

Variabilité intra-saisonnière des précipitations et production agricole dans le Pôle de Développement Agricole II du Bénin

**André KINDJINOU^{1*}, Bernadette ADOUGAN¹, Baranabé HOUNKANRIN¹, Hervé KOUMASSI¹,
Ibouraïma YABI² et Ismaïla TOKO IMOROU³**

¹ *Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE),
Université d'Abomey-Calavi Benin (UAC), BP 677 Abomey-Calavi, Bénin*

³ *Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 10 BP 1082 Cotonou, Bénin*

(Reçu le 29 Mars 2022 ; Accepté le 19 Juillet 2022)

* Correspondance, courriel : andrekindjinou@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à analyser la variabilité intra-saisonnière des pluies et ses conséquences sur les activités agricoles dans le deuxième Pôle de Développement Agricole au Nord du Bénin. Des données pluviométriques de dix-huit stations ont été collectées. Elles ont été complétées par des données satellitaires de « Climatic Research Unit ». Sur la série temporelle de 1951 à 2018, les dates de début et de fin de la saison agricole, la longueur de la saison agricole et les séquences sèches et humides ont été déterminées. Les résultats montrent que le milieu d'étude est caractérisé par une durée moyenne des longueurs de la saison agricole qui varie de 14 à 19 décades. Les paramètres tels que les débuts de saison agricole tardifs, les fins de saison agricole précoces, l'apparition des séquences sèches et humides au cours de la saison agricole créent des conditions de stress qui inhibent la croissance des plantes et par ricochet affectent le rendement des cultures. Dans ce cadre, il est notoire de mettre en place des stratégies d'adaptation et de résilience aux profits des producteurs pour une amélioration de la productivité agricole dans le milieu d'étude.

Mots-clés : *données satellitaires, précipitation, résilience, saison agricole, séquences sèches.*

Abstract

Intra-seasonal rainfall variability and agricultural production in the second Agricultural Development Pole in Benin

This research analyzes the intra-seasonal variability of rainfall and its consequences on agricultural activities in the second Agricultural Development Pole in Benin in northern Benin. Rainfall data from eighteen stations were collected. They were supplemented by satellite data from the Climatic Research Unit. Over the time series from 1951 to 2018, the start and end dates of the agricultural season, the length of the agricultural season and the dry and wet sequences were determined. The results show that the study environment is characterized by an average length of agricultural season lengths that range from 14 to 19 decades. Parameters such as late start of agricultural season, early end of agricultural season, occurrence of dry and wet sequences during the agricultural season create stressful conditions that inhibit plant growth and in turn affect crop yield. In this context, it is important to put in place adaptation and resilience strategies for the benefit of producers in order to improve agricultural productivity in the study area.

Keywords : *satellite data, precipitation, resilience, agricultural season, dry sequences.*

1. Introduction

Les changements climatiques représentent un défi indéniable particulièrement en Afrique, en raison de ces répercussions sur les écosystèmes et les activités humaines [1 - 4]. En effet, la variabilité climatique n'est pas simplement caractérisée par l'unique variation des totaux pluviométriques même si celle-ci constitue souvent la manifestation la plus sensible [5]. Elle se manifeste également par le changement dans la fréquence pluviométrique, l'arrêt des pluies pendant les saisons humides, que la sévérité des saisons sèches [3, 4, 6]. Ces irrégularités pluviométriques ont pour corollaire la variabilité des dates de démarrage et de fin de la saison pluvieuse, de la durée des saisons pluvieuses, associées à une plus grande occurrence des déficits hydriques [3, 4, 6]. Dans ce contexte, l'étude de la variabilité des pluies à des échelles plus fines permet de mieux comprendre leurs variations intra-saisonniers, mais aussi de mieux cerner ses incidences sur les évolutions dans le cycle phénologique des cultures [7, 8]. La prévision de la variabilité intra-saisonniers apparaît donc comme un outil d'adaptation et de résilience face aux effets du réchauffement climatique. D'une part, elle permet de déterminer la date de démarrage de la saison des pluies qui constitue une information importante dans l'organisation du calendrier agricole [9]. La période de semis des différentes cultures étant tributaire de la date de démarrage de la saison des pluies. D'autre part, elle permet de connaître la longueur de la saison pluvieuse afin d'adapter les variétés dont la durée de développement est en deçà ou égale à la durée de la saison humide [3]. Au Bénin, la région septentrionale représente une zone stratégique à forte potentialité agricole. Elle est subdivisée en quatre Pôles de Développement Agricole. Il s'agit du PDA-I (Vallée du Niger), PDA-II (Alibori-2KP et Borgou Nord), PDA-III (Atacora Ouest) et PDA-IV (Borgou Sud-Donga-Collines). En outre, le PDA-II fait partir des pôles les plus productifs au Nord du Bénin. Cependant, cette zone agricole est soumise à une forte influence des facteurs abiotiques (changements climatiques, pertes de fertilité des sols, érosion des sols) et biotiques (infestation des cultures par les ravageurs). Dont le plus important est la variabilité climatique.

En effet, dans cette zone, l'agriculture est fortement tributaire des paramètres climatiques en occurrence la précipitation [10 - 12]. Les manifestations de la variabilité climatique sont plus accentuées au nord du pays avec une forte occurrence de la sécheresse [13]. En effet, au fur et à mesure qu'on avance vers le nord, on note une baisse de la pluviométrie et une hausse de la température [14]. La variabilité climatique inhibe la productivité des cultures et contribue à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. La région du nord Bénin est donc très vulnérable aux effets des changements climatiques [15]. Cette vulnérabilité se traduit par la baisse des rendements agricoles, la hausse des denrées alimentaires, la pauvreté et par ricochet l'insécurité alimentaire et nutritionnelle pouvant conduire à la famine et au sous-développement du pays [15, 16]. Dans ce contexte, plusieurs travaux scientifiques sur la variabilité climatique ont été menés au nord afin de mettre en place des mesures d'adaptation et d'atténuation aux effets des changements climatiques. En effet, pour faire face à la variabilité climatique, les producteurs de la zone agro-écologique III du Bénin augmentent les emblavures pour tenter d'obtenir des niveaux de productivité acceptables [14]. L'amélioration de l'accès et l'utilisation des informations météo-climatiques par les producteurs paraissent nécessaires pour assurer une meilleure adaptation et résilience des communautés paysannes [16]. Les périodes du 10 au 30 juin constituent respectivement les périodes de semis précoce et tardives du cotonnier dans la commune de Banikoara afin d'avoir un rendement optimal [17]. Le Pôle de Développement Agricole II (PDA-II) est constitué de dix communes. Il couvre le principal bassin cotonnier du Bénin. Le coton étant la principale source de la richesse nationale, il contribue pour beaucoup dans le Produit Intérieur Brut (PIB). En plus du cotonnier, le maïs et le sorgho sont davantage développés pour bénéficier de l'arrière effet des engrais utilisés sur le cotonnier. Des actions de Recherche-Développement sont menées sur le soja en vue de son extension. Au regard de l'importance agronomique et socio-économique du PDA-II, il est notoire d'amorcer une étude scientifique sur les répercussions de la variabilité climatique sur la production agricole. Les données probantes issues de

cette étude peuvent être utilisées dans les programmes et projets agricoles afin de renforcer les moyens de subsistance des producteurs. C'est dans ce contexte, que le présent travail s'insère en vue d'analyser la variabilité intra-saisonnière des pluies et ses conséquences sur les activités agricoles dans cette partie du Nord du Bénin.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du milieu d'étude

Le Pôle de Développement Agricole (PDA-II) ou bassin cotonnier du Bénin (*Figure 1*), est situé au nord du Bénin entre 11°19' et 12°24' de latitude Nord et entre 2°55' et 3°50' de longitude Est [18]. Il s'étend sur une superficie d'environ 35632,376 km² [16]. Il est localisé au nord par le PDA-I (Malanville, Karimama), à l'ouest par le PDA-III (Tanguiéta, Toukountouna, Natitingou), au sud par le PDA-IV (Copargo, Djougou, N'Dali, Nikki) et à l'est par la République Fédérale du Nigéria. Le PDA-II est constitué de dix communes : Kandi, Banikoara, Ségbana, Gogounou, Sinendé, Kalalé, Bembéréké, Kouandé, Kérou et Péhunco (*Figure 1*).

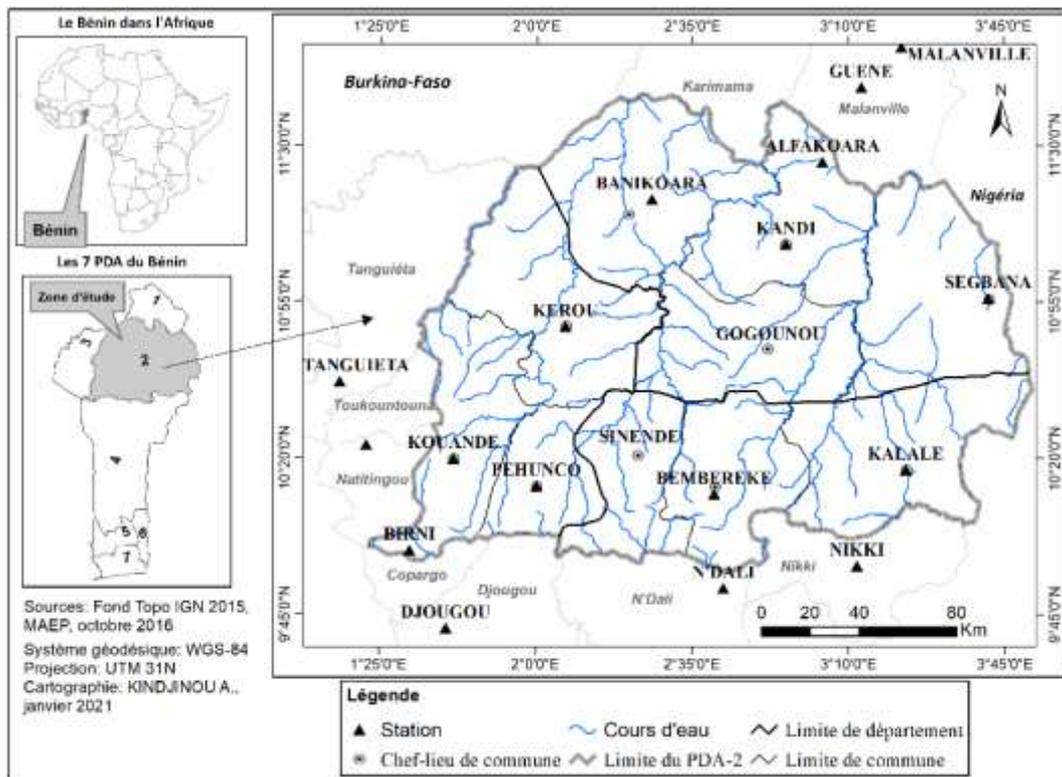


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

Sur le plan climatique, la zone d'étude est caractérisée par un climat soudanien avec deux saisons. L'apparition de ces saisons dépend des mouvements du Front Intertropical (FIT) [16]. Le milieu d'étude est caractérisé par des formations ferrugineuses tropicales plus ou moins concrétionnés et lessivés [16]. Ils sont peu profonds et peu drainés, mais permettent de cultiver une diversité de cultures (céréales, légumineuses, tubercules et racines, légumes) annuelles ou saisonnières y compris les plantes pérennes comme l'anacardier, le karité et le manguiier.

2-2. Données pluviométriques utilisées

Dans la présente étude, les données pluviométriques ont été collectées dans dix-huit stations dont dix stations à l'intérieur de la zone d'étude et huit dans ses environnements très immédiats sur une série temporelle de 1951 à 2018 (*Figure 1*). Le choix de ces stations se justifie par leur position géographique par rapport au PDA-II. Les données sont issues de l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (Météo-Bénin). Dans le but de combler le déficit des données manquantes, ces données ont été comparées avec les données satellitaires globales de précipitations moyennes mensuelles du «Climatic Research Unit» (CRU) suivant une résolution de 0.5×0.5 . Ces données sont constituées à partir des stations météorologiques du globe sur les terres fermes et sont de « University of East Anglia [19].

2-3. Traitement des données

Le déroulement de la saison des pluies, les cumuls pluviométriques et la distribution des événements pluvieux, ont un impact important sur le développement des végétations cultivées plus spécifiquement sur les rendements des cultures [20]. Tout comme [15], dans le cadre de ce travail, quatre indicateurs décrivant la saison des pluies sont considérés :

- la date de début de la saison agricole ;
- la date de fin de la saison agricole ;
- la longueur de la saison agricole ;
- les séquences pluviométriques sèches et humides.

La détermination des dates de début et de fin de saison agricole est basée sur des critères précis [21]. Le début de la saison agricole (DSA) commence à partir du 1^{er} mai où l'on enregistre un cumul pluviométrique de 20 mm en trois jours consécutifs non suivis d'une séquence sèche de 7 jours durant les 3 décades qui suivent. La fin de la saison agricole (FSA) commence à partir du 1^{er} septembre où l'on n'enregistre pas de pluie pendant deux décades. Un démarrage est considéré tardif lorsqu'il intervient 1 décade au moins après la date moyenne, or une fin est considérée comme précoce lorsqu'elle intervient 1 décade au moins avant la date moyenne [11]. La longueur de saison agricole (LSA) se déduit de ces dates comme la différence entre la fin de la saison agricole et celle de début de saison agricole. La *Formule* de calcul de la longueur de la saison agricole est la suivante :

$$LSA = FSA - DSA \quad (1)$$

avec, LSA : Longueur de la Saison Agricole ; FSA : Fin de la Saison Agricole ; DSA : Début de la Saison Agricole.

Les séquences pluviométriques sèches et humides ont été identifiées à travers les travaux de [8, 22]. Dans cette étude, une séquence est considérée comme sèche lorsque pendant la saison agricole (mai - octobre), il s'écoule 10 jours au moins sans pluie. Un tel épisode est capable d'induire les échecs de semis ou d'influer négativement sur les besoins hydriques des cultures saisonnières [11]. Une séquence est considérée comme humide pendant la saison agricole, si au cours de la même semaine, on enregistre trois événements pluvieux d'au moins 30 mm chacun ou lorsque la pluviométrie hebdomadaire est supérieure ou égale à 100 mm [11]. Dans ces conditions, les exploitations agricoles sont susceptibles d'être inondées lorsque le sol est déjà saturé en humidité. Le tableur Excel 2020 a été utilisé pour la saisie, la codification et l'analyse des données au moyen de statistique descriptive (moyenne, fréquence) afin de générer les résultats sous forme de graphes et de tableaux. Le logiciel R 3.6.2 a été utilisé pour la construction du diagramme en radar. Les différentes cartes ont été mises en place au moyen du logiciel ArcGIS 10.4.

3. Résultats

3-1. Validation des données de station et satellitaires

Le coefficient de corrélation de Pearson a permis de déterminer la relation entre les données des stations et celles satellitaires. Après analyse, il existe une forte corrélation ($r = 0,99$) entre ces deux différentes données avec une probabilité de ($p = 0,000$). Par conséquent, les données de station et satellitaires évoluent dans le même sens et peuvent se substituer dans cette étude (**Figure 2**).

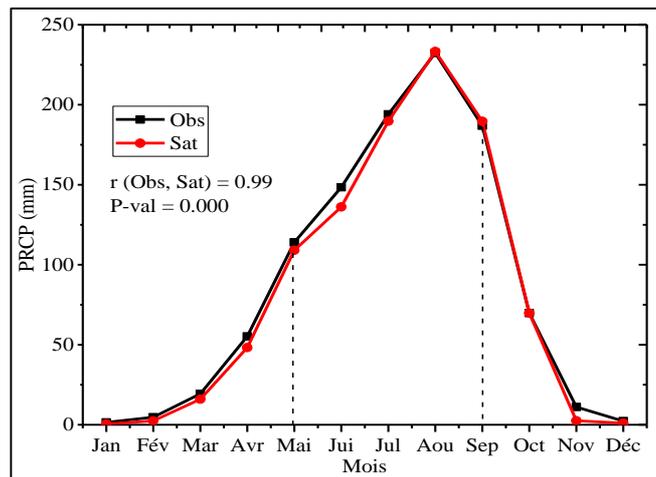


Figure 2 : *Évolution interannuelle des précipitations observées et satellitaires dans la zone d'étude pour la période de 1951 à 2018*
 Source : Météo-Bénin et CRU (1951 - 2018)

3-2. Démarrage et fin de la saison agricole

Dans le Pôle de Développement Agricole II (PDA-II), l'analyse de l'évolution interannuelle des dates de Début de la Saison Agricole (DSA) fluctue généralement entre les mois de mai à juin sur une série temporelle de 1951 à 2018 (**Tableau 1**). L'installation des pluies dans la commune de Natitingou s'effectue dans la 1^{ère} décade du mois de mai. La majorité des stations (Alfakora, Banikoara, Bembéréké, Djougou, Ina, Kalalé, Kandi, Kérou, Kouandé, N'Dali, Nikki, Parakou, Péhunco, Ségbana et Tanguiéta) reçoivent les premières pluies dans la deuxième décade du mois de mai. A Guéné et à Malanville, les DSA sont plus ou moins tardifs et débutent respectivement dans la troisième décade du mois de mai et la première décade du mois de juin. Dans le milieu d'étude, les FSA s'étendent de la première décade du mois d'octobre pour la deuxième décade du mois de novembre. En effet, Malanville est marquée par une FSA précoce (8 octobre) tandis que Natitingou enregistre une FSA tardive (18 novembre). Les autres stations enregistrent une diversité de FSA. De la mise en relation des informations, il ressort que le démarrage et la fin de la saison sont relativement homogènes dans le milieu d'étude. Mais les dates moyennes cachent les irrégularités plus complexes qui rendent aléatoires les possibilités de prévoir les dates de début et de fin de la saison agricole. Dans le milieu d'étude, l'écart-type du FSA est plus élevé que celui du DSA. Par conséquent, la FSA est très hétérogène et par ricochet instable sur la période de 1951 à 2018. Cette instabilité n'est pas sans conséquence sur les LSA (Longueur de la Saison Agricole) dont dépend le cycle de développement des cultures. Dans ce contexte, il est impératif d'analyser la variabilité des LSA pour mieux comprendre la qualité des saisons agricoles.

3-3. Variabilité des longueurs des saisons agricoles

Dans cette étude, les différentes stations sont caractérisées par une diversité de la longueur de la saison agricole sur la période de 1951 à 2018. La durée moyenne des longueurs de la saison agricole varie de 143 à 191 jours, soit respectivement 14 à 19 décades (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Moyennes des dates de début, de fin et de la longueur des saisons agricoles dans le PDA-II sur la série temporelle de 1951 à 2018

Stations	DSA	Ecart type (jours)	FSA	Ecart type (jours)	LSA (jours)	Ecart type (jours)
Alfakora	19 mai	1	10 octobre	5	143	5
Banikoara	12 mai	1	26 octobre	4	162	10
Bembéréké	16 mai	1	26 octobre	2	162	1
Djougou	18 mai	1	18 octobre	2	154	2
Guéné	26 mai	1	16 octobre	4	143	3
Ina	12 mai	4	28 octobre	4	168	7
Kalalé	14 mai	2	12 octobre	7	152	5
Kandi	16 mai	1	14 octobre	1	151	2
Kérou	20 mai	9	14 octobre	10	163	3
Kouandé	12 mai	4	23 octobre	8	163	12
Malanville	4 juin	4	8 octobre	1	125	5
N'Dali	19 mai	6	3 novembre	1	168	3
Natitingou	9 mai	1	18 novembre	17	177	5
Nikki	19 mai	1	19 octobre	4	153	2
Parakou	10 mai	1	17 octobre	18	175	4
Péhunco	18 mai	3	10 novembre	8	191	11
Ségbana	16 mai	1	19 octobre	1	152	6
Tanguiéta	16 mai	1	13 octobre	17	165	6

Source des données : Météo-Bénin (1951 - 2018)

Ces moyennes minimales et maximales ont été enregistrées respectivement dans les stations d'Alfakora et de Péhunco. Les écart-types des LSA sont plus ou moins faibles et fluctue entre les différentes stations. Mais les stations de Péhunco (11 jours) et de Kouandé (12 jours) sont très instables en termes de LSA sur la période de 1951 à 2018. Autrement dire, on note une hétérogénéité des LSA au fil des années à l'intérieur de ces stations. A contrario, les stations de Bembéréké (1 jour) et de Nikki (2 jours) sont très stables. Cette stabilité pourrait être garant d'une amélioration de la productivité agricole. Par ailleurs, les moyennes de la longueur des saisons agricoles des différentes stations sont supérieures à la durée du cycle de développement (90 ou 120 jours) des cultures notamment le maïs, l'igname, le sorgho et le coton cultivés dans le milieu d'étude. Malgré cela, les besoins hydriques des différentes phases de développement phénologiques (germination, phase végétative, floraison/épiaison, fructification) de ces cultures ne sont pas satisfaits. Ceci pourrait être dû à l'apparition des séquences sèches et/ou humides au cours des saisons pluvieuses. Ces poches de sécheresse jouent un rôle déterminant et créent un déficit ou un excès hydrique irréversible au niveau des plantes. Tous ces facteurs concourent à la baisse drastique de la productivité agricole.

3-4. Fréquence des séquences sèches et humides

L'apparition des séquences sèches et/ou humides au cours de la saison agricole amplifie la vulnérabilité des cultures et compromet la production agricole. Dans le PDA-II, au cours des saisons agricoles de 1951 à 2018 il y a une dominance de l'apparition des séquences sèches sur les séquences humides (*Figure 3*).

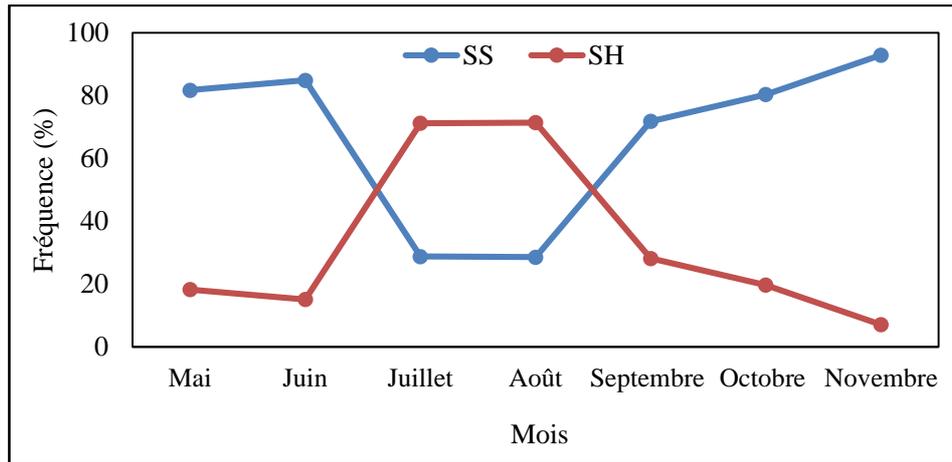


Figure 3 : Fréquences moyennes mensuelles des séquences sèches et humides dans le PDA-II

En effet, le milieu d'étude est caractérisé par des séquences sèches dans les mois de mai (81,68 %), juin (84,87 %), septembre (71,82 %), octobre (80,31 %) et novembre (92,86 %). Ces séquences sèches sont dominantes au nord et à l'est du PDA-II, notamment dans les stations de Alfakoara et de Ségbana (Figure 4). Les séquences humides sont enregistrées dans les mois de juillet (71,20 %) et d'Août (71,41 %). Elles sont très prononcées à l'ouest de la station de N'dali (Figure 4).

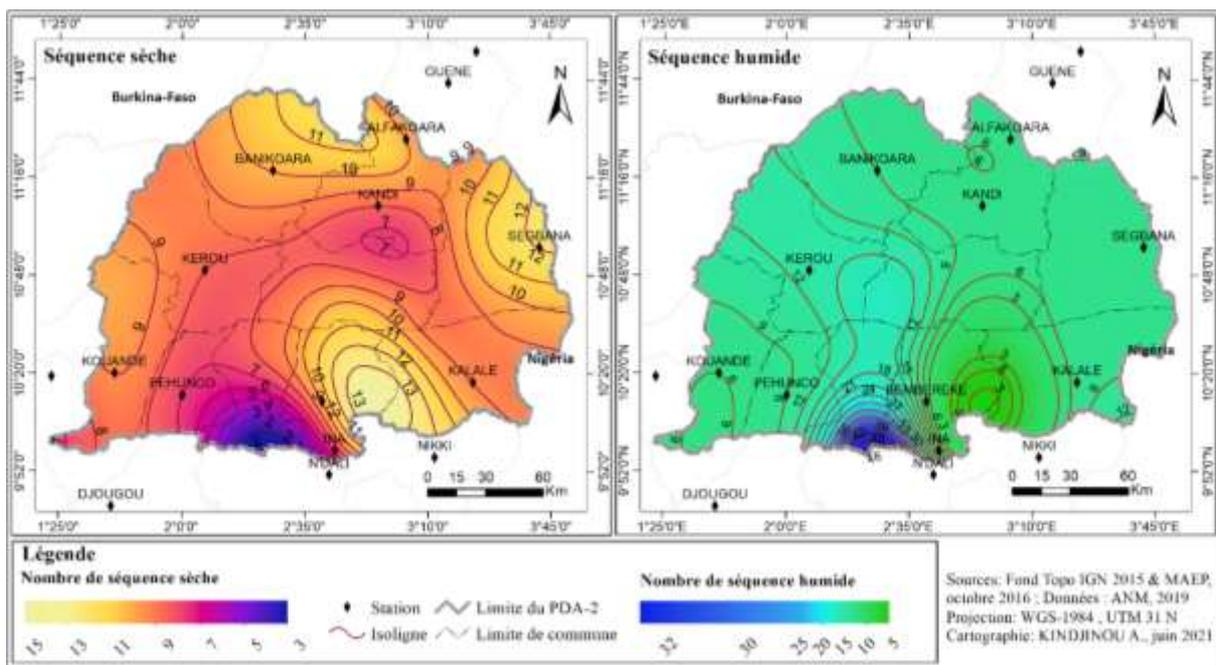


Figure 4 : Carte des séquences sèches et humides pendant la saison agricole dans le PDA-II

L'analyse des séquences sèches et humides a été effectuée également dans les trois stations synoptiques du milieu d'étude de façon indépendante. Il s'agit de la station de Kandi (Figure 5), Natitingou (Figure 6) et Parakou (Figure 7).

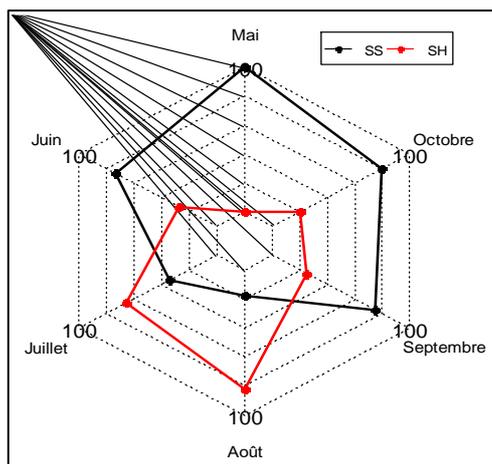


Figure 5 : Fréquence des séquences sèches et humides pendant la saison agricole à Kandi

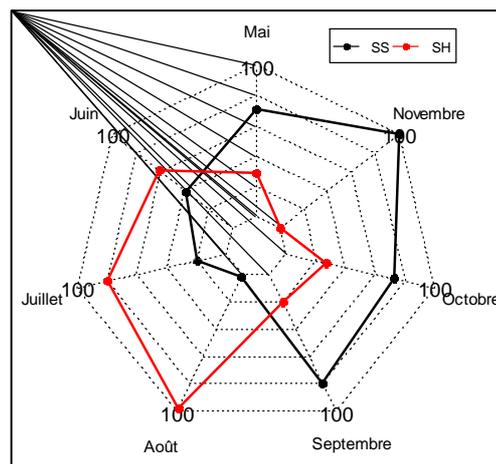


Figure 6 : Fréquence des séquences sèches et humides pendant la saison agricole à Natitingou

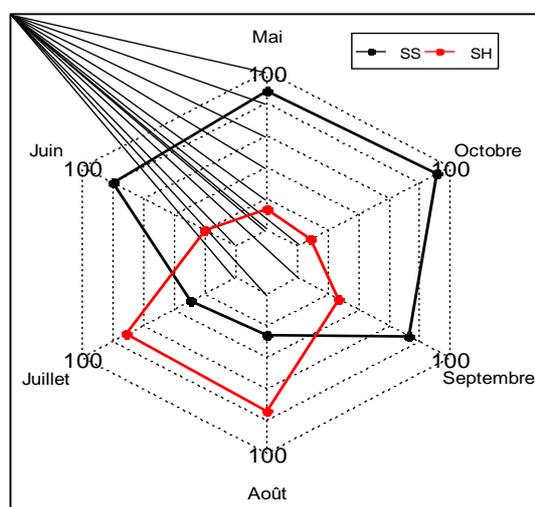


Figure 7 : Fréquence des séquences sèches et humides pendant la saison agricole à Parakou

Dans la station de Kandi (**Figure 5**) de 1951 à 2018, les séquences sèches sont dominantes dans les mois de mai (100 %), juin (72,73 %), septembre (75 %) et octobre (80 %). Les séquences humides apparaissent dans les mois de juillet (65,52 %) et d'août (81,98 %). Sur la même série temporelle, la station de Natitingou (**Figure 6**) enregistre des séquences humides dans les mois de juin, juillet et août avec respectivement des fréquences relatives de 60,67 %, 79,59 % et 97,56 %. Au cours de la saison agricole, les séquences sèches s'observent dans les mois de mai (71,43 %), septembre (80 %), octobre (73,21 %) et novembre (100 %). La saison agricole à Parakou (**Figure 7**) est marquée par des interruptions momentanées de la pluie due à l'apparition des séquences sèches. Elles s'observent dans les mois de mai (87,50 %), juin (80 %), septembre (72,73 %) et octobre (90,91 %). Les excès d'eau aux plantes en saison agricole sont dus aux séquences humides. Elles sont enregistrées dans les mois de juillet (71,43 %) et d'août (74,14 %). Par conséquent, les séquences sèches sont plus fréquentes en début et en fin de saison agricole en cohérence avec le mouvement de la mousson, principal facteur pluviogénique du milieu. Quant aux séquences humides, elles sont plus fréquentes en pleine saison agricole. Ces différentes perturbations de la saison agricole créent un état de stress au niveau des plantes. Elles induisent d'une part des déficits hydriques et d'autre part des excès d'eau au niveau des cultures.

4. Discussion

4-1. Démarrage et fin de la saison agricole

Dans cette étude, les deux différents types de données impliqués sont les données de station et satellitaires. Le coefficient de corrélation (r) a permis de déterminer la relation existante entre ces données. Après analyse, il ressort que les données de station et satellitaires évoluent dans le même sens car $r > 0$. Par conséquent, les données de station constituent un substitut aux données satellitaires. Souvent, les données de station sont incomplètes. C'est dans ce cadre que les données satellitaires viennent combler le déficit pour assurer une bonne fiabilité. En effet, les données satellitaires permettent une estimation fiable des pluies à l'échelle interannuelle [23]. En Centrafrique, les données de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) produits par Earth Resources Observation and Science (EROS) d'une résolution spatiale de 0,05 ont été utilisées pour compenser le déficit des données d'observation [24]. Les données stationnaires sont utilisées pour la validation des données satellitaires [19]. Ces résultats corroborent plus ou moins aux résultats obtenus dans cette étude. Au cours de cette étude, la variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie dans le PDA-II est analysée en tenant en compte les dates de début et de fin de la saison agricole, les totaux pluviométriques, de la longueur de la saison pluvieuse et les séquences sèches et/ou humides. Ce résultat concorde aux travaux réalisés au Burkina-Faso [25]. Les dates de démarrage et de fin de la saison des pluies, la répartition des précipitations au sein de la saison des pluies et le cumul saisonnier de pluie constituent par ordre de priorité des paramètres climatiques cruciaux dans le choix des stratégies agricoles [25]. Le milieu d'étude est affecté par une instabilité pluviométrique multiforme. En effet, les dates de début et de fin de la saison agricole, la longueur de la saison agricole sont déterminées à partir des moyennes obtenues dans la période 1951 - 2018.

Ce qui pourrait justifier les faibles valeurs des écart-types. Le PDA-II est caractérisé par une diversité des dates de début de la saison agricole dans les différentes stations. En effet, les dates de début de la saison agricole jouent un rôle crucial dans les calendriers agricoles. Elles permettent le lancement de la campagne agricole à travers les activités de semis des cultures. Les dates d'installation des pluies sont essentielles en agriculture pluviale, car elles déterminent les dates de semis [26]. Ce résultat corrobore celui obtenu dans cette étude. Les retards d'installation des pluies dans la station de Malanville (1^{ère} décennie de juin) pourraient être dus à la proximité de cette station au Niger. Le Niger étant un pays sahélien soumis à une très forte variabilité intra-saisonnière des précipitations [7]. Le début de la saison agricole a démarré globalement dans le mois de mai (1^{ère} à la 3^{ème} décennie) dans les dix-sept autres stations avec une inconstance intra-mensuelle. Dans le mois d'octobre, nous observons la fin de la saison agricole sur l'ensemble des stations avec des particularités de fin tardive en novembre et décembre. Les précipitations moyennes annuelles doivent être supérieures aux exigences hydriques des cultures afin de permettre aux cultures de bénéficier des apports d'eau pour satisfaire les besoins physiologiques de la plante. Dans cette étude, en prenant en compte ce paramètre, les exigences hydriques des cultures sont satisfaites. Cependant, il existe une diversité de facteurs climatiques qui influent la productivité agricole. En effet, la seule connaissance du régime pluviométrique ne suffit pas pour expliquer le rendement du maïs pluvial, un rendement faible peut résulter aussi bien de conditions hydriques déficitaires qu'excédentaires [27]. Or, ces conditions, résultent respectivement de l'apparition des séquences sèches et humides en pleine saison agricole.

4-2. Variabilité des longueurs des saisons agricoles

En effet, les longueurs des saisons agricoles se raccourcissent en raison des démarrages tardifs et/ou des fins précoces des pluies [11]. A ces scénarii, s'ajoutent les séquences sèches et humides assez récurrentes qui sont préjudiciables aux activités agricoles. En Afrique de l'Ouest la principale source de pluie est tributaire de l'installation de la mousson [16, 30, 31]. Or, on note une irrégularité dans la mise en place de la mousson,

ce qui pourrait justifier l'instabilité intra-saisonnière des pluies. L'installation des séquences sèches en pleine saison pluvieuse pourrait être due aux périodes d'affaiblissements de la mousson correspondant à l'arrêt ou à la raréfaction des pluies [11]. Les périodes de renforcement de la mousson s'accompagnent d'une hausse des précipitations plus ou moins continues qui induisent les séquences humides [11]. Par ailleurs, une installation précoce ou tardive de la mousson impactera la longueur de la saison agricole. Les séquences sèches affectent les différentes phases phénologiques des cultures de diverses manières. Elles induisent généralement des déficits hydriques avec des conséquences négatives sur les cultures [32]. Dans le milieu d'étude, les séquences sèches sont plus fréquentes dans les mois de mai (81,68 %), juin (84,87 %), septembre (71,82 %), octobre (80,31 %) et novembre (92,86 %). Les stations de Alfakoara et de Ségbana enregistrent de fortes valeurs de séquences sèches au cours des saisons agricoles. Cela pourrait être dû à des facteurs abiotiques (relief, microclimat, etc). Au début de la saison, les séquences sèches induisent des semis tardifs, des faibles taux de germination obligeant les producteurs à faire des resemis. Elles pourraient entraîner un faible taux de germination ce qui réduira le nombre de plants à l'hectare et par ricochet influer sur le rendement. Pendant la phase végétative des céréales, le stress hydrique retarde l'apparition des panicules et des soies [33]. Les besoins physiologiques des plantes augmentent considérablement durant la floraison ou l'épiaison, car elle permet la formation des organes floraux qui vont se féconder pour donner les produits finaux. Un déficit hydrique durant cette période est susceptible d'induire une baisse drastique des rendements des cultures et par ricochet l'augmentation de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. Ces résultats corroborent ceux de [11, 32, 34].

4-3. Fréquence des séquences sèches et humides

L'étude a révélé que les séquences humides sont fréquentes en juillet (71,29 %) et en août (71,41 %) ; et sont très prononcées à l'ouest de la station de N'dali. En effet, durant cette période non seulement les pluies deviennent plus continues, mais elles sont parfois abondantes pour générer des séquences humides [11]. Au cours des séquences humides, on note l'excès d'eau aux plantes qui engendre des inondations désastreuses pour les cultures et induire des pertes de rendements. Enfin, dans le PDA-II, la variabilité intra-saisonnière se manifeste par des débuts de saison agricole tardifs et des fins de saison agricole précoces qui induisent des séquences sèches en pleine saison agricole. Ces séquences sèches créent un déficit hydrique au niveau des plantes. Dans ce contexte, les plantes n'arrivent pas à satisfaire leurs besoins physiologiques. A ceci s'ajoute des excès d'eau au milieu de la saison en cas d'apparition des séquences humides. Les difficultés deviennent plus contraignantes lorsque plusieurs épisodes néfastes se combinent au cours de la même saison agricole [11]. Ces paramètres climatiques auront des répercussions sur le rendement des cultures. Ils vont favoriser la résurgence des déprédateurs qui vont augmenter l'infestation des cultures [34]. Tout ceci influe sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle qui va engendrer une famine qui risque de plonger le pays dans une crise alimentaire et économique. Les travaux [14, 16, 35] vont dans ce même sens. Les producteurs du milieu d'étude vivent essentiellement de l'agriculture particulièrement du coton. Le coton étant la première culture de rente rapportant des devises à la nation, se retrouve très vulnérable à la variabilité intra-saisonnière. Même si la relation pluie-rendement n'est pas toujours linéaire et explicite [3] ; des mesures d'atténuation et d'adaptation doivent être mises en place en prenant en compte les interactions entre le complexe sol-plante-atmosphère pour une production agricole durable garant d'amélioration des moyens de subsistance. De la mise en relation de toutes ces informations, il ressort que la variabilité intra-saisonnière des précipitations impacte la productivité agricole à travers une diminution drastique du rendement des cultures. Or, les pertes de rendement induiront la pauvreté et par ricochet l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. Dans un tel contexte, des mesures radicales doivent être prises par les autorités à divers niveaux afin de mitiger l'impact des aléas climatiques sur la production agricole dans le milieu d'étude. Aux nombres de ces mesures, nous avons : l'utilisation des semences précoces et résistantes aux ravageurs, vulgariser les techniques de semis échelonnés, renforcer les capacités des producteurs en Agriculture de précision, etc. Ces stratégies pourraient contribuer à l'amélioration des moyens de subsistance des producteurs du milieu d'étude et augmenter la sécurité alimentaire et de la nutrition au niveau de la population.

5. Conclusion

Dans le PDA-II, les dates de démarrage des saisons agricoles se situent en moyenne entre le 9 mai et le 4 juin. Les dates de fin des saisons agricoles quant à eux fluctuent en moyenne entre le 8 octobre au 10 novembre. Les saisons agricoles varient de 125 jours à 191 jours dans l'ensemble de la zone d'étude. Au cours de ces saisons, on note l'apparition des séquences sèches (mai, juin, septembre, octobre, novembre) et humides (juillet, août). La variabilité intra-saisonnière se traduit par des débuts de saison tardifs et des fins de saison précoces dans certaines communes du PDA-II. A cela, s'ajoute des séquences sèches et humides en pleine saison pluvieuse. Cette variabilité intra-saisonnière entraîne des conséquences irréversibles d'une part au niveau des cultures et d'autre part au niveau des producteurs. Il s'agit du stress hydrique, les baisses de productivité, l'insécurité alimentaire et nutritionnelle et la détérioration des moyens de subsistance des producteurs. Dans ce cadre, des mesures d'atténuation doivent être mises en place afin de mitiger l'impact de la variabilité climatique.

Références

- [1] - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Summary for Policymakers [H.-O. PÖRTNER, D.C. ROBERTS, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, M. TIGNOR, A. ALGERIA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LÖSCHKE, V. MÖLLER, A. OKEM (eds.)], (2022)
- [2] - IPCC. In : Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change [H. O. PÖRTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRÍA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LÖSCHKE, V. MÖLLER, A. OKEM, B. RAMA (eds.)], (2022) Cambridge University Press. In Press
- [3] - D. NOUFE, Z. KOUADIO, G. SORO, T. WAYOU, B. GOULA and I. SAVANE, Impact de la variabilité climatique sur la production du maïs et de l'igname en Zones Centre et Nord de la Côte d'Ivoire *Agronomie Africaine*, 27 (3) (2015) 241 - 255
- [4] - I. YABI, M. N'TCHA TCHANATI and A. AKIBOU, Paysannat vivrier face aux incertitudes pluviométriques de la seconde saison agricole dans la commune de didja au sud-Bénin *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 3 (8) (2019) 6 - 25
- [5] - J. PATUREL, E. SERVAT, B. KOUAMÉ, H. LUBES, M. OUEDRAOGO and J. MASSON, Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea Part II: an integrated regional approach *Journal of hydrology*, 191 (1 - 4) (1997) 16 - 36
- [6] - F. AFOUDA, P. SALAKO and I. YABI, Instabilité intra-saisonnière des pluies de la grande saison agricole dans la commune de kétou au Bénin *Revue de géographie du laboratoire Leïdi—ISSN*, (2014) 7 - 28
- [7] - S. CISSE, Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au Sahel: impacts sur la végétation (cas du Ferlo au Sénégal). Université Pierre et Marie Curie-Paris VI; Université Cheikh Anta Diop (Dakar), (2016)
- [8] - S. ZAKARI, B. A. H. TENDE, I. T. IMOROU, I. YABI, F. AFOUDA and B. N'BESSA, Variabilité hydropluviométrique et dynamique de l'occupation des terres dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Coubéri au Bénin (Afrique de l'Ouest) *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 13 (2) (2015) 235 - 251
- [9] - R. MARTEAU, Date de semis du mil et variabilité intrasaisonnière des précipitations au Niger, (2012)
- [10] - M. ABOU, I. YABI, I. YOLOU and E. OGOUWALE, Caractérisation des systèmes de production sur les sites d'aménagements hydro-agricoles dans le doublet Dangbo-Adjohoun au sud du Bénin *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (2018) 462 - 478

- [11] - M. S. ISSA, S. ZAKARI, I. YABI and F. AFOUDA, Vulnérabilité de la production agricole face à l'instabilité intrasaisonnière des pluies dans le Département du Borgou au Bénin *Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi*, 20 (2017)
- [12] - I. YABI, Paysannat vivrier face aux incertitudes pluviométriques de la seconde saison agricole dans la commune de Didja au Sud-Bénin *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 8 (3) (2019) 6 - 25
- [13] - I. YABI and F. AFOUDA, Extreme rainfall years in Benin (West Africa) *Quaternary International*, 262 (2012) 39 - 43
- [14] - L. G. OROU YERIMA, G. HOUNTO, I. YOLOU, I. YABI and F. AFOUDA, Variabilité climatique et production agricole dans la zone agro-écologique III au Nord du Bénin *Afrique SCIENCE*, 16 (2) (2020) 76 - 85
- [15] - S. KATE, C. G. HOUNMENO, A. AMAGNIDE and B. SINSIN, Effets des changements climatiques sur les activités agricoles dans la commune de Banikoara (Nord benin) *E-Journal of Science & Technology*, 10 (2) (2015) 1 - 16
- [16] - C. G. GANDJI, B. HOUNKANRIN, Y. IBOURAÏMA, I. T. IMOROU and E. OGOUWALE, Vulnérabilité de la production agricole aux changements climatiques dans les Communes de BANIKOARA et BEMBEREKE au Nord du BENIN *Espace Géographique et Société Marocaine*, 1 (52) (2021) 1 - 13
- [17] - S. KATE, "Effets des changements climatiques sur l'agriculture et mesures d'adaptation en zone agropastorale de production cotonnière dans la Commune de Banikoara (Bénin)", Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, (2016) 25 - 40 p.
- [18] - Y. ISSIFOU MOUMOUNI, T. A. KINDJINO, B. ADOUGAN, B. HOUNKANRIN, H. KOUMASSI, A. V. EZIN, I. YABI and E. OGOUWALE, Impact of climate change on the dynamics of soybean (*Glycine max*)(L.) Merr. production areas in the second agricultural development pole of the Sudanian region of Benin (West Africa) *Legume Science*, (2022) 1 - 12
- [19] - D. J. HARRIS, M. O'BOYLE, E. BATES and C. BUCKLEY, "Harris, O'Boyle & Warbrick: Law of the European convention on human rights.," Oxford University Press, USA., (2014)
- [20] - E. LEROUX, Management du tourisme responsable, vecteur d'innovation environnementale, sociale, économique et territoriale *Management Avenir*, 2 (2015) 111 - 119
- [21] - M. SIVAKUMAR, Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa *Agricultural and forest meteorology*, 42 (4) (1988) 295 - 305
- [22] - T. SANE, M. DIOP and P. SAGNA, Étude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal) *Sécheresse*, (19) 1 (2008) 23 - 28
- [23] - P. CAMBERLIN, G. BARRAUD, S. BIGOT, O. DEWITTE, F. MAKANZU IMWANGANA, J. C. MAKI MATESO, N. MARTINY, E. MONSIEURS, V. MORON and T. PELLARIN, Evaluation of remotely sensed rainfall products over Central Africa *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145 (722) (2019) 2115 - 2138
- [24] - J. M. DJEBATA, C. R. NGUIMALET and P. CAMBERLIN, Variabilité saisonnière et intra-saisonnière de la pluviométrie en milieu forestier dans le Sud-ouest centrafricain *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 384 (2021) 367 - 373
- [25] - K. INGRAM, M. RONCOLI and P. KIRSHEN, Opportunities and constraints for farmers of West Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study *Agricultural systems*, 74 (3) (2002) 331 - 349
- [26] - L. MALASSIS and G. GHERSI, Initiation à l'économie agro-alimentaire. Paris, Hatier. Aupelf, Grenoble INPG, (1992) 335 p.
- [27] - D. KONE, Caractérisation du risque climatique de la culture du maïs en zone centre de la Côte-d'Ivoire. IAHS Publi : Niamey, (1991)
- [28] - U. C. S. Y. ALLE, P. V. VISSOH, H. GUIBERT, E. K. AGBOSSOU and A. A. AFOUDA, Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud Bénin *Vertigo*, 13 (3) (2013) 22
- [29] - I. YABI, P. B. CHABI AYEDEGUE and G. C. WOKOU, Perturbations pluviométriques de la seconde saison agricole dans le Département des collines au Bénin, *Revue de Géographie de Lomé*, (2013) 142 - 153

- [30] - O. DIENG, P. ROUCOU and S. LOUVET, Variabilité intra-saisonnière des précipitations au Sénégal (1951-1996) *Sécheresse*, 19 (2) (2008) 87 - 93
- [31] - B. SULTAN and S. JANICOT, Abrupt shift of the ITCZ over West Africa and intra-seasonal variability *Geophysical Research Letters*, 27 (20) (2000) 3353 - 3356
- [32] - I. YOLOU, I. YABI, O. B. I. FOUSSENI and F. AFOUDA, Instabilité intra-saisonnière des pluies et ses effets sur les dates optimales de semis de maïs dans la commune de Ouaké (Nord-Ouest Bénin) *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 1 (2017) 6 - 15
- [33] - J. B. ADJAKPA, I. YABI, D. K. ADJALALA and U. C. S. HOUSSOU, Variabilité intra-saisonnière des pluies et production du maïs dans la commune de Natitingou *Climat et Développement*, 22 (2015) 5 - 17
- [34] - GIEC. Coton et changement climatique, Impacts et option de réduction et d'adaptation, (2011) 1 - 51 p.
- [35] - E. AMOUSSOU, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest) Actes du XXVème Colloque de l'AIC, Grenoble, France, (2010) 693 - 698