

Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



RIGES

www.riges-uaو.net

ISSN-L: 2521-2125

ISSN-P: 3006-8541

Numéro 19, Tome 2

Décembre 2025



Publiée par le Département de Géographie de l'Université Alassane OUATTARA de Bouaké

INDEXATION INTERNATIONALE

SJIF Impact Factor

<http://sjifactor.com/passport.php?id=23333>

Impact Factor: 8,333 (2025)

Impact Factor: 7,924 (2024)

Impact Factor: 6,785 (2023)

Impact Factor: 4,908 (2022)

Impact Factor: 5,283 (2021)

Impact Factor: 4,933 (2020)

Impact Factor: 4,459 (2019)

ADMINISTRATION DE LA REVUE

Direction

Arsène DJAKO, Professeur Titulaire à l'Université Alassane OUATTARA (UAO)

Secrétariat de rédaction

- **Joseph P. ASSI-KAUDJHIS**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Konan KOUASSI**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Dhédé Paul Eric KOUAME**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Yao Jean-Aimé ASSUE**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Zamblé Armand TRA BI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Kouakou Hermann Michel KANGA**, Maître de Conférences à l'UAO

Comité scientifique

- **HAUHOUOT** Asseyopo Antoine, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **ALOKO** N'Guessan Jérôme, Directeur de Recherches, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **BOKO** Michel, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Bénin)
- **ANOH** Kouassi Paul, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **MOTCHO** Kokou Henri, Professeur Titulaire, Université de Zinder (Niger)
- **DIOP** Amadou, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **SOW** Amadou Abdoul, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **DIOP** Oumar, Professeur Titulaire, Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal)
- **WAKPONOU** Anselme, Professeur HDR, Université de N'Gaoundéré (Cameroun)
- **SOKEMAWU** Koudzo, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **HECTHELI** Follygan, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **KADOUZA** Padabô, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- **GIBIGAYE** Moussa, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Bénin)
- **GÖBEL** Christof, Professeur Tutilaire, Universidad Autonoma Metropolitana, (UAM) - Azcapotzalco (Mexico)

EDITORIAL

La création de RIGES résulte de l'engagement scientifique du Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara à contribuer à la diffusion des savoirs scientifiques. RIGES est une revue généraliste de Géographie dont l'objectif est de contribuer à éclairer la complexité des mutations en cours issues des désorganisations structurelles et fonctionnelles des espaces produits. La revue maintient sa ferme volonté de mutualiser des savoirs venus d'horizons divers, dans un esprit d'échange, pour mieux mettre en discussion les problèmes actuels ou émergents du monde contemporain afin d'en éclairer les enjeux cruciaux. Les enjeux climatiques, la gestion de l'eau, la production agricole, la sécurité alimentaire, l'accès aux soins de santé ont fait l'objet d'analyse dans ce présent numéro. RIGES réaffirme sa ferme volonté d'être au service des enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants qui s'intéressent aux enjeux, défis et perspectives des mutations de l'espace produit, construit, façonné en tant qu'objet de recherche. A cet effet, RIGES accueillera toutes les contributions sur les thématiques liées à la pensée géographique dans cette globalisation et mondialisation des problèmes qui appellent la rencontre du travail de la pensée prospective et de la solidarité des peuples.

**Secrétariat de rédaction
KOUASSI Konan**

COMITE DE LECTURE

- KOFFI Brou Emile, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Joseph P., Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- BECHI Grah Félix, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- MOUSSA Diakité, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- VEI Kpan Noël, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- SOKEMAWU Koudzo, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- HECTHELI Follygan, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- KOFFI Yao Jean Julius, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- Yao Jean-Aimé ASSUE, Professeur Titulaire, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO
- KADOUZA Padabô, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- GIBIGAYE Moussa, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Bénin)
- GÖBEL Christof, Professeur Tutilaire, Universidad Autonoma Metropolitana, (UAM) - Azcapotzalco (Mexico)

Sommaire

Ben Yaya KONATÉ, Dia Aïssata Aïda DAO <i>Dynamiques territoriales de la criminalité et des vulnérabilités sociales à Montréal avant et pendant la covid-19 : une analyse spatiale comparée des enfants et des aînés dans trois arrondissements centraux</i>	750
Koffi Gabin KOUAKOU, Kiyofolo Hyacinthe KONÉ, Aya Christine KOUADIO <i>Analyse de l'incidence de l'exploitation de l'or sur les activités agricoles dans la zone aurifère Yaouré (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)</i>	767
FONO PASCALE CHRISTELLA, MEDIEBOU CHINDJI <i>Décentralisation et dynamiques du développement économique local dans le département de la Mvila (Sud-Cameroun)</i>	786
Rolland MOUSSITOU MOUKOUENGO, René NGATSE, Paul Gurriel NDOLO <i>Croissance démographique et spatiale de la ville de Brazzaville : dégradation environnementale et difficultés de gestion des déchets solides ménagers</i>	816
Daniel SAIDOU BOGNO, Martin ZOUA BLAO, Abaïcho MAHAMAT <i>Tendance climatiques et performance scolaire dans la plaine du Logone (Extrême-Nord, Cameroun)</i>	840
Kpémame DJANKARI, Roseline KAMBOULE, Pounyala Awa OUOBA <i>Effets de la variabilité climatique sur la dégradation des terres agricoles dans la Région des Savanes au Nord Togo</i>	858
N'DRI Kouamé Frédéric, Kone Ferdinand N'GOMORY, KONATE TREMAGAN, Kouamé Marc Anselme N'GUESSAN <i>Dynamique urbaine et aviculture dans la ville de Bouaké : entre opportunité économique et dégradation environnementale</i>	879
AGBON Apollinaire Cyriaque, Sènami Fred MEKPEZE <i>Cartographie des contraintes à l'étalement urbain dans la commune de Sèmè-Podji (sud du Bénin)</i>	901
QUENUM Comlan Irené Eustache Zokpénou, DOSSOU GUEDEGBE Odile V. <i>Gestion des espaces frontaliers et sécurité dans l'arrondissement d'Igana (commune de Pobè)</i>	923

Joseph Saturnin DIEME, Henri Marcel SECK, Bonoua FAYE, Ibrahima DIALLO <i>Evolution de l'occupation des sols dans la commune de Mangagoulack de 1982 à 2025</i>	941
KANKPENANDJA Laldja, BAWA Dangnисso, ODJIH Komlan <i>Utilisations des terres et géomorphodynamique superficielle dans le bassin versant du Bonkoun au nord-Togo</i>	956
KOUADIO N'dri Ernest <i>Distribution spatiale des services urbains dans un contexte d'expansion urbaine à Bingerville en Côte d'Ivoire</i>	972
MBARGA ATEKOA Nicolas Brice Fridolin, TCHEKOTE Hervé, LARDON Sylvie <i>Mécanismes et défis de l'approvisionnement vivrier de la métropole Yaoundé par ses périphéries : cas de Nkometou, Nkolafamba et Mbankomo</i>	988
Fatimata SANOGO, Adama KEKELE, Laurent Tewendé OUEDRAOGO <i>Aménagement hydro-agricole et dynamique du front pionnier agricole dans le sous bassin versant Plandi 2 dans un contexte de migration agricole, Région du Guiriko (Ouest du Burkina Faso</i>	1020
SAGNA Ambroise, BA Djibrirou Daouda, SECK Henri Marcel, DIATTA Hortense Diendene <i>Approche par télédétection de la dynamique spatio-temporelle des terres salées du Sous-Bassin du Kamobeul Bolong entre 1985 et 2015</i>	1038
LONDESSOKO DOKONDA Rolchy Gonalth <i>Croissance urbaine et occupation spatiale dans la communauté urbaine d'Ignie (République du Congo)</i>	1059
Salifou COULIBALY <i>Croissance démographique et crise du logement dans la ville de Bingerville (Côte d'Ivoire)</i>	1076
KONAN Aya Suzanne <i>Les externalités socio-économiques de la transformation du manioc dans la ville de Toumodi (Côte d'Ivoire)</i>	1093
Daniel Guikahué BISSOU <i>Evaluation des pratiques écotouristiques dans les villages côtiers de la région de San Pedro : le cas du village Nero-Mer dans la sous-prefecture de Grand-Bereby</i>	1112

KOUAKOU Kouamé Abdoulaye <i>Production de l'anacarde dans le nord-est de la Côte d'Ivoire : de l'espérance aux désarrois des paysans</i>	1124
Koly Noël Catherine KOLIÉ <i>Transports et développement socioéconomique en Guinée Forestière</i>	1140
N'GORAN Kouamé Fulgence <i>Déterminants sociodémographiques du tourisme nocturne dans la ville de Bouaké</i>	1061
KOUADIO Datté Anderson <i>Analyse de l'impact de la frontière Ivoiro-Ghanéenne sur les dynamiques migratoires dans la ville d'Abengourou (Est, Côte d'Ivoire)</i>	1087
Laetitia Guylia ROGOMBE, Nadine Nicole NDONGHAN IYANGUI, Marjolaine OKANGA-GUAY, Whivine Nancie MAVOUNGOU-MAVOUNGOU, Jean-Bernard MOMBO <i>L'urbanisation du grand Libreville : entre pression foncière et pression environnementale</i>	1103
Ramatoulaye MBENGUE <i>La gestion des déchets solides ménagers par réutilisation dans la commune de Ngor, Sénégal</i>	1118
Daniel GOMIS, Babacar FAYE, Abdou Khadre Dieylany Yatma KHOLLE, Agnès Daba THIAW-BENGA, Aliou GUISSE, Aminata NDIAYE <i>Dynamiques spatio-temporelles du couvert végétal dans le bassin arachidier de 1985 à 2017 : cas de l'Arrondissement de Djilor (Fatick, Sénégal)</i>	1135
KOUADIO Nanan Kouamé Félix <i>Restrictions sanitaires liées à la Covid-19 et résilience des commerçants de vivriers à Korhogo, Côte d'Ivoire</i>	1158
KOUADIO Akissi Yokebed, VEÏ Kpan Noel <i>Hévéaculture circulaire en zone rurale : une approche spatiale intégrée à la société des caoutchoucs de Grand-Béréby</i>	1178
SOM Ini Odette épse KOSSONOU, ASSOUMOU Tokou Innocent, KOUAME Dhédé Paul Eric, DJAKO Arsène <i>La production de l'igname dans le département de Bondoukou, une organisation encore traditionnelle</i>	1197

GBENOU Pascal	1218
<i>Utilisation des pesticides de synthèse et gestion des emballages vides dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin) : analyse diagnostique</i>	
GOLI Kouakou Camille, N'ZUÉ Koffi Pascal, ALLA Kouadio Augustin, KOUASSI Kouamé Sylvestre	1233
<i>La pêche à Béoumi : analyse du jeu des acteurs par la méthode Mactor</i>	
Déhalé Donatien AZIAN	1256
<i>Accès à l'eau potable a la population de la commune des Aguégués</i>	
Jean SODJI	1273
<i>Inconstance climatique et rendement agricole dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exécutoire de Bétérou au Bénin (Afrique de l'ouest)</i>	
ASSABA Hogouyom Martin	1290
<i>Impact de la mauvaise gestion des eaux usées sur l'environnement dans le 5^{eme} arrondissement de Cotonou (Afrique de l'ouest)</i>	
NIAMEY Ahou Laure Béatrice, YAPI Maxime, KOFFI Brou Émile	1307
<i>Insuffisance des équipements et dégradation de la qualité de l'enseignement dans les structures de formation technique et professionnelle dans le département de Bouaké (Centre nord de la Côte d'Ivoire)</i>	
KOUADIO N'guessan Arsène, SANGARÉ Nouhoun	1323
<i>Dynamique du mode d'habiter : de la précarité à la valorisation des matériaux locaux à Bouaké (Côte d'Ivoire)</i>	
Christelle Makam SIGHA, Paul TCHAWA	1338
<i>Rareté des terres et migrations paysannes à l'Ouest-Cameroun : cas des jeunes agriculteurs du département de la Menoua</i>	
HOUSSEINI Vincent, AOUDOU DOUA Sylvain	1356
<i>Acteurs du commerce frontalier du marché de Dziguilao dans l'extrême-nord (Cameroun) : entre enjeux et complexité des relations</i>	
N'DOLI Stéphane Désiré Eckou, YMBA Maimouna, KAMANAN N'zi Franck	1371
<i>L'accès aux soins des enseignants à Bouaflé : une ville secondaire de la Côte d'Ivoire</i>	
TOURE Adama	1382
<i>La gouvernance foncière, entre tradition et modernisme dans le département de Dikodougou (Nord, Côte d'Ivoire)</i>	

INCONSTANCE CLIMATIQUE ET RENDEMENT AGRICOLE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A L'EXECUTOIRE DE BETEROU AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

Jean SODJI, Maître-Assistant

Institut du Cadre de Vie (ICaV) de l'Université d'Abomey-Calavi ; Laboratoire de
Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA) ;

Email : sodjjean@gmail.com

(*Reçu le 20 septembre 2025; Révisé le 10 novembre 2025; Accepté le 30 novembre 2025*)

Résumé

Le climat est le paramètre écologique le plus déterminant de l'agriculture. Cette étude vise à évaluer l'influence de la variabilité climatique sur la production agricole à l'exutoire de Bétérou. Pour cette étude, les données climatologiques utilisées concernent la pluie, la température et l'ETP de même que les statistiques agricoles. Caractérisé par un régime unimodal, ce bassin est sujet à la variabilité climatique marquée par un bouleversement des saisons combinée à une augmentation des températures moyennes. L'analyse de corrélation a permis d'apprécier le degré de dépendance existant entre la pluviométrie, l'indice d'humidité et les rendements agricoles. Le bilan d'eau établi au niveau des cultures atteste que le déficit ou l'excès pluviométrique affecte d'une manière significative la croissance des espèces aux stades de la floraison, de l'épiaison ou à la maturité.

Mots clés : Variabilité climatique, rendements agricoles, bilan d'eau, température, l'Ouémé à Bétérou.

CLIMATIC INCONSTANCY AND AGRICULTURAL YIELD IN THE OUEME RIVER BASIN AT THE EXECUTORI OF BETEROU IN BENIN

Abstract

Climate is the most decisive ecological parameter for agriculture. This study aims to evaluate the influence of climate variability on agricultural production at the Ouémé River basin outlet in Bétérou. For this study, climatological data used include rainfall, temperature, and reference evapotranspiration, as well as agricultural statistics. Characterized by a unimodal rainfall regime, this basin is subject to climate variability marked by disrupted seasons combined with rising average temperatures. Correlation analysis was used to assess the degree of dependence between rainfall, the moisture index, and crop yields. The water balance established at the crop level confirms that both rainfall deficits and surpluses significantly affect plant growth during flowering, heading, and maturity stages.

Keywords: Climate variability, crop yields, water balance, temperature, Ouémé at Bétérou.

Introduction

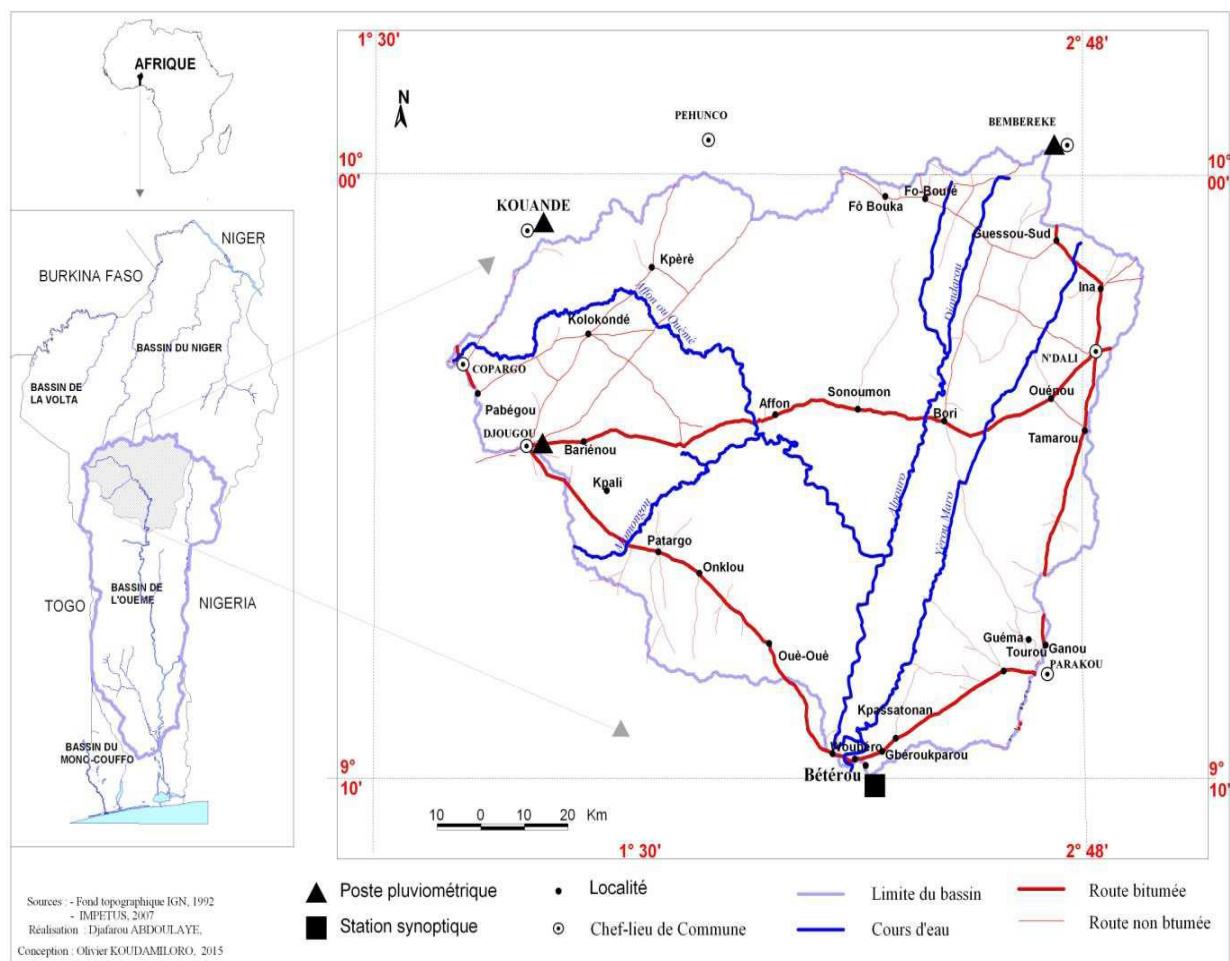
Les péjorations climatiques constituent une menace potentiellement majeure pour les systèmes de production agricole. L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère induite par les activités humaines aboutit à un large consensus pour évoquer l'idée d'un changement climatique. Les scénarios prédictifs d'ici à 2100 attestent d'un accroissement moyen de la température de surface oscillant entre 1,8°C et 4°C (GIEC, 2007, p. 16). les changements climatiques sont au centre des préoccupations aussi bien des acteurs scientifiques que des décideurs politiques au niveau mondial (F.i COCKER *et al.*, 2018, p. 290). Sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, la pluviométrie a en moyenne baissé de 180 mm par rapport à la période antérieure (Vissin, 2007, p 115). L'agriculture souffre autant des excès que des déficits de précipitations (Ndong, 2003, p15). La zone Guinéenne dans laquelle se trouve le Bénin a été marquée durant ces dernières décennies par une profonde modification des régimes pluviométriques (Houndénou, 1999 ; Agbangla et Chede, 2003, p 10). L'économie de ces pays étant basée sur l'agriculture de type pluvial, ils constituent un territoire particulièrement vulnérable à de tels changements de régime pluviométriques. La fluctuation climatique influence les économies nationales des pays de l'Afrique de l'ouest pour trois raisons, dont le rôle encore important de l'agriculture pluviale dans l'économie de la région (IUCN, 2004, p 13.). Les précipitations au Bénin comme ailleurs se caractérisent par une forte irrégularité dans leur abondance comme dans leur répartition spatio-temporelle (le Barbé *et al.*, 1993, p 115.). Tributaire des aléas climatiques, l'agriculture est la principale activité au Bénin, aussi bien en matière d'emploi que de contribution à l'économie. En effet, ce secteur emploie 60% de la population active, contribue pour 35% au PIB, assure 80% des exportations et constitue encore le principal pilier de l'économie nationale avec un taux sectoriel de 08% (CNI, 2001, p.). L'économie béninoise est donc fortement dépendante des performances du secteur agricole, qui est particulièrement sensible aux variations climatiques. De ce fait, le développement agricole reste un défi majeur pour le Bénin. Comment la variabilité climatique influence-t-elle les rendements agricoles dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exécutoire de Bétérou au Bénin ? Cette étude vise à évaluer l'influence de la variabilité climatique sur la production agricole à l'exutoire de Bétérou.

1. Présentation du cadre d'étude

1.1. Situation géographique

Le bassin de l'Ouémé à Bétérhou est situé au nord du Bénin et a pour coordonnées géographiques: les latitudes 9° et 10°30' N, et les longitudes 1°30' et 3° E (Koudamiloro O. et al., 2015, p.543). L'Ouémé est le plus important fleuve du Bénin de même que son bassin. Le régime de ce fleuve est celui des rivières qui l'alimentent donc varie en fonction de la répartition spatio-temporelle des précipitations. La portion du bassin qui fait l'objet de cette étude est le bassin de l'Ouémé à Bétérhou (figure 1).

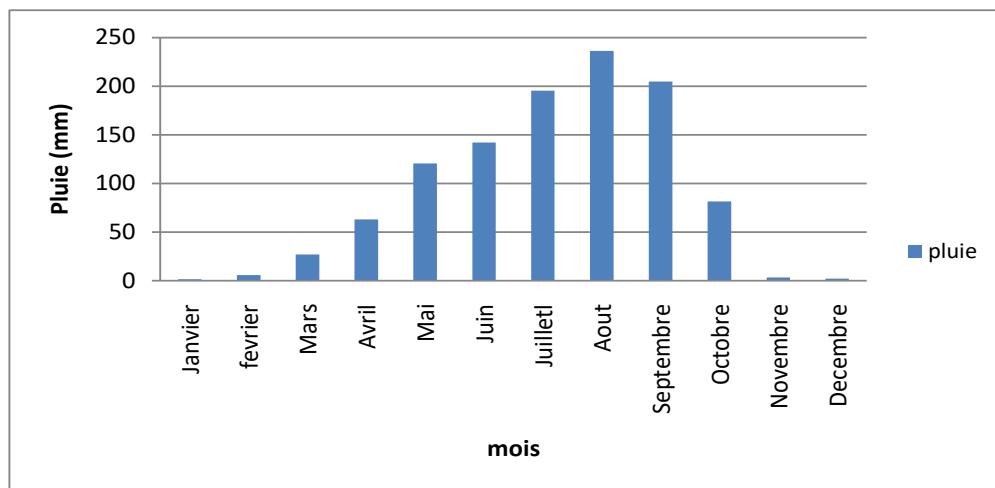
Figure 1 : Situation géographique du bassin de l'Ouémé à Bétérhou



1.2. Climat du bassin de l'Ouémé à Bétérou

Le bassin de l'Ouémé à Bétérou jouit d'un climat soudanien au Nord et tropical de transition au Sud. Ainsi, le bassin connaît deux saisons (Totin *et al.*, 2007, p 12.) : une saison pluvieuse d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars (Figure 2). La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1300 mm à cause de sa situation en latitude et en longitude.

Figure 2 : régime pluviométrique moyen à Bétérou de 1960-2007



1.3. Les types de sols du bassin de l'Ouémé à Bétérou

Les formations pédologiques du bassin de l'Ouémé à Bétérou se résument essentiellement aux sols ferrugineux tropicaux lessivés, aux sols ferrugineux tropicaux appauvris et aux sols hydromorphes.

Les sols hydromorphes se retrouvent dans les vallées le long des cours d'eau. La réserve hydrique est de l'ordre de 75 ou 100 mm à un mètre de profondeur selon les sites.

Cette catégorie de sol à des propriétés physiques et hydrauliques moyennes et la réserve en eau est acceptable du point de vue agronomique. (Houndénou, 1999, p 175.). Les sols ferrugineux tropicaux sont caractérisés par un lessivage intense et une forte altération. Leurs propriétés hydrodynamiques sont moins bonnes. Ils sont peu profonds, souvent concrétionnés, avec des horizons bien différenciés et une couche humifère peu épaisse.

1.4. L'agriculture, principale activité d'occupation du bassin

L'agriculture constitue la principale occupation de la population du bassin. Elle occupe plus de 80% de la population active (INSAE, 2002, p 22.). Le travail est essentiellement manuel. Seuls quelques producteurs nantis utilisent la culture attelée ou la culture

motorisée. De nos jours, la majorité des agriculteurs du bassin de l’Ouémé à Bétérou ne refusent plus les nouvelles technologies. Pour cette communauté, le Programme de Promotion de la Mécanisation Agricole (PPMA) en cours au MAEP est une aubaine. Le système de production est la culture itinérante. L’igname est en tête de rotation avec de grosses buttes et les paysans se déplacent d’une aire à une autre lorsqu’ils constatent la chute de fertilité de la surface cultivée. Dans le bassin de l’Ouémé à Bétérou comme partout au Bénin les paysans continuent à pratiquer l’agriculture sur brûlis avec des outils rudimentaires tels que la houe, le coupe-coupe, la hache, etc. Les grands types de cultures rencontrées sont :

- la culture vivrière (ignames, manioc, maïs, niébé, soja, le riz, sorgho) ;
- la culture de rente (coton, arachide, soja, manioc, riz), puis la culture maraîchère ; (Piment, gombo, tomate, légumes diverses etc.), (INSAE, 2002).

2. Données et Méthodes

2.1. Données

Elles sont relatives au climat et à l’agriculture. Les données pluviométriques issues de Météo-Benin concernent toutes les stations pluviométriques présentes sur le bassin de l’Ouémé à Bétérou ; ainsi, pour étudier l’évolution de la pluviométrie dans le bassin, toutes ces données ont été régionalisées à l’aide du logiciel Surfer.

L’ETP et les températures sont celles de la station synoptique de Parakou (car la seule présente dans le secteur d’étude). Les statistiques agricoles (production, rendement et superficies emblavées) proviennent du MAEP. Les données relatives aux cultures (longueur du cycle végétative, coefficients culturaux) sont issues de la base de données du CENAP.

2.2. Méthodes

2.2.1. Outils de collecte des données

Les outils de collectes utilisés sont le questionnaire, le guide d’entretien et la grille d’observation.

Le questionnaire a permis de faire des enquêtes directes auprès des paysans en vue de connaître la perception que ces derniers ont des variabilités climatiques et ses conséquences. Le guide d’entretien a permis de collecter d’autres données complémentaires auprès des agents du CeRPA, des groupements villageois et des élus locaux.

Quant à la grille d'observation, elle a été utilisée pour collecter des informations par observations directes en milieu réel.

2.2.2. Techniques de collecte des données

➤ Recherche documentaire

Elle consiste à rechercher des documents spécifiques, des données climatiques et tout autre document pouvant aider à améliorer nos connaissances sur le thème d'étude. Ainsi, des centres de documentation ont été visités à cet effet.

➤ Echantillonnage

L'unité de base de notre échantillon est le ménage agricole. On entend ici par ménage, un individu ou un groupe d'individus qui mettent ensemble leurs ressources (en nature ou en numéraire) en vue de subvenir à leurs besoins (INSAE, 2004). Les groupes cibles sont constitués : d'agents de CeRPA et de CeCPA, des groupements villageois, des élus locaux et des notables. Le mode de tirage est aléatoire. Il a guidé le choix des villages retenu ainsi que celui des ménages enquêtés. Ainsi, un échantillon de trois cent cinquante (352) ménages a été enquêté pour un total de cinq mille vingt-huit (5028) ménages. Soit un taux d'échantillonnage d'environ 7 %.

2.2.3. Méthodes diagnostiques du climat

Il est question d'étudier la variabilité climatique à travers certains paramètres du climat, dont la pluviométrie, la température et l'évapotranspiration potentielle. A cette étape, les méthodes utilisées sont essentiellement statistiques.

• Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est utilisée pour étudier les régimes pluviométriques.

C'est le paramètre fondamental de tendance centrale, représentée ici par la « normale », moyenne calculée sur une série de trente six ans. Elle s'exprime par la formule suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

La moyenne \bar{X} a permis d'identifier les différents rythmes pluviométriques, les champs moyens et de caractériser l'évolution de la pluviométrie.

• Coefficient de variation

C'est le moyen le plus utilisé pour tester et quantifier la variabilité d'une réalité ou d'un phénomène statistique. C'est le rapport de l'écart-type à la moyenne, exprimé en pourcentage (Houndénou, 1999). Il s'écrit de la manière suivante : $Cv = \frac{\sigma(x)}{\bar{x}} \times 100$

$\sigma(x)$ = écart-type de la série et \bar{X} = moyenne

- *Anomalies centrées réduites*

A partir de l'écart type, on a calculé les anomalies centrées réduites pluviométriques interannuelles, en standardisant les données. Les anomalies se calculent par la formule suivante :

$$x'_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$$

x'_i = anomalie centrée réduite pour l'année i

\bar{X} = moyenne de la série

$\sigma(x)$ = écart-type de la série

- *Le bilan climatique*

Pour apprécier la durée de la saison de façon climatique, le bilan climatique sera déterminé. Il s'exprime par la formule suivante : $BC = P - ETP$, avec :

- BC , bilan climatique
- P , pluie journalière
- ETP , évapotranspiration potentielle

L' ETP est définie comme la demande climatique en vapeur d'eau.

- Si $P - ETP > 0$, alors le bilan est excédentaire ;
- Si $P - ETP < 0$, alors le bilan est déficitaire ;
- Si $P - ETP = 0$, alors le bilan est équilibré.

- *Indice d'humidité*

L'indice d'humidité est le rapport des précipitations à l' ETP sur une période donnée. Cet indice mesure l'efficacité de la précipitation vis-à-vis de la demande climatique. Sa formule est :

$$IH = (\sum P / \sum ETP) * 100$$

Plus les valeurs sont faibles, plus la période est sèche et moins la culture se trouve dans les conditions optimales.

La corrélation entre les rendements des principaux produits agricoles et l'indice d'humidité a été faite. Elle permettra d'avoir une idée sur le degré de dépendance entre l'indice d'humidité et les rendements des différentes spéculations. La formule est :

$$r = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\ \sigma(x) \cdot \sigma(y)$$

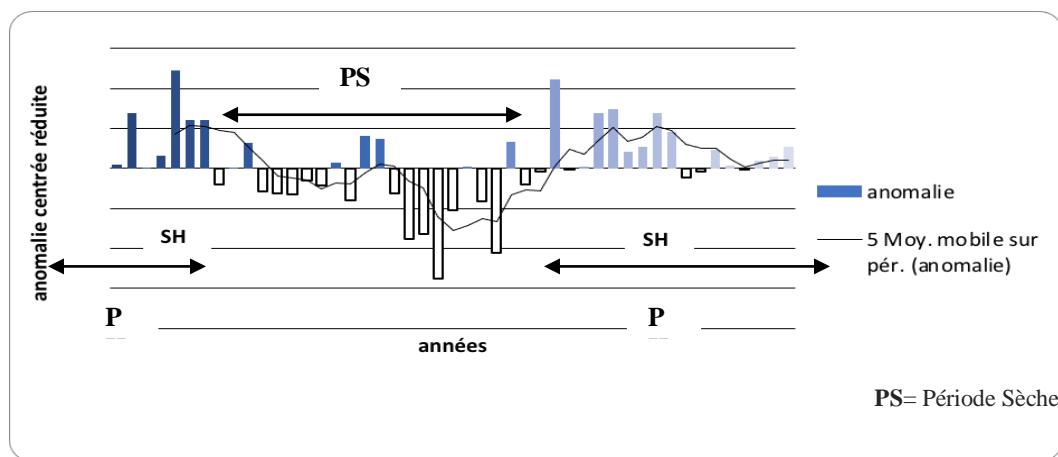
3. Résultats

3.1. Variabilité climatique

3.1.1. Variabilité interannuelle des pluies

La figure 3 met en exergue les variations interannuelles des données de pluies à l'échelle du bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bétérou.

Figure 3 : variations interannuelles de la pluviométrie du Bassin de l'Ouémé à Bétérou



Source : D'après les résultats du traitement des données de 1963 à 2005, année, 2024

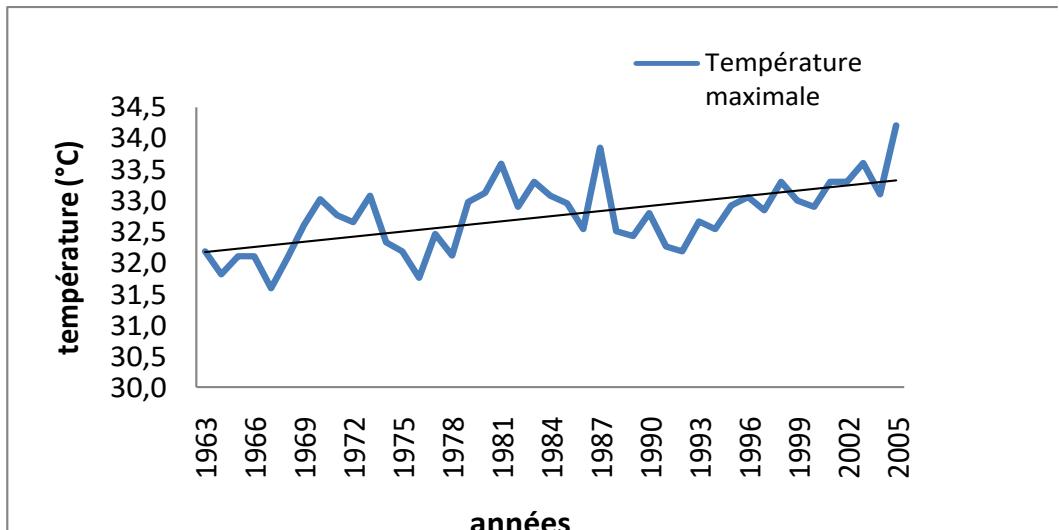
La figure 3 montre les variations interannuelles de la pluviométrie dans le Bassin de l'Ouémé à Bétérou de 1960 à 2006. Les valeurs des plus fortes précipitations sont enregistrées en 1960 et 1963. La valeur de la plus faible précipitation s'est observée en 1983. Les indices centrés réduits de la pluie annuelle montrent une variabilité caractérisée par l'alternance entre une période humide de 1960 à 1969, une autre de 1990 à 2006 et une période déficitaire de 1970 à 1989. La période déficitaire est dominée par les anomalies positives et les périodes humides se manifestent à travers l'abondance des anomalies

positives (année favorable à l'activité agricole). En effet, à partir de l'année 1970 on note une récession pluviométrique qui persiste jusqu'en 1989 à l'exception des années 1978, 1979 et 1988 où la pluie semble abondante. Cette baisse pluviométrique varie en intensité avec une forte recrudescence en 1983 et 1987. A partir de 1990 commence une nouvelle période presque humide sur le bassin. Les hauteurs de pluie connaissent globalement une tendance à la baisse sur la période 1960-2006. Pour tester le degré de variabilité interannuelle des précipitations, le coefficient de variation a été utilisé. Ce coefficient confirme que la variabilité interannuelle des précipitations est faible puisque qu'il est estimé à seulement 17,85 % sur l'ensemble de toutes les stations pluviométriques du bassin de l'Ouémé à Bétérou.

3.1.2. Variabilité interannuelle des températures maximales

La figure 4 traduit l'évolution interannuelle des températures maximales dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou.

Figure 4: Evolution interannuelle des températures maximales



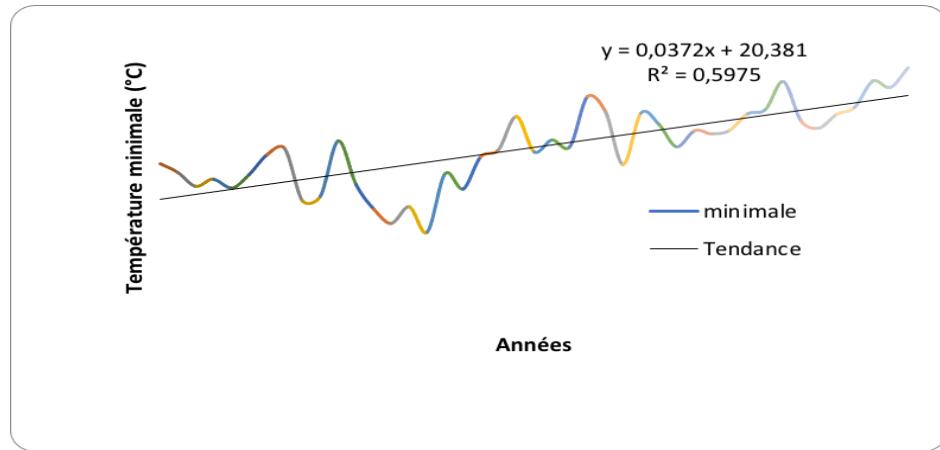
Source : D'après les résultats du traitement des données de 1963 à 2005, année, 2024

Les températures maximales ont connu une importante variabilité (figure 4). En effet, de 1963 à 2005, l'évolution des températures montre une tendance générale à la hausse. Cette tendance à la hausse de température corrobore avec plusieurs travaux qui portent sur le réchauffement climatique, dont ceux de l'IPCC. Les derniers travaux montrent que le réchauffement s'accélère $0,8^{\circ}\text{C}$ en un siècle, dont $0,6^{\circ}\text{C}$ sur les trente dernières années, mais aussi d'après l'analyse de sédiments marins, que la chaleur actuelle se situe dans le haut de l'échelle des températures depuis le début de l'holocène, c'est-à-dire 12 000 ans.

3.1.3. Variabilité interannuelle des températures minimales

La figure 5 présente l'évolution interannuelle des températures minimales de l'Ouémé à Bétérou (1963-2005)

Figure 5 : Evolution interannuelle des températures minimales



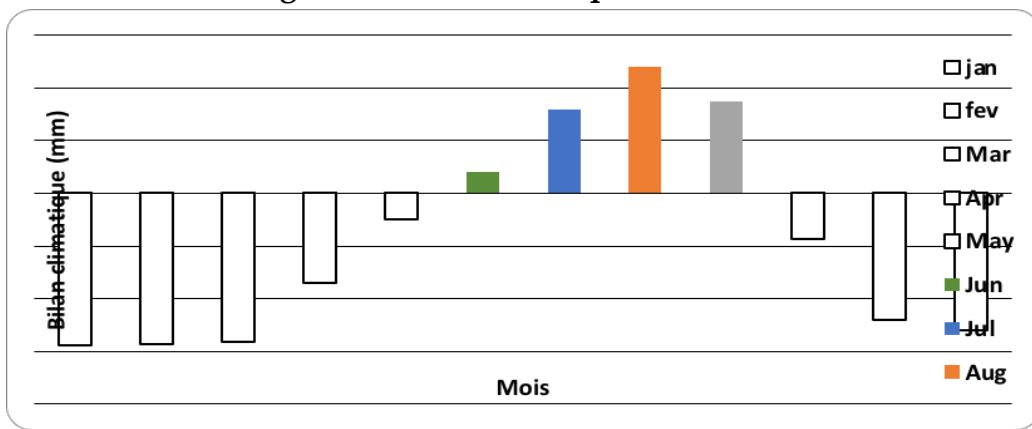
Source : D'après les résultats du traitement des données de 1963 à 2005, année, 2024

Les températures minimales connaissent une augmentation non négligeable de leurs valeurs dans tout le bassin de l'Ouémé à Bétérou. Par ailleurs, depuis 1993 les températures minimales moyennes dans ledit bassin ont une valeur supérieure à 27°C.

3.1.4. Bilan climatique saisonnier

La figure 6 présente l'évolution du bilan climatique saisonnier dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou sur la période allant 1960 à 2005.

Figure 6 : Bilan climatique saisonnier



Source : D'après les résultats du traitement des données de 1963 à 2005, année, 2024

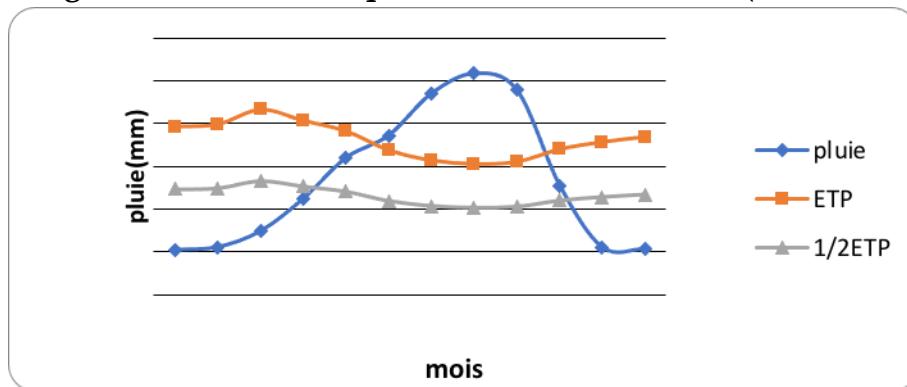
L'analyse de la figure 6 révèle deux périodes majeures :

La première période concerne les mois les plus humides de l'année (le cœur de la mousson). Elle regroupe les mois de juin, juillet, aout et septembre avec un maximum pluvieux en août de 120,4 mm suivi du mois de septembre (87,12 mm). En revanche, la seconde période va de novembre à avril. Ce sont les mois les plus secs de l'année où la demande évaporatoire de l'atmosphère est très importante, avec un fort amenuisement de la réserve en eau du sol. Le bilan climatique est déficitaire de janvier à mai et d'octobre à décembre. Il est excédentaire de juin à septembre regroupant ainsi les mois les plus humides de l'année sur tout le bassin.

3.1.5. Caractéristique de la saison culturelle à Bétérou

Dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou la méthode des intersections de Pierre Franquin donne le résultat de la figure 7.

Figure 7: Bilan climatique de l'Ouémé à Bétérou (1960-2006)



Source : D'après les résultats du traitement des données de 1963 à 2005, année, 2024

Cette figure obtenue à partir des valeurs de l'ETP et des précipitations moyennes mensuelles fait constater les faits suivants :

- De janvier à avril, les pluies moyennes mensuelles restent inférieures à la moitié de l'ETP. Ce qui témoigne la présence d'une période sèche, non favorable à la culture mais plutôt à la préparation du sol.
- A partir de mi-avril les cultivateurs peuvent commencer les semis, car le sol a pu reconstituer son stock d'eau. Ceci coïncide avec la période de semis de près de 54,6 % des paysans enquêtés.

De mi-juin à mi-septembre, les totaux pluviométriques mensuels sont largement au-dessus de l'ETP et de $\frac{1}{2}$ ETP avec une légère inflexion dans le mois d'août. Ainsi cette période est très favorable à la culture. La série des tableaux en annexe II, présente les besoins minimums en eau des cultures par stade de développement. La méthode des intersections

de Franquin estime la durée des cycles de cultures proposables et la durée de préparation du sol. Pourtant ce procédé connaît des limites dans son interprétation puisqu'il ne tient pas compte de la nature du sol et de la végétation.

3.1.8 Analyse de corrélation

Tableau 1 : Corrélation entre la pluviométrie et les rendements des cultures

Cultures	Pluie/arachide	Pluie/sorgho	Pluie/igname	Pluie/mais
Coefficient de corrélation entre la pluviométrie et les rendements	0,47	0,49	0,52	0,60

Source : MAEP et traitement de données, 2009

Les rendements des principales cultures du bassin de l'Ouémé à Bétérou et des hauteurs pluviométriques saisonnières ont un degré de corrélation qui varie entre 0,47 et 0,60. Ces valeurs significatives permettent de dire que la dépendance des cultures vis-à-vis de la pluie est forte ; c'est-à-dire que la moindre fluctuation pluviométrique au cours des phases végétatives des plantes pourrait faire baisser les rendements. Pour approfondir cette étude, la prise en compte de l'indice d'humidité (qui mesure l'efficacité de la précipitation vis-à-vis de la demande climatique) s'avère importante.

3.1.9. *Indice d'humidité et rendements des cultures*

Le tableau 2 montre la corrélation entre l'indice d'humidité et les rendements des cultures agricoles.

Tableau 2 : Corrélation entre l'indice d'humidité et les rendements des cultures

Indice d'humidité (%)	arachide	sorgho	igname	mais
Parakou	23,20	23,61	5,31	16,32
Djougou	-----	6,87	33,09	26,68
N'dali	18,11	3,17	1,22	7,63
Tchaourou	23,77	57,19	13,67	13,50

Source : MAEP, DMN et traitement de donnée, 2009

Le tableau 2 montre le degré de dépendance entre les indices d'humidité et les rendements des principales spéculations dans l'Ouémé à Bétérou. Ainsi, on s'aperçoit

qu'à l'échelle stationnelle, il existe des différences significatives du degré de dépendance entre les indices d'humidité et les rendements agricoles. C'est le cas du sorgho qui est plus sensible aux fluctuations de l'indice d'humidité à Tchaourou que dans les autres communes. Aussi, le degré de dépendance entre l'indice d'humidité et les rendements de l'igname à Djougou est de 33,09% tandis qu'à N'dali cette valeur est de 1,22 %. Ceci confirmerait la présence d'une variabilité spatio-temporelle des indices d'humidité dans ledit bassin énuméré plus haut.

Mais au-delà de la quantité d'eau précipitée, la bonne répartition de la pluviométrie au niveau des stades de développement des cultures reste aussi capitale. Les communautés attestent d'une inégale répartition des pluies au cours de la saison agricole depuis quelques décennies dans le milieu. Ainsi, pour une caractérisation de la manifestation de cette variabilité pluviométrique, les aspects tels que : le cycle végétatif, les besoins et bilans d'eau des cultures ont été successivement abordés.

3.2. Cycle végétatif, besoins et bilan d'eau des cultures

3.2.1. Cycle végétatif

En général le cycle végétatif de chacune des cultures choisies comprend quatre (4) phases à savoir : le semis, la levée (début de croissance), la floraison, l'épiaison et la maturation (LSSEE 2002). Le tableau 3 présente respectivement la durée en décade de chaque phase.

Tableau 3 : Durée en décade des différentes phases du cycle végétatif

<i>Phases</i> <i>Cultures</i>	Phases (1) semis et levée	Phases (2) floraison	Phases (3) Epiaison	Phases (4) Maturité
Maïs de 75 jours	2	1,5	2	2
Maïs de 90 jours	2	2	3	2
Maïs de 120 jours	3	3	4	2
Sorgho	4	4	5	3
Arachide	2	3,5	4,5	2,5
Igname	2	5	9	11

Source : LSSEE, 2002

3.2.2. Besoins en eau des plantes

- *L'igname*

Pour les années excédentaires (1994, 1998), bien que la pluie soit supérieure au besoin de la culture pour toute la période végétative, il est observé un déficit hydrique allant de 75,88% à 100% lors du semis levé et de la floraison. Ceci se justifie par la mauvaise

répartition de la pluie. Par ailleurs, en année normale (1970,2002) le déficit, va de 1,44 % à 100% au cours des trois premiers stades de développement. Sur les quatre stades de développement, c'est uniquement lors de la maturité (dernier stade de développement) que les besoins en eau de l'igname sont satisfaits. En plus, les années déficitaires(1981,1983) ont engendré un déficit important au cours de toute la période culturelle. Les déficits en eau sont évalués à 08,44 voire 36,48 % du besoin en eau moyen. Pour finir, on peut donc conclure que la culture de l'igname dans le bassin de l'Ouémé à Bétérou subit des déficits hydriques très accentués en début de culture. Cela entraîne parfois des résems. Il faut remarquer également que les excédents constatés lors de la maturité provoquent parfois au pourrissement des tubercules.

- *Le sorgho*

Les besoins en eau du sorgho ne sont pas aussi élevés que ceux des autres cultures. De ce fait, les déficits sont presqu'inexistants. Sur les six années choisies pour évaluer les déficits et les excédents en eau, c'est seulement en 1983 (année déficitaire) qu'un déficit de 72,4 % est observé lors de la maturité. Egalement, en 1970 (année normale) un déficit de 06,65 % pendant le semis levé s'est observé. Cependant, il a eu d'importants excédents pluviométriques durant la phase de l'épiaison du sorgho en 1970, 1981, 1994, 1998 et en 2002. Ces excédents ont rendu médiocres les rendements.

- *L'arachide*

Les années déficitaires (1981 et 1983) ont enregistré des déficits non négligeables. En 1981 la demande en eau de l'arachide n'a pas été satisfaite au cours du semis et de la floraison. Les déficits au cours de cette période sont respectivement 11,26 % et 6,39 %. L'année 1983 a quant à elle connu un déficit de 89,21 % lors du semis. En ce qui concerne les années normales et excédentaires, les besoins en eau de l'arachide ont été satisfaits. Cependant, des excédents ont été constatés et cela a fait baisser les rendements.

- *Le maïs*

Pour le maïs de 75 jours, les déficits sont notés au semis et à l'épiaison (année déficitaire). Ils sont évalués à 01,76 % voire 93,09 %. En année excédentaire, il n'y a pratiquement pas de déficits hydrique. Quant aux années normales, les déficits vont de 02,43 % à 50,08 % et cela du semis à l'épiaison en passant par la floraison. Pour le maïs de 90 jours, les déficits sont notés au semis et à l'épiaison (année déficitaire). Ils sont évalués à 17,14 % voire 93,09 %. En année excédentaire, il n'y a pratiquement pas de déficits hydrique. Quant aux années normales les déficits vont de 3,81 % à 29,64 % et cela s'étend du début des semis jusqu'à la floraison. Quant au maïs de 120 jours, les déficits sont notés au semis et à l'épiaison (année déficitaire). Ils sont évalués à 35,76 % voire 51,76 %. En année excédentaire, il n'y a pratiquement pas de déficits hydrique. Quant aux années normales les déficits vont de 07,2 % à 29,8 % et cela du semis à la floraison. Par ailleurs, selon J.

Morel, (1991, p135), un stress pendant la formation des épis réduit le nombre de rangs puis la longueur de l'épi. De même, un stress à la floraison va, en allongeant l'intervalle floraison mâle / floraison femelle, diminuer le pourcentage de fécondation et favorise l'avortement des ovules, puis des grains. Enfin le poids de mille grains diminue lorsque la plante souffre pendant le remplissage des grains. Eu égard à ce qui précède, il faut retenir que, quel que soit le cycle (court ou longs), les besoins en eau de la culture de maïs ne sont pas totalement satisfaits.

4. Discussion

La variabilité climatique influence considérablement la production agricole dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bétérou. Les résultats ont montré que les rendements des principales cultures du bassin de l'Ouémé à Bétérou et des hauteurs pluviométriques saisonnières ont un degré de corrélation qui varie entre 0,47 et 0,60. Ces valuers significatives permettent de dire que la dépendance des cultures vis-à-vis de la pluie est forte. Plusieurs études convergent sur ce constat tout en soulignant certaines nuances. E. Lawin (2011, p 53.), dans son étude sur la variabilité climatique et la production agricole dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur, a trouvé une corrélation de 0,54 entre les hauteurs pluviométriques et les rendements du maïs. Il conclut que la production agricole dans cette zone est très sensible aux fluctuations climatiques. De même, F. Afouda (1990, p 210) a montré que les rendements du coton dans le centre du Bénin présentaient une corrélation de 0,58 avec la pluviométrie annuelle. Il insiste sur le rôle déterminant des précipitations dans la réussite des campagnes agricoles. Les cultures pluviales, qui constituent l'essentiel de l'agriculture locale, sont fortement dépendantes de la régularité et de la quantité de pluie. Lorsque les précipitations sont régulières et bien réparties, les cultures reçoivent l'eau nécessaire à leur croissance, ce qui favorise de bons rendements. À l'inverse, des précipitations excessives peuvent engendrer des inondations, l'érosion des sols ou l'asphyxie des racines, ce qui affecte aussi négativement les rendements. Ainsi, il est essentiel d'intégrer les savoirs locaux et les données scientifiques pour mieux s'adapter à la variabilité climatique et assurer une production agricole durable.

Conclusion

L'étude climatique précise que le bassin de l'Ouémé à Bétérou est caractérisé par une fluctuation interannuelle de la pluviosité de 17,85 %. Cette étude montre que l'Ouémé à Bétérou connaît une variation interannuelle de la pluviométrie caractérisée par une alternance entre une période relativement humide de 1960 à 1969, une période déficitaire de 1970 à 1989 et une période qu'on peut caractériser de légère reprise pluviométrique de 1990 à 2007. Ainsi, à l'échelle interannuelle, la variabilité thermique se manifeste par une

augmentation des températures ces trois dernières décennies et les températures moyennes sont restées au-dessus de 27° depuis 1993. La tendance des indices d'humidité est à la baisse dans les communes telles que Parakou, Djougou et Tchaourou. Par contre, elle connaît une tendance à la hausse dans la commune de N'dali. De même, le diagnostic agroclimatique montre que cette variabilité climatique a des conséquences sur le système de production agricole. Les spéculations développées dans le bassin souffrent autant des déficits que des excédents hydriques. Les déficits sont remarqués pendant le semis et la floraison tandis que les excédents se constatent lors de la maturité. Les valeurs des coefficients de corrélation entre pluviométrie et rendement agricole (Pluie/igname : 0,52 ; Pluie/mais : 0,60) traduisent l'existence d'une relation entre les deux paramètres. Ainsi Lecaillon et Morrisson (1984) soulignent que les variations de la pluviométrie jouent un rôle essentiel, puisqu'elles expliquent près de 60 % de la variante des rendements agricoles. Globalement, cette relative dépendance de la production agricole aux aléas climatiques souligne la fragilité de la production agricole. Les enquêtes et les observations en milieu réel montrent que les paysans ont élaboré des approches pour réduire un tant soit peu les conséquences de la variabilité climatique sur les rendements agricoles. Pour le faire, la communauté rurale se base sur des indices spatiotemporels qu'il faudrait étudier davantage dans les prochains travaux afin de savoir si des prévisions exactes peuvent être faites à partir de ces indices. En s'appuyant entre autres sur les préoccupations relatives aux besoins exprimés par les exploitants agricoles en matière d'adaptation, des stratégies d'adaptation vis-à-vis du phénomène ont été proposées. Les acteurs à tous les niveaux intervenant dans le domaine agricole doivent au nombre de ces stratégies proposer, mettre un accent particulier sur l'encadrement des paysans, le renforcement de la recherche agronomique, l'aménagement des bas-fonds et leur mise en valeur.

Références bibliographiques

AFQUDA Fulgence, 1990, *L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine*. Thèse de Doctorat nouveau régime, Université de Paris IV (Sorbonne), Institut de Géographie, 428p.

AGBANGLA Dieudonné, CHEDE Félicien, 2003, *La journée météorologique mondiale, service météorologique nationale « Le climat de demain »* 06p.

COCKER Fêmi, VODOUNOU Jean-Bosco, ZODEKON René, YABI Jacob, 2018, « Disponibilité de la ressource en eau et variabilité climatique dans la basse vallée

de l’Ouémé, au sud Bénin (Afrique de l’Ouest)», In : International *Journal of Innovation and Scientific Research* ISSN 2351-8014 Vol. 38 No. 2, pp. 289-300

GIEC, 2007, *Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité*, Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat. Résumé à l’intention des décideurs, 19 p.

HOUNDENOU Constant, 1999, *Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l’exemple du Bénin, diagnostic et modélisation*. Thèse de doctorat de climatologie. UMR 5080, CNSR « climatologie de l’espace de Tropical», Université de Bourgogne, centre de Recherche de Climatologie, Dijon, 341p.

KOUDAMILORO Olivier, VISSIN Expédit Wilfrid, SINTONDJI Luc Olivier, HOUSSOU Christophe Sègbè, 2015, —« *Effets socio-économiques et environnementaux des risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve ouémé à l’exutoire de bétérou au bénin (afrique de l’ouest)* », XXVIIIe Colloque de l’Association Internationale de Climatologie, Liège pp. 543-548.

LAWIN, Emmanuel (2011). *Variabilité climatique et production agricole dans le bassin versant de l’Ouémé supérieur*, Mémoire de maîtrise, FLASH/UAC, 92 p.

LE BARBE Louis, ALE Gerard, MILLET Bernard, TEXIES Henri, BOLEL Victor, GUALDE René, 1993 *Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin*. Ed. De l’ORSTOM, Paris, 540 p.

NDONG Jean-Bernard 2003, *Caractérisation de la saison des pluies dans le centre-ouest du Sénégal*, Publication de l’Association Internationale de Climatologie (AIC) 2003- volume15.

TOTIN Sourou Henri, BOKO Michel, OGOUWALE Euloge 2007, « Dynamique de la mousson ouest africaine, régime hydrologique et gestion de l’eau dans le Bassin Supérieur de l’Ouémé », In : *Climat et Développement*, pp 46-56.

VISSIN Expédit Wilfrid (2007), *Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger*. Thèse de doctorat. UMR 5210, CNSR « Hydroclimatologie » Université de Bourgogne Centre de Recherche de Climatologie 285p.