

Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



RIGES

www.riges-uao.net

ISSN-L: 2521-2125

ISSN-P: 3006-8541

Numéro 18

Juin 2025



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

INDEXATIONS INTERNATIONALES



ADVANCED SCIENCE INDEX

<https://journal-index.org/index.php/asi/article/view/12202>

Impact Factor: 1,3

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** Asseypo 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 (Benin)
- **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)

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, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Maître de Conférences, 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, Maître de Conférences, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO

Sommaire

Kouamé Firmin KOSSONOU, Akoua Assunta ADAYÉ, Kiyofolo Hyacinthe KONÉ <i>Adaptations des riziculteurs face aux contraintes agricoles dans la région de l'Agnéby-Tiassa (sud de la Côte d'Ivoire)</i>	9
HASSANE KAKA Ibrahim <i>Contribution de la géomatique dans la résolution des problèmes d'inondation dans la ville de Tahoua, Niger</i>	32
Cheldon-Rech NKALA-KOUTIA, Guerchinie Vardhelle E. NKOUNKOU, Christ Charel NZIHOU-TSIMBA <i>Technologies de l'environnement : cartographie des têtes d'érosion et analyse de l'efficacité des méthodes antiérosives face aux risques environnementaux dans le quartier Nkombo à Brazzaville (R. Congo)</i>	53
Thomas Mathieu DIABIA <i>Disponibilité en eau potable et observation de l'hygiène des mains dans la ville de Bouaflé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)</i>	77
Abdoul Aziz DOUBLA 1 <i>Migrations hydriques et gestion collective des eaux souterraines, une crise cachée dans le bassin versant du Mayo-Tsanaga (Extrême-Nord Cameroun)</i>	93
BALOUBI Makodjami David <i>Gouvernance du foncier urbain à Akpro-Missérété (Sud-Est du Bénin) : enjeux et perspectives</i>	118
KOUA-OBA Jovial <i>Condition de vie et résilience des étudiants migrants à Brazzaville</i>	136
Labaly TOURE, Moussa SOW, KOFFI Yéboué Stéphane Koissy, Mouhamadou Lamine Diallo <i>Analyse spatiale de la typologie et des modes de résolution des conflits fonciers dans les régions de Kaolack et Kaffrine (Centre du Sénégal)</i>	153
KONÉ Diaba, ZUO Estelle épouse DIATE, KOFFI Brou Émile <i>Problématique d'accès aux structures sanitaires publiques dans l'espace rural et urbain de la sous-préfecture de Bouaké (Centre, Côte d'Ivoire)</i>	172

Assane DEME, Frédéric BATIONO, <i>L'exploitation des périmètres maraîchers dans la commune de Tenado au Burkina Faso : entre contraintes de gestion de l'eau et stratégies d'adaptations des usagers</i>	189
Konan Norbert KOFFI, Affoué Sonya ALLA, Tchan André DOHO BI <i>Aménagement des périphéries urbaines et déterminants de l'insuffisance des infrastructures et équipements de base à Katiola (Centre-Nord Côte d'Ivoire)</i>	210
SIP Sié Jean Pierre <i>Les enjeux de la décentralisation en Côte d'Ivoire : Quelle stratégie de gestion des problèmes environnementaux par les autorités municipales de la ville de Bouna ?</i>	228
DONFACK Olivier <i>Résilience énergétique et autonomie locale : le recours au solaire comme stratégie d'adaptation dans la ville de Bafoussam (Ouest-Cameroun)</i>	243
BAKANA Adachi Larissa <i>Mode de vie et santé des enfants en milieu défavorisé : cas des quartiers Case- Barnier, Itsali, Massina et Moutabala de l'arrondissement 7 Mfilou en république du Congo</i>	263
BROU Hokouassi Kouassi Juste <i>Les bâtiments logistiques dans la structuration spatiale en zone portuaire à Abidjan</i>	277
AUBIN BEFRUDE SESSOMISSOU ADJAKIDJE, GBODJA HOUEHANOU FRANÇOIS GBESSO, SEDAMI IGOR ARMAND YEVIDE, GILDAS N'DIKOU IDAKOU, CAROLLE AVOCEVOU-AYISSO, ADANDE BELARMAIN FANDOHAN <i>Connaissances et perceptions des populations locales sur les usages, la valorisation et l'introduction de <i>Ritchiea capparoides</i> (andrews) britten dans les espaces verts urbains au Bénin</i>	301
DJENAISSSEM NAMARDE Thierry, AHOLOU Coffi Cyprien, NYONKWE NGO NDJEM Marie Louise Simone, ALLARANE Ndonaye <i>Analyse de l'habitat dégradé dans les quartiers anciens d'Aného au Togo</i>	320
BOKO Nouvêwa Patrice Maximilien, GOLO BANDZOUZI Alphonse Cédrique Bienvenu, DARE Gamba Nana, VISSIN Expédit W., HOUSSOU Christophe Sègbè, BŁAŚEJCZYK Krzysztof <i>Evaluation de l'impact du bioclimat humain sur la prévalence des maladies diarrhéiques chez les enfants de 0 à 5 ans à Godomey (Abomey-Calavi, Bénin)</i>	341
BOULY SANE, Tidiane SANE, Cheikh FAYE <i>Potentiel hydrique et usages de la ressource en eau dans le bassin-versant d'Agnak (Basse Casamance méridionale, Sénégal)</i>	359

ATOUNGA Macy Rick, PAKA Etienne, BERTON-OFOUEME Yolande <i>Vendeurs et consommateurs des médicaments de la rue dans l'arrondissement 9 Djiri (Brazzaville, République du Congo)</i>	375
SANGARÉ Nouhoun, GBOCHO Yapo Antoine, AFFORO Guy Matthieu Ettien <i>Implications socio-économiques et spatiales du déploiement de la SOTRA dans la ville de Bouaké (Côte d'Ivoire)</i>	396
Robert NGOMEKA, Clémence DITENGO, Dyvin Gloire Horis NKODIA <i>Les déterminants d'occupation des zones à risques dans l'Arrondissement 7 Mfilou-ngamaba à Brazzaville (République du Congo)</i>	416
KRAMO Yao Valère <i>Analyse des facteurs incitatifs et répulsifs de recours aux centres de sante conventionnels dans la ville de Katiola (Centre Nord de la Côte d'Ivoire)</i>	430
KOUTCHICO Patrice, GBENOU Pascal <i>Les systèmes alimentaires territorialisés : une alternative durable aux systèmes agroindustriels ?</i>	452
KOUASSI Charles Aimé, KOUAKOU Kouakou Philipps, KAMBIRE Bèbè <i>Impacts environnementaux du fumage de poissons sur le front lagunaire Ebrié d'Abobo-Doumé (Abidjan, Côte d'Ivoire)</i>	468
Florence BEIBRO AKA, SILUÉ Tangologo, YAPO Florence <i>Le commerce des vivriers dans les petits marchés et l'autonomisation des femmes dans la ville de Korhogo</i>	491
MIFOUNDU Jean Bruno, OKOUYA Claver Clotaire <i>La précarité dans le quartier périphérique de Simba-pelle à Talangai-Brazzaville (République du Congo)</i>	506
LINGUIONO Chelmyh Duplosin <i>Commercialisation des poissons d'eau-douce frais par les commerçants détaillants sur le marché dédragage à Brazzaville (République du Congo)</i>	520
Salé ABOU, Yakouba OUMAROU <i>Déterminants de l'adoption des variétés de cultures résistantes à la sécheresse dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya</i>	538
KOUAKOU Kan Rodrigue, TRA Bi Zamble Armand, DEMBELE Malimata <i>Systèmes de culture du palmier à huile et de l'hévéa et transformation du paysage dans les départements de Bongouanou et d'Arrah (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)</i>	555

Tcheutchoua Tchendji Céline, Mediebou Chindji <i>Dynamiques urbaines et mutations socio-spatiales dans la ville de Bafoussam-Cameroun</i>	568
KOFFI Guy Roger Yoboué <i>Femme et vivrier dans un contexte de redynamisation de l'économie des ménages ruraux dans la sous-préfecture de Katiola</i>	583
Kanga Konan Victorien <i>Le port d'Abidjan, un Hub port sur le Côte Ouest Africaine ?</i>	597
KONE Tanyo Boniface, AYEMOU Anvo Pierre, APPIA Épse Niangoran Edith Adjo, KOUASSI Kouamé Sylvestre <i>Quartiers périphériques à Bouaké (Côte d'Ivoire) : entre difficultés d'assainissement et risques environnementaux et sanitaires, cas du quartier Maroc</i>	615
DOLLOU Andréa Cyrielle Blailatien, DIARRASSOUBA Bazoumana <i>Les centres de santé de la ville de Yamoussoukro sous l'emprise d'une gestion mitigée des déchets biomédicaux</i>	628
BRISSY Olga Adeline, KOUASSI Yao Privat, OURA Ahou Tatiana, KOUASSI Konan <i>Malnutrition chez les enfants de moins de 5 ans et résilience des mères dans le District Sanitaire de Bouaké Nord-Est (Centre, Côte d'Ivoire) dans un contexte de reconstruction post-crise</i>	644
Banto Fernand PEYENA, Yéboué Koissy Stéphane KOFFI, Joseph P. ASSI-KAUDJHIS <i>Filière manioc et autonomisation économique des femmes dans les villages de la sous-préfecture d'Adiaké</i>	658
Djiby SOW, Dimitri Samuel ADJONOHON, Tatiana MBENGUE, Cheikh Samba WADE, Madoune Robert SEYE, Derguène MBAYE, Moussa DIALLO, Lamine NDIAYE Pablo De ROULET, Jean Claude MUNYAGUA, Jérôme CHENAL <i>Jeunes et fractures numériques à Saint-Louis (Sénégal) : entre inégalités territoriales, vulnérabilités sociales et dynamiques d'adaptation</i>	677
Jean SODJI, Pierre OUASSA, Renaud Jean-Eudes Tundé MITCHOZOUNOU, Euloge OGOUWALE <i>Vulnérabilité de l'agriculture paysanne face aux événements hydro-climatiques dans la commune de Bonou au sud du Bénin (Afrique de l'Ouest)</i>	691
Louis G. SOHE, Euloge OGOUWALE, Placide CLEDJO <i>Régime hydrologique et processus d'eutrophisation de l'écosystème aquatique du lac Nokoué au sud du Bénin</i>	715
OKA Koffi Blaise <i>Prévalence du paludisme chez les exploitants de bas-fonds à Tiémékro (Centre-Est, Côte d'Ivoire)</i>	732

**VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE PAYSANNE FACE AUX
EVENEMENTS HYDRO-CLIMATIQUES DANS LA COMMUNE DE BONOU AU
SUD DU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)**

Jean SODJI, Maître-assistant, jeansodji47@gmail.com

²Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREa), FASHS,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Email : jeansodji47@gmail.com

Pierre OUASSA, Doctorat PhD,

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement
(LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Email : ouaspeter@yahoo.fr

Renaud Jean-Eudes Tundé MITCHOZOUNOU,

Département de l'Eau pour l'Agriculture et la Société (DEAS), INE, Université
d'Abomey-Calavi, Bénin
Email : renaudmitchozounou@gmail.com

Euloge OGOUWALE, Professeur Titulaire

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement
(LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin,
Email : ogkelsonson@gmail.com

(Reçu le 15 mars 2025 ; Révisé le 30 avril 2025 ; Accepté le 31 mai 2025)

Résumé

Les risques hydro-climatiques demeurent toujours une préoccupation qui nécessite des solutions et ceci dans le secteur de l'agriculture paysanne. L'objectif de cette étude est d'analyser la vulnérabilité de l'agriculture paysanne face aux événements hydro-climatiques dans la commune de Bonou. L'approche méthodologique adoptée a consisté en la collecte des données climatologiques (pluies) et hydrométriques (débit), ensuite leurs traitements et enfin à l'analyse/interprétation des résultats obtenus. Le traitement des données d'enquêtes de terrain et la méthodologie basée sur l'utilisation des indices tels que le Standardized Precipitation Index (SPI), le Standardized Flow Index (SFI) et le (IHN) ont permis de connaître les années de sécheresses et d'inondations. Le critère utilisé s'est basé sur la comparaison des valeurs seuils grâce à des algorithmes développés dans le langage de programme R. L'analyse des données climatiques et hydrométriques à l'aide des différentes méthodes montrent que la sécheresse hydrologique est tributaire de la sécheresse météorologique avec un coefficient de corrélation de 46,29%, puis les inondations fluviales dépendent aussi des hauteurs de pluie tombée (46,29%). Le diagramme de la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV) réalisé montre que les périodes de retour des inondations les plus

fréquentes sont deux(02), trois(03), cinq (05), et 10 ans. Après analyse de la vulnérabilité, il est retenu que les cultures les plus vulnérables sont : le maïs ; les produits maraichers (tomate, piment, légume feuille) et les tubercules (manioc, patate douce). Il a d'ailleurs été montré que les risques climatiques majeurs sont les inondations (75%), suivis presque de même ordre de la sécheresse (72%) et que les ressources qui sont exposées ne sont pas à l'abri de leurs effets néfastes.

Mots clés : Bonou, événements hydro-climatiques, agriculture, inondations, sécheresse, vulnérabilité,

VULNERABILITY OF PEASANT AGRICULTURE TO HYDRO-CLIMATIC EVENTS IN THE MUNICIPALITY OF BONOU IN THE SOUTH OF BENIN (WEST AFRICA)

Abstract

Hydro-climatic risks always remain a concern that requires solutions and this in the smallholder agriculture sector. The objective of this study is to analyze the vulnerability of peasant agriculture to hydro-climatic events in the municipality of Bonou. The methodological approach adopted consisted in the collection of climatological (rainfall) and hydrometric (flow) data, then their processing and finally in the analysis / interpretation of the results obtained. The processing of field survey data and the methodology based on the use of indices such as the Standardized Precipitation Index (SPI), the Standardized Flow Index (SFI) and the (IHN) have made it possible to know the years of droughts and floods. The criterion used was based on the comparison of the threshold values thanks to algorithms developed in the program language R. The analysis of climatic and hydrometric data using the various methods show that the hydrological drought is dependent on the meteorological drought with a correlation coefficient of 46.29%, then the river floods also depend on the heights of rain fallen (46.29%). The diagram of the Generalized law of Extreme Values (GEV) made shows that the most frequent periods of return of floods are two(02), three(03), five (05), and 10 years. After analyzing the vulnerability, it is retained that the most vulnerable crops are: corn; market produce (tomato, chili pepper, leafy vegetable) and tubers (cassava, sweet potato). It has also been shown that the major climatic risks are floods (75%), followed almost in the same order by drought (72%) and that the resources that are exposed are not immune from their harmful effects.

Keywords: Bonou, hydro-climatic events, agriculture, floods, drought, vulnerability,

Introduction

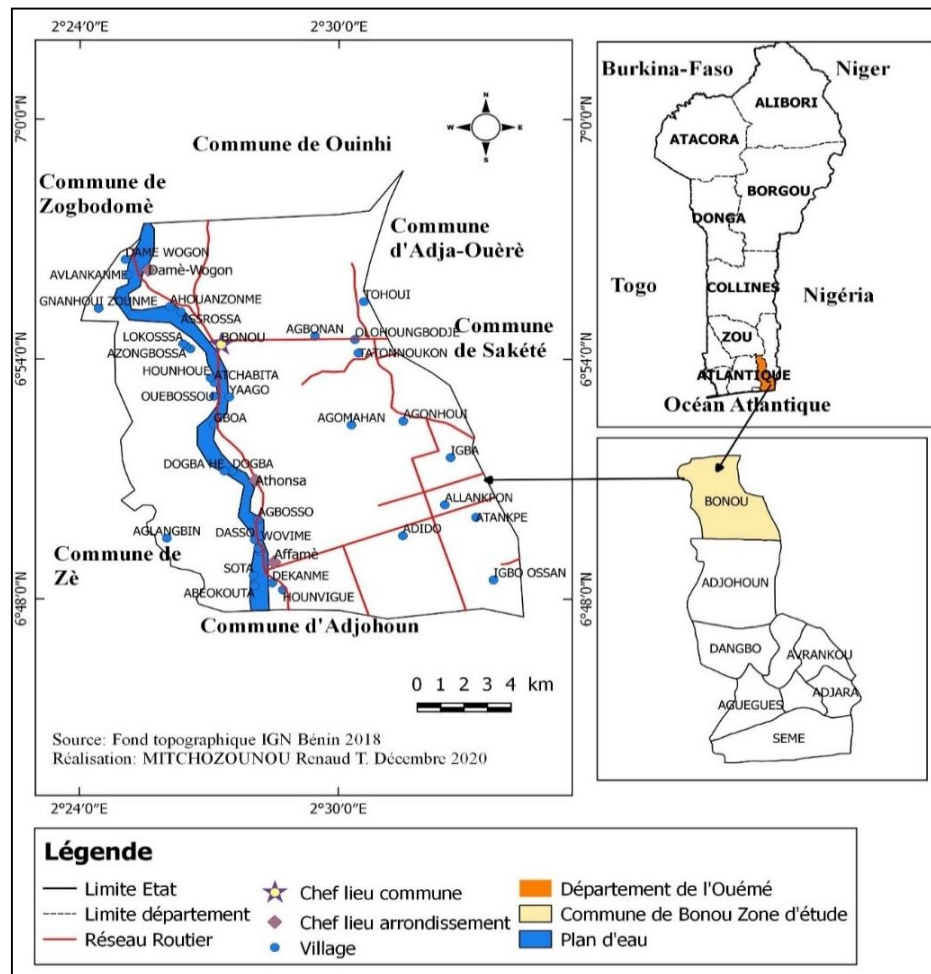
Selon le rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2014, p. 05), l'essentiel de l'accroissement observé de la température moyenne globale depuis le milieu du XX^{ème} siècle est très probablement dû à l'augmentation observée des concentrations de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique.

Toutes les projections futures du climat global (futur proche et lointain) prévoient une intensification du réchauffement moyen, en plus de la variabilité des précipitations et aussi une plus grande fréquence et une intensification des phénomènes extrêmes (GIEC, 2014, p. 04). Les impacts de cette variabilité climatique varient d'une région du globe à une autre avec des conséquences socio-économiques particulièrement importantes dans les pays en développement (B. Sultan *et al.*, 2015, pp. 13-14). Les agriculteurs de l'Afrique sub-saharienne font souvent face aux risques d'ordre naturel qui sont généralement dus à des éléments incontrôlables comme les conditions météorologiques (pluviométrie, sécheresse, inondation), les maladies endémiques (végétales et animales), l'invasion acridienne ... qui ont un impact important sur la production agricole. Ces contraintes, marquées par leur redondance, sont parmi les plus importantes pour les exploitations agricoles (M. Sall, 2015, p.73). Par ailleurs, l'Afrique de l'ouest a subi pendant les décennies 70 et 80 une sécheresse d'une ampleur et d'une intensité inégalées dans le monde qui a entraîné de nombreuses crises alimentaires et sanitaires. Les pics secs des années 1973-74 et 1984-85 ont été particulièrement dramatiques pour les populations. En effet, autant les extrêmes hydro-climatiques de l'époque contemporaine perturbent le fonctionnement normal des activités socio-économiques, autant ils représentent des facteurs de risques qui fragilisent la santé des populations (M. Boko, 2004, p. 22). Au Bénin, il a été particulièrement noté une intensification des sécheresses qui se sont produites pendant la même période, notamment dans les années 1970 et 1980. Par ailleurs, les pluies du début de saison pluvieuse sont violentes, ce qui favorise l'inondation et l'érosion sur les sols mal protégés (O. Koudamilo 2017, p. 218). Dans la Commune de Bonou, la baisse de la production des cultures enregistrée est, aggravée par les risques hydroclimatiques vécues (inondations, sécheresse) de façon différenciée d'une localité à une autre. Ces producteurs subissent, et ne savent comment redresser techniquement la situation (PANA, 2008, p. 20). Ainsi, il est indispensable de renforcer les méthodes de gestion des risques afin d'orienter le développement économique vers un développement qui soit moins vulnérable aux événements météorologiques et climatiques. De ce fait, l'objectif de cette recherche est d'analyser la vulnérabilité de l'agriculture paysanne face aux événements hydro-climatiques dans la commune de Bonou.

1. Secteur d'étude

Située dans le Département de l'Ouémé entre 6°45' et 6°58' de latitude Nord et entre 2°15' et 2°40' de longitude Est. Couvrant une superficie de 250 Km² la commune de Bonou (figure 1) est limitée au Nord par la Commune de Ouinhi, au Sud par celle d'Adjohoun, à l'Est par les Communes de Sakété et d'Adja-Ouère et à l'Ouest par celles de Zè et de Zogbodomé.

Figure 1: Carte de la situation géographique de la commune de Bonou



2. Données et méthodes

2.1. Données utilisées

Les données collectées dans le cadre de cette recherche sont essentiellement les données pluviométriques, les données de débit sur la période 1970 à 2019 issues respectivement de la station synoptique de Cotonou et de la station Hydrométrique de Bonou ; les statistiques démographiques issues des recensements de 1979 à 2013 obtenues à l'INStAD ; les données socioéconomiques sur les impacts des extrêmes climatiques sur la production agricole.

2.2. Méthodes utilisées

2.2.1. Travaux de terrain

Les investigations socio-anthropologiques ont porté sur la vulnérabilité de l'agriculture face aux événements hydro-climatiques. Ces données sont collectées grâce aux enquêtes de terrain organisées par l'intermédiaire d'entretiens individuels ou de groupe à l'aide d'un questionnaire établi au préalable. Le but de l'enquête de

terrain est de voir comment les événements hydroclimatiques sont perçus et vécus par les agriculteurs.

Le choix des personnes interrogées est fait sur la base des critères bien définis :

- avoir au moins quarante ans ;
- avoir été victime des crises hydro-climatiques (inondations et/ou sécheresses) ;
- avoir une connaissance sur les différentes activités des populations.

Le choix de cette tranche d'âge s'explique par le fait que, pour mieux appréhender les questions sur les événements hydro-climatiques, il faut des personnes âgées pour disposer des informations historiques fiables. De plus, les victimes pourront mieux relater les faits vécus, les impacts et les stratégies d'adaptation développées pour faire réduire leur vulnérabilité face aux événements hydro-climatiques.

La taille de l'échantillon est déterminée par la formule de Schwartz (2002).

$$X = Z_{\alpha}^2 \times p \times q / i^2 ;$$

avec : X = la taille de l'échantillon ; $Z_{\alpha} = 1,96$ Ecart réduit correspondant à un risque α de 5 % ; $p = n/N$; avec p = proportion des ménages retenus (n) par rapport au nombre de ménage dans les arrondissements (N) de Bonou.

N = nombre total des ménages dans les arrondissements;

Z_{α} = écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95 % ;

P = nombre des ménages dans les arrondissements/ nombre total des ménages de la Commune. Q = 1-P, I^2 = marge d'erreur qui est égale à 05 % (0,05).

Le choix des villages a suivi une démarche raisonnée permettant d'identifier ceux qui subissent le plus d'impacts des phénomènes extrêmes, afin de recueillir des informations représentatives. La taille de l'échantillon enquêté est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Répartition de la population enquêtée

Arrondissements	villages	Nombre de ménage agricole par arrondissement	Nombre de ménage agricole par village	P	Q	d ²	N	N*30%
Bonou	Lokossa	976	13	0,0133	0,986	0,0025	20	6
Atchonsa	Dogba (Wodji)	751	125	0,1664	0,833	0,0025	213	64
Hounvigue	Abéokuta	736	66	0,0896	0,910	0,0025	125	38
Total							359	108

Source des données : Enquête de terrain, 2020

Au total, 108 personnes ont été interviewées dans le cadre de cette recherche.

2.2.2. Récurrence des évènements hydrologiques extrêmes

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les évènements passés, caractéristiques d'un processus hydro-pluviométriques afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

Selon P. Meylan et A. Musy, (1999, p. 19), la validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. En hydrologie fréquentielle relative à l'analyse des évènements extrêmes, une variété de lois est utilisée dans le monde. Beaucoup de lois ont fait l'objet de plusieurs travaux en Afrique de l'Ouest et en particulier au Bénin (D. H. Koumassi *et al*, 2014, p. 04). Pour cette étude, les lois utilisées sont les plus adaptées à une meilleure distribution statistique et à un meilleur ajustement. Il s'agit de la loi de Gumbel et la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV).

❖ Loi de Gumbel

La loi statistique qui ajuste mieux les différentes séries de pluie est le Gumbel. En effet, il s'agit d'une loi d'ajustement fréquentielle très souvent utilisée pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes. La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(\frac{x-a}{b}\right)\right) \quad \text{avec la variable réduite suivante : } U = \frac{x-a}{b}$$

Où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel. La distribution s'écrit alors de la manière suivante:

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad \text{et } u = \ln(F(x))$$

Où a est le paramètre de position, b le paramètre d'échelle et c le paramètre de forme et x la variable, ici les hauteurs de pluie et les débits.

Le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement, soit :

$$T = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Il a permis d'estimer le temps de retour, en termes de probabilité d'apparition, des événements climatiques et hydrologiques extrêmes et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi.

❖ **Loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV)**

Elle est une loi à trois paramètres représentée comme une généralisation de la loi de Gumbel. Sa fonction de répartition est donnée par la formule :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)^{\frac{1}{k}}\right) \text{ Pour } k \neq 0$$

2.2.3. Méthode de détermination des extrêmes climatiques

Plusieurs études menées sur la commune de Bonou démontrent que l'inondation et quelques poches de sécheresse sont les extrêmes climatiques qui impactent la population.

➤ **Inondations**

• **Inondation pluviale**

La méthode utilisée dans le cadre de cette recherche a consisté à ressortir les hauteurs de pluies annuelles, puis les comparées aux valeurs seuils déterminant les niveaux d'inondations dans la zone d'étude à l'aide d'un code écrit en langage R afin de sortir les hauteurs de pluies qui se caractérise par les différents types d'évènements d'inondation. Après cela un travail manuel est exécuté pour mettre en exergue les années d'inondation qu'ils présentent. Le tableau 2 présente les seuils d'inondation dans la commune de Bonou.

Tableau 2 : Seuils de détermination des évènements d'inondation pluviale dans la commune de Bonou.

Type d'évènement	Seuils des hauteurs de pluie (mm)
Limité	550 à 706
Modéré	737 à 1081
Significatif	1116 à 1350
Critique	≥ 1350

Source : H. Totin, (2016, p. 8)

• **Inondation fluviale**

Pour caractériser l'inondation fluviale, l'indice SFI (Standardised Flow Index) a été déterminé. Cet indice permet de faire ressortir les inondations ainsi que leur année à partir des débits annuels. L'indice SFI (Standardised Flow Index) est calculé suivant la formule suivante :

$$Z = (Y - \mu) / \sigma$$

Avec : Z : Indice SFI ; Y : débit annuelle ; μ : débit moyen de la série ; σ : écart type de la série.

Tableau 3 : Seuils de détermination des risques d'inondation fluviale

Valeurs seuils	Catégorie d'inondation	Observations
$SFI \geq 2$	Catastrophique	Critique
$1,5 < SFI < 1,99$	Grave	Significatif
$1 < SFI < 1,49$	Négligable	Modéré
$0 < SFI < 0,99$	Sans effet	Limité

Source : T. McKee et al. (1993, p. 19)

➤ Sècheresses

• Sécheresse météorologique

L'indice de précipitation standardisé SPI (Standardized Precipitation Index) permet d'apprécier, de caractériser l'ampleur des aléas hydro-climatiques dans une série de données (T. McKee et al., 1993, p. 19). En outre, la SPI se révèle aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes secs. L'indice de précipitations normalisé est un indice simple, puissant et souple basé sur des données pluviométriques. Recommandé par l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) pour caractériser la sécheresse météorologique locale ou régionale (OMM, 2012, p. 19). Il est basé, comme son nom l'indique sur les données de précipitation et permet de qualifier les sècheresses météorologiques. Il a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. A l'issue de cette opération, il est possible de déterminer le nombre d'années par gamme de SPI et la signification correspondante en termes d'ampleur du phénomène hydro-climatique (tableau 4) à partir de l'équation suivante:

$$I_p = \frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma}$$

Avec : p_i : la précipitation de l'année i ; pm : précipitation moyenne ; σ : déviation standard ou écart-type.

Tableau 4 : Seuils de détermination des risques

Classeur de SPI	Grille Interpretation
$SPI > 2$	Humidité Extrême
$1 < SPI < 2$	Humidité Forte
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 0$	Sécheresse Modérée
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse Forte
$SPI < -2$	Sécheresse Extrême

Source : T. McKee et al., (1993, p. 19)

• Sècheresse hydrologique

Au cours de notre étude la méthode utilisé pour connaitre les années hydrologiquement sèche est l'indice hydrologique normalisé (IHN). L'indice hydrologique normalisé (IHN) est analogue à l'indice standardisé des précipitations T. McKee et al., (1993, p. 19), Hayes 1998. Ainsi, il a été développé en vue de quantifier

le déficit hydrologique pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau pour une période donnée. Il est exprimé mathématiquement par l'équation:

$$IHN = \frac{(Di - Dm)}{S}$$

Avec : Di : le débit des mois ou de l'année i ; Dm : le débit moyen de la série sur l'échelle temporelle considérée.

Tableau 5 : Classification des séquences de sécheresse selon l'IHN

Classeur des IHN	Séquence de sécheresse
$IHN \geq 0$	Ordinaire
$-1,5 \leq IHN \leq 0$	Modérément sèche
$-2 \leq IHN < -1,5$	Sévèrement sèche
$IHN < -2$	Extrêmement sèche

Source : W. J. Gibbs and J. V. Maher (1967, p. 32)

2.2.4. Recherche de liaison entre la pluie-débit et entre l'indice standardisé de précipitation - l'indice hydrologique normalisé

Le coefficient de corrélation est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens positif ou négatif de la relation linéaire entre deux variables quantitatives (E. Amoussou, 2010, p. 110). C'est une mesure de liaison linéaire, c'est-à-dire de la capacité de prédire une variable x par une autre y à l'aide d'un modèle linéaire.

Dans cette étude, il est utilisé pour mesurer le degré de liaison ou de dépendance qui existe entre : les hauteurs de pluie-débits et entre les indices de sécheresse dans la zone d'étude. Ici, il a été utilisé un code en langage R afin de déterminer le coefficient de corrélation pour faire ressortir le lien entre les différentes variables.

Soit r le coefficient de corrélation.

Si $r = 0$ il n'y a pas de corrélation ;

Si $r < 0$ alors les deux variables évoluent en sens inverse ;

Si $r > 0$ alors les deux variables évoluent dans le même sens.

2.2.5. Méthode de détermination de la vulnérabilité agricole

La vulnérabilité d'un système aux événements hydro-climatiques désigne la mesure dans laquelle un système est sensible ou incapable de faire face aux effets défavorables des variations hydro-climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (D. H. Koumassi 2014, p. 93). Trois facteurs déterminent la vulnérabilité d'un système face aux variations hydro-climatiques: la nature des variations climatiques auxquelles il est exposé; sa sensibilité au climat ; sa capacité de s'adapter à la variation des conditions climatiques. La mise en œuvre requière plusieurs étapes :

Etape 1 : établir les unités d'expositions qui vont être prise en compte lors de l'étude de la vulnérabilité. Elles représentent les lignes de la matrice de sensibilité.

Etape 2 : ressortir les risques hydro-climatiques auxquelles les unités d'expositions sont assujetties dans la commune de Bonou.

Etape 3 : évaluer le degré de sensibilité des unités d'expositions face aux risques hydro-climatiques retenus. Pour ce fait, on va considérer cinq niveaux de sensibilité comme l'indique le tableau 6 :

Tableau 6: Barème de notation de la sensibilité des unités d'expositions face aux évènements hydro-climatiques

Echelle de grandeur	Sensibilité au risqué
1	Faible
2	Assez-faible
3	Moyen
4	Assez-fort
5	Fort

Source : Badolo 2007

Le tableau 6 présente le barème de notation de la sensibilité des unités d'expositions face aux évènements hydroclimatiques. Ces valeurs permettent d'apprécier la sensibilité des unités d'exposition face aux évènements hydroclimatiques afin de connaître les évènements qui influencent le plus les unités d'exposition.

Tableau 7: Présentation formelle d'une matrice de sensibilité

Unité d'exposition	Evènements hydro climatiques			Indice d'exposition	Classement
	Risque climatique 1	Risque climatique 2	Risque climatique 3		
Unité d'exposition 1					
Unité d'exposition 2					
Indice d'impact					

Source : Badolo 2007

Les informations obtenus à base de cette matrice sont au nombre de trois : l'indice d'impact ; l'indice d'exposition ; le rang d'exposition de chaque unité d'exposition.

3. Résultats

3.1 Caractérisation des évènements hydro-climatiques

3.1.1 Inondations

La caractérisation des crues et des inondations revient à celle de l'aléa. On associe à l'aléa une probabilité d'occurrence par l'intermédiaire de sa période de retour. L'aléa hydro-climatique est donc caractérisé par :

- sa probabilité d'occurrence temporelle (estimée par la période de retour) et spatiale (influencée par le climat mais également par la topographie,

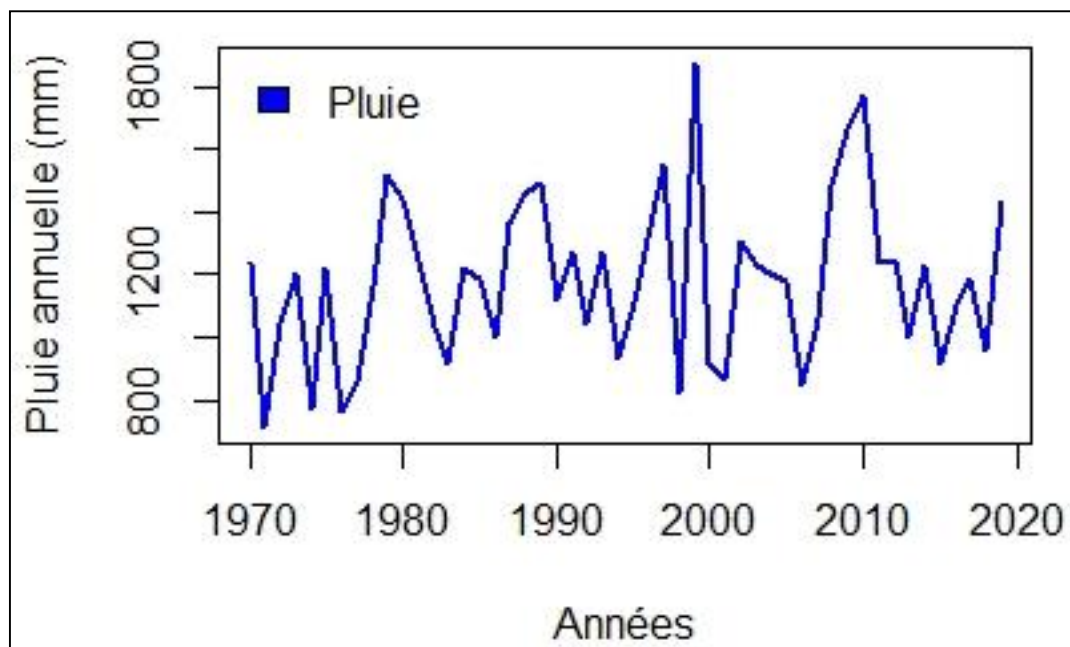
l'occupation du sol et la pédologie qui contrôlent la susceptibilité des territoires à l'inondation) ;

- son intensité, mesurée par la pluie maximale sur une certaine durée, par le débit maximal atteint dans le cours d'eau ;
- sa localisation (extension géographique des précipitations, portions du réseau hydrographique affectées par la crue) ;
- sa durée (durée des précipitations, durée de la crue).

3.1.1.1 Inondation de type pluviale

La figure 2 présente l'évolution interannuelle de précipitations enregistrées dans la commune de Bonou de 1970-2019.

Figure 2: Evolution interannuelle des hauteurs de pluie dans la commune de Bonou de 1970-2019



Source : Résultats de traitement des données pluviométriques 2020.

Il ressort de l'analyse de la figure 2 qu'il est observé une tendance générale à la hausse des hauteurs de pluie annuelles sur l'ensemble de la commune. La hausse des pluies traduit ainsi l'occurrence d'évènement d'inondation dans la commune de Bonou. Le plus grand pique observé sur la série est de 1877 mm et a été enregistré en 1999. D'autres piques ont été enregistrés il s'agit de 1518,7 mm, 1771 mm et de 1430mm respectivement en 1979, 2010 et en 2019. En outre en comparant les hauteurs de pluie aux seuils des évènements d'inondation dans la zone d'étude adapté par H. Totin, (2016, p. 8) et à l'aide du programme en langage R a permis de faire ressortir les années et les proportions d'évènements d'inondation qui leurs conviennent. Le tableau 8 présente les années caractérisées par les différents évènements d'inondation pluviale.

Tableau 8 : Tableau des années caractérisé par l'inondation pluviale

Type d'évènement	Seuil d'inondation	Années	Proportions (%)
Modéré	737 à 1081	1972,1974,1976,1977,1982,1983,1986,1992,1994,1998,2000,2001,2006,2007,2013,2015,2018	32,69
Significatif	1116 à 1350	1970,1973,1975,1978,1981,1984,1985,1990,1991,1993,2003,2004,2005,2011,2012,2014,2016,2017	36,73
Critique	≥ 1350	1979,1980, 1987, 1988, 1989, 1997, 1999, 2008, 2009, 2010,2019	22,44

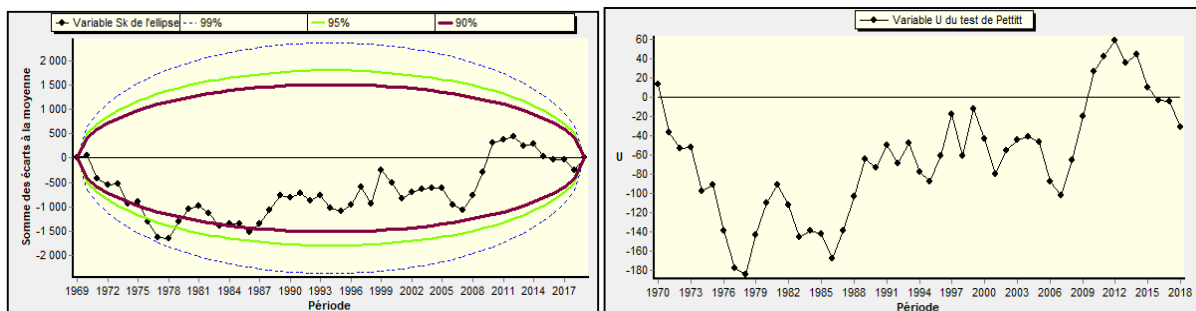
Source : Résultats de traitement des données pluviométriques 2020

L'analyse du tableau 8 permet de constater que les événements d'inondations modérées représentent 32,69 %, les événements significatifs représentent 36,73 % de la série et 22,44 % des années correspondent aux événements critiques d'inondation. Le Bénin a été marqué par de fortes intensités de pluie de 1999 à 2010 suivies des inondations. Cette période de 1999 à 2010, est en phase avec les résultats de cette partie qui ont relevé que les années 1979,1980, 1987, 1988, 1989, 1997, 1999, 2008, 2009, 2010 et 2019 ont été des années de forte pluie qui ont créés des inondations critiques dans le bassin-versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou.

3.1.1.2 Rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques

Selon D. H. Koumassi, (2014, p. 71) une rupture est définie comme un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées. Parmi les procédures statistiques souvent utilisées dans des études des séries hydrométéorologiques, deux sont mises en œuvre dans la présente étude, le test de Pettitt et la procédure de segmentation de Hubert. La figure 3 montre le test de Pettitt et de Buishand appliqué aux séries pluviométriques annuelles (1970-2019) dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou.

Figure 3: Rupture de stationnarité par le test de Pettitt et Buishand dans la série pluviométrique de 1970 à 2019



Le test de Pettitt complété par le test de Buishand, appliqué à la série pluviométrique montre une rupture de stationnarité à un seuil de 99%. Les hauteurs de pluie annuelles présentent une variabilité interannuelle avec une rupture en 1977 dans le secteur d'étude. A partir de 1977 l'année de rupture pluviométrique, il se dégage deux sous périodes : 1970-1977 et 1978-2019. Ce qui est confirmé par la segmentation de Hubert comme l'illustre le tableau 9.

Tableau 9: Résultats statistiques avec niveau de signification du test de Scheffé

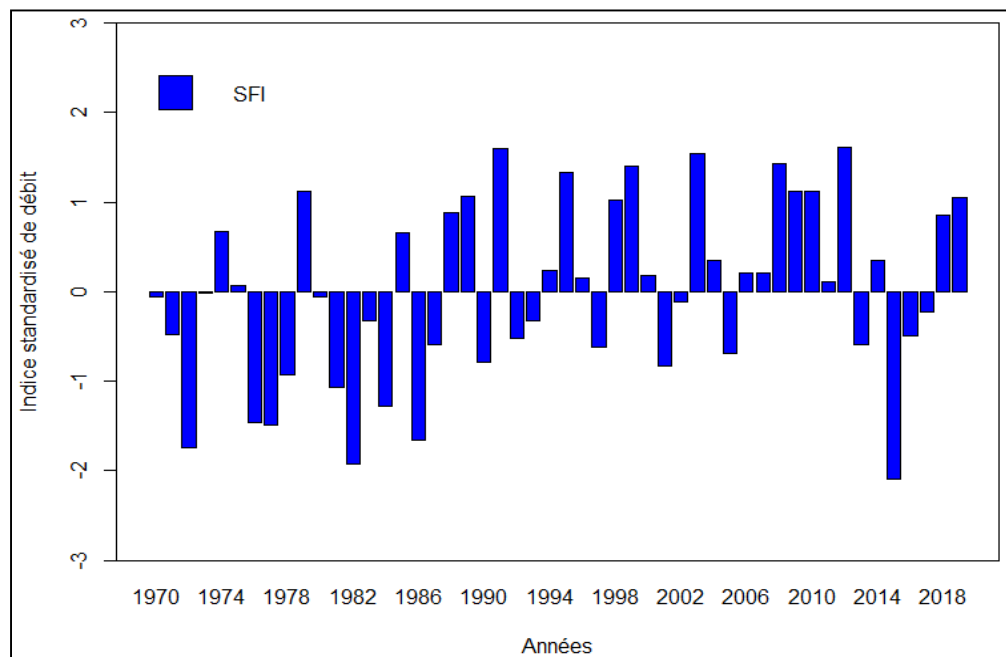
Station	Période		Moyenne	Ecart-type
Station de Bonou	Début	Fin		
	1970	1977	936,437	194,476
	1978	2019	1188,667	216,458

De plus il ressort de l'analyse du tableau 9 qui récapitule les résultats statistiques de la méthode de Petit appliquée aux hauteurs de pluie annuelle dans la zone d'étude, la sous période de 1970-1977 a une moyenne pluviométrique annuelle de 936,437 mm. Cette moyenne pluviométrique est inférieure à celle de 1978-2019 (1188,667 mm) soit un écart positif de 26 %.

3.1.1.3. Inondation de type fluviatile

La figure 4 présente l'évolution interannuelle de l'indice standardisé de débit dans la Commune de Bonou.

Figure 4: Évolution interannuelle de l'indice standardisé de débit dans la commune de Bonou de 1970-2019



Source : Résultats de traitement des données hydrométriques 2020

Il ressort de l'analyse de la figure 4 que les anomalies positives varient de 0 à 1,6, ce qui est caractéristique de débordement du fleuve Ouémé. Alors que celles négatives représentent la récession du fleuve (ce qui n'est pas abordé dans cette partie de notre étude). En effet en considérant les anomalies positives, il en ressort que la zone d'étude a connue trois évènements de débordement importants en 1991, 2003 et en 2012. Le tableau 10 présente les années caractérisées par le débordement du fleuve Ouémé dans le secteur d'étude à partir de la classification des indices standardisées de débit (SFI).

Tableau 10 : Tableau des années caractérisé par l'inondation fluviale

Valeurs seuils	Années	Obsevation	Proportion (%)
$1,5 < SFI < 1,99$	1991, 2003, 2012	Significatif	06,12
$1 < SFI < 1,49$	1979, 1989, 1995, 1998, 1999, 2008, 2009, 2010, 2019	Modéré	18,36
$0 < SFI < 0,99$	1974, 1975, 1985, 1988, 1994, 1996, 2000, 2004, 2007, 2011, 2014, 2018	Limité	26,53

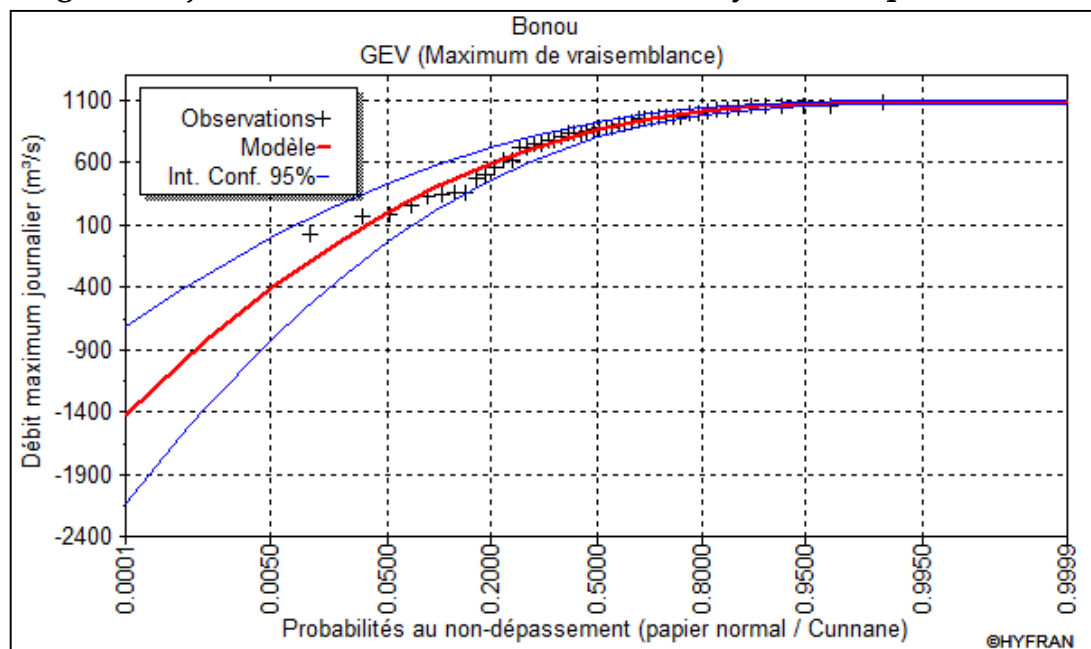
Source : Résultats de traitement des données hydrométriques 2020

Il ressort de l'analyse du tableau X que 26,53 % de la série représentent des évènements limité d'inondation fluviale, 18,36 % de la série est caractérisé par des inondations modérés et 06,12 % représentent les évènements significatifs.

3.1.1.4. Ajustement graphique des débits maximaux

La figure 5 traduit l'ajustement de la série hydrologique sur la période de 1970-2019.

Figure 5: Ajustement de la loi GEV sur la série hydrométrique de Bonou



L'analyse de la figure 5 permet de déduire que l'ajustement est dans son ensemble satisfaisant car la droite d'équation passe par les points expérimentaux. La loi GEV

peut éventuellement être utilisée pour estimer les probabilités d'occurrence des débits maximaux (crue) et leur période de retour. A partir de l'équation de la loi GEV des débits maximaux ont été calculés pour différentes périodes de retour leurs intervalles de confiance.

Tableau 11: Période de retour des débits maximaux dans la série

Station	Intervals de confiance	Période de retour
Bonou	[810-925]	2 ans
	[912-991]	3ans
	[979-1040]	5 ans
	[1020-1070]	10 ans
	[1020-1100]	20 ans

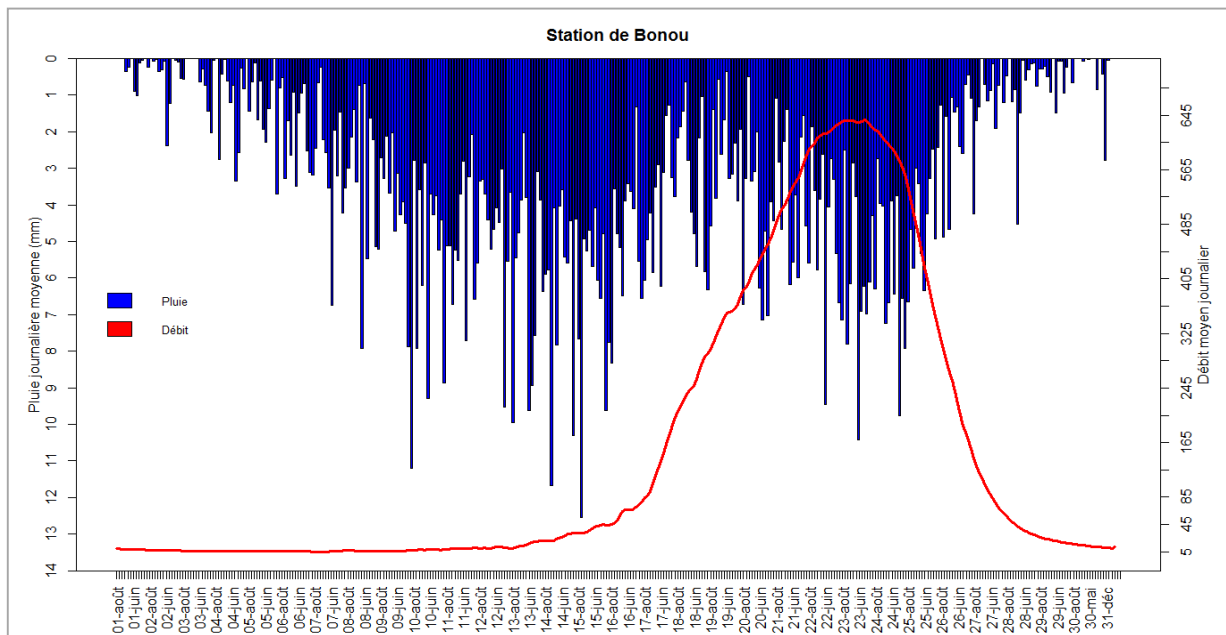
Source: Traitement des données, 2020

L'analyse fréquentielle des débits de crue permet d'estimer les débits de crue ayant une probabilité de subvenir dans la zone d'étude. Ainsi des débits de crue ayant une probabilité sur deux de subvenir dans la zone d'étude ont une valeur comprise entre 810 et 925 m³/s. On peut donc dire que les débits de crues fréquentes de : 2 ans ; 3 ans ; 5 ans ; 10 ans et 20 ans sont à l'origine des inondations de plus en plus fréquentes dans la Commune Bonou.

3.1.2 Relation pluies-débits et évènements d'inondations dans le bassin de l'Ouémé à Bonou

La figure 6 présente la relation pluie-débits dans la Commune Bonou. Dans la Commune de Bonou, 62,5 % des hauteurs de pluie sont enregistré dans les mois de mars, avril, mai, juin et juillet. Les débits maximaux enregistrés dans les mois d'août, septembre et octobre correspondent à 37,5 % des hauteurs de pluie journalières enregistrées à Bonou. L'action conjuguée des pluies de la petite saison pluvieuse et l'augmentation des débits causent une montée fulgurante des eaux dans les mois de septembre et d'octobre. Cela entraîne des d'inondations accrues dans le secteur d'étude.

Figure 6: Relation pluie et débit au pas de temps journalier à Bonou



Source : Résultats de traitement des données, 2020

Il ressort de l'analyse de la figure 14 que, la relation entre les débits moyens avec la pluie moyenne à Bonou donne un coefficient de corrélation de 46,29 %. On en déduit donc que le régime hydrologique uni modal est fonction du régime pluviale bimodale.

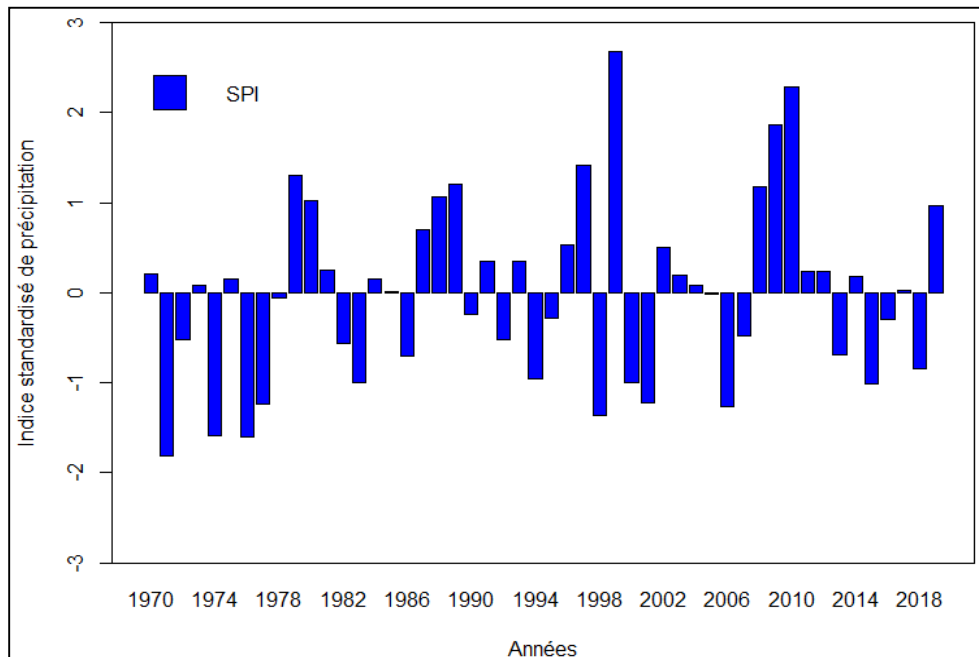
3.1.3. Sécheresses

Différents types de sécheresse sont classiquement identifiés et peuvent être évalués sur différentes profondeurs temporelles selon les domaines d'application. On distingue classiquement 3 types de sécheresse : les sécheresses météorologiques liées à un déficit du cumul de précipitations, les sécheresses agricoles ou édaphiques concernant l'humidité moyenne des sols et les sécheresses hydrologiques liées aux débits des cours d'eau ou au niveau des nappes. Dans le cadre de cette recherche les types de sécheresses étudiés sont de type météorologique et hydrologique. L'analyse de la sécheresse revient en fait, à la prise en considération de sa durée ainsi que de sa sévérité, de son intensité et de son extension spatiale.

3.1.3.1 Sécheresse de type météorologique

La trame climatique dans la commune est caractérisée par un climat de type subéquatorial avec quatre (04) saisons. La figure 7 présente l'évolution interannuelle de l'indice de standardisation de précipitation sur la période de (1970-2019).

Figure 7 : Évolution interannuelle de l'indice de standardisation de précipitation (SPI) dans la commune de Bonou de 1970-2019



Source : Résultats de traitement des données pluviométriques, 2020.

Il ressort de l'analyse de la figure 7 que les anomalies pluviométriques négatives, varient de 0 à -1,70, caractérisant les périodes sèches, marqué par les indicateurs de récession pluviométriques. Alors que celles supérieur à 0 désignent les anomalies positives et des indicateurs de l'humidité (ce qui n'est pas abordé dans cette partie de l'étude). En effet, en considérant les anomalies négatives, il ressort que le secteur d'étude, a connue de forte sécheresse au cours des années : 1971, 1974, 1976, 1977, 1983, 1989, 2000, 2001, 2006 et 2015. Le tableau 12 présente les années caractérisées par la sécheresse dans le secteur d'étude à partir de la classification des indices pluviométriques (SPI).

Tableau 12 : Années des évènements de sécheresse dans la commune de Bonou

Critères	Années	Observations	Proportion (%)
-1 < SPI < 0	1972, 1978, 1982, 1986, 1990, 1992, 1994, 1995, 2000, 2007, 2013, 2015, 2016, 2018	Sécheresse modérée	26,53
-2 < SPI < -1	1971, 1974, 1976, 1977, 1983, 1989, 2000, 2001, 2006, 2015	Sécheresse forte	20,60

Source : Résultats de traitement des données pluviométriques, 2020

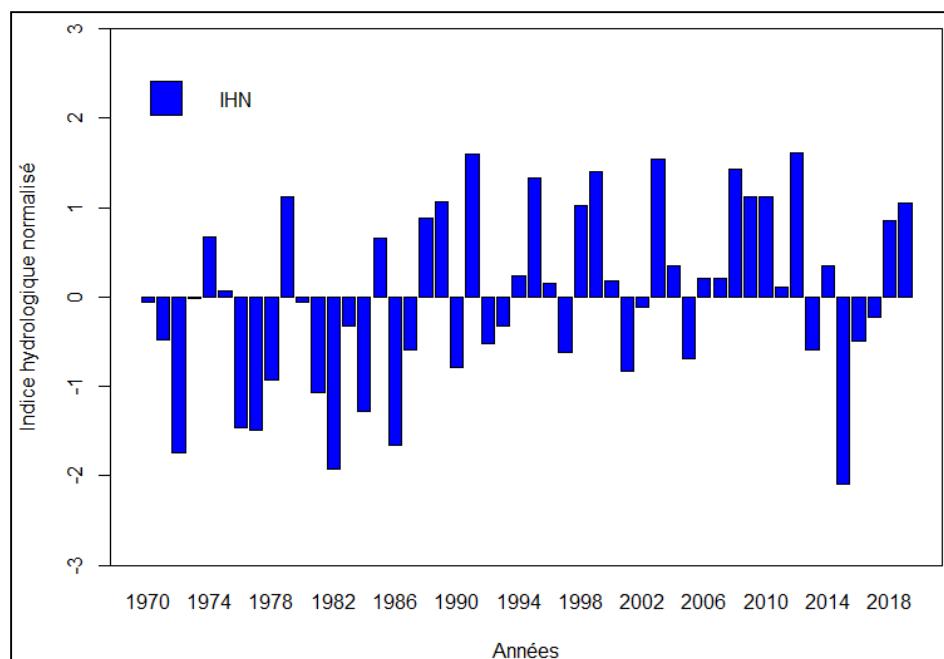
L'analyse du tableau 12 montre que 26,53 % des années de la série sont représentatif de la sécheresse modérée et 20,60 % des années représentent la sécheresse forte. Il ressort de l'analyse du tableau que les années fortement sèches sont 1971, 1974, 1976,

1977, 1983, 1989, 2000, 2001, 2006 et 2015. En outre il faut mentionner que la commune de Bonou a été modérément sèche en : 1972, 1978, 1982, 1986, 1990, 1992, 1994, 1995, 2000, 2007, 2013, 2015, 2016 et 2018.

3.1.3.2 Sécheresses de type hydrologique

La figure 8 présente l'évolution interannuelle des indices hydrologique Normalisé (IHN) sur la période de 1970-2019.

Figure 8: Évolution interannuelle de l'indice hydrologique Normalisé (IHN) dans la Commune de Bonou



Source : Résultats de traitement des données hydrométriques, 2020

Il ressort de l'analyse de la figure 8 que les IHN négatives varient de 0 à -1,60, ces anomalies caractérisent les périodes sèches, marqués par les indicateurs de déficit hydrologique. En effet, en considérant les anomalies négatives, il ressort que le secteur d'étude a connue de sévère sécheresse au cours des années 1972, 1982 et 1986. Le tableau 13 présente les années et les degrés de sécheresse.

Tableau 13: Tableau des années caractérisé par la sécheresse hydrologique.

Classeur des IHN	Années	Observations	Proportion (%)
$0 < \text{IHN} < -0,99$	1970, 1971, 1973, 1978, 1980, 1983, 1987, 1990, 1992, 1993, 1997, 2001, 2002, 2005, 2013	Légèrement Sèche	33
$-1 < \text{IHN} < -1,49$	1976, 1977, 1981, 1984	Modérément sèche	8
$-1,5 < \text{IHN} < -1,99$	1972, 1982, 1986	Sévèrement sèche	6

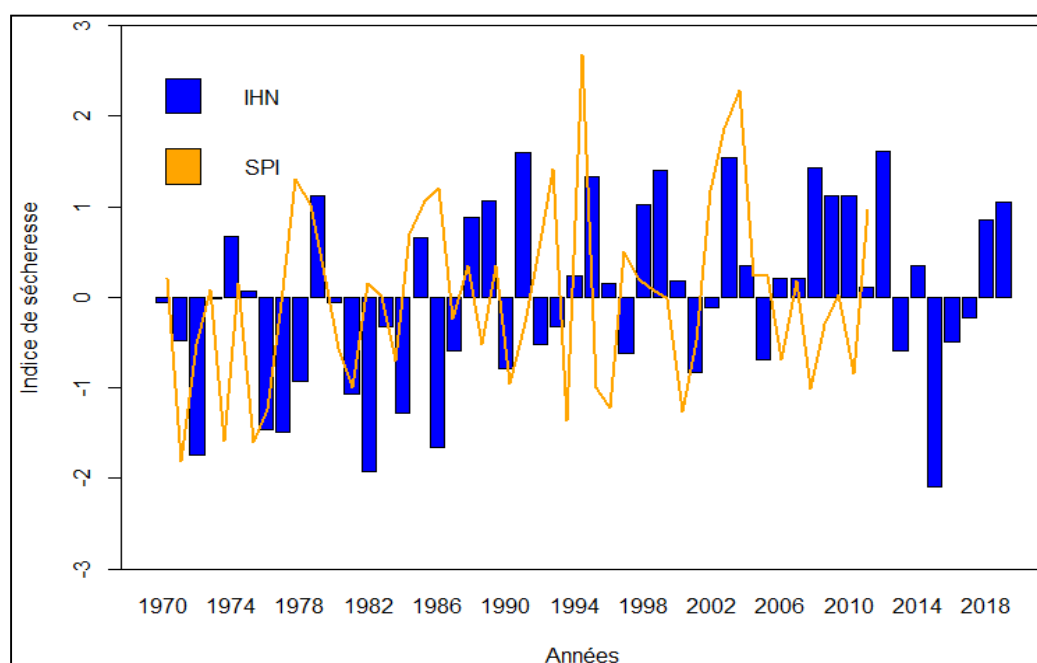
Source : Résultats de traitement des données hydrologiques, 2020

De l'analyse du tableau 13 il ressort que, 33 % des années de la série sont représentatif de la sécheresse légère, 8 % des années représentent la sécheresse modérée et 6 % des années de la série sont représentatif de la sécheresse sévère.

3.1.4. Relation entre l'indice standardisé de précipitation et l'indice hydrologique normalisé

La fluctuation moyenne interannuelle des indices standardisés de précipitation, couplées avec l'indice hydrologique normalisé sur la période de 1970 à 2019 dans la Commune de Bonou est illustrée par la figure 9.

Figure 9: Couple indice standardisé de précipitation-indice hydrologique normalisé dans la Commune de Bonou



Source : Résultats de traitement des données pluvio-hydrologiques 2020.

La figure 9 présente la relation entre les indices de sécheresses météorologique et hydrologique. Il faut noter que la corrélation entre les deux variables est 46,29 %. On en déduit donc que le retrait des cours d'eau est conditionné par le retrait des pluies.

3.2. Vulnérabilité de l'agriculture paysanne face aux évènements hydro-climatiques dans la commune de Bonou

3.2.1 Impacts des évènements hydro-climatiques sur le secteur de l'agriculture paysanne dans la commune de Bonou

L'agriculture est la première source de richesse au Bénin. Elle contribue pour 32,7 % en moyenne du PIB (Produit Intérieur Brute), 75 % des recettes d'exportation, 15 % aux recettes de l'Etat et fournie environ 70 % des emplois. Elle contribue aussi et surtout à assurer la sécurité alimentaire du pays.

3.2.1.1. Impacts des inondations sur l'agriculture paysanne dans la commune de Bonou

La commune de Bonou connaît 04 saisons deux pluvieuses et deux sèches. L'irrégularité des saisons s'exprime par le début tardif des pluies en mars ce qui amène les agriculteurs à labourer le champ jusqu'en mai. Cette période sèche les pousse vers la période d'août septembre ce qui coïncide avec les périodes de hautes eaux. Donc par conséquent les ravages de culture s'observent.

Les fortes pluies occasionnent le débordement du cours d'eau en période d'août et septembre d'après 100 % des agriculteurs enquêtés. En effets les pertes des cultures occasionnées s'observent par l'effet conjugué des pluies d'une part et du débordement du fleuve Ouémé d'autre part. Selon les cultivateurs rencontrés les hauteurs de pluie ravagent et emportent même les cultures. La planche 1 montre un champ de maïs qui a subi les effets néfastes d'une pluie à Lokossa.

Planche 1 : Champ de maïs dans le village Lokossa ravagé par la pluie du 12/10/2020



Prise de vues : R. Mitchozounou, Octobre 2020

Cette planche 1 montre l'effet de la pluie du 12/10/2020 sur les cultures à Bonou (3ha). En effets le débordement du cours d'eau entraîne la destruction des cultures situées sur les berges. Ce qui entraîne d'énorme perte de la productivité et la baisse du rendement observé ce qui laisse les paysans dans la famine totale sans aucune aide de la part des autorités pour s'en sortir. En plus des inondations la sécheresse augmente la perte de la production agricole. Certaines années sont sujet à forte pluies sur plusieurs jours ce qui provoque des inondations ; c'est le cas des années 2010 et 2016 par exemple. Les agriculteurs mettent les semences sous terre en mai pour cause de retard de pluie. Malheureusement le temps de croissance (Août et Septembre) coïncide avec la période de la montée des eaux du fleuve. Sur ce, les cultures sont ravagées et

emportées par le fleuve ce qui amène au déracinement précoce des cultures (manioc). Enfin il y a plus de 50 % de réduction de la production de farine de manioc.

3.2.1.2. Impacts de la sécheresse sur l'agriculture paysanne dans la commune de Bonou

Tout comme les inondations les sécheresses occasionnent aussi des pertes de production. Dans la zone d'étude la sécheresse s'explique par le retard des pluies ce qui pousse les paysans à cultiver le champ de façon tardive. Elle favorise aussi le développement des petites bestioles (verre de terres) qui envahissent la plupart du temps les champs de maïs. Ce qui entraîne le pourrissement des cultures et a pour corolaire la baisse du rendement agricole. La photo 1 présente un prototype de pesticide utilisé contre les envahisseurs.

Photo 1 : Pesticide utilisé contre les envahisseurs (ver de terre)



Prise de vue : R. Mitchozounou, Octobre 2020

La photo 1 montre le produit utilisé par certains agriculteurs pour éliminer les envahisseurs des champs en période sèche. D'après les agriculteurs enquêtés sans le village de Lokossa difficilement ils ont accès au produit vu le manque de moyen.

3.2.2. Niveau de vulnérabilité de l'agriculture paysanne face aux événements hydro-climatiques dans la commune de Bonou

Plusieurs facteurs expliquent la vulnérabilité de l'agriculture paysanne dans la commune de Bonou. Il s'agit du calendrier qui est rythmé par le régime pluvial et hydrologique, la situation géographique de certains villages (proximité du fleuve Ouémé).

L'analyse de la vulnérabilité s'intéresse aux produits phares qui sont :

- Les céréales (maïs);

- Les tubercules (manioc, patate douce);
- Les cultures maraichères (tomate, piment, gombo, légume feuille).

Le tableau 14 présente le degré de vulnérabilité du système agricole face aux évènements hydro-climatiques dans la commune de Bonou.

Tableau 14 : Matrice de sensibilité aux évènements hydro-climatiques

Unité d'exposition	Evènements hydro-climatiques		Indices d'exposition	Rang
	Inondation	Sécheresse		
Maïs	5	4	90%	1
Manioc	4	3	70%	3
Patate douce	4	3	70%	3
Tomate	4	3	80%	2
Piment	4	4	80%	2
Haricot	3	3	60%	4
Arachide	3	4	70%	3
Légume feuille	4	4	80%	2
Indice d'impact	75	72		

Le tableau présente le degré d'exposition des cultures étudiées. Après analyse du tableau 14, il est constaté que toutes les cultures sont vulnérables à plus de 50 %. Le maïs est la culture la plus vulnérable avec un indice d'exposition de 90 %. Viennent ensuite la tomate, le piment et les légumes feuille qui sont vulnérables avec un indice de 80 %. Le manioc, la patate douce et l'arachide sont vulnérables quant à eux à 70%. L'agriculture paysanne n'est pas à l'abri des effets néfastes des évènements hydro-climatiques dans la commune de Bonou.

Il ressort également de l'analyse du tableau 14 que les évènements hydro-climatiques qui occupent la première et la deuxième place sont respectivement les inondations (indice : 75%) et la sécheresse (indice 72%). Le maïs et les produits maraichers (tomate, piment, légume feuille) sont les produits les plus vulnérables aux évènements hydro-climatiques ce qui empiète sur le développement et l'émergence des agriculteurs locaux.

Conclusion

Cette recherche contribue à une meilleure connaissance de la vulnérabilité de l'agriculture paysanne face aux évènements hydro-climatiques dans la commune de Bonou. L'analyse de la variabilité pluviométrique et hydrométrique permet de retenir que plusieurs années ont été marquées par les évènements d'inondations et de sécheresse. Les années marquées par des évènements inondations pluviales de types critiques sont : 1999, 2010, 2019. Les années marquées par des évènements d'inondations fluviales significatives sont : 1991, 2003, 2012. Les années de forte

sécheresse météorologique sont : 1971, 1974, 1976 et pour finir les années hydrologiquement sèches sont : 1972, 1982, 1986.

Par ailleurs l'analyse de la vulnérabilité montre que le maïs, les produits maraichers (tomate, piment, légume feuille) et les tubercules (manioc, patate douce) sont les cultures les plus vulnérables aux événements hydroclimatiques dans la Commune de Bonou. Il urge pour les travaux futurs que les autres paramètres (températures, ETP et humidité du sol) soient pris en compte et une répartition spatiale des zones risque d'inondation et de sécheresse à l'aide du SIG pour une meilleure adaptation des populations.

Références bibliographiques

BOKO Michel, 2004, *Gestion des risques hydro-climatiques et développement économique durable dans le bassin du Zou*. Université d'Abomey-calavi/Laboratoire de Climatologie. 51p.

GIBBS W. J. and MAHER J. V., 1967, *Rainfall Deciles as Drought Indicators*. Director of Meteorology of Melbourne, Australia, 32p. DOI:10.1016/S0022-1694(00)00340-1

GIEC, 2014, *Conclusion du cinquième Rapport d'évaluation sur l'évolution du climat*. Island Press, Washington, 5p.

KOUDAMILORO Olivier, 2017, *Vulnérabilité aux risques hydroclimatiques et stratégies d'adaptation des populations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bétérou (Benin)*. Thèse de Doctorat unique de géographie. Université Ouaga 1 PR Joseph Ki-Zerbo, 274p.

KOUMASSI Dègla Hervé, 2014, *Risques hydro-climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de Coubéri*. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 245 p.

KOUMASSI Dègla Hervé ; TCHIBOZO Alain Eric ; VISSIN Expédit Wilfrid et HOUSSOU Christophe Sègbé, 2014, *SIG et télédétection pour l'optimisation de la cartographie des risques d'inondation dans le bassin de la sota au Bénin*. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 23 (2014) 137 – 152. DOI : <https://bec.uac.bj/uploads/publication/3a95d0bf6a967029e48eec88c95dcc0d.pdf>

McKEE Thomas .B., DOESKEN Nolan J., et KLEIST Jonh, 1993, *La relation entre la fréquence et la durée de la sécheresse et les échelles de temps*. In: *Eighth Conference on Applied Climatology*. pp 17-22.

MEYLAN Paul et MUSY André, 1999, *Hydrologie générale: Analyse fréquentielle*. *Annale revue hydrologie*, 19p.

OMM, 2012, *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé* (M. Svoboda, M. Hayes et D. Wood) (OMM-N° 1090), Genève, 19p.

PANA-Bénin, 2008, *Programme d'Action Nationale d'Adaptions aux changements climatiques*. Cotonou, 81p.

SALL Moussa, 2015, *Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques : stratégies développées et assurances agricoles*. Thèse de doctorat. Economies et finances. Université Toulouse le Mirail – Toulouse II, 279p. DOI : <https://theses.hal.science/tel-01342523/document>

SULTAN Benjamin, ROUDIER Philippe, TRAORE Seydou, 2015, *Les impacts des changements climatiques sur le rendement agricole en Afrique de l'Ouest''* In : Sultan Benjamin (ed.), Lalou Richard (ed.), Amadou Sanni M. (ed.), Oumarou A. (ed.), Soumaré M.A. (ed.). *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*. Marseille : IRD, 2015, p. 209-225. (Synthèses). ISBN 978-2-7099-2146-6

TOTIN Henri, 2016, *Seuils pluviométriques des niveaux de risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest)''* p. 08