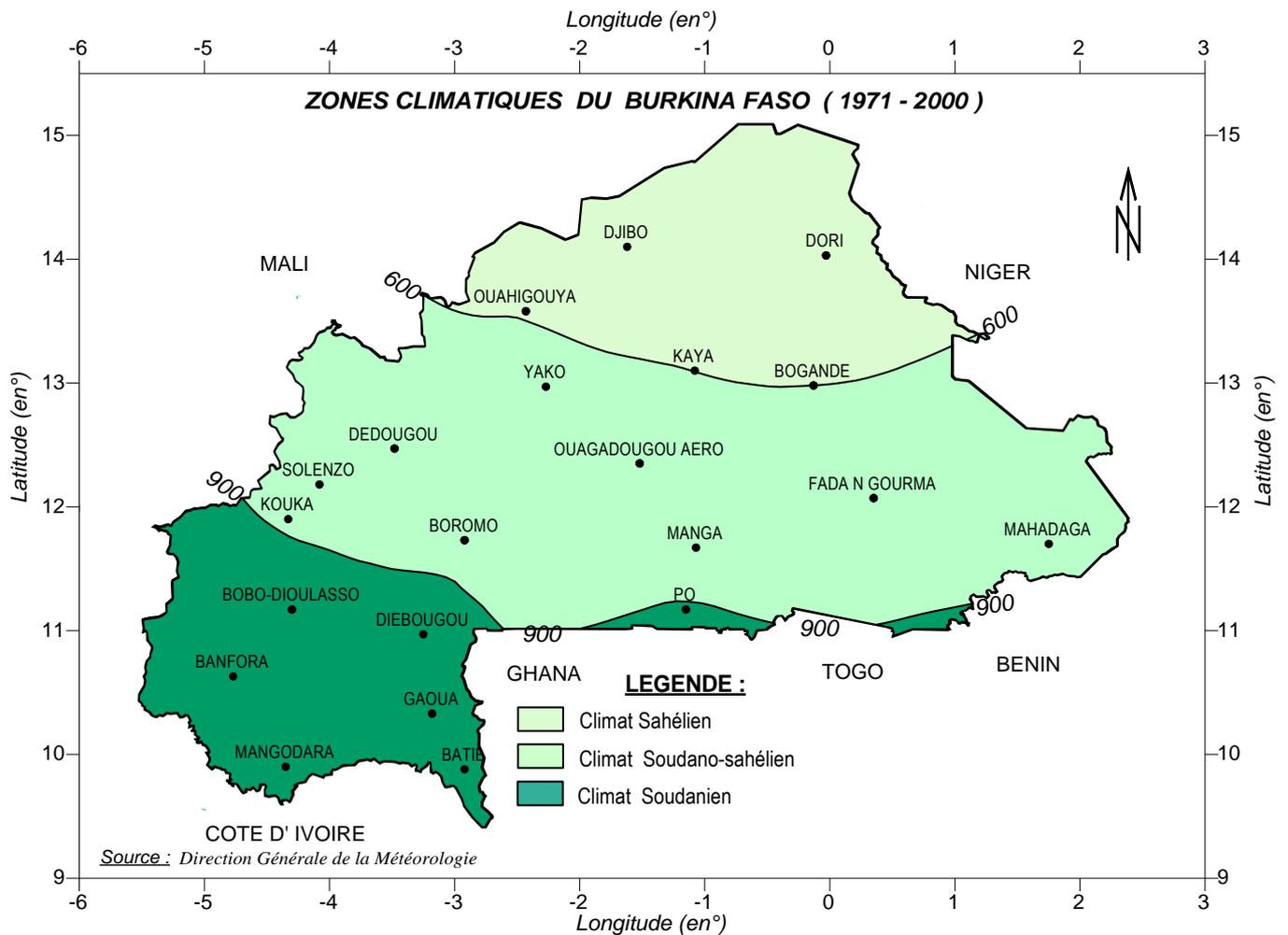
Annexe 12: Zones climatiques du Burkina Faso 1951-1980



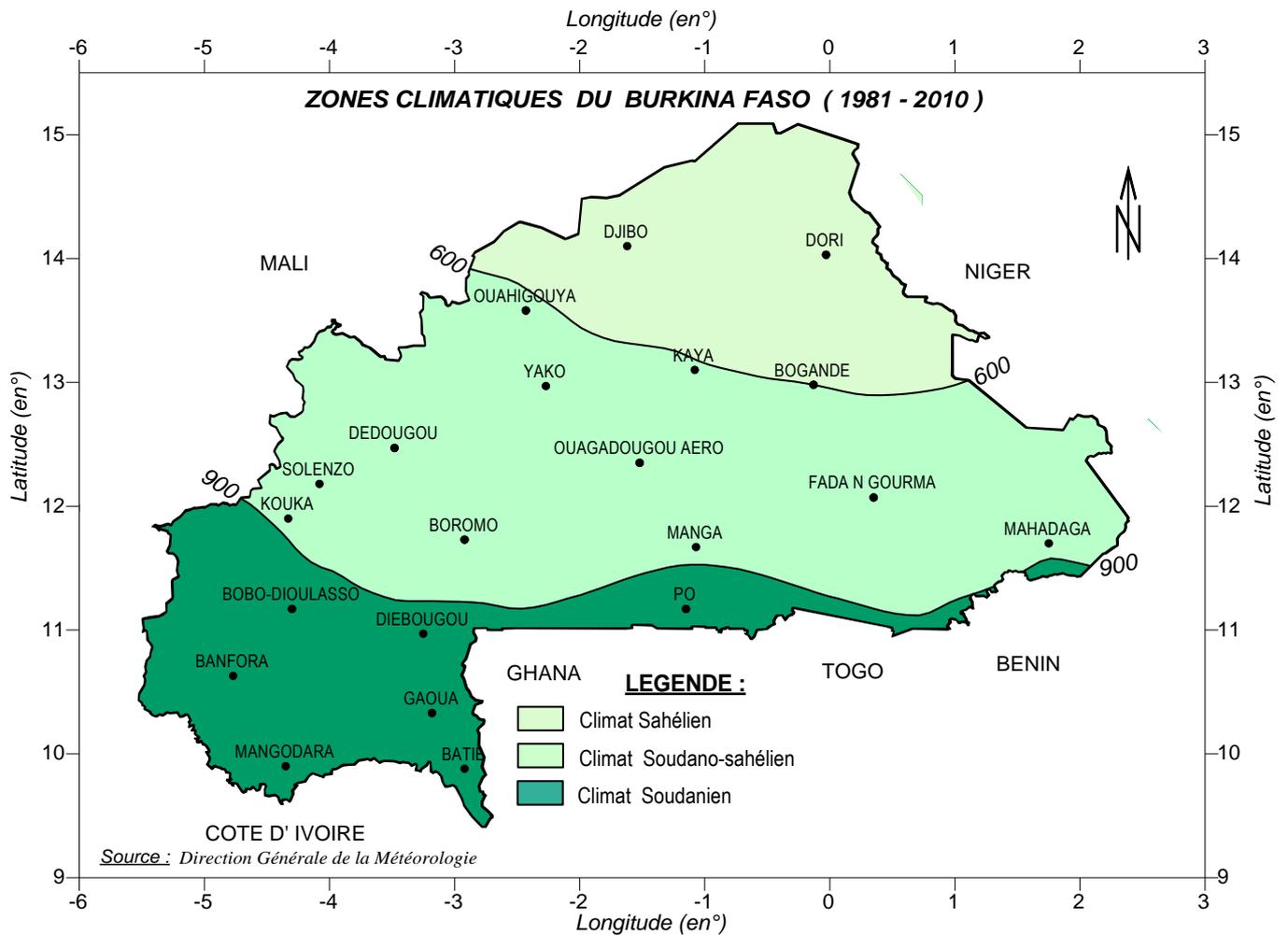
Annexe 13: Zones climatiques du Burkina Faso 1961-1990



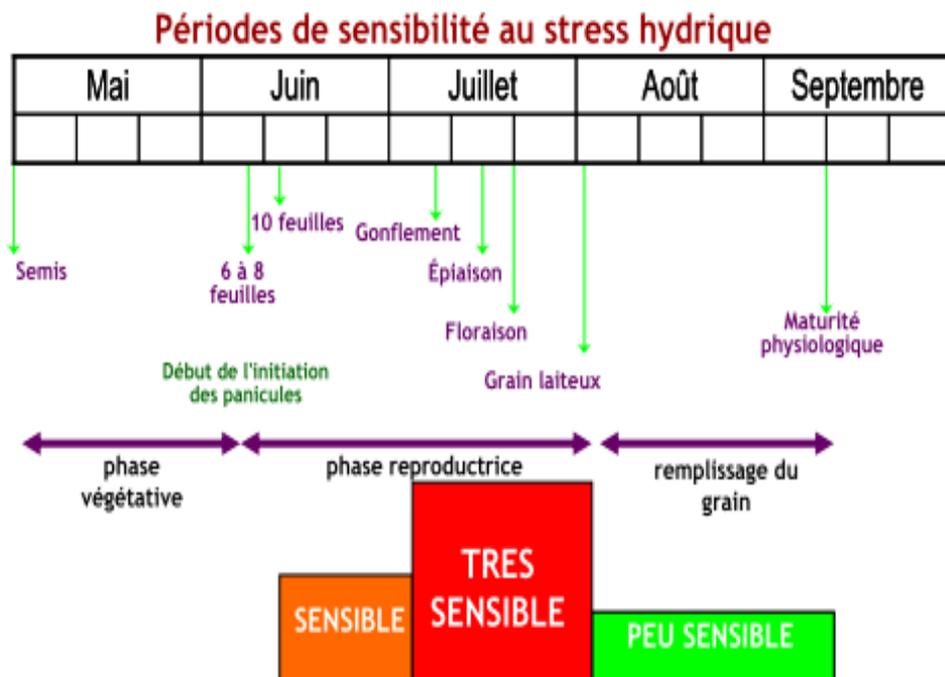
Annexe 14: Zones climatiques du Burkina Faso 1971-2000



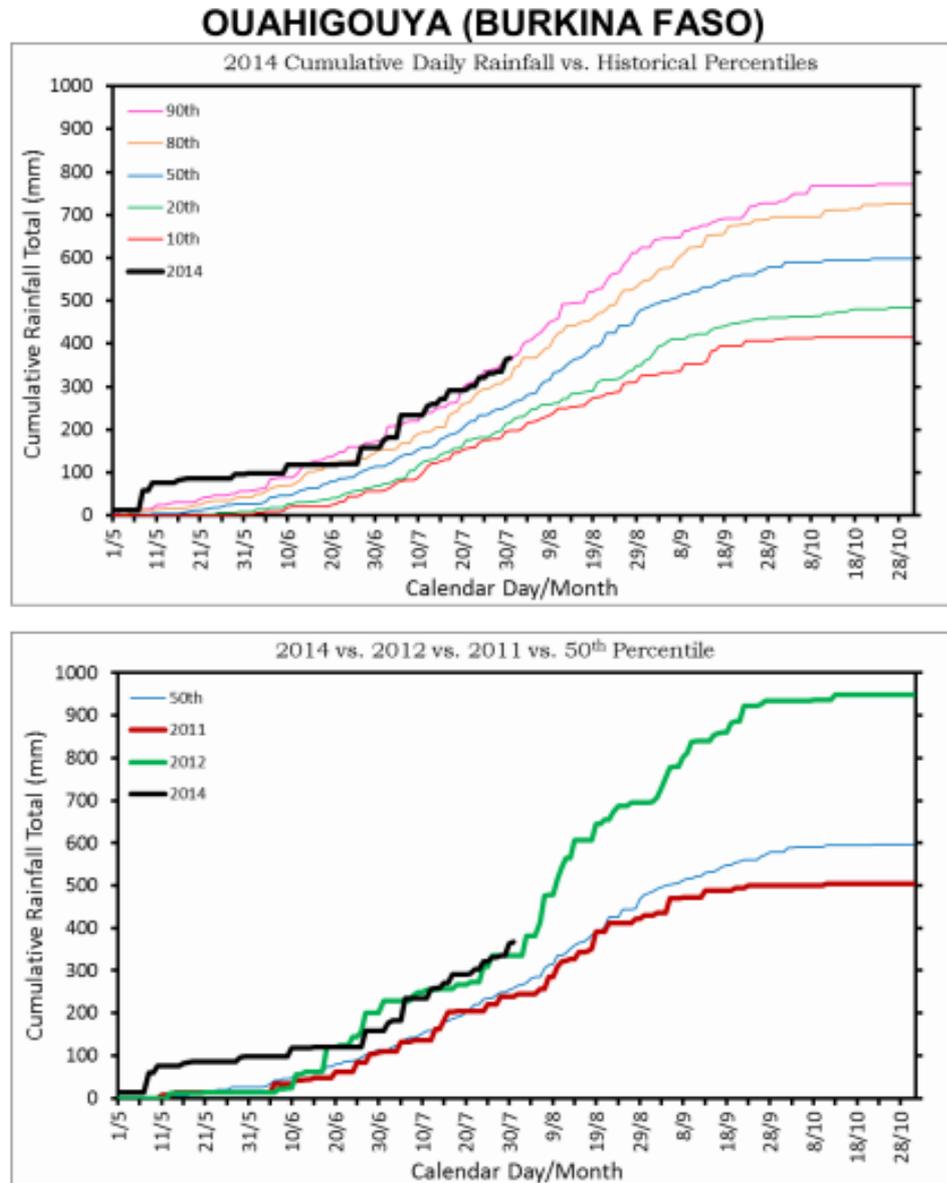
Annexe 15: Zones climatiques du Burkina Faso 1981-2010



Annexe 16: Périodes de sensibilité des plantes au stress hydrique

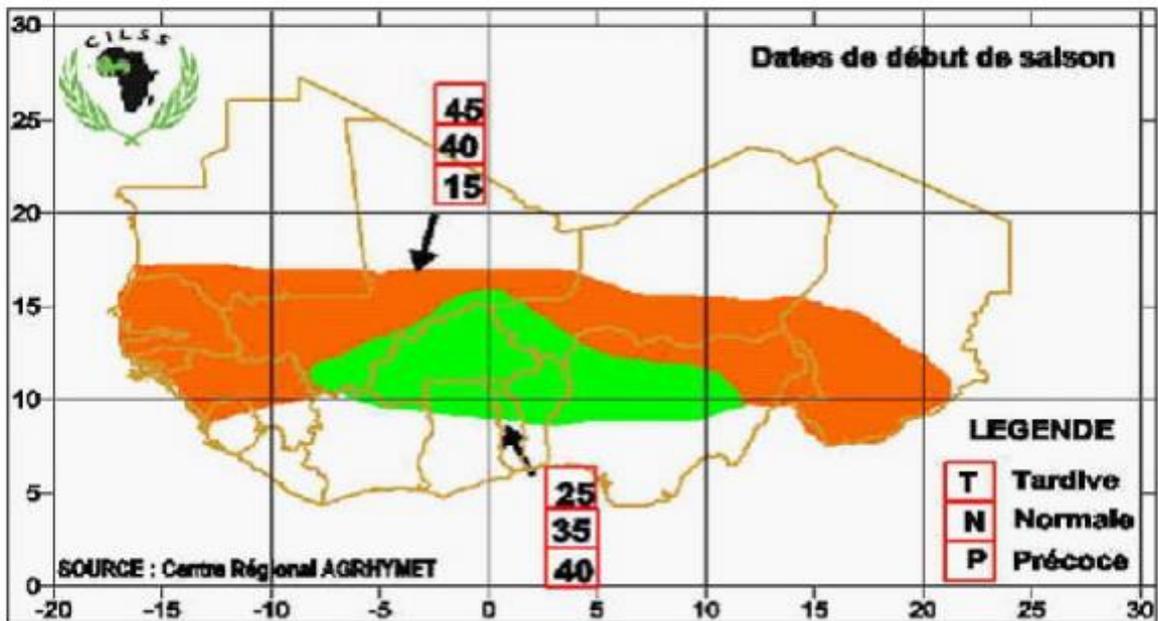


Annexe 17: Pluie cumulée à Ouahigouya pour la saison 2014



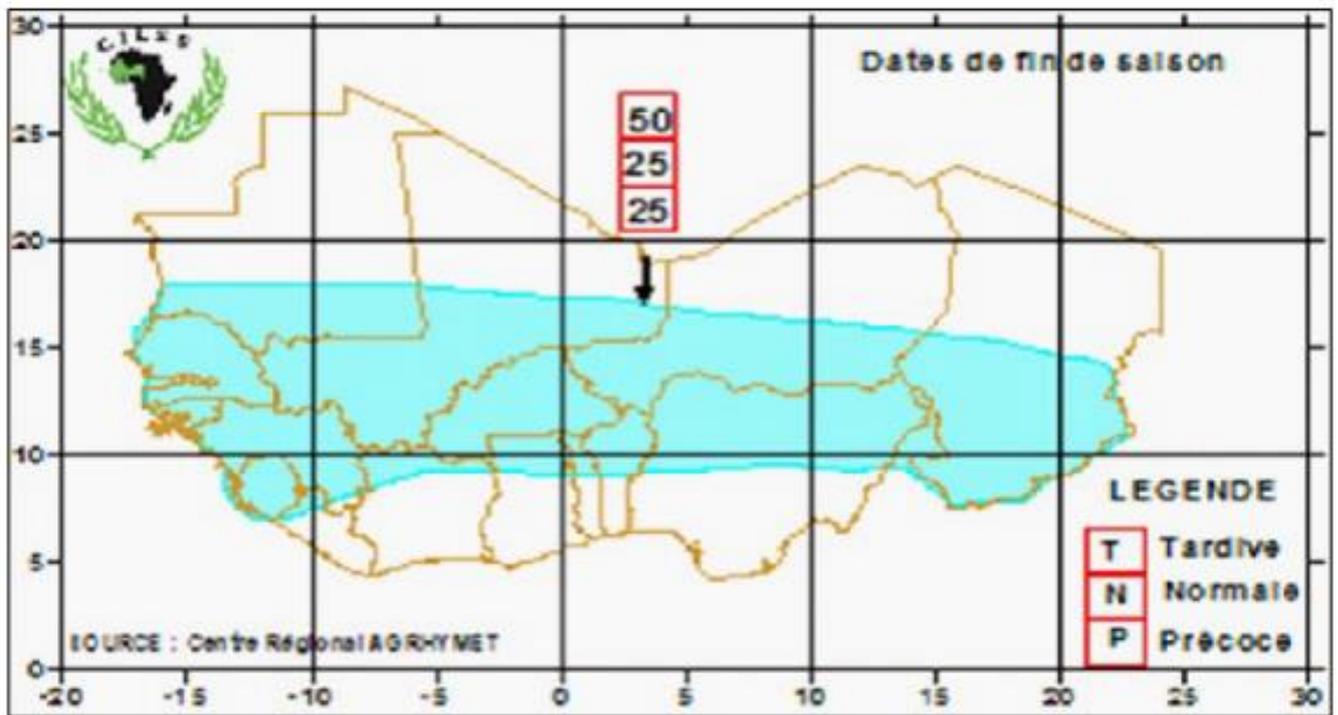
(Source : RAINWATCH/NOAA/OU Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies (USA), The University of Reading Afelix (UK) & Direction Générale de la Météorologie du Burkina (Ouagadougou- Burkina Faso))

Annexe 18: Prévion des dates de début de saison des pluies dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)

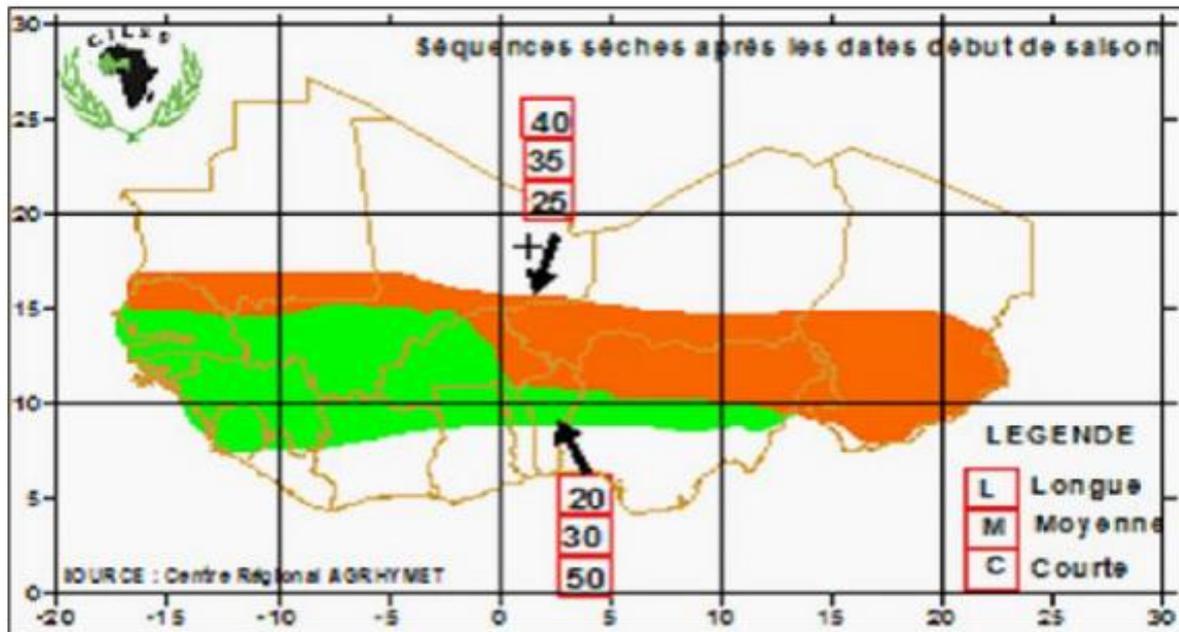


Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

Annexe 19: Prédiction des dates de fin de saison des pluies dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)

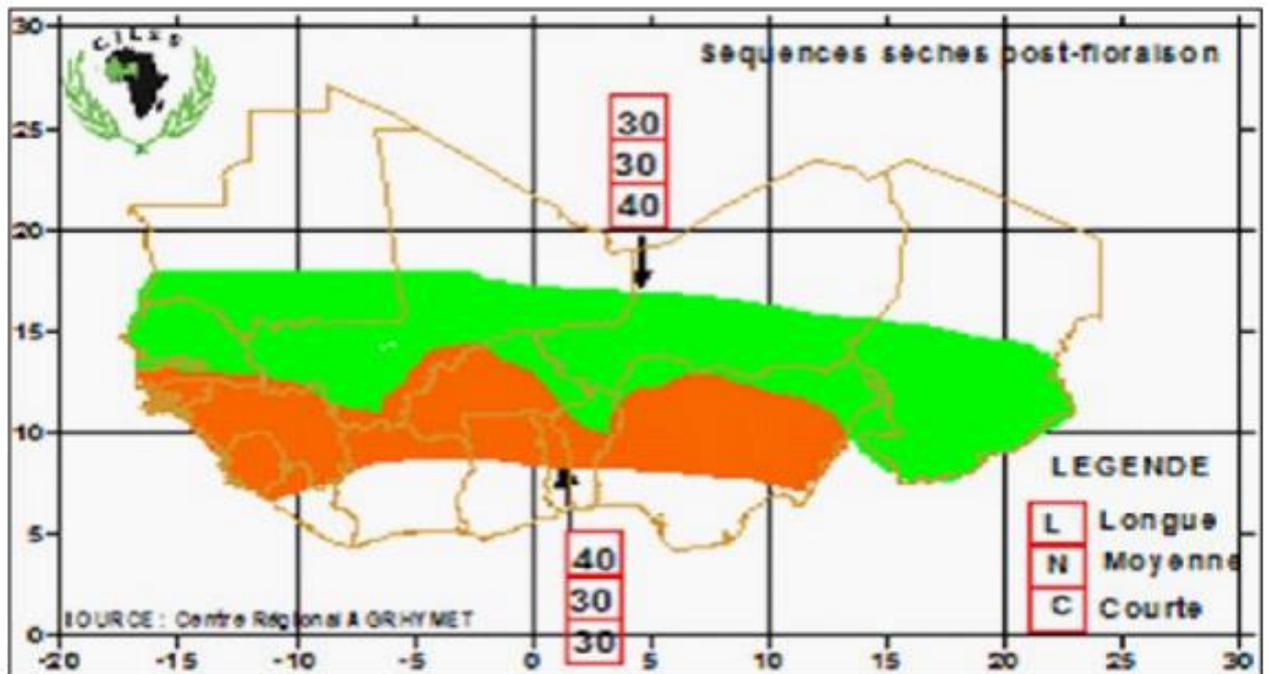


Annexe 20: Prédiction des séquences sèches après les dates de début de saison agricole dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)

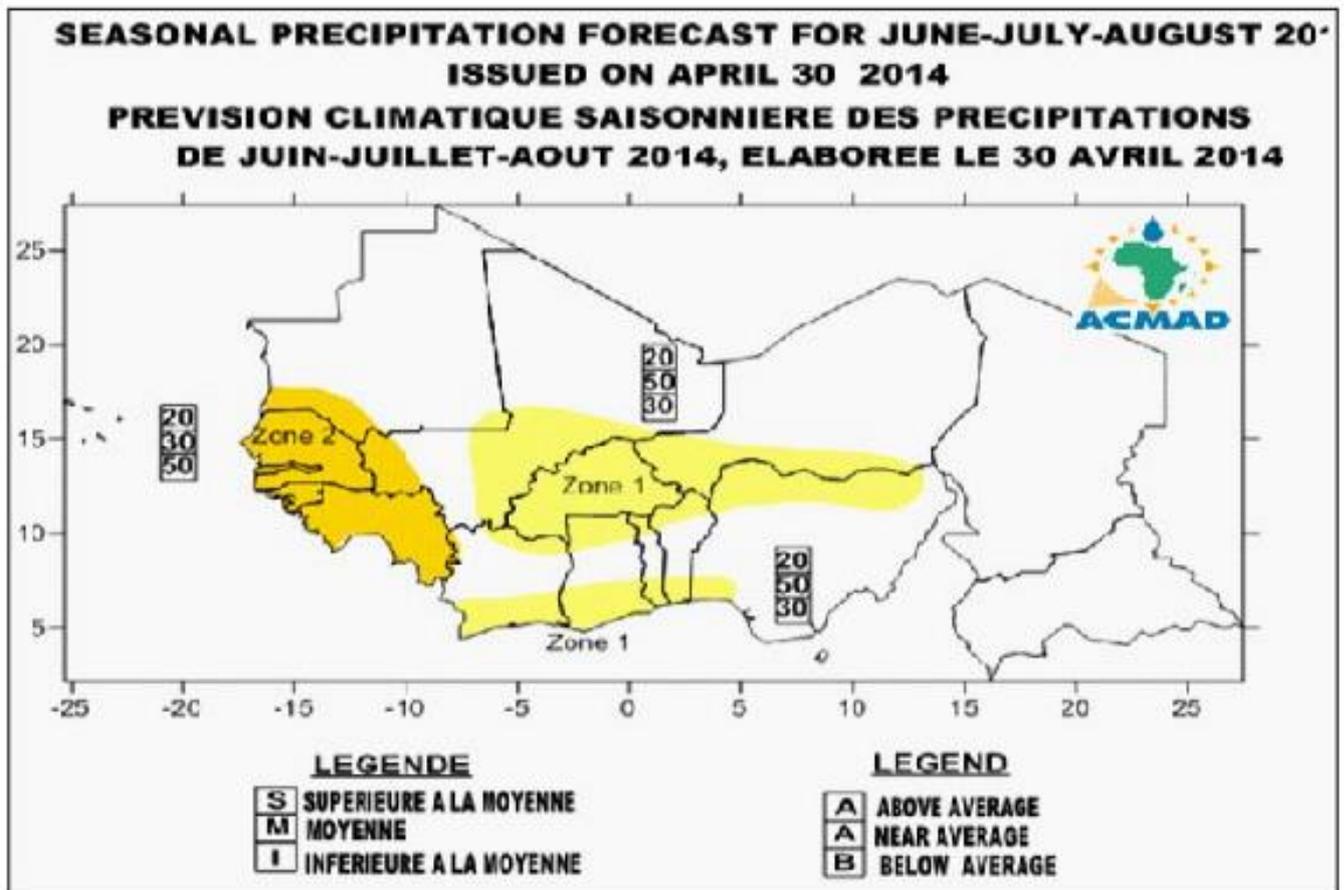


Analyse prospective de séquences sèches pour la résilience de l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides

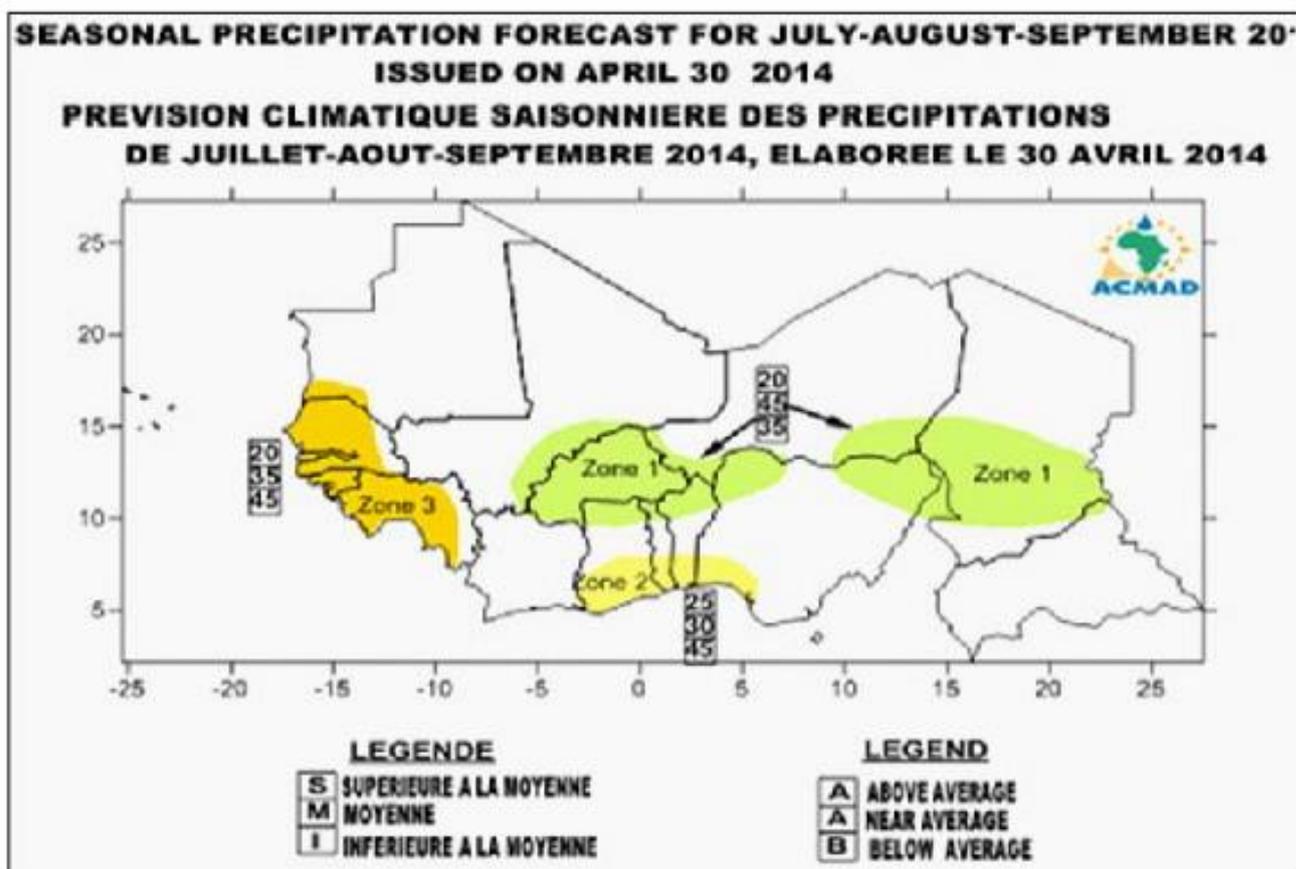
Annexe 21: Prédiction des séquences sèches post-floraison dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)



Annexe 22: prévision des précipitations pour la période de Juin-Juillet-Aout 2014 dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)



Annexe 23: Prédiction des précipitations pour la période de Juillet-Aout-Septembre 2014 dans les pays de l'espace CILSS/CEDEAO (PRESAO 2014)



Annexe 24: Risque d'occurrence de cumul hebdomadaire extrême du 01 septembre au 08 septembre 2014

Légende

- Risque élevé
- Risque moyen
- Risque faible
- Sans risque

