REPUBLIQUE DU BENIN

UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI

ÉCOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE

« ESPACES, CULTURES ET DÉVELOPPEMENT »

AD MAJOREM SCIENTIAE GLORIAM

Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey Calavi
Pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université d'Abomey Calavi

Option: GEOGRAPHIE ET GEOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Spécialité: Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'Espace

N° d'enregistrement : ***/ UAC/SG/VR-AARU/SP-CS/SA***

VULNERABILITE DES ECOSYSTEMES AUX RISQUES HYDROCLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A L'EXUTOIRE DE BONOU

Présentée par :

Modoukpè Inès OYEDE

Sous la Direction de :

Prof Expédit Wilfried VISSIN
Professeur Titulaire, de Géographie
Université d'Abomey-Calavi (BENIN)

Soutenue publiquement devant le Jury international composé de :

Président : **Prof. Luc Olivier SINTONDJI**, Professeur Titulaire, UAC, Bénin

Rapporteur : **Prof. Expédit Wilfrid VISSIN**, Professeur Titulaire, UAC, Bénin

1er Examinateur : **Prof Harouna KARAMBIRI**, Professeur Titulaire, 2ie, Burkina Faso

2ème Examinateur : **Dr. Kokou GBEMOU**, Maitre de Conférences, Université de Lomé

3ème Examinateur : **Dr. Eric ALAMOU**, Maitre de Conférences, UNSTIM-Abomey, Bénin

Date de soutenance : 24 mai 2019

Mention : très honorable avec félicitation orale du jury

SOMMAIRE

DEDICACE iv
SIGLES ET ACRONYMES v
Avant-propos viii
RESUME xi
ABSTRACT xii
INTRODUCTION GENERALE 1
PREMIERE PARTIE : 11
CHAPITRE I: CADRE CONCEPTUEL ET MILIEU D'ETUDE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEMEA L'EXUTOIRE DE BONOU 12
1.1 Fondements physiques et humains de l'étude 12
1.2 Clarification des concepts 32
1.3 Point des connaissances 38
1.4 Cadre conceptuel de la vulnérabilité aux risques hydroclimatiques 45
SYNTHESE 46
CHAPITRE II: APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA VULNERABILITE DES ECOSYSTEMES AUX RISQUES HYDRO CLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A BONOU 47
2.1 Données utilisées 47
2.2 Technique et méthodes de collecte de données 56
2.3 Méthodes de traitement des données 59
2.4 Evaluation du risque d'inondation 80
DEUXIEME PARTIE : CARACTERISATION DE LA VARIABILITE HYDROCLIMATIQUE ET IMPACT DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES SUR LES ECOSYSTEMES DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A BONOU 90
CHAPITRE III: CARACTERISATION DE LA VARIABILITE HYDROCLIMATIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A L'EXUTOIRE DE BONOU 91
3.1 Variabilité climatique dans le bassin versant de l'Ouémé 91
3.2 Bilan climatique 95
3.3 Evolution intra-saisonnière comparée des précipitations dans le bassin de l'Ouémé à Bonou et Savè allant des périodes de 1965-1981 et de 1981-2014 98
3.4 Etude de la variabilité des températures dans le bassin versant de l'Ouémé 101
3.5 Variabilité hydrologique dans les sous bassins versants de l'Ouémé 103
3.6 Bilan hydrologique du bassin versant de l'Ouémé 112
3.7 Evolution des débits maximaux dans les sous bassins versant de l'Ouémé 113

3.8 Analyse fréquentielle et intensité des pluies maximales 114
3.9 DISCUSSION.....118
CHAPITRE IV : ANALYSE DE L'INFLUENCE DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES SUR LES ECOSYSTEMES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUEME A BONOU 120
4.1 Analyse des risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou 120
4.2 Facteurs de vulnérabilité du bassin versant aux risques hydroclimatiques.....131
4.3 Vulnérabilité du bassin versant de l'Ouémé 135
4.4 Vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé151
4.5 Vulnérabilité et résilience des ménages aux écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé 163
4.6 Discussion 164
TROISIEME PARTIE.....166
CHAPITRE V: PERCEPTIONS PAYSANNES DES MANIFESTATIONS DES RISQUESHYDROCLIMATIQUES DANS LE BASSIN DE L'OUEME A BONOU 167
5.1 Indicateurs de l'avènement des risques hydroclimatiques.....167
5.2 Perceptions paysannes de l'évolution du climat dans la région d'étude.....170
5.3 Perception endogène des risques hydroclimatiques dans le bassin de l'ouémé.....174
5.4 Limite et gestion endogène des dynamiques hydroclimatiques.....176
5.5 Effets socio-économiques et environnementaux des aléas hydroclimatiques 176
5.6 Paramètres socio-écologiques des conséquences néfastes des changements climatiques 178
5.7 DISCUSSION.....179
CHAPITRE VI: STRATEGIES D'ADAPTATION AUX RISQUES HYDROCLIMATIQUESDANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUEME A BONOU 182
6.1 Stratégies institutionnelle, juridique et organisationnelle de gestion des risques dans l'Ouémé ..183
6.2 Stratégies endogènes.....190
6.3 Stratégies exogènes.....192
6.4 Perception paysanne pour une meilleure adaptation aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé.....202
CONCLUSION GENERALE 206
PERSPECTIVES DE L'ETUDE.....210
BIBLIOGRAPHIE 211
Liste des figures.....224
Liste des tableaux 226
Liste des photos.....227
Liste de planche.....228
Table des matières 229

DEDICACE

A

Auguste Prince ALAMOU, mon adorable fils

et

FEUE GNONLONFOUN Bathilde Lucienne, ma tendre mère

SIGLES ET ACRONYMES

ACMAD	**:**	African Centre of Meteorological Applications for Development
AGRHYMET	**:**	Agriculture et Hydrométéorologie pour le CILSS
ANM	**:**	Agence Nationale de la Météorologie
BHP	**:**	Bilan Hydrique Potentiel
CARDER	**:**	Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural
CC	**:**	Changement Climatique
CCNUCC	**:**	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CDF	**:**	Centre des Données Forestières
CeCPA	**:**	Centre Communal pour la Promotion Agricole
CEPMMT	**:**	Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme
CeRPA	**:**	Centre Régional pour la Promotion Agricole
CILSS	**:**	Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CIFRED	**:**	Centre Inter Facultaire pour la Recherche en Environnement et Développement
CRA	**:**	Centre Régional Agrhymet
CRC	**:**	Centre de Recherches de Climatologie
CRU	**:**	Climate Research Unit
CSAG	**:**	Climate System Analysis Global
DSA	**:**	Direction des Statistiques Agricoles
DSRP	**:**	Document Stratégique de Réduction de la Pauvreté
ETM	**:**	Evapotranspiration Maximale
ETP :	**:**	Evapotranspiration Potentielle
ETR :	**:**	Evapotranspiration Réelle ou de Référence

FAO	**:**	Fonds des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
FAOSTAT	**:**	Annuaire des données Statistiques de la FAO
FIT	**:**	Front Intertropical
FLASH	**:**	Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
GES	**:**	Gaz a Effet de Serre
GIEC	**:**	Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GIFS	**:**	Gestion Intégrée pour de la Fertilité des sols
INSAE	**:**	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IPCC	**:**	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRD	**:**	Institut français pour la Recherche et le Développement
ISDR	**:**	Institut Supérieur de Développement Rural
LACCEG	**:**	Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques
LACEEDE	**:**	Laboratoire d'étude des Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement
MADR	**:**	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MCG	**:**	Modèle de Circulation Générale
M3G	**:**	Moyennes des Multi-Modèles Globaux
NCEP	**:**	National Center for Environnemental Prediction
NME	**:**	Nombre Moyen d'Enfants
MAEP	**:**	Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche
MEPN	**:**	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MS	**:**	Ministère de la Santé
OGM	**:**	Organismes Génétiquement Modifiés
ONG	**:**	Organisation Non Gouvernementale
PANA	**:**	Programme d'Action National d'Adaptation
PARN	**:**	Projet d'Aménagement des Ressources Naturelles

PCC	**:**	Période de la Croissance des Cultures
PDC	**:**	Plan de Développement Communal
PIB	**:**	Produit Intérieur Brut
PNUD	**:**	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	**:**	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
SOMD:	**:**	Self Organizing Map based Downscalling
SPI	**:**	Standardized Precipitation Index
UAC	**:**	Université d'Abomey Calavi
UNSTIM	**:**	Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques
WCRP	**:**	World Climate Research Programm

Avant-propos

Le changement climatique est l'un des défis majeurs de notre époque. C'est aujourd'hui, l'une des menaces pesant sur le développement socio-économique. Les communautés paysannes les plus pauvres sont sans doute celles qui subissent les impacts les plus violents avec des effets négatifs.

Les pays tropicaux d'Afrique, les plus démunis et les plus vulnérables, ont du mal à faire face aux risques climatiques et plus précisément aux risques hydroclimatiques.

Le Bénin n'échappe pas à cette situation encore moins les communautés vivant dans les bassins versants de l'Ouémé. En effet, les risques hydroclimatiques qui y sévissent depuis plusieurs années ont fait prendre conscience du danger que représentent les perturbations du climat, notamment de leurs conséquences actuelles et futures sur les écosystèmes.

Ce travail s'inscrit dans le contexte des préoccupations relatives à la vulnérabilité des écosystèmes face aux risques hydroclimatiques au Bénin plus précisément dans le bassin versant de l'Ouémé. Cette recherche est une contribution à la connaissance approfondie de la vulnérabilité des écosystèmes face aux risques hydroclimatiques. Les résultats d'analyse ont permis d'une part de déterminer l'impact des risques hydroclimatiques sur les populations, les ressources naturelles et les activités socio-économiques et d'autre part de caractériser la vulnérabilité des écosystèmes tout en proposant des capacités d'adaptation pour réduire ces risques.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce aux soutiens de diverses personnes à qui je dois exprimer mes sincères remerciements.

Mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu apprécier la qualité du présent travail. Mes sincères reconnaissances aux pré-rapporteurs Professeurs ALAMOU Eric, GBEMOU Kokou et KARAMBIRI Harouna pour leurs relectures attentives et critiques de mon manuscrit et les amendements d'ordres techniques et scientifiques pouvant contribuer à l'amélioration du document.

Je tiens à remercier chaleureusement le Professeur Expédit W.VISSIN, Directeur de thèse pour avoir accepté de diriger cette thèse. Il m'a formé, a toujours suivi mes travaux et amélioré la qualité de cette thèse par ses conseils et suggestions. L'expression de mes sincères remerciements se justifie par la qualité indéniable des encadrements scientifiques et méthodologiques qu'il m'a fait bénéficiée avec un suivi d'une grande rigueur scientifique.

J'exprime toute ma reconnaissance à l'administration de l'École Doctorale Pluridisciplinaire de l'Université d'Abomey Calavi pour leurs apport et soutiens.

Mes remerciements vont à l'endroit de tous les Professeurs de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ≪ Espaces et Cultures » de la FASH qui nous ont encouragés dans la recherche scientifique.

Je remercie chaleureusement Monsieur Christophe S. HOUSSOU, Professeur Titulaire à l'Université d'Abomey-Calavi, pour m'avoir fait bénéficier de son expérience et de sa clairvoyance en Climatologie, sans lesquelles je ne saurais parvenir à certains de mes résultats majeurs.

Je tiens à manifester ma reconnaissance au Professeur AMOUSSOU Ernest qui m'a entouré de sa sollicitude et de ses expériences en matière de recherche scientifiques.

Ce travail n'aurait également pas pu être mené sans l'aide du Dr KOUMASSI Hervé dont les orientations et exhortations m'ont aidé à aller de l'avant dans cette thèse. Je lui exprime mes sincères remerciements et vous resté redevable.

Je tiens à remercier très respectueusement tous les professeurs qui, de près ou de loin m'ont encadrés dans la réalisation de ce travail.

Je n'oublie pas mes amis, membres du LACEEDE, Docteurs, A. Gervais ATCHADE, Philippe Ayédèguè CHABI et Yaovi Emile ATIYE.

C'est aussi l'occasion d'exprimer ma profonde gratitude à mes collègues de Météo Benin qui ont mis les données climatologiques à ma disposition pour la réalisation de ces travaux.

Mes sincères remerciements envers monsieur TOSSA Aurélien de la DGEau qui m'a aidé dans la collecte des données hydrologiques.

Que mes frères et sœurs trouvent dans ce travail toute ma gratitude.

Je remercie tous mes proches amis et parents qui n'ont ménagé aucun effort pour m'accompagner dans les travaux de recherche.

J'exprime également ma reconnaissance aux autorités académiques de l'Université d'Abomey Calavi, pour leurs recommandations et multiples conseils sans lesquels ce travail ne pourrait être réalisé.

Mes marques de reconnaissance vont enfin à l'endroit de tous ceux qui ont contribué d'une manière quelconque à la réalisation de cette thèse.

Infiniment merci à tous !!!

RESUME

L‘Afrique est l’un des continents les plus vulnérables aux changements et aux variabilités climatiques, une situation aggravée par l’interaction de multiples difficultés, ayant cours à divers niveaux et par de faible niveau de capacités d’adaptation. La connaissance des risques hydroclimatiques constitue un défi majeur pour les États africains, spécifiquement ceux de l'Afrique de l'Ouest qui présentent une sensibilité élevée aux situations extrêmes (inondations, sécheresses). L’approche méthodologique a consisté en la détermination des phénomènes hydroclimatiques à travers les données climatologiques, hydrologiques et socio-environnementales sur la période de 1960 à 2014. Il a été ensuite procédé au traitement et à l’analyse des données. Les résultats issus des travaux de recherche ont révélé de fortes pluviométries au niveau des mois de juin, juillet, aout et septembre. On note une augmentation de la température moyenne de 0,5°C au niveau mondial (GIEC 2014). Les variations du climat, de même que les phénomènes météorologiques extrêmes représentent des risques pour l’ensemble des populations et des écosystèmes au Bénin. La perturbation des écosystèmes est confrontée aux phénomènes climatiques extrêmes. Ainsi on dénote de l’analyse plus de 60 % des inondations, 50 % des excès de chaleurs, 45 % des ruptures de pluies, 65% de retard des pluies et 20 %de vents violents. Ce qui a engendré la destruction du couvert végétal et la baisse des rendements avec des conséquences sur les conditions de vie des producteurs. Pour faire face à cette situation, les paysans ont développé des stratégies d’adaptation à savoir le recours à des moyens qu’ils soient traditionnels ou modernes, le système de drainage en période de pluies extrême (40 % des producteurs enquêtés), le système de pompage des eaux en situation du déficit hydrique extrême (25%), des opérations de la maîtrise de l’eau pour les cultures de contre-saison et de rallonger ainsi de quelques mois l’exploitation des terres et enfin l’utilisation des boues de vache pour garder les planches plus longtemps dans l’humidité afin de régénérer des cultures.

Mots clés : Bassin versant, Stratégies d’adaptation, Risques hydroclimatiques, Écosystèmes, Vulnérabilité

ABSTRACT

Africa is one of the continent's most vulnerable to climate change and variability, a situation aggravated by the interaction of multiple difficulties, occurring at various levels and by low levels of adaptive capacity. Knowledge of hydroclimatic risks is a major challenge for African states, especially those in West Africa that has high sensitivity to extreme situations (floods, droughts). The methodological approach consisted in the determination of the hydroclimatic phenomena through climatological, hydrological and socio-environmental data over the period from 1960 to 2014. It was then proceeded to the processing and analysis of the data. The results of the research revealed strong rainfall in June, July, August and September. There is an increase in the average temperature of 0.5 ° C worldwide (IPCC 2014). Climate variations, as well as extreme weather events represent risks for all populations and ecosystems in Benin. Ecosystem disruption is confronted with extreme weather events. Thus, more than 60% of floods, 50% of excess heat, 45% of rainfall rains, 65% of rainfall delays and 20% of strong winds are recorded. This has led to the destruction of vegetation cover and lower yields, with consequences for the living conditions of producers. To cope with this situation, farmers developed adaptation strategies, namely the use of traditional or modern means, the drainage system during extreme rainfall (40% of the producers surveyed), the system water pumping in situations of extreme water deficit (25%), water control operations for off-season crops and thus lengthen land use by a few months and finally the use of sludge of cow to keep boards longer in moisture to regenerate crops.

Key words: Watershed, Adaptation strategies, Hydroclimatic risks, Ecosystems, Vulnerability.

INTRODUCTION GENERALE

Le climat est caractérisé par une tendance stable sur une longue période de caractéristiques météorologiques propres à un milieu géographique donné. Mais cette stabilité est très souvent interrompue pour des causes diverses (très souvent naturelles), entraînant une modification durable que l'on nomme : changement climatique (GIEC, 2014). De ce fait, le climat de la terre a déjà subi plusieurs modifications et autres évolutions cycliques au cours des âges géologiques comme l'attestent de nombreuses études paléo climatologiques (UFNCCC, 2002).

L'Afrique est aujourd'hui confrontée à la perversité de la variabilité climatique (Doukpolo, 2014). Le nombre de catastrophes hydrométéorologiques (sécheresses, inondations, tempêtes de vent, feux de forêt ou glissements de terrain) s'est considérablement accrue au cours des dernières décennies occasionnant des pertes de vie humaines, économiques et l'extinction des espèces faunistique et floristique (Bossa, 2007). En Afrique et au Bénin en particulier, les grands fleuves comme le fleuve Ouémé subissent une forte pression démographique liée à leur situation géographique (Mama, 2010). De multiples activités anthropiques sont exercées le long de ces cours d'eau sans que l'on ne puisse clairement responsabiliser les différentes parties prenantes par une politique d'aménagement des bassins versants. Cela entraîne une dégradation des ressources naturelles et donc la perte des écosystèmes naturels. Le GIEC(2007) et Zan Diarra (2009) ont indiqué que l'Afrique en général et sa partie Ouest en particulier est la plus vulnérable à la variabilité et aux changements du climat.

Les populations de ces régions ont toujours payé un très lourd tribut à la variabilité interannuelle des saisons des pluies en raison de la dépendance directe des techniques de production agricole, des économies locales et donc de la vie des gens, aux aléas climatiques. Un rapport du PNUE (Programme des

Nations Unies pour l'Environnement, 2001), a montré d'ailleurs que les populations d'Afrique de l'Ouest subiront de toute façon les impacts associés au changement climatique même si les projections des modèles de climat ne convergent pas toutes encore vers le signe des anomalies futures. Ainsi, la question du risque de persistance de longues périodes anormalement sèches ou pluvieuses est-il bien réel ? C'est une question de toute première importance pour les pays et les habitants de la sous-région ouest africaine du Sahel (Ardoin *et al.* 2003). En effet, ces changements se font déjà sentir sur les populations d'Afrique. Les recherches effectuées montrent que le changement de température se répercute sur la santé, les moyens de subsistance, la production alimentaire, les écosystèmes, la disponibilité en eau et la sécurité globale des Africains (GIEC 2013).

La gestion des risques hydroclimatiques constitue un défi majeur pour les États africains, spécifiquement ceux de l'Afrique de l'Ouest qui présentent une sensibilité élevée aux situations extrêmes tels que l'inondation et la sécheresse (HOUNDENOU, 2008).

Dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou, les phénomènes climatiques extrêmes conduisent à des risques hydroclimatiques qui peuvent causer, faute d'une gestion adéquate, des migrations massives de populations, des désastres écologiques ainsi que des pénuries de vivres, d'énergie, d'eau et d'autres biens essentiels (KOUDAMILORO, 2017).

Le Bénin fait face à un grand déséquilibre écologique. L'explosion démographique caractérisant actuellement le pays contribue à l'appauvrissement et à la dégradation des sols. Effectivement, la démographie galopante entraîne un nombre plus élevé d'utilisateurs du territoire, des changements au niveau de l'affectation des terres, ainsi qu'une plus grande consommation d'eau, servant à l'agriculture et contribuant à l'aridification du milieu. Par ailleurs, le déficit alimentaire encourage l'augmentation des cheptels qui occasionne un surpâturage et qui fait donc rompre l'équilibre entre la végétation et le bétail

(ACDI, 1985). En outre, la sur utilisation des ressources en bois, répondant à 90% des besoins énergétiques de la population est un autre facteur d'importance majeure dans la dégradation du territoire. À ces pratiques destructrices, viennent s'ajouter les feux de brousse d'origine anthropique, les techniques agricoles «archaïques», les mauvaises pratiques de récolte des racines etc.

Des études ont montré que la vulnérabilité physique du Bénin est liée aux fortes pluies, aux inondations, aux sécheresses, à l'érosion côtière et aux phénomènes épidémiques (Amoussou, 2010).

Au Bénin, depuis quelques décennies le déficit pluviométrique s'est traduit notamment par l'aggravation de l'aridité, la réduction significative des principales zones humides, la fréquence d'épisodes secs, les pluies diluviennes. Ces quelques phénomènes climatiques accentuent aujourd'hui la vulnérabilité des écosystèmes naturels.

Les événements météorologiques constituent une menace majeure pour l'environnement et le développement agricole mondiaux et surtout africains. Au Benin, le diagnostic des effets du changement climatique révèle que les zones agro-écologiques sont les plus vulnérables aux risques climatiques que sont : la sècheresse, les pluies tardives et violentes et les inondations (RNI, 2008).

Toutes les autres composantes de l'environnement naturel, et par conséquent les activités humaines et la vie des populations, seront affectées. La santé, les écosystèmes terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques comme l'agriculture, l'exploitation forestière, la pêche et les ressources en eau, éléments essentiels au développement et au bien-être de l'humanité, sont sensibles aux variations du climat, dont certains risquent d'être irréversibles. La société doit donc s'attendre à des bouleversements multiples auxquels elle devra s'adapter (GIEC 1996).

Les risques hydroclimatiques constituent une préoccupation majeure qui affecte tous les secteurs d'activités au Bénin. Ces derniers hypothèquent donc le développement des écosystèmes.

Les sécheresses à répétition, la pluviométrie insuffisante ou mal répartie dans le temps et dans l'espace, l'abaissement ou l'assèchement total des eaux souterraines qui alimentent les sources sont des effets de la variabilité et des changements climatiques au Bénin (OYENIRAN, 2011). Combinés aux facteurs de désertification de nature socioéconomique, ils occasionnent plusieurs conséquences tels que la baisse de la fertilité des sols, l'érosion accélérée de ceux-ci, l'appauvrissement de la végétation, la réduction des produits de cueillette, l'appauvrissement de la faune sauvage et l'appauvrissement génétique des espèces animales et végétales.

Les risques hydroclimatiques sont susceptibles de dégrader irrémédiablement le stock de ressources naturelles dont dépend l'agriculture. Au Benin comme ailleurs en Afrique Tropicale, la pluviométrie est le paramètre climatique le plus fréquemment observé dans les réseaux de mesures météorologiques au sol. Elle est même qualifiée de « variable rebelle » compte tenu de sa grande variabilité spatio-temporelle. A ce propos, Fontaine (1990) évoquant la diversité et la variabilité des climats dans les basses latitudes note qu'ils sont marqués par l'absence d'un véritable hiver thermique et la primauté du critère pluviométrique. La plus grande abondance des précipitations, leur répartition dans l'espace et dans le temps, constitue les principales contraintes pour l'adaptation des organismes vivants du milieu. Cette affirmation laisse entrevoir que l'enjeu majeur pour initier les politiques d'aménagements de l'espace en terme du climat peut résider dans l'appréhension de ces contraintes.

La bonne répartition spatio-temporelle des pluies a donc une importance particulière pour les activités socio-économiques, les écosystèmes (naturels et anthropiques). Outre cette dépendance, la croissance rapide de ces populations et un accès réduit aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais,

irrigation) constituent des facteurs aggravant des impacts socioéconomiques du climat (PNUD, 2004).

Dans ce contexte, comprendre et anticiper les fluctuations climatiques ainsi que leurs conséquences sur les écosystèmes constituent un enjeu majeur pour le développement économique et la sécurité alimentaire en Afrique sub-saharienne.

En Afrique et au Bénin en particulier, les grands fleuves comme le fleuve Ouémé subissent une forte pression démographique liée à leur situation géographique (Mama, 2010). De multiples activités anthropiques sont exercées le long de ces cours d'eau sans que l'on puisse clairement responsabiliser les différentes parties prenantes par une politique d'aménagement des bassins versants. Cela entraîne une dégradation des ressources naturelles et donc une perte de la diversité biologique. Ces effets pervers de la forte anthropisation sur les écosystèmes naturels associés aux risques hydro-climatiques amplifient dangereusement la dégradation écologique de nos cours d'eau indispensable pour la vie (Amoussou, 2010).

En effet, autant les changements hydroclimatiques de l'époque contemporaine perturbent le bon déroulement des activités socio-économiques, autant ils représentent des facteurs de risques qui fragilisent la santé des populations.

La plupart des effets seront sur ou par l'eau, et, en général le climat sera caractérisé par une plus grande variation et des événements extrêmes plus intenses. L'Afrique a déjà un climat fortement variable et imprévisible, et déjà beaucoup de systèmes africains, ne répondent plus aux pressions du climat existant. Sécheresses, inondations, élévation du niveau de la mer, impact sur la sécurité alimentaire, sur la productivité de l'agriculture, sur le commerce et l'exportation des produits, la santé, et l'énergie (DFID, 2006).

L'évaluation des risques climatiques, des vulnérabilités et de l'exposition est essentielle pour l'efficacité et la viabilité à long terme de la gestion des risques (PNUD, 2010).

Au Bénin, la plupart des écosystèmes des différentes régions agro écologiques sont marqués par une dégradation du fait de la forte variabilité climatique associée à une plus grande fréquence des phénomènes extrêmes (sècheresse, augmentation des températures, etc.) au cours des trois (03) dernières décennies (Koumassi, 2012). Les populations majoritairement rurales sont particulièrement vulnérables aux risques liés à la variabilité climatique dans la mesure où celle-ci conditionne les ressources alimentaires, hydriques et financières avec des retombées directes et indirectes sur la santé publique.

Au Bénin les travaux de BOKO (1988), AFOUDA. (1990), et YABI I. *et al.* (2011) ont montré que l'agriculture reste presqu'exclusivement pluviale (les calendriers agricoles sont calés sur les rythmes des événements pluvieux) donc très tributaire des incertitudes climatiques. Ainsi, selon les irrégularités pluviométriques constatées depuis les années 1970 ont tôt fait de perturber les cycles culturaux, de bouleverser le calendrier agricole traditionnel et de rendre non opérationnelles les normes culturales en vigueur chez les populations paysannes (VIGNIGBÉ J. cité par OGOUWALÉ E., 2006).

Les variabilités climatiques actuelles se caractérisent par de longues périodes de sécheresse avec pour conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques (FAO, 2007 ; IPCC, 2007). Le déficit des apports en eau a été estimé à 16 % pour l'Afrique tropicale (16% durant la décennie 1980 contre 7 % au cours de la décennie 1970). Au niveau de l'Afrique soudano-sahélienne, ce déficit est de l'ordre de 27 % et 13 % respectivement pour ces mêmes décennies (Bricquet et *al.* 1997).
Les risques hydroclimatiques sont reconnus comme des contraintes majeures pour le développement économique et social de toute la planète. En particulier,

l'Afrique de l'Ouest est négativement impactée par les conséquences de ces risques (LAWIN, 2015). Au regard des impacts négatifs multiples observés dans plusieurs secteurs économiques clés, notamment l'agriculture, le commerce agricole et la sécurité alimentaire, la nécessité de développer des stratégies adaptatives pertinentes par secteur de développement s'impose.

Aussi, la vulnérabilité physique est liée aux fortes pluies, aux inondations, aux sécheresses, à l'érosion côtière et aux phénomènes épidémiques. Cette vulnérabilité est accentuée par des facteurs socioéconomiques et environnementaux, en particulier la grande dépendance de l'agriculture à la pluviométrie. L'installation des populations dans les zones inondables ou les lits des fleuves et des lacs, met en évidence le problème d'aménagement du territoire et d'occupation du sol surtout dans le bassin sédimentaire côtier (Totin, 2012). Ainsi donc, le Bénin a connu entre 1999 et 2010 cinq épisodes majeurs d'inondation, dont les plus importantes sont celles de 1999, 2009 et 2010. Elles sont généralement dues aux crues et débordements des fleuves (Ouémé, Mono, Couffo) et des lacs (Nokoué et Ahémé) mais aussi à la défaillance des systèmes de drainage des eaux pluviales (Amoussou *et al.* 2012).

Bref, toutes les autres composantes de l'environnement naturel, et par conséquent les activités humaines et la vie des populations, seront affectées. La santé, les écosystèmes terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques comme l'agriculture, l'exploitation forestière, la pêche et les ressources en eau, éléments essentiels au développement et au bien-être de l'humanité, sont sensibles aux variations du climat, dont certains risquent d'être irréversibles. La société doit donc s'attendre à des bouleversements multiples auxquels elle devra s'adapter (GIEC 1996).

Au Bénin, la vulnérabilité physique est liée aux fortes pluies, aux inondations, aux sécheresses, à l'érosion côtière et aux phénomènes épidémiques. Cette vulnérabilité est accentuée par des facteurs

socioéconomiques et environnementaux, en particulier la grande dépendance de l'agriculture à la pluviométrie. Ces dernières années, le bassin de l'Ouémé à Bonou est confrontée à de fortes crues et des inondations qui ont entrainé des conséquences drastiques dont beaucoup de dégâts matériels, d'importantes pertes animales et de cultures maraîchères, de l'accès à l'eau et des maladies liées au débordement des eaux usées (Ahouansou 2008). De nombreuses études ont été réalisées sur les risques hydroclimatiques au Benin (Akognongbé, 2014 ; Abdoulaye, 2015).

L'installation des populations dans les zones inondables ou les lits des fleuves et des lacs, met en évidence le problème d'aménagement du territoire et d'occupation du sol surtout dans le bassin sédimentaire côtier (Totin, 2012). Des études ont été réalisées au Benin sur les risques hydroclimatiques. Certes, elles n'ont pas abordé de façon spécifique la vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou, d'où la présente étude :

Le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou présente une communauté rurale encore peu développée.

Au regard de ces constats, des questions fondamentales se posent :

- Quels sont les risques hydroclimatiques qui perturbent les écosystèmes dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou ?
- Quels sont les facteurs environnementaux et socio-économiques liés aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé ?
- Comment se manifeste les effets des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou ?

C’est pour répondre à ces questions que le sujet ***« Vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé*** à ***l’exutoire de Bonou» a été choisi.***

Pour répondre à ces différentes interrogations, les hypothèses suivantes ont été formulées.

- le bassin versant du fleuve Ouémé à l’exutoire de Bonou est prédisposés aux phénomènes hydroclimatiques ;
- l’impact des risques hydroclimatiques portent sur les ressources naturelles et socio-économiques ;
- l’effet des risques hydroclimatiques sont à l’origine de la vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin versant à l’exutoire de Bonou ;
- des stratégies de choix sur les écosystèmes constituent un enjeu important dans le contexte des risques hydroclimatiques;

Pour répondre à ces interrogations, des objectifs suivants ont été fixés.

L’objectif général de cette thèse est d’étudier la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou.

De façon spécifique, Il s’agit de :

- ✓ déterminer les événements hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou;
- ✓ analyser l’impact des risques hydroclimatiques sur les populations, les ressources naturelles et les activités socio-économiques ;
- ✓ caractériser la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant ;
- ✓ proposer des stratégies d’adaptation pour réduire ces risques;

Ce travail, structuré en trois parties et réparties en six chapitres, est une contribution aux débats scientifiques sur la problématique des risques

hydroclimatiques et la vulnérabilité des écosystèmes en Afrique tropicale. Le développement de la présente thèse s'est fait en six chapitres regroupés en trois parties :

- La première partie regroupe les deux (02) premiers chapitres intitulés: Problématique, démarche méthodologique et cadre de l'étude. Le premier chapitre aborde la problématique de l'étude, les fondements biophysiques et la démarche méthodologique. Le second chapitre aborde la démarche méthodologique à travers les techniques de collecte des données et informations, de même que les outils de traitement utilisés.
- La deuxième partie aborde la caractérisation de la variabilité hydroclimatique et l'impact des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes dans le Bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou regroupe les chapitres III et IV.

  Dans le troisième chapitre, il a été procédé à l'étude de la dynamique hydroclimatique dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou et le quatrième chapitre étudie l'analyse de l'influence des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou.
- Les deux derniers chapitres rassemblés dans la troisième partie abordent la perception des manifestations des risques hydroclimatiques et les stratégies d'adaptation dans le Bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou.

Le cinquième chapitre analyse la perception paysanne des manifestations des risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou et enfin le sixième chapitre évalue les stratégies d'adaptation développées par les populations face aux risques hydroclimatiques dans le bassin.

PREMIERE PARTIE : PROBLEMATIQUE, CADRE DE L'ETUDE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

CHAPITRE I: CADRE CONCEPTUEL ET MILIEU D'ETUDE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEMEA L'EXUTOIRE DE BONOU

Ce chapitre est consacré d'une part à la présentation du cadre conceptuel et d'autre part au milieu d'étude. Il aborde les différents types de données utilisées et développe par la suite l'approche méthodologique pouvant permettre de décrire les méthodes de traitement de données utilisées.

1.1 Fondements physiques et humains de l'étude

Le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou est décrit à travers les fondements physiques (climat, sols, formations végétales, structures hydro géomorphologiques etc.) et humains (dynamique démographique, différents secteurs d'activités), qui conditionnent la vulnérabilité de la région étudiée.

1.1.1 Situation géographique du bassin versant de l'Ouémé

Le bassin-versant de l'Ouémé à Bonou est situé en République du Bénin. La figure 1 montre la situation géographique du bassin-versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou.

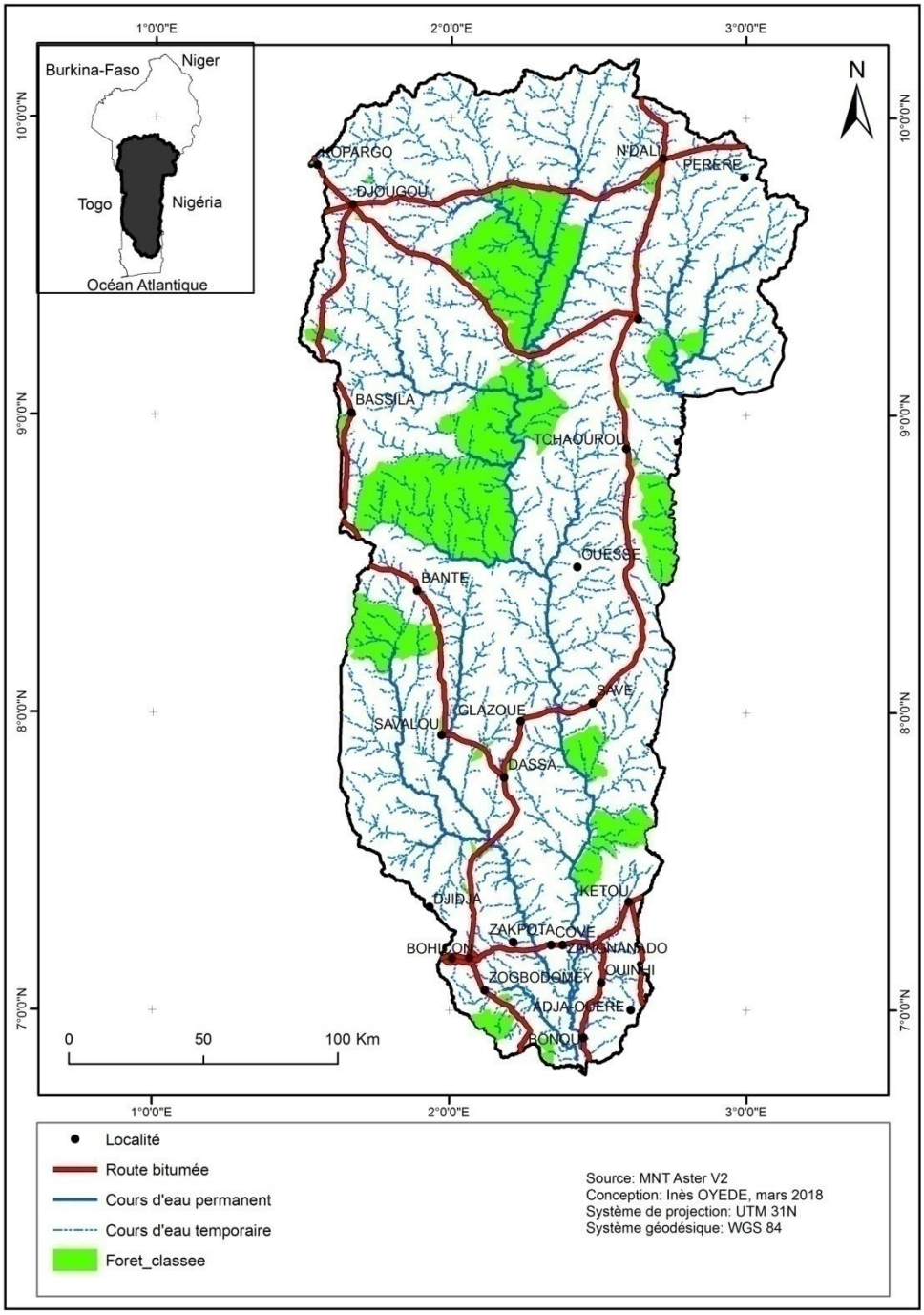


Figure 1: Situation du bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou

Ce bassin est compris entre 10°12 'et 7°58' de latitude nord et entre 1°35' et 3°05' de longitude Est avec un léger débordement à l'Est vers le Nigéria *(Adam et al. 1993 ; Le barbé et al. 1993).*

Elle couvre une superficie de 46 200 km2 (Le barbé *et al.* 1993). Son climat est déterminé par les centres d'action commandée par la circulation

atmosphérique ouest africaine (Le Lay, 2006). L'anticyclone de Sainte-Hélène, dans l'hémisphère sud, gouverne le flux de mousson et le dirige sur le Bénin. C'est ce qui explique les pluies de mousson qui peuvent précipiter une journée au lieu d'être réparties sur tout un mois. La mousson couvre ainsi tout le secteur d'étude aux mois de juillet, août et septembre, influençant ainsi la dynamique hydro-écologique de l'hydrosystème Ouémé.

Ce bassin versant est source de menace permanente des risques hydroclimatiques extrêmes (inondations et sécheresses).

1.1.2 Fondements physiques du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou

Les fondements physiques prennent en compte des aspects hydrogéologiques, pédologiques, les formations végétales et les caractéristiques climatiques dans le bassin versant.

1.1.2.1 Réseau hydrogéologique

Le bassin-versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou se situe entre le socle métamorphique du Nord et la couverture sédimentaire du Sud (Moniod, 1973) comme l'illustre la figure 2

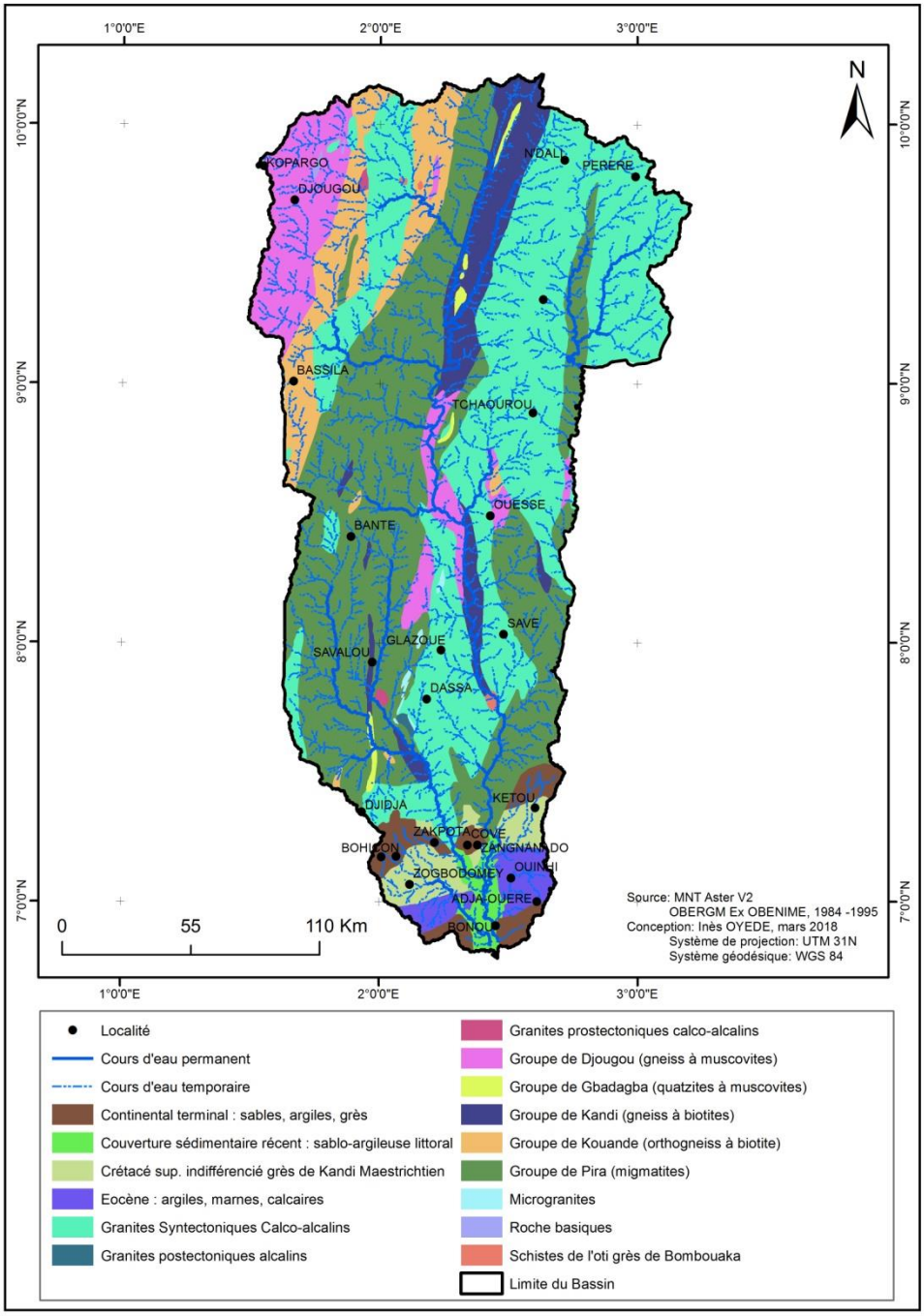


Figure 2 : Géologie du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou.

La figure 2 présente des formations continentales post-éocènes appelées le Continental Terminal, essentiellement composé de Terres de Barre déterminant la géologie du bassin de l'Ouémé à Bonou. Le secteur d'étude recouvre des unités morphologiques, constituées de plaines d'inondation et de plateaux culminant à quatre-vingt (80) mètres d'altitude et entaillés par des dépressions

sèches et humides (Vodounnon, 2008). La géologie du secteur d'étude influence la dynamique hydrologique du bassin-versant du fait de la nature du substratum géologique, de la capacité de rétention en eau des structures en place, de l'étalement et de la divagation des cours d'eau occasionnant les inondations pendant les périodes de forte pluviosité dans le secteur d'étude.

Les plateaux sont une formation latéritique d'une grande perméabilité. Les eaux d'infiltration réapparaissent en de nombreuses sources au pied du plateau. Quant à la plaine inondable, elle subit régulièrement les dépôts de charge d'alluvions du fleuve Ouémé. Ces dépôts de charges solides sont à l'origine de la formation de bourrelets de berge dans la plaine inondable du delta (Donou, 2009).

1.1.2.2 Réseau pédologiques

Le bassin du fleuve Ouémé ***à*** Bonou présente des sols très variés, répartis en fonction des conditions topographiques et édaphiques du milieu (Le barbé *et al.* 1993). La figure 3 présente la pédologie du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou.

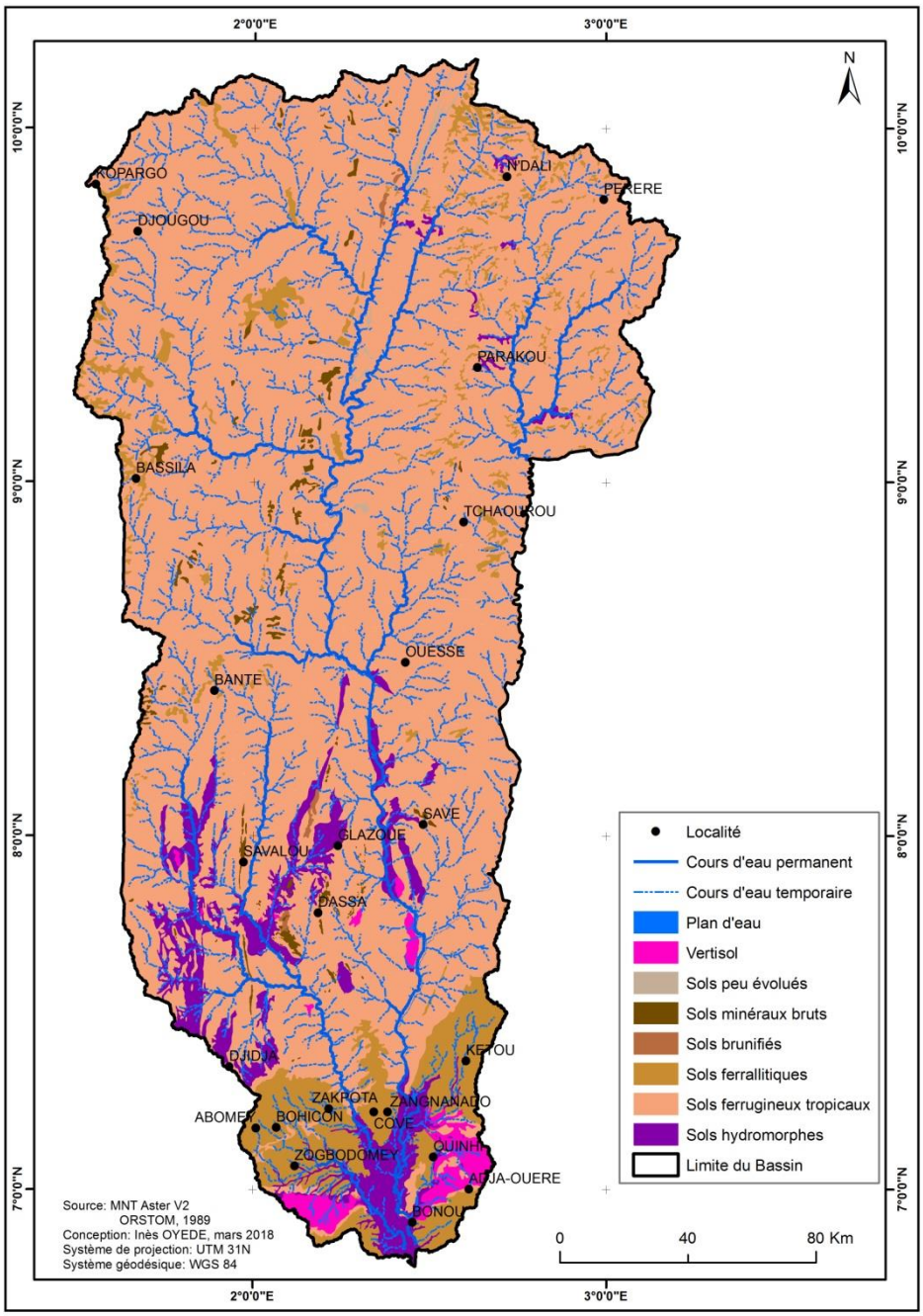


Figure 3 : Pédologie du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou.

Au nombre des différents types de sols on distingue :

- Les sols ferralitiques : Ils sont rencontrés dans les régions de plateau. Les sols ferralitiques sont peu profonds, cuirassés, formés par le processus d'induration des horizons d'accumulation suite à l'alternance de détrempe et de dessiccation. La plupart de ces sols offrent d'assez bonnes propriétés chimiques, d'où leur intense exploitation pour les cultures (Agali, 1995 ;

Akognongbé, 2014). Ils sont favorable aux cultures annuelles (maïs, manioc, haricot, patate douce, arachide) et pérennes (palmier à huile, plantation de teck, d'acacia.) ;

- les sols argilo-sablonneux : ils se déposent dans la plaine alluviale assez riches du fait de l'apport en matières organiques par la crue du fleuve Ouémé. Ces principaux types de sols sont caractérisés par une différenciation texturale qui donne naissance à plusieurs autres sous catégories de sols sur lesquels s'édifient la présence des formations végétales dans le secteur d'étude. Ils sont propices aux cultures de contre saison et aux cultures maraîchères ;

- les sols hydromorphes : Les sols hydromorphes sont alluviaux et riches, favorables à la culture du riz. Leur évolution dépend de l'eau pluviale et de la remontée de la nappe phréatique (Le Barbe *et al,* 1993). Selon les sites, la réserve hydrique est de l'ordre de 75 ou100 mm à un mètre de profondeur. Les sols hydromorphes se localisent en bordure de la zone alluviale de I'Ouémé et se rencontre en très petits secteurs dans la dépression de la Lama. Ils sont formés dans un matériau sableux à sables grossiers, d'épaisseur variable, de 50 cm à plusieurs mètres, reposant sur une argile, alluviale ou sédimentaire, imperméable. Le profil comporte des horizons humifères qui surmontent un horizon gris beige clair sableux, tacheté. L'hydromorphie provoquée par une nappe temporaire peu profonde, la pauvreté chimique liée à une capacité d'échange très faible, interdisent pratiquement toute utilisation intensive de ces sols.

Sur la partie sédimentaire du bassin les sols dominants sont les sols ferralitiques de type sols sur grès et matériau colluvial plus ou moins graveleux, des sols sur sédiments meubles argilo sableux du Continental terminal (Akognongbé, 2014). Les sols ferralitiques sont bien drainés. La capacité de rétention pour l'eau est faible : l'eau utile théorique pondérale n'excède pas 6 %.

Cette modicité des réserves peut toutefois être compensée dans certains cas par le volume de sol susceptible d'être exploré par les racines. Les teneurs en matière organique sont très variables car elles dépendent étroitement du passé cultural ; elles atteignent 5 % sous forêt et sont de l'ordre de 1 % sous culture intensive. La capacité d'échange est de 5mé/100g environ donc assez faible; le complexe adsorbant est saturé à 30-60 % en profondeur, 50 à 100 % en surface. Les réserves minérales se caractérisent par des taux de potassium extrêmement faibles et des teneurs en phosphore également très modestes (0,2 à 1 ‰ de P_20_5 total). Fertilité et aptitudes. Ces sols à bonnes propriétés physiques présentent des déficiences sur le plan hydrique et sur le plan chimique. Leur fertilité est étroitement liée au passé cultural, dont dépend la richesse chimique, ainsi qu'à la répartition des précipitations. Leur utilisation rationnelle nécessite en premier lieu une correction des déséquilibres minéraux puis le maintien de la fertilité à un niveau suffisant par des apports fractionnés d'engrais à dominante azote potassique. Lorsque cela est réalisable leur exploitation intensive peut être envisagée par des cultures annuelles dans tous les cas, par des cultures pérennes là où le régime des pluies l'autorise (Barbé *et al.* 1993).

- Les vertisols : ils sont des entités édaphiques ou Les teneurs en argiles sont de l'ordre de 50 %, les taux de limon de 20 %. La matière organique est assez abondante. Le pH est voisin de 7 en surface, relativement acide (proche de 5,5) en profondeur. La capacité d'échange est élevée et le complexe adsorbant n'est pas toujours entièrement saturé. La texture de l'ensemble du profil est argileuse (40 à 50 % d'argile) ; la matière organique est assez abondante : 4 % en surface, 2 % à 50 cm. Le pH est voisin de la neutralité (entre 6 et 7); il reflète une bonne saturation du complexe absorbant. La capacité d'échange est élevée (30-40 mé/100 g). Sur embréchites on note une légère alcalinisation en profondeur qui, localement, peut atteindre l'horizon B du sol. Les teneurs en P_20_5 total

sont comprises entre 1 et 3 % en surface; les réserves minérales sont bonnes. Limitations d'aptitudes. Ce sont des sols à haut potentiel de fertilité qui seraient pleinement exploités si leur taux d'humidité était maintenu dans une gamme convenable toute l'année. Lorsque cela n'est pas possible, comme actuellement, ils ne peuvent être utilisés que par des cultures annuelles (maïs) dont le cycle végétatif coïncide avec la saison des pluies. Le modelé relativement accidenté et la fréquence des affleurements de roche constituent d'autres obstacles à leur utilisation intensive.

1.1.2.3 Couvert végétal

La densité du couvert végétal croit du Nord au Sud, de la savane boisée aux galeries forestières. La savane est composée d'arbre d'une dizaine de mètres et d'un tapis important d'arbustes et de graminées (PANA 1). Les feux de brousses qui la ravagent facilitent le ruissellement et l'érosion qui appauvrissent rapidement le sol. Dans ce pays plat, une importante superficie est cultivée. Les cultures vivrières ou industrielles les plus courantes sont pratiquées par assolement triennal : igname et maïs ; maïs et arachide ; mil et tabac. On cultive également le ricin et le coton. Mais qu'il s'agisse de terres cultivées ou de jachères recouvertes de savane arborée, on retiendra que le pouvoir de freinage à l'écoulement de la couverture végétale est considérable (Houndénou, 1999). La figure 4 présente la couverture végétale du bassin de l'Ouémé à Bonou.

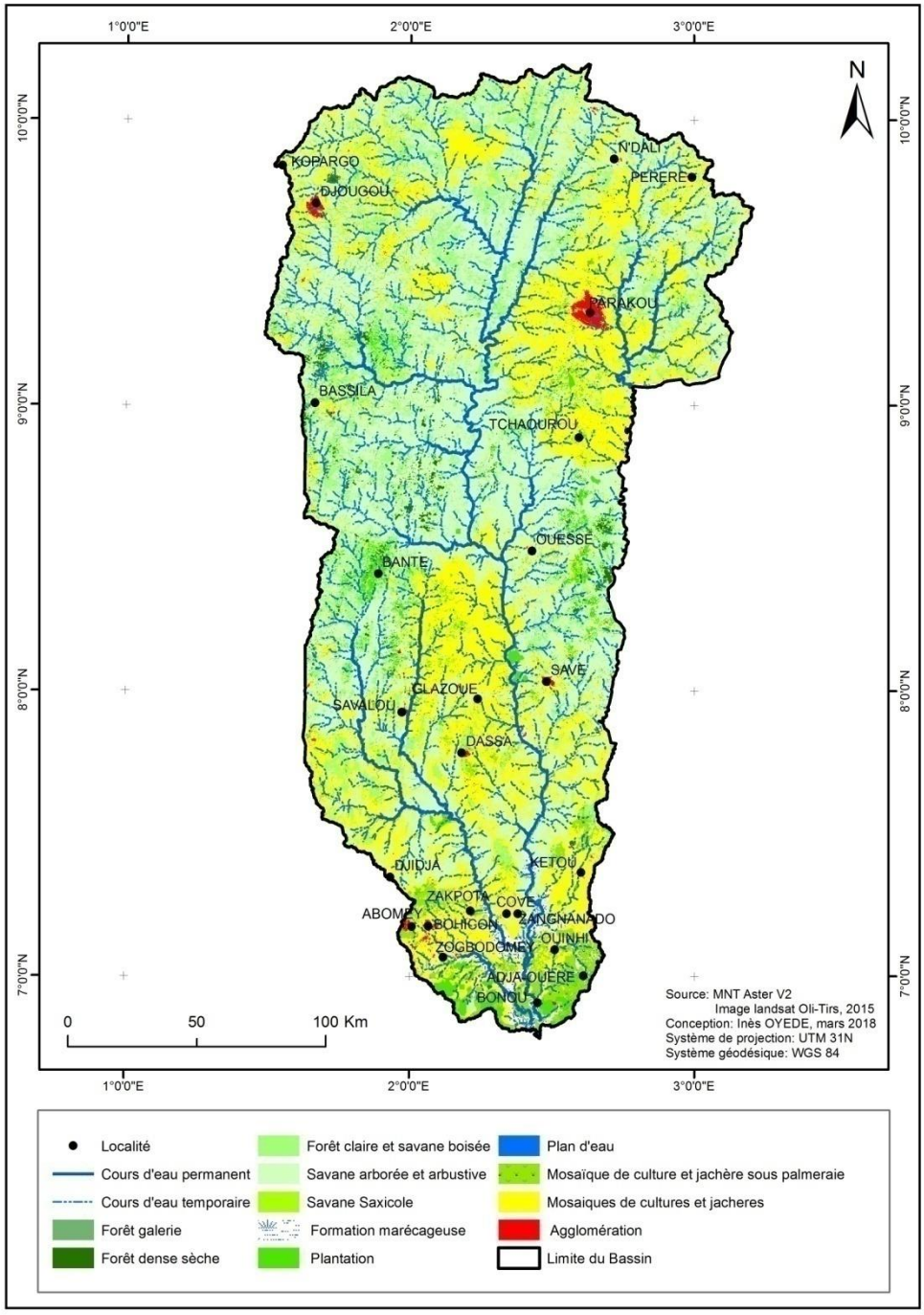


Figure 4 : Couvert végétal du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou

Ces formations végétales observées résultent des caractéristiques hydropluviométriques et édaphiques. Actuellement le couvert végétal du bassin est sous une forte emprise humaine (Amoussou, 2014). La végétation naturelle est en voie de disparition et en lieu et place, on note les champs, les jachères et les agglomérations. Cette situation s'explique par les besoins à satisfaire pour

une population en augmentation, une demande très forte en bois pour la fabrication de charbon. A cela, il faut ajouter les demandes en bois de feu, en bois de service et bois d'œuvre des centres urbains.

Les forêts classées dont les territoires sont sur le bassin du fleuve Ouémé sont dans un état de dégradation avancé ce qui appel une action d'aménagement urgente. En effet, ces formations naturelles ne disposent pas de stratégie de protection ni d'un schéma d'aménagement approprié. (DCN, 2010).

On note dans l'ensemble sur le bassin du fleuve Ouémé la présence d'essences telles que : *Isoberlinia doka*, *Isoberlinia tomentosa*, *Pterocarpus erinaceus, Afzelia africana, Erythropleum guineense, Amblygonocarpus andogensis, Swartia madagascariensis*.

La végétation herbacée est grande dans les parties arbustives où l'on observe *Cymbopogon giganteus, Lantana trifolia, Anfromomum spp, Antiaris africana, Celtis senkéri, Holoptela grandis, Chloptelea grandis, Chlorophora excelsa* et *Cola gigantea* auxquelles s'ajoutent parfois le *Ceiba petandra* et la *Triplochiton scleroxylon*.

1.1.2.4 Le relief

Le relief est le résultat d'une conjugaison de plusieurs facteurs et particulièrement par l'évolution géologique et l'action de l'érosion à une grande échelle (Koumassi, 2014). Il est l'un des facteurs clés contrôlant la réponse hydrologique d'un bassin versant car les pentes influencent à la fois les vitesses et les puissances spécifiques des écoulements ainsi que le temps de réponse hydrologique.

La figure ci-dessous présente le relief du bassin versant de l'Ouémé à Bonou

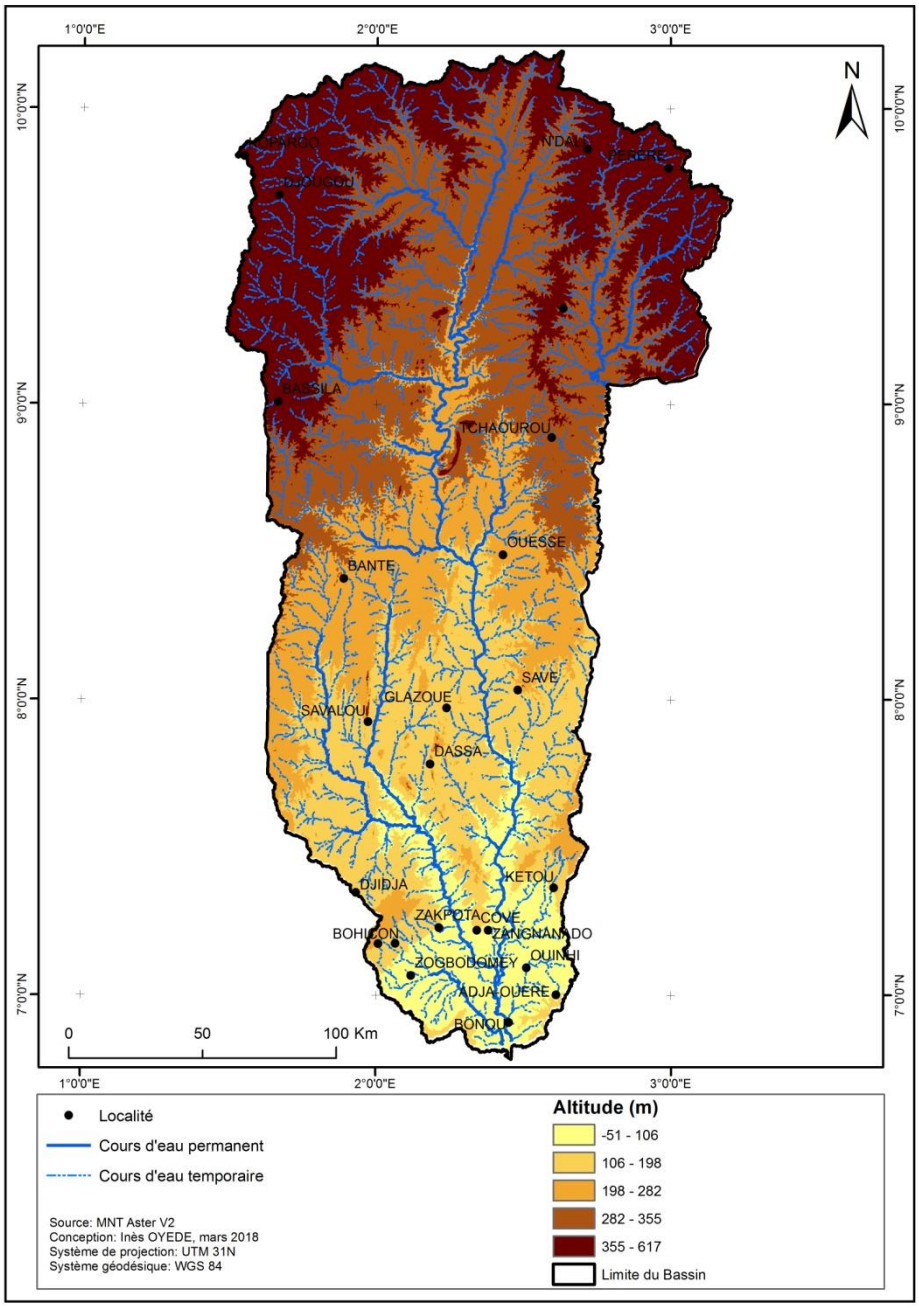


Figure 5 : Relief du bassin versant de l'Ouémé a Bonou

Le fleuve Ouémé prend sa source dans l'Ouémé supérieur dans les monts Tanéka où l'altitude avoisine 550 m (Rodier et Sircoulon, 1963).

Le relief du bassin inférieur, a substratum sédimentaire tendre, peu accentué et monotone ; il favorise l'étalement et la divagation des cours d'eau, l'érosion et l'alluvionnement. Les roches métamorphiques entrecoupées de roches éruptives dures qui composent le substratum précambrien donnent au

bassin supérieur un relief plus accusé avec les collines granitiques et des « monts » gneissiques ou quartzitiques, coupés de thalwegs marqués peu alluvionnaires (Koumassi, 2014).Aussi, la plaine d'inondation est de type alluvial et constitue une grande potentialité agricole qui justifie les différentes formes d'occupation des terres dans le secteur d'étude (Le Barbé et al, 1993).

1.1.2.5 Contexte climatique du Bassin versant de l'Ouémé à Bonou

Du point de vue climatique, le secteur d'étude est sous l'influence du climat subéquatorial caractérisé par quatre (04) saisons dont deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La moyenne pluviométrique annuelle est de 1300 mm La température moyenne quant à elle varie entre 25 et 30°c avec une moyenne annuelle de 27, 33°c. La crue du fleuve s'amorce en juillet et atteint son niveau maximal en septembre. Cette crue cause parfois de nombreux dégâts aux cultures par les inondations. Le climat joue un rôle prépondérant dans le régime des cours d'eau. Il est déterminé par les centres d'action commandée par la circulation atmosphérique ouest africaine (Le Lay, 2006). L'anticyclone de Sainte-Hélène, dans l'hémisphère sud, gouverne le flux de mousson et le dirige sur le Bénin. C'est ce qui explique les pluies de mousson qui peuvent précipiter une journée au lieu d'être réparties sur tout un mois. La mousson couvre ainsi tout le secteur d'étude aux mois de juillet, août et septembre, influençant ainsi la dynamique hydro-écologique de l'hydrosystème Ouémé.

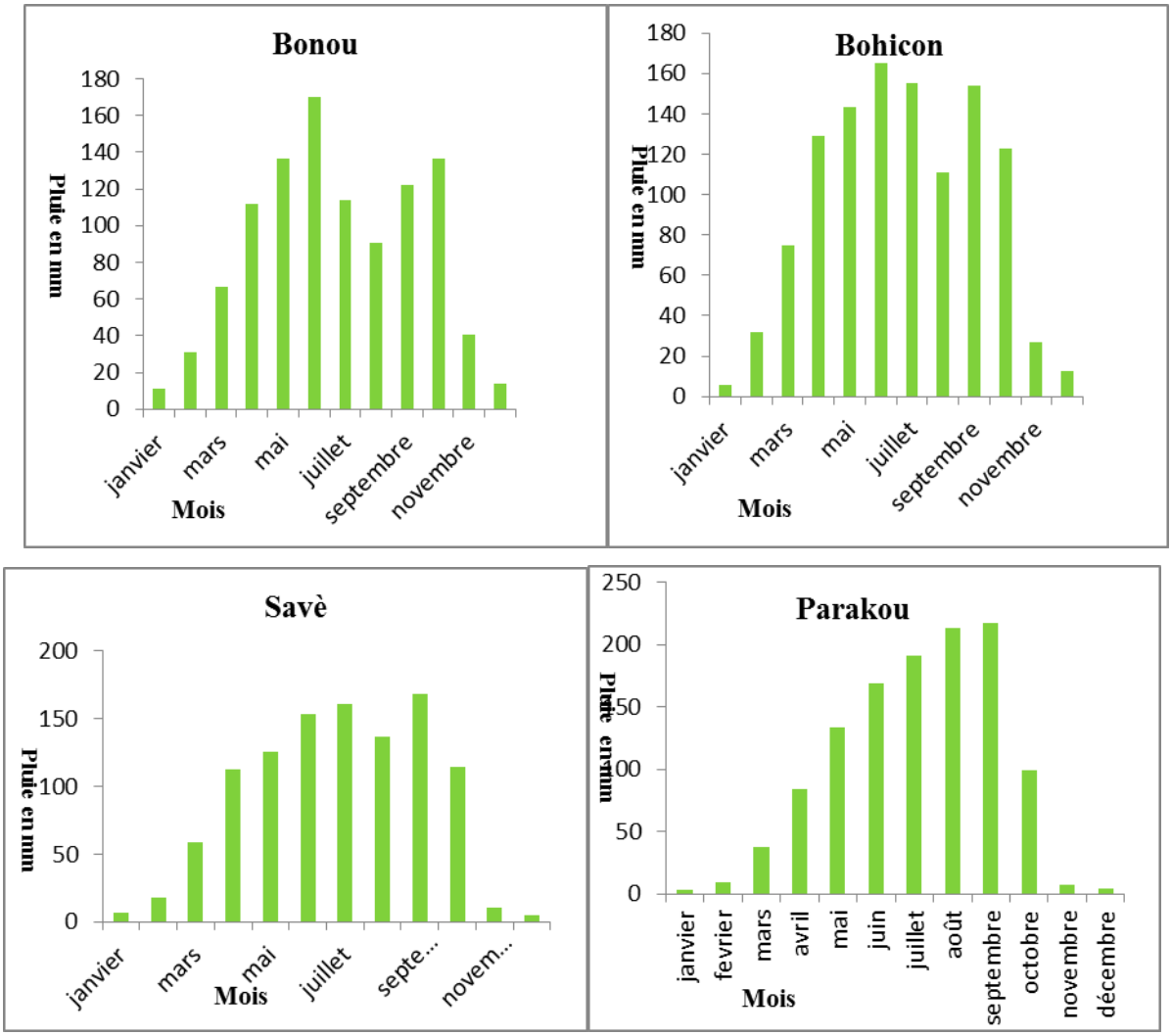


Figure 6 : Régime pluviométrique mensuel dans le bassin versant de l'Ouémé (1960-2014)
Source de données : Météo Bénin, 2015

La figure 6 montre une répartition illégale des pluies dans ces différentes localités. Mais de fortes quantités de pluies sont enregistrées déjà à partir des mois de mai et juin. Au sud du pays, des pics sont enregistrés dans les mois de mai, juin et juillet tandis qu'au nord ils sont enregistrés dans les mois de juillet, août et septembre.

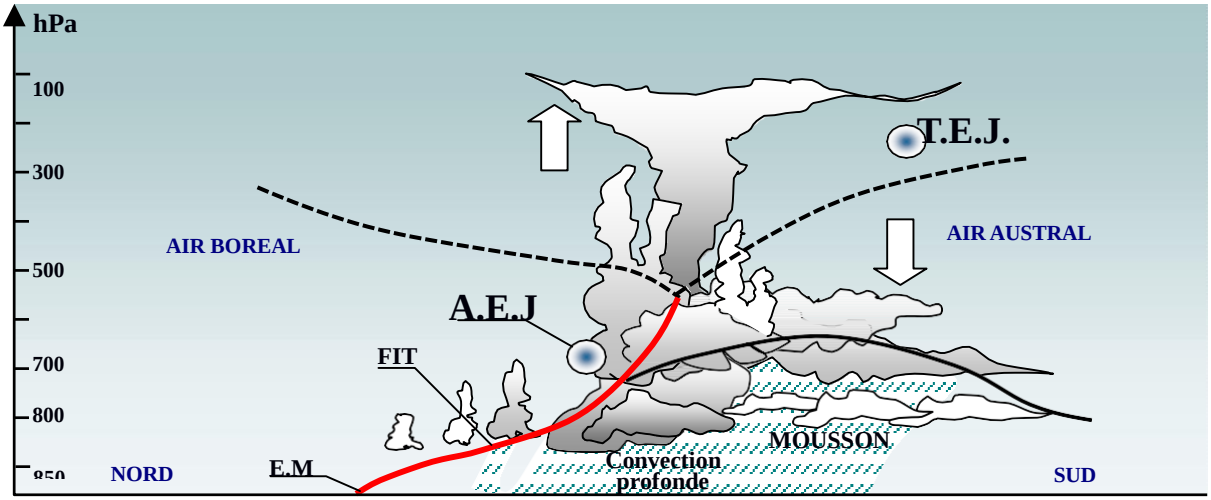
1.1.2.6 Mécanismes de la zone de convergence intertropicale

L'équateur météorologique est communément appelé Front Intertropical (F.I.T.) en Afrique occidentale francophone. Sur ces régions, le F.I.T. sépare les masses d'air saharien chaud et sec des masses d'air humide d'origine équatoriale. Une analyse complète de l'équateur météorologique au sol et en altitude en

liaison avec la situation synoptique a permis de définir une structure quasi-permanente des types de temps qui peuvent être observés sur l'Afrique occidentale et centrale. La zone située au Nord de la trace au sol du F.I.T. correspond au climat sec de type saharien. Les lithos météores associés sont généralement les brumes sèches, les brumes de sable, les vents de sable... Dans certains cas, des pluies liées aux invasions d'air froid boréal peuvent se produire ("pluie des mangues").

Au Sud immédiat de la trace au sol du F.I.T., une zone de 200 à 300 km est caractérisée par une faible épaisseur de mousson. Au-dessus règne l'harmattan sec et subsidient. Les formations nuageuses à forte évolution diurne peuvent provoquer des orages isolés en cours d'après-midi.

La zone où l'importance du flux de mousson est maximale est une zone de forte convergence de 300 à 800 km. Le régime est à dominante orageuse. Les perturbations mobiles de l'Afrique y circulent qu'il s'agisse des ondes d'Est, des lignes de grains ou des ondes équatoriales. Vient ensuite une zone où l'alizé de l'hémisphère Sud est dévié par l'équateur et ne présente pas encore de composante Ouest marquée. Cette zone divergente est à l'origine d'une saison sèche particulière au Sud du 05° N.



ZONES	A /B A	B	C C1	C2	D
Largeur		200 km	200/400 km	200/400 km	
Mousson et direction vent sol	0/1000 m (harmattan)	1000/1500 m	1000 / 4000		2000
Nuages		Cu	Cb	Ac / Sc	Sc / Cu
Temps présent	Pas de rr Brumes sèches	Orages isolés en	Amas convectifs Lignes de grains	Pluies de mousson	Localement pluies faibles

Figure 7 : Synthèse climatique méridienne le long du méridien de Greenwich pour les mois de juillet-août
Source : d'après Fontaine, 1989 et Germain, 1968

Il ressort de cette figure que les mouvements ascensionnels qu'ils soient plus ou moins dominants, modifient la typologie des régimes pluviométriques. Il apparaît que les conditions pluviogéniques sont en majeure partie sous le contrôle de l'océan Atlantique sud qui se trouve être la source principale de la vapeur d'eau.

Celle-ci, par advection, renvoie le flux des hautes pressions de Sainte-Hélène, qui va donner après condensation, l'essentiel des précipitations aux latitudes centre et ouest africaines (Koumassi, 2014). De façon générale, trois systèmes pluvieux majeurs se rencontrent en Centrafrique. Dans l'ordre de leur importance, ce sont les pluies de mousson, les perturbations de lignes de grain et les cellules thermo-convectives locales :

- ✓ les **pluies de mousson** constituent la plus importante forme des perturbations enregistrées. Conditionnées par les FIT, elles sont dues à la migration de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Le balancement annuel du FIT suivant le déplacement des anticyclones détermine le rythme des saisons pluviométriques. Soixante pourcent (60 %) des pluies y sont concernées (Bomba, 1999) ;
- ✓ les **pluies de lignes de grains** provoquées par des ondes dépressionnaires dans les vents d'est équatorial, sont formées d'orages soudés dont le noyau de perturbation est constitué de cumulo-nimbus à grand développement vertical (Dhonneur, 1985).

Selon l'ASECNA, ces lignes de grains se déplacent d'est en ouest à une vitesse relative de 80 km/h et leur progression en Centrafrique vers le nord-ouest est moins sélective à l'égard des inégalités orographiques ;

- ✓ les **pluies thermo-convectives** dépendent des facteurs locaux tels que le manteau forestier de Mambéré-Kadéï et de la Sangha, le massif de Yadé aux environs de Bouar, les chaines collinaires de Daou Bas-Kassaï (vers Landjia à Bimbo) et le dôme de Bossembélé. Ce type de pluies est engendré par les mouvements ascendants de l'air, générant des amas nuageux de type cumulo-nimbus dont le noyau actif peut atteindre 7 km de diamètre (Ndjendolé, 2001). L'analyse des précipitations en Centrafrique aboutit à une étroite dépendance de la pluviosité vis à vis des centres d'action anticycloniques et des facteurs géographiques locaux.

1.1.3 Fondements humains de la vulnérabilité du bassin versant de l'Ouémé

Les populations et les différentes activités qu'elles mènent sont les premières victimes des risques hydroclimatiques. En effet, elles sont les plus

exposées aux conséquences des risques hydroclimatiques qui affectent le bassin versant. La dynamique démographique dans le bassin versant ainsi que les activités exercées par les populations sont abordées ici à travers les fondements humains dans le bassin versant.

1.1.3.1 Caractéristiques démographiques

Le fleuve Ouémé subit une forte pression démographique liée à leur situation géographique (Mama, 2010).Le bassin-versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou dispose d'un potentiel humain avec une diversité d'ethnies et de pratiques cultuelles et culturelles. D'après les différents recensements généraux de la population (RGPH2, 3,4), les statistiques démographiques ont globalement montré qu'il y a une forte dynamique marquée par une augmentation de la population. L'ensemble de cette population est passé de 782.598 à 1 624 224 habitants entre 1979 et 2002 soit un taux d'accroissement moyen annuel de 2.07 % (INSAE, 2002, 2016). De 2002 à 2013, la population a considérablement augmenté et est passée à 2 543 258 habitants. La figure 8 présente l'évolution de la population par commune dans le bassin de l'Ouémé.

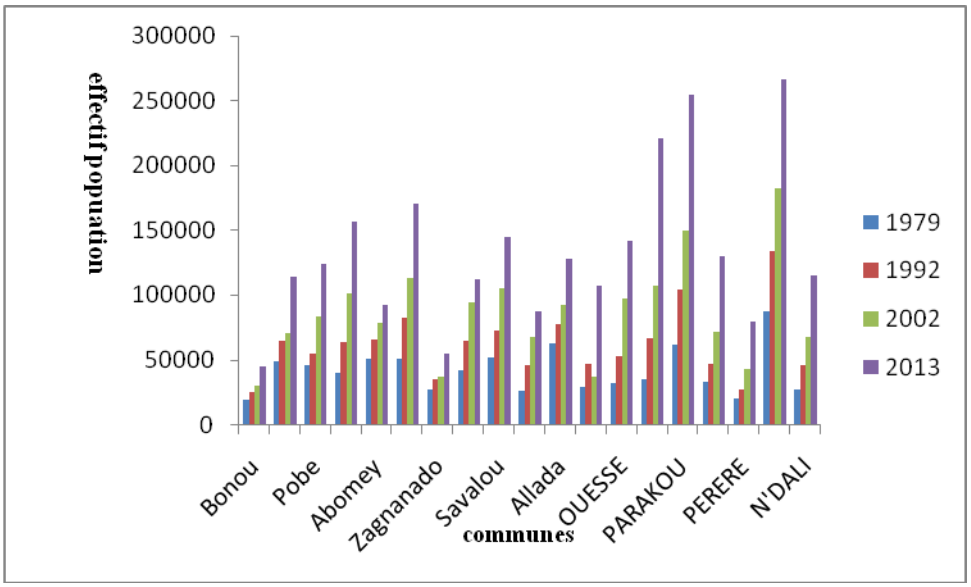


Figure 8 : Evolution de la population par Commune (1979- 2013)

Il ressort de cette figure que de multiples activités anthropiques sont exercées le long de ces cours d'eau sans que l'on puisse clairement responsabiliser les

différentes parties prenantes par une politique d'aménagement des bassins versants. Cela entraîne une dégradation des ressources naturelles et donc une perte de la diversité biologique. Ces effets pervers de la forte anthropisation sur les écosystèmes naturels associés aux risques hydroclimatiques amplifient dangereusement la dégradation écologique de nos cours d'eau indispensable pour la vie (Amoussou, 2010). L'importance que requiert la croissance démographique dans la dynamique des écosystèmes, amène donc à s'intéresser aux données de population comme l'un des facteurs explicatifs de la vulnérabilité des écosystèmes.

1.1.3.2 Activités économiques dans le bassin versant

Ces activités sont multiformes et favorisent la diversité des activités économiques menées par les populations dans le bassin versant de l'Ou**é**m**é**. Ces activités économiques pratiquées regroupent tous les secteurs d'activités notamment les secteurs primaires que sont: l'agriculture, l'élevage et la pêche.

- ✓ **Agriculture**

L'agriculture occupe environ 61.1% de la population sur l'ensemble du Bassin. Elle constitue le premier secteur pourvoyeur de ressource aux ménages. Sur le bassin de l'Ouémé, les terres cultivables sont évaluées à 39 903 km² et moins de 10% sont réellement exploitées. Les techniques culturales pratiquées ne sont pas favorables à l'environnement et à la protection des ressources naturelles tels les eaux, la végétation et les sols. Il s'agit de l'agriculture itinérante sur brûlis dont les conséquences sont entre autres : la dégradation des terres, la destruction de la faune et de flore et les labours sur billons ou à plat qui ne tiennent pas compte des pentes de terrain. L'utilisation des engrais chimiques est modérée car la région à une faible production de coton. Les principales cultures sont le sorgho, le mil, le maïs, le manioc, l'igname, le fonio, le voandzou, le riz et le niébé.

La production agricole dans le bassin de l'Ouémé est l'une des activités la plus développée qui nécessite assez de main d'œuvre et pratiquée surtout par les wémènous, les fons, les Aïzo, les Torri, les Adja, les nagots et les mahi. Etc. C'est une agriculture utilisant des techniques rudimentaires peu propices pour une intensification de la productivité de la main d'œuvre. Les outils de travail sont essentiellement la houe et le coupe-coupe. Les tentatives de mécanisation de l'agriculture avec l'introduction de la culture attelée dans les différentes communes parcourues n'ont pas connu un grand succès.



Figure 9 : Culture de manioc en pleine saison sèche dans la commune de Sakété
Prise de vue : (OYEDE I, 2015)

- ✓ **Elevage**

L'élevage est également pratiquer dans le bassin du fleuve Ouémé entre Bonou et Savé. On y élève des bovins, des porcins, des caprins et de la volaille. Les maux dont souffre l'élevage sont la transhumance et les problèmes fonciers que cela entraîne, l'inexistence d'une filière organisée pour le secteur, les problèmes liés à la conservation des produits et enfin les difficultés d'accès aux crédits par les jeunes promoteurs. La transhumance est pratiquée à partir du mois de Décembre de chaque année jusqu'au mois de Mars à Avril. Ces transhumants proviennent des pays comme le Mali, le Burkina Faso, le Niger et le Nigeria. Ils ont comme destination le Togo ou le Ghana (L. N'DA et Al,

2005). En cas de conflit, seul le chef traditionnel tranche en infligeant aux transhumants des amendes qu'ils payent ou bien c'est leur expulsion immédiate (départ brutal de la région).

- ✓ **Pêche**

C'est la pêche continentale qui domine sur le bassin de l'Ouémé, notamment dans les vallées et les zones deltaïques. Les techniques de pêche utilisées sont : La pêche à l'épervier, la pêche aux filets, la pêche aux nasses, la pêche aux palangres. La pêche continentale fournie les 73 % de la production halieutique sur le Bénin. La jacinthe d'eau colonise beaucoup de plans d'eau, empêchant la survie et le développement des poissons, la navigation et la pêche ; les systèmes de capture élevage que sont les "acadja " et les enclos sont actuellement source de nombreux conflits entre les pêcheurs.

- ✓ **Exploitation forestière**

Elle s'est traduite par une pression importante sur les ressources forestières par les populations riveraines qui, à la recherche de terres fertiles, des sources d'énergie (bois de chauffe et de charbon de bois), procèdent à des abatages dont la fréquence de prélève dépasse la capacité de régénérescence de la ressource. En plus des catégories précitées d'exploitation, il convient d'ajouter les pressions exercées par les exploitants de bois de service ou d'œuvre. L'exploitation forestière constitue aujourd'hui une menace sérieuse pour l'environnement et les ressources naturelles. Les élus locaux, les services déconcentrés de l'Etat, la société civile ont un rôle important à jour pour restitué les forêts et organiser l'exploitation de ces ressources.

1.2 Clarification des concepts

La revue de littérature propose une multitude de définitions opératoires relatives aux concepts des risques hydroclimatiques, des écosystèmes et des stratégies d'adaptation. Dans ce travail, il convient de clarifier quelques concepts clés afin de contextualiser la compréhension des idées développées.

Vulnérabilité : c'est le degré auquel un système naturel ou humain est susceptible d'être détériorer ou de subir des dommages sévères en raison des changements climatiques (IPCC, 1994). La vulnérabilité pour Baudoin (2012) peut être définie comme la susceptibilité d'un système naturel ou humain à être affecté par les effets négatifs du changement, de la variabilité ou des extrêmes climatiques. Elle traduit en conséquence la capacité d'une personne, d'une communauté ou d'un milieu naturel à anticiper, à résister ou à s'adapter aux impacts négatifs du climat ou à se remettre de ces impacts. C'est aussi la sensibilité d'un système ou son incapacité à faire face aux effets des changements climatiques y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (Issa, 1995 et Ogouwalé, 2001). La vulnérabilité peut être humaine, matérielle, fonctionnelle, environnementale, etc. (Bourrelier et al. 2000) ; ces vulnérabilités pouvant se cumuler. La vulnérabilité est fonction de l'exposition et de la sensibilité d'un système aux effets négatifs de l'aléa, et de la capacité d'y faire face (GIEC, 2007a).

Par contre le GIEC reconnaît la vulnérabilité en fonction de trois éléments: l'exposition et la sensibilité d'un système à des conditions dangereuses et la capacité ou la capacité du système à faire face, s'adapter ou se remettre des effets de ces conditions. C'est un concept relatif, qui décrit la nature, l'importance des enjeux exposés à un aléa, les ressources disponibles pour y faire face et les impacts qui en résultent. (Torterotot, 1993).

La définition de la vulnérabilité retenue dans cette étude est celle élaborée par le GIEC dans le cadre des études se rapportant aux variations climatiques et aux risques naturels qui la définit comme le degré auquel un système est susceptible, ou se révèle incapable de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et aux conditions climatiques extrêmes. (Downing et *al*, 2002 Adger et *al.* 2004). Cette vulnérabilité est analysée sous deux approches différentes : l'approche d'analyse de la vulnérabilité biophysique et celle de la vulnérabilité sociale. L'approche de

la vulnérabilité biophysique discerne la vulnérabilité en matière de quantité de dommages potentiels causés à un système biophysique par un événement climatique nuisible (Brooks, cité Yamasaki; 2012) tandis que l'approche de la vulnérabilité sociale la perçoit comme un état qui existe au sein d'un système avant qu'il ne rencontre un événement nuisible (Brooks, 2003). Dans cette formulation, la vulnérabilité est un fait qui existe au sein des systèmes, indépendamment des aléas extérieurs. En résumé, la vulnérabilité biophysique est centrée sur les impacts, tandis que le concept de vulnérabilité socio-économique met l'accent sur la vulnérabilité intrinsèque des communautés.

Adaptation : C'est un processus d'ajustement des systèmes écologique, social et économique à un risque climatique constaté ou anticipé, à ses effets et ses impacts. Il désigne un changement de procédures, de pratiques et de structures visant à limiter ou effacer les dommages potentiels ou à tirer bénéfice des opportunités créées par les changements climatiques. L'objectif de la stratégie d'adaptation est de réduire l'exposition et la vulnérabilité aux aléas climatiques. Les actions d'adaptation supposent, par exemple, d'éloigner les logements des zones inondables, de choisir les variétés de plantes en fonction des nouveaux équilibres, d'ajuster les réseaux énergétiques à la nouvelle structure de consommation, etc.

Changement climatique : le GIEC utilise le terme changement climatique pour tout changement de climat dans le temps, qu'il soit du à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Cette définition diffère de celle qui est employée dans la convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, dans laquelle le changement climatique s'applique à un changement de climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère dans son ensemble et qui s'ajoute à la variabilité naturelle du climat constatée sur des périodes de temps comparables.

Inondation : submersion rapide ou lente, d'une zone habituellement hors de l'eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : L'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement ou apparaître (aléa) ; L'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités (enjeu) (Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2004).

Variabilité pluviométrique : De tous les paramètres climatiques, la pluie est le facteur le plus déterminant en milieu tropical, en particulier en Afrique de l'Ouest.

Elle est définit par plusieurs auteurs dont Boko (1988) cité par Beltrando (1995) et Brou (2005). C'est l'un des éléments intégrateurs de la variabilité climatique, Elle fait pressentir la mobilité ou la variation du schéma pluviométrique moyen et l'accentuation des valeurs extrêmes à toutes les échelles temporelles et spatiales. Autant que possible, elle est analysée par rapport aux valeurs centrales ou médianes des séries plutôt que par rapport aux valeurs moyennes ou normales, qui sous-entendent l'idée de fixité du climat. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique ou à des variations du forçage externe anthropique.

Impact : L'impact est défini comme, « toute modification quantitative, qualitative et fonctionnelle, positive ou négative, subie par tout ou partie d'un système (cible) à la suite d'un choc ou stress externe (d'origine anthropique, artificielle ou naturelle), et dont la magnitude dépend de la valeur et de la vulnérabilité du système cible » (GIEC, 2001). Littéralement, l'impact correspond souvent aux effets négatifs et aux dommages induits. Selon Issa (2012), l'impact amène la cible à un état futur différent de ce qu'il aurait été dans sa tendance d'évolution « normale » (état de référence). Dans le contexte de cette étude, les variables bioclimatiques futures constituent « le choc ou stress

externe» et les agrosystèmes représentent « le système cible ». L'impact potentiel est l'un des éléments de la vulnérabilité.

Tendances climatiques : Au sens général, une tendance se traduit par l'évolution probable d'un phénomène au cours d'une longue période. Dans l'approche du climat, c'est une forme d'inconstance des paramètres climatiques caractérisés par une baisse ou une hausse régulière et unidirectionnelle des valeurs moyennes des variables. Selon le Guide des pratiques climatiques de l'OMM (2005), cette variation tend à se maintenir dans un sens déterminé pendant de nombreuses périodes, allant de quelques années à plusieurs décennies.

Environnement : L'environnement dans le sens usuel désigne tout ce qui entoure, qui agit sur l'homme et sur lequel l'homme agit. A partir du moment où l'on cherche à expliquer l'homme et son comportement dans l'espace, l'environnement désigne un milieu global, un ensemble intégré, un système de relation où les interactions mettent en jeu constamment les équilibres et déséquilibres potentiels (N'Bessa, 1997).

Risque : Le risque peut être définit comme un danger plus ou moins prévisible (Guillotte, 1996). C'est aussi une probabilité et une magnitude d'occurrence d'une perturbation ou d'un stress dans une région en un temps donné.

Santé : État complet de bien être mental, physique et économique et qui ne se limite pas à l'absence de maladie ou d'infirmité (OMS, 1949).

Prévention : Ensemble des dispositions prises pour prévenir un danger, un mal.

Scénarios climatiques : sont des visions à long terme de l'évolution du climat futur (c'est-à-dire des paramètres climatiques) ainsi que des principaux paramètres socio-économiques dans une localité donnée. Ils permettent

d’estimer la vulnérabilité de la contrée et d’anticiper avec des mesures d’adaptation.

Gaz à effet de serre : On entend par gaz à effet de serre les constituants gazeux de l’atmosphère, tant naturels qu’anthropiques, qui absorbent et réémettent le rayonnement infrarouge ;

Les Gaz à Effet de Serre (GES) sont des gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre, phénomène appelé effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique.

Ecosystèmes : Un écosystème est l'ensemble de la faune et de la flore réunie dans un espace naturel. Il est composé de producteurs (les plantes), de consommateurs (les animaux) et de bio réducteur (micro-organismes), qui sont aidés par l'énergie du soleil. Dans la présente étude, l’écosystème est perçu comme l’espace cultivé, crée et géré par l’homme pour la production agricole. C’est donc une association dynamique comprenant les cultures, les pâturages, le bétail, d'autres espèces de flore et de faune, l'atmosphère, les sols et l'eau en interaction avec les usages qu’en font les hommes sur la base de leurs systèmes de valeurs et traditions.

La vulnérabilité d’un écosystème : se définit comme son incapacité à faire face à une perturbation ou à un stress (White cité par Limousin, 2009). Elle dépend de sa résistance à la perturbation ou au stress, de sa résilience, de sa capacité à retrouver son état initial après la perturbation ou le stress (Luers cité par Limousin, 2009). En milieu rural, la vulnérabilité écologique induite par les variations climatiques constitue un amplificateur des effets d’autres types de vulnérabilité économique (faible accès aux ressources, aux marchés, etc.), sociale (exclusion sociale, faible accès à l’éducation, à la santé), etc. C’est pourquoi, dans le cadre de l’analyse des stratégies locales d’adaptation, il est

particulièrement important de prêter attention aussi bien aux pratiques locales qui permettent de réduire la vulnérabilité des populations qu'à celles qui l'aggravent.

Bilan hydrologique

Le Glossaire International d'Hydrologie (1992) donne pour le terme « **bilan hydrologique** » la définition suivante: « Bilan d'eau fondé sur le principe selon lequel, pendant un certain intervalle de temps, le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique doit être égal au total des sorties, plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation».

De son côté, le *Vocabulaire de l'hydrologie et de la météorologie* (1978) assimile le bilan hydrique au bilan hydrologique : "Bilan hydrologique" : « *Expression exprimant la répartition des différents volumes d'eau compris dans chacune des parties du cycle de l'eau, pour une période et un bassin donnés. On dit aussi bilan hydrique* ».

1.3 Point des connaissances

La revue de littérature est consacrée à la synthèse bibliographique des travaux scientifiques liés aux risques hydroclimatiques et à la vulnérabilité des écosystèmes qui ont été obtenu dans la zone d'étude.

1.3.1 Perception des risques hydroclimatiques

L'Afrique de l'ouest, la région la plus pauvre du continent subit depuis quelques décennies des évènements extrêmes. Le bassin de l'Ouémé à l'instar des autres bassins du Bénin a connu plusieurs événements extrêmes liés aux phénomènes hydroclimatiques actuels. Ces perturbations deviennent de plus en plus récurrentes, intenses et génèrent des impacts importants sur les modes et moyens d'existences des populations. Ces impacts mettent les populations et leurs activités de développement en situation de vulnérabilité répétitive et croissante.

Au Bénin, la vulnérabilité physique est liée aux fortes pluies, aux inondations, aux sécheresses, à l'érosion des terres et aux phénomènes épidémiques. Cette vulnérabilité est accentuée par des facteurs socioéconomiques et environnementaux, en particulier la grande dépendance de l'agriculture à la pluviométrie. L'installation des populations dans les zones inondables ou les lits des fleuves et des lacs, met en évidence le problème d'aménagement du territoire et d'occupation du sol surtout dans le bassin sédimentaire côtier (Totin, 2012).

Les événements hydro pluviométriques dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou causent d'énormes dégâts sur leur passage. Comme dégâts nous pouvons citer : la destruction des champs de cultures, les habitations, les infrastructures routières, la dégradation de l'environnement.

L'impact d'un risque climatique est la mesure des conséquences de la manifestation d'un risque climatique sur un territoire et/ou un secteur donné. On parle, par exemple, de l'impact d'une tempête sur la forêt ou l'impact d'une canicule sur la population. Les impacts peuvent être exprimés en termes « bruts » ou en termes financiers, par exemple, le nombre de logements inondés ou les coûts des dommages.

La perception paysanne est relative et conjoncturelle ; elle n'est pas quantitativiste comme chez les climatologues (Boko, 1988). D'après O' Brien et *al*. (2010), les perceptions paysannes peuvent être des limites à l'adaptation aux changements climatiques et aux risques hydroclimatiques. A ce titre, elles nécessitent autant d'attention que l'étude des caractéristiques socio-économiques ou des scénarii climatiques. Cette étude est d'autant utile qu'elle met à la disposition des scientifiques des connaissances endogènes fiables pour une meilleure appréciation des phénomènes hydroclimatiques dans le bassin du fleuve Ouémé à Bonou.

Dans son travail sur la caractérisation de la saison des pluies dans le centre-ouest du Sénégal, NDONG (2003) montre qu'il y a une tendance à la

baisse des hauteurs de pluie de 1951 à 2000 et il détecte une rupture dans les séries pluviométriques en 1969. De l'étude comparative des sous périodes 1951-1969 (humide) et 1970-2000 (sèche), il ressort que les débuts de saison des pluies étaient plus généralement plus précoces lors de la première sous période puis tardifs à partir des années 1970.

Les changements climatiques ne sont plus une chimère. Le phénomène, à travers ses manifestations, est vécu au quotidien par tous. Entre inondations sévères, chaleur extrême ou baisse et variation de la pluviométrie, la variabilité climatique perturbe en retour les activités humaines. Face à ces impacts auxquels aucune région n'échappe, le Bénin qui figure parmi les pays les plus vulnérables au phénomène, s'emploie à mettre en route un train de mesures d'adaptation.

Les changements relatifs à la précipitation et à la température, ainsi que les effets non linéaires sur l'humidité, l'évapotranspiration et le sol, ont des conséquences sur la quantité et la qualité des ressources en eau, l'agriculture, la pêche et l'élevage (GIEC, 2007) et donc sur la vie de la population riveraine. Cette variabilité climatique associée à la croissance démographique et aux progrès économiques constitue aujourd'hui les facteurs de vulnérabilité des ressources naturelles. La pression démographique liée aux activités économiques dans les plaines d'inondation, sur les bassins versants comme l'édification de bâtiments, d'infrastructures, de barrage et des champs, multiplie les risques de crues (OMM, 2009). Or, dans de nombreux cas, les plaines d'inondation et/ou bassins versants offrent d'excellentes opportunités techniques et économiques de gagner sa vie facilement comme c'est le cas dans les basses vallées du Mono et de l'Ouémé au Bénin. Mais, le réchauffement global de la planète et les prévisions météorologiques relèvent un risque croissant des évènements extrêmes (excès de pluie et de température). Ces processus naturels et humains ont des conséquences sur les capacités des systèmes de production. Cela conduit dans plusieurs régions du monde à la dégradation des ressources

naturelles liées à la destruction des écosystèmes naturel et humain et la perte de la biodiversité par le débordement des eaux (inondation) et la pression anthropique.

Ainsi, cette étude a l'ambition de contribuer à une meilleure connaissance de la perception des risques hydroclimatiques dans le bassin de l'Ouémé à Bonou.

1.3.2 Typologie des risques hydroclimatiques liés aux phénomènes extrêmes

Le risque lui-même constitue un frein au développement. Ainsi, les populations vivant dans des zones à haut risque où elles subissent fréquemment des pertes humaines, des destructions matérielles et d'autres effets négatifs sur leur bien-être physique, mental et social, finissent par manifester une aversion pour le risque. Elles préfèrent donc ne pas se hasarder à investir leurs moyens d'existence, investissement pourtant nécessaire pour faire progresser l'économie, car cet investissement se retrouve bien trop souvent réduit à néant par une autre catastrophe.

La caractérisation de l'ampleur et la tendance de la variabilité de la pluviométrie est soumise à plusieurs incertitudes. Parmi ces incertitudes on peut citer la nature et les seuils critiques des évènements extrêmes, la fréquence de ces extrêmes selon les régions, la précision des données utilisées, , etc. l'état des connaissances a permis d'identifier plusieurs grands risques climatiques majeurs pour le développement des activités socioéconomiques des zones arides et semi-arides:

- la variabilité accrue des précipitations et de ses caractéristiques (nombre de jours de pluie, date de début, longueur de la saison) qui peut se traduire par une brusque alternance d'année humide et sèches;
- une saison des pluies écourtée corrélativement au retard de son installation ;

- L’augmentation des occurrences des séquences sèches pouvant survenir à tout moment dans l’espace et le temps au cours de la période actuelle;
- une tendance à la hausse des pluies maximales cumulées en peu de jours consécutifs, hausse qui pourrait s’accentuer au regard des conclusions du GIEC sur le changement climatique et engendrer des dégâts et pertes importants sur les systèmes socioéconomiques (cultures, infrastructures) et humains. Il peut paraître paradoxal que les changements climatiques puissent à la fois intensifier les pluies et aggraver les risques de sécheresse. En fait, la quantité d’eau déversée n’augmente pas forcement mais ces pluies sont plus violentes et les épisodes de sécheresse sont plus longs ;
- les vents secs et violents associés à des pluies très rares et qui empêchent une humidification suffisante des sols, rendant difficile le développement de toute vie végétale;
- enfin, la hausse actuelle sans équivoque des températures observées selon les prévisions du GIEC et qui engendrerait des situations de stress. thermiques sévères pouvant handicaper sérieusement la productivité végétale et animale. Ces différents risques rendent de plus en plus aléatoire et/ou difficile la planification des activités socioéconomiques et la mise en place des infrastructures.

  Pour apprécier les pluies et la vulnérabilité des écosystèmes, les données hydropluviométriques, démographiques, environnementales, hydrogéologiques, etc. ont été utilisées. Les investigations en milieu réel appuyées des indicateurs ont aidé à apprécier la manifestation du phénomène des risques hydroclimatiques. De plus, l’approche méthodologique a permis de spatialiser le niveau de vulnérabilité du milieu aux inondations et à la sécheresse.

Les inondations sont des catastrophes climatiques ayant des conséquences dramatiques sur les écosystèmes, les établissements humains et les activités

socioéconomiques. Aussi, sont-ils liées aux précipitations extrêmes (Tchotsoua et al. 2007 ; Amoussou et al. 2014), auxquelles sont vulnérables les populations, les systèmes écologiques et socioéconomiques. La sécheresse constitue également un phénomène climatique extrême qui varie dans le temps et dans l'espace (Vissin, 2007 ; PANA, 2008 ; Boko et al. 2012). Les évènements pluviométriques extrêmes sont devenus récurrents ces dernières années dans un contexte global de dessiccation (New et al, 2001 ; IPCC, 2013).

1.3.3 Stratégies d'adaptation aux risques hydroclimatiques

L'adaptation est définie comme « l'ajustement dans les systèmes naturels ou humains en réponse à des changements climatiques actuels ou attendus, ou à leurs effets, qui atténue les dommages ou en valorise les bénéfices » (FAO, 2007). On peut distinguer divers types d'adaptation à savoir l'adaptation anticipative ou réactionnelle, l'adaptation privée et publique, l'adaptation autonome et l'adaptation planifiée. Elle peut se faire naturellement ou par une réaction spontanée (par exemple face à une catastrophe climatique) ou être anticipée dans le cadre d'une planification. Dans tous les cas, elle permet de réduire la vulnérabilité aux changements climatiques du secteur agricole.

Les stratégies du développement durable du Bénin s'inscrivent dans un partenariat axé sur la logique de la préservation des écosystèmes menacés, à travers la déclaration d'une politique forestière en 1994, la Déclaration de Politique de Population (DEPOLIPO), les Etudes Prospectives à Long terme du Bénin à l'Horizon 2025, le Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (DSRP 1), la Stratégie nationale de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté (SCRP ou DSRP 2) et la mise en œuvre d'importants programmes et projets comme le Projet de Gestion des Forêts et Terroirs Riverains (PGFTR), le Projet d'Aménagement des Massifs Forestiers (PAMF), le Projet Bois de Feu I et II (PBF I et II), le Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles (ProCGRN), le Projet de Gestion des Forêts et Ressources Naturelles.

De nos jours, les risques hydroclimatiques menacent gravement la croissance économique durable, la réduction de la pauvreté, la qualité de vie et la stabilité politique au niveau national. De ce point de vue, la problématique du risque hydroclimatique est désormais considérée comme une des préoccupations majeures auxquelles il convient d'apporter une réponse adéquate. À cet effet, les États se sont dotés de plusieurs instruments opérationnels pouvant leur permettre d'évoluer de façon effective, dans les champs d'intervention définis par certaines Conventions internationales, en l'occurrence la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et de prendre des décisions face à l'incertitude, en analysant les solutions que propose le domaine de la gestion des risques (ONU, 1992).

La Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques vise à susciter des changements dans les façons de faire, en misant sur la complémentarité des différentes actions et sur un partenariat accru. En mettant la priorité sur la résilience, l'État entend mettre en œuvre des actions concrètes et cohérentes pour limiter les impacts sociaux, économiques et environnementaux engendrés par les changements climatiques.

Les stratégies développées dépendent du niveau d'accès en capital de chaque producteur et fortement influencées par l'environnement sociopolitique et institutionnel du milieu (D.S.M. AGOSSOU *et al.*,2008).Ce constat s'explique par l'hétérogénéité des situations socioéconomiques qui caractérise le milieu rural, comme toute société d'hommes. Les entretiens relatifs aux stratégies d'adaptation des communautés indiquent que le changement d'activité productive est relative et fonction des opportunités. Les résultats ont montré que 60% changent d'activités tandis que les autres continuent à vaquer à leur ancienne occupation. Les commerçantes, transformatrices et les éleveurs sont ceux qui conservent leur activité principale en période de sècheresse.

1.4 Cadre conceptuel de la vulnérabilité aux risques hydroclimatiques

La figure 10 montre le schéma conceptuel de la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin de l'Ouémé à Bonou.

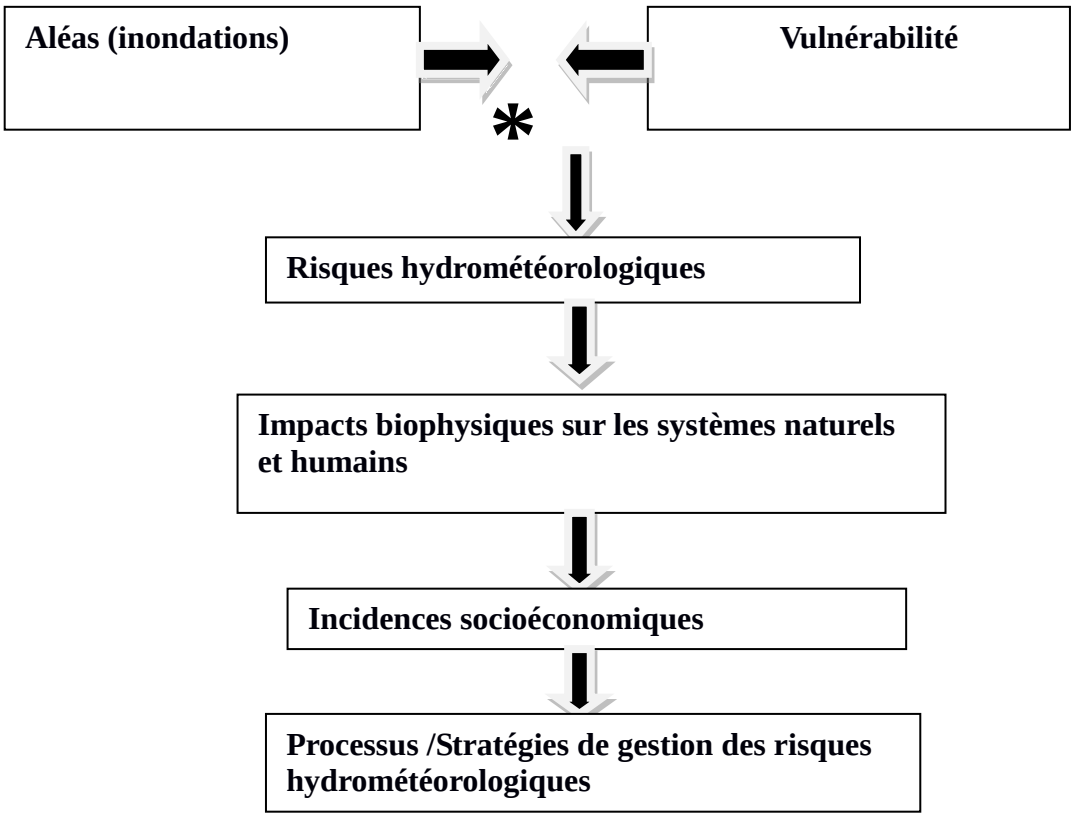


Figure 10 : Schéma conceptuel des risques hydroclimatiques à Bonou
Source : Amoussou (2014)

L'analyse de la figure 10 montre que les risques hydrométéorologiques sont induits par la combinaison des aléas (inondations et de la vulnérabilité des populations et des écosystèmes, lesquels génèrent des impacts sur les systèmes naturels et humains. Ces impacts ont des incidences sur les activités socio-économiques. Au vue de ces impacts, ils urgent de développer des stratégies pouvant permettre de mieux gérer les risques hydrométéorologiques afin de s'adapter aux effets néfastes des changements climatiques.

La variabilité climatique qu'a connu l'Afrique ces dernières années s'est traduite par l'occurrence des évènements climatiques extrêmes (sècheresse, inondation) qui sont de plus en plus fréquents dans les régions subsahariennes

depuis la fin des années1960 (Houghton *et al,* 2001; Gachon *et al.* 2007). Le dernier rapport (GIEC, 2007) mentionne que ces phénomènes ont évolué de façon significative aux échelles globale, régionale et locale. La vulnérabilité des populations aux risques hydroclimatiques est liée d'une part à l'exposition du bassin versant et à la sensibilité des activités économiques aux aléas naturels. La vulnérabilité physique analyse les dommages potentiels causés à un système physique par un événement climatique nuisible (Jones et Boer, 2003, dans Brooks, 2003) tandis que la vulnérabilité sociale la perçoit comme un état qui existe au sein d'un système avant qu'il ne rencontre un événement nuisible (Allen, 2003, dans Brooks, 2003). La capacité d'adaptation dépend aussi de la capacité individuelle et institutionnelle à faire face aux influences des risques hydroclimatiques.

SYNTHESE

La variation hydroclimatique dans le bassin de l'Ouémé induit une variation des paramètres hydroclimatiques qui impactent les écosystèmes. L'évolution de ces paramètres confirme le degré de dégradation de la biodiversité dans le bassin qui se manifeste par une répartition inégale des pluies.

Au terme de ce chapitre, il est abordé les fondements physiques et humains du bassin versant du fleuve Ouémé. Toutefois, ce bassin s'étend sur une diversité de sols (sols faiblement ferralitique, sols hydromorphes, sols ferrugineux tropicaux).La population du bassin pratique en majorité diverses activités dont les principales sont l'agriculture et l'élevage. Il apparait aussi que, le coton est la principale culture industrielle du bassin, ce qui contribue au moteur du développement rural. Cependant, l'eau occupe une place importante dans la vie des populations du milieu et sert à divers usages.

Le chapitre II abordera l'approche méthodologique de la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou

CHAPITRE II: APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA VULNERABILITE DES ECOSYSTEMES AUX RISQUES HYDRO CLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A BONOU

Ce chapitre présente la nature et la qualité des données utilisées, les techniques et outils de traitement, les méthodes de calcul statistiques et d'investigation socio-économique et l'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin du fleuve Ouémé à Bonou.

2.1 Données utilisées

La présente étude a nécessité plusieurs types de données quantitatives et qualitatives. Elles sont constituées essentiellement de variables qui expliquent les facteurs responsables des risques hydro climatiques sur les écosystèmes dans le secteur d'étude. Il s'agit de :

- ✓ ***données brutes : les données brutes utilisées dans le cadre de cette étude porte sur une période de 55 ans (1960-2014). Les raisons qui motivent ce choix porte sur les points suivants :***

- **Choix de l'échelle spatio-temporelle**: Le choix des pas de temps annuel, mensuel, journalier et de l'espace couvrant le bassin de l'Ouémé au Bénin se justifie par une suite de contraintes liées à l'acquisition des données de base, aux simulations envisagées et à l'ambition de l'étude. L'étude hydroclimatique nécessite, en principe, un réseau climatologique dense, d'où la prise en compte de certaine station pluviométrique et hydrologique dans le bassin. En outre, toutes les stations n'ont pas une série de longueur identique, car elles ne sont pas toutes de la même génération. Pour cette étude hydro-climatologique, afin de respecter une bonne homogénéité des séries, nous avons choisi de travailler sur la période 1960-2014. Ce choix s'explique par des raisons principales :

- 1960-2014 est la série commune à toutes les stations hydrométriques et climatologiques considérées ;
- il est nécessaire de travailler sur une longue série pour obtenir des résultats sur l'analyse des risques hydroclimatiques ;
- il y a trop de données manquantes dans la plupart des séries hydrologiques existantes (2012-2014), et les données manquantes au cours de quelques années.

- **données climatologiques** : Les séries de données climatologiques utilisées dans la présente étude ont été extraites de la base de données de l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (METEO BENIN).

Tableau 1 : Station météorologique du bassin du fleuve Ouémé entre Bonou et Savê

Nom des stations	Types de stations	Latitude Nord	Longitude Est	Altitude	Période
Bohicon	**synoptique**	**7°10'**	**2°04'**	**106,2**	**1960-2014**
Savalou	**agroclimatique**	**7°56'**	**1°59'**	**174**	**1960-2014**
zagnanado	**pluviometrique**	**7°15'**	**2°20'**	**102**	**1960-2014**
Bonou	**pluviometrique**	**6°56'**	**2°30'**	**10**	**1964-2013**
Dassa Zounme	**pluviometrique**	**7°45'**	**2°10'**	**155**	**1960-2014**
Sakete	**pluviometrique**	**6°43'**	**2°04'**	**69**	**1960-2014**
Pobe	**agroclimatique**	**6°56'**	**2°40'**	**129**	**1960-2014**
Ketou	**pluviometrique**	**7°21'**	**2°36'**	**118**	**1960-2014**
Save	**synoptique**	**8°02'**	**2°28'**	**198**	**1960-2014**
Abomey	**pluviometrique**	**7°11'**	**1°59'**	**260**	**1960-2014**
Bante	**agroclimatique**	**8°25'**	**1°53'**	**264**	**1960-2014**
Ouesse	**pluviometrique**	**8°30'**	**2°23'**	**233**	**1960-2014**
Tchaourou	**pluviometrique**	**8°52'**	**2°36'**	**325**	**1960-2014**
Parakou	**Synoptique**	**9°21'**	**2°37'**	**392**	**1960-2014**
Djougou	**agroclimatique**	**9°42'**	**1°40'**	**439**	**1960-2014**
Bassila	**pluviometrique**	**9°01'**	**1°40'**	**384**	**1960-2014**
Ina	**agroclimatique**	**9°58'**	**2°44'**	**358**	**1960-2014**

Source : METEO BENIN

- Le réseau d'observation météorologique utilisé pour cette étude est composé de trois stations synoptiques, quatre stations agroclimatiques et sept (10) postes pluviométriques (figure 11)

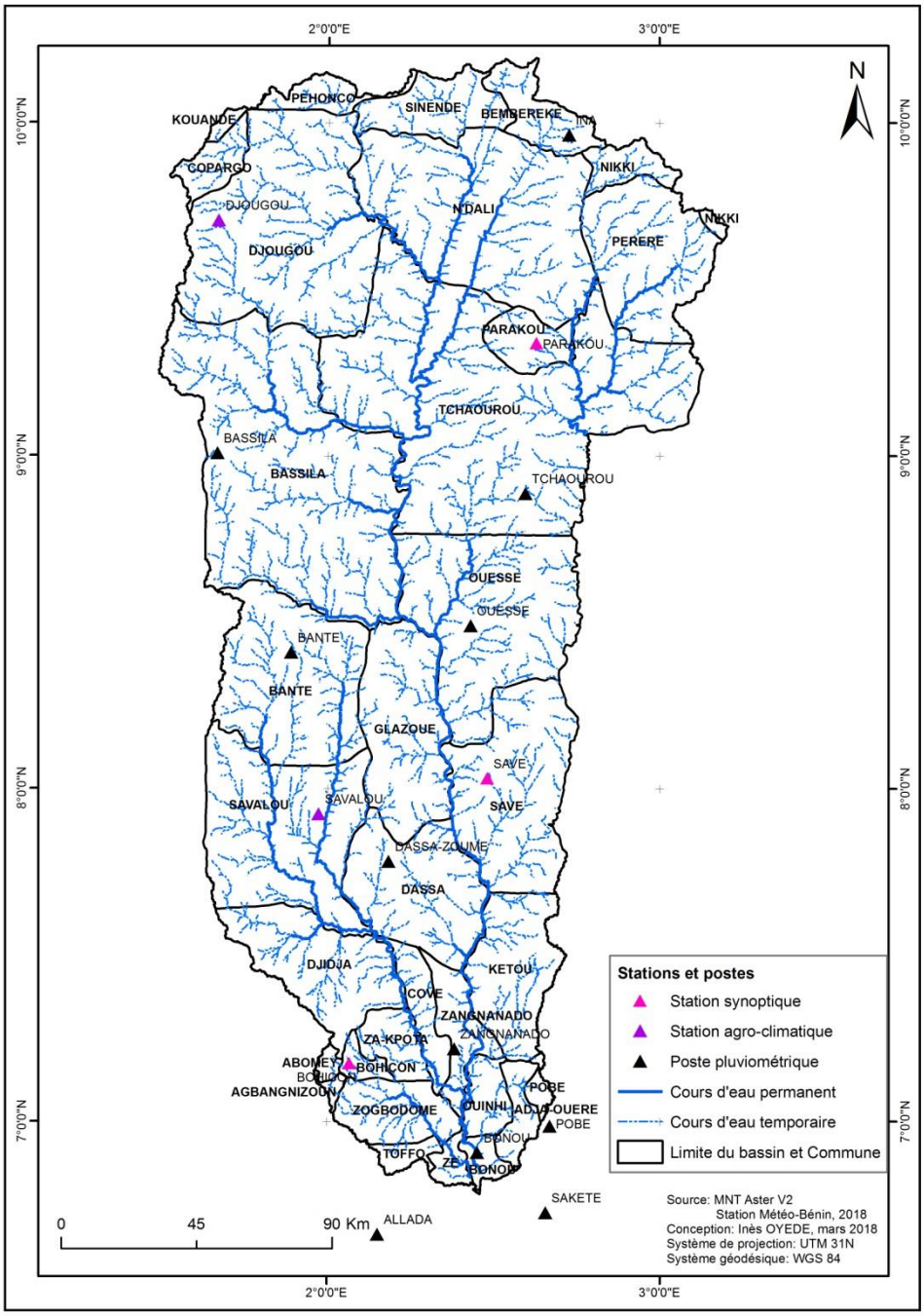


Figure 11 : Répartition des stations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou

Il ressort de la figure 11 que les stations sont inégalement réparties dans le bassin versant. Les données climatologiques qui ont fait l'objet d'analyse correspondent :

- aux hauteurs de pluies journalières, mensuelles et annuelles de la période 1960à 2014 ; ayant moins de lacunes possibles (moins de 5% de valeurs manquantes pour chacune des stations) ;

- les données d'ETP, de températures issues de trois stations synoptiques à savoir : Bohicon, Save et Parakou et couvrant la période 1960-2010 ;

- **données hydrométriques :** (débits journalier et mensuel) à Bonou, à Atchakpa, et Atchérigbé sur la période 1960-2014) ont été tirées de la base de données du Service de l'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau de Cotonou. Des lacunes ont été constatées sur les séries chronologiques des débits. Le choix de trois stations hydrométriques sur l'Ouémé se justifie par le fait que chacune des stations enregistrent la dynamique hydrologique de trois formations géologiques différentes Savè en amont sur les formations granito-gneissiques et Bonou aussi bien en amont qu'en aval sur les grès. Le tableau II, présente les coordonnées et la superficie couverte par les stations hydrométriques du Bassin.

Tableau 2 : Coordonnées des stations hydrométriques de l'Ouémé et leurs superficies

Station hydrométrique	**Coordonnées**		**Superficie (Km²)**
	Latitude Nord	**Longitude Est**	
Bonou	6.909	2.449722	46 990
Atchakpa	8.683	2.38	23600
Atchérigbé	7.5622	2.1328	6950

Source : SH/DIE/DGEau

- ✓ **Données élaborées :** Il s'agit des cartes numérisées sous format " SURFER " des champs pluviométriques mensuels, de 1960 à 2014 ; des cartes numérisées des champs de paramètres journaliers d'un modèle stochastique décrivant les distributions des nombres et hauteurs d'événements pluvieux avant et après 1970 et des cartes de l'ETP moyenne mensuelle et annuelle. Par ailleurs, à partir des données journalières des différentes stations pluviométriques, il est calculé l'ETR et estimé l'infiltration à partir de la formule du bilan hydrologique pour

les différents sous bassins afin de reconstituer les réserves en eau du sol et régénérer la végétation.

- ✓ **données démographiques** : Elles ont été collectées dans les bases statistiques de l'INSAE en considérant les données du RGPH4 de 2013 et les estimations réalisées pour 2012. Ces données ont été complétées par les informations qualitatives d'investigations socio-anthropologiques dans la zone d'étude.
- ✓ **Données socio-spatiales :** perceptions des changements hydroclimatiques et de leurs causes, changements dans l'occupation du sol, changement d'affectation des terres). Ces données sont collectées grâce aux enquêtes et entretiens qui ont porté sur la connaissance et les pratiques endogènes. Ces enquêtes ont été effectuées dans quelques-uns des localités du bassin du fleuve Ouémé à Bonou.

2.1.1 Critique des données

La critique et le contrôle de la qualité des données sont des traitements qui doivent être effectués pour s'assurer de l'homogénéité et la fiabilité des séries climatologiques à utiliser dans une étude hydrologique donnée (Serhir, 2007). Ainsi, les données issues des fichiers de valeurs brutes de précipitations et de débits ont été soumises à une vérification systématique. Comme il n'existe pas de série de données parfaitement fiables et continues, une part d'incertitude demeurera toujours dans la quantification des évolutions climatiques qu'il faut chercher à minimiser grâce aux outils statistiques capables de combler les lacunes d'observations et de vérifier la fiabilité des données. La validation statistique des séries temporelles est donc le préalable fondamental pour établir une recherche objective à partir des bases de données climatiques fournies par divers organismes.

Les données climatologiques ont été mises au format de traitement et d'archivage dans *Clidata* par un système de gestion de base de données pouvant être mis à jour et utilisable facilement dans d'autres outils d'application. Il en

résulte que les séries chronologiques ne sont pas dans l'ensemble assez homogènes mais représentatives dans la zone d'étude. Les marges d'incertitude, résultant de la nature des instruments et du contexte des relevés, sont très variables, voire inconnues, pour une même grandeur géophysique, susceptibles d'entacher la fiabilité des données. Les données sont régulières, homogènes (stations synoptiques) et lacunaires (stations pluviométriques). L'extension et la densité spatio-temporelles sont insuffisantes pour décrire fidèlement et expliquer les phénomènes climatiques de la région étudiée.

2.1.2 Elimination des données douteuses

Une vérification manuelle systématique a été réalisée sur les fichiers de données brutes des hauteurs de pluie et des débits journaliers de l'ensemble du réseau hydro-pluviométrique. On a cherché à éliminer de la base de données toutes les erreurs aléatoires flagrantes dues à des fautes de frappe ou à la saisie des relevés, parfois purement inventés par les lecteurs. Cet exercice a entraîné la suppression de certaines données trop douteuses. Ce contrôle n'a permis d'éliminer que les valeurs manifestement fausses, mais la justesse des données conservées n'en est pas pour autant garantie.

2.1.3 Comblement des données manquantes

Il résulte que les séries chronologiques ne sont pas dans l'ensemble assez homogènes mais représentatives de la région d'étude. Le comblement de ces données manquantes a été établi à l'aide de la méthode de corrélation linéaire. C'est un outil statistique qui permet d'étudier la force d'association entre deux variables linéaires (Dumolard *et al.*2005),il définit une loi. La droite de régression représente la tendance moyenne de corrélation entre *x* et *y*. Le but est de linéariser la représentation du phénomène sous la forme :

$$y = Ax + B. \quad (1)$$

La corrélation est établie soit entre les données de différentes années sur la même station, soit entre les données de la station d'étude et celles d'une

station voisine. Cette corrélation est retenue si et seulement si le coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 75 %. Cependant les années ne disposant d'aucune donnée n'ont pu faire l'objet de comblement afin de ne pas biaiser les résultats.

La méthode de comblement par prévision permet de calculer ou de prévoir une valeur capitalisée à partir de valeurs existantes. La valeur prévue est une valeur x pour une valeur y donnée.

Les valeurs connues sont des valeurs x et y existantes, et la nouvelle valeur prévue est calculée par la méthode de régression linéaire. L'équation de la fonction Prévision est **a+bx** **(2)** ou **a = $\bar{y}$ - b$\bar{x}$ et**

$$\mathbf{b} = \frac{\Sigma\,(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\Sigma\,(x-\bar{x})2}$$

avec x et y les moyennes d'échantillon moyenne (x connus) et Moyenne (y_ connus), **x** représente l'observation dont la valeur va être prévue; y_ connus représente la matrice ou la plage de données dépendante; x_ connus représente la matrice ou la plage de données indépendante.

2.1.4 Nature et estimation des champs de pluie

Les champs pluvieux présentent des dérives importantes (non-stationnarité dans l'espace de la moyenne et de l'écart type) dès lors que l'on travaille sur des durées de cumul supérieures à la journée : Ali *et al*. (2003) ont montré que cette dérive était avant tout liée à la probabilité d'occurrence de la pluie, c'est-à-dire au nombre moyen d'événements pluvieux observés en un lieu donné pour une période donnée. Cette non-stationnarité est associée à une anisotropie, qui implique que la fonction d'interpolation utilisée ne sera pas la même dans toutes les directions (en pratique on utilise une fonction unique avec une métrique non euclidienne). Il résulte de tout cela que l'erreur d'estimation relative décroît fortement lorsque le nombre d'événements augmente (les utilisateurs savent empiriquement qu'on commet moins d'erreur pour interpoler un champ de pluie annuel que pour interpoler un champ décadaire).

Pour estimer la lame d'eau précipitée, la méthode de polygone de Thiessen a été choisie. Le choix de cette méthode a été motivé par son application aisée et qu'elle donne en général de bons résultats. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement). Elle est développée sous *l'extension analyse tools, proximity, createthiessen ploygons* de l'arc-gis 10.1. Cette méthode, basée uniquement sur les pluies observées aux pluviomètres, consiste à attribuer à chaque pluviomètre une zone d'influence présumée telle qu'un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale de ce pluviomètre que de toute autre (Koumassi 2014). Les éléments de surface plus proches d'un pluviomètre que de tout autre, sont déterminés par le réseau des médiatrices des segments joignant les postes deux à deux. La précipitation moyenne pondérée P pour le bassin versant se calcule alors en effectuant la somme des précipitations Pi de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire Si), le tout divisé par la surface totale S du bassin versant. La précipitation moyenne sur le bassin versant s'écrit :

$$\mathbf{P}= \frac{\sum Pi\ Si}{S} \qquad \textbf{(3)}$$

Pi : précipitation de la station à l'intérieur du polygone

Si : surface du polygone

S : surface totale du bassin versant

La figure 12, représente le découpage du bassin versant de l'Ouémé en polygones ayant servi de base aux calculs des hauteurs pluviométriques moyennes.

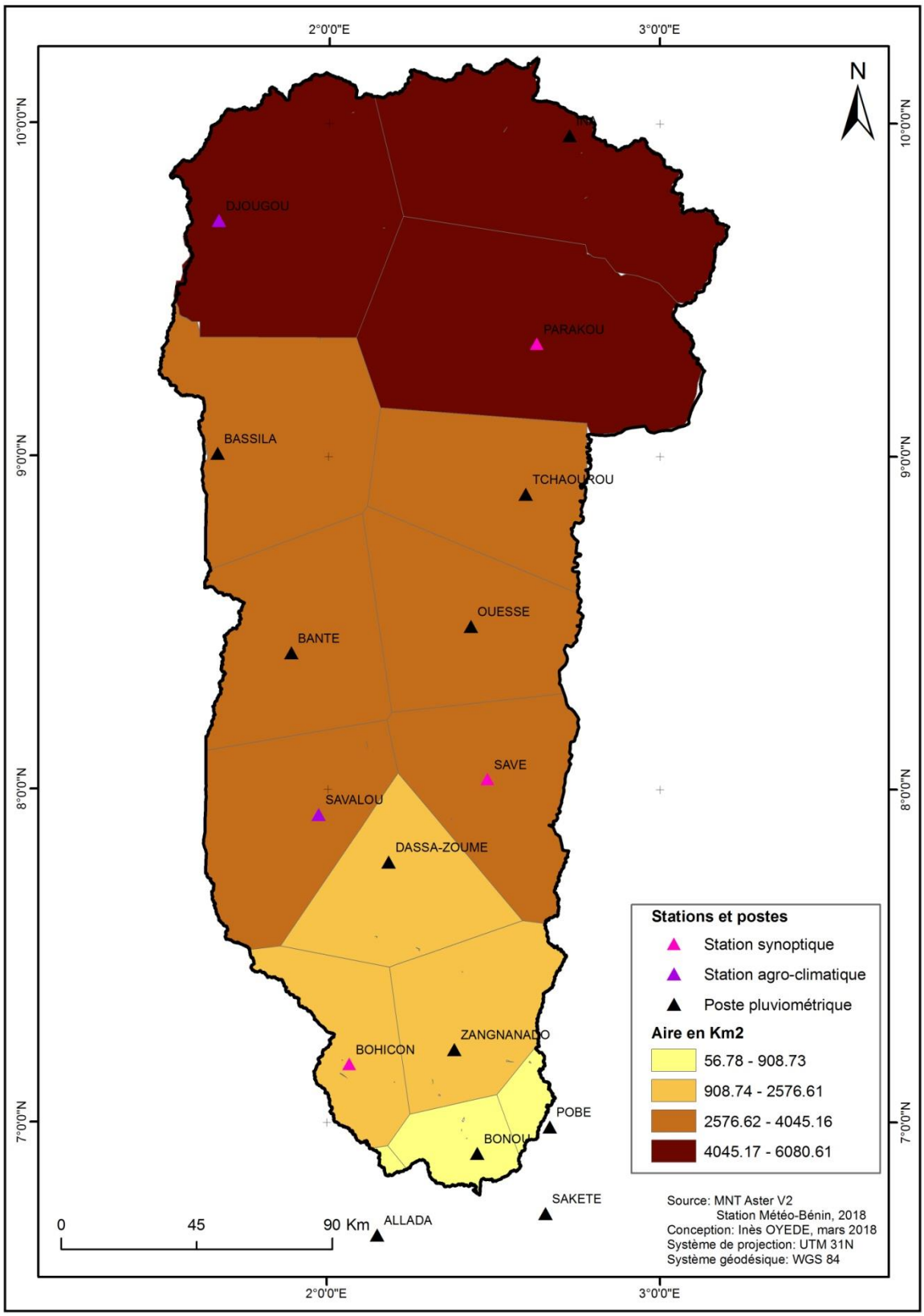


Figure 12 : Découpage de bassin versant de l'Ouémé par la polygonation de THIESSEN

2.2 Technique et méthodes de collecte de données

Les méthodes d'études diagnostiques du climat utilisées dans ce travail sont essentiellement statistiques. Elles permettent d'analyser l'organisation de l'espace géographique sur les risques hydroclimatiques et les écosystèmes, de mettre en évidence les liens existant entre ces différents paramètres. On utilise aussi dans ce travail plusieurs modèles conceptuels.

2.2.1 Détermination de la taille optimale de l'échantillon

Le but de l'enquête de terrain est de voir comment les risques hydroclimatiques sont perçus et vécus par la population afin d'identifier les indicateurs pertinents de vulnérabilité à ces risques. Au cours de ces enquêtes, un échantillon composé essentiellement des producteurs, des agents de carder, des agents de la mairie, des présidents d'association agricoles et de développement ayant une connaissance sur les risques hydroclimatiques et la vulnérabilité des populations a été élaboré. A ceux-là s'ajoutent les agents de développement rural, cadres techniques du ministère de l'agriculture, etc. Le choix des personnes interrogées est fait sur la base des critères bien définis:

- avoir au moins trente-cinq ans ;
- avoir vécu dans le milieu ces vingt dernières années,
- avoir une connaissance sur des différentes activités pratiquées

Les enquêtes de terrain ont porté sur trente un (31) villages. Les villages ont été choisis en tenant compte de l'importance des effets des risques hydroclimatiques. La taille de l'échantillon a été déterminée en suivant la méthode de SCHWARTZ(2002). Elle a été calculée avec un degré de confiance de 95 % et une marge d'erreur de plus ou moins 5 %.

$$\mathbf{n = t^2 \times p \times (1\text{-}p) / m^2}$$

Avec

- n : Taille d'échantillon minimale pour l'obtention de résultats significatifs pour un événement et un niveau de risque fixé

- t : Niveau de confiance (la valeur type du niveau de confiance de 95 % sera 1,96)
- p : proportion estimée de la population qui présente la caractéristique
- m : Marge d'erreur (généralement fixée à 5 %)

En outre, toutes les communes ont été prises en compte. En procédant ainsi par choisis, un taux d'échantillonnage de 30 % est appliqué au résultat pour déterminer le nombre exact de ménages à questionner par village. Le tableau II, présente la taille de l'échantillonnage et le nombre de personnes ressources enquêté dans le bassin versant.

Le tableau 3, présente la taille de l'échantillonnage et le nombre de personnes ressources enquêté dans le bassin versant.

Tableau 3 : Répartition de l'échantillon par commune dans le bassin versant de l'Ouémé

Localités ou villages	**Nombre ménages**	**Taille échantillon**	**Personnes ressources**
Sota	132	4	
Wovimè	187	6	
GnanhouiZounme	80	3	
Kobedjo	315	10	
Odella	164	5	
DRA	149	5	
Adjissou	410	12	
Itchede	224	7	
Lafenwa	283	9	
Odometa	370	11	
Ofia	365	11	
Sodji	338	10	
Dohouinmè	238	7	
Dovè	183	6	

Zounou	202	6	
Manaboe	925	27	
Vèhou	642	19	
Adamè	677	20	
Banigbé	122	4	
Gbaffo	420	13	
Kere	360	11	
Djaloukou	363	11	
Konkondji	576	17	
Djalouma	233	7	
Tchoui	221	7	
Monka	167	5	
Alafia	369	11	
Kloubou	186	6	
Bobe	262	8	
Kadera	236	7	
Lemanda	291	9	
	9690	**294**	

Source : traitement des données 2017

Au total, 294 ménages ont été questionnés. A cela s'ajoute 15 personnes ressources, 20 agents de CARDER. Les personnes ressources sont composées des élus locaux, les directeurs techniques des mairies et des ministères.

Le questionnaire était axé sur la perception des variations hydroclimatiques, les principales activités, l'identification des principaux risques liés aux écosystèmes, l'évaluation du niveau de vulnérabilité des différents secteurs d'activités soumis aux risques hydroclimatiques et enfin aux stratégies d'adaptations mises en place.

2.3 Méthodes de traitement des données

Pour appréhender la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé, le traitement des données a été fait à l'aide de plusieurs méthodes et les techniques de traitement statistiques, le traitement d'images satellitales et le système d'information géographique pour la combinaison des données et la détermination des zones vulnérables et à risques d'inondation dans le bassin versant.

2.3.1 Bilan climatique : un indicateur des disponibilités en eau

Le bilan climatique traduit ainsi, en particulier, le rythme des excédents ou des déficits en eau. Il exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques et celle de l'évapotranspiration potentielle (*ETP*) et constitue, lorsqu'il est positif, le surplus disponible pour la recharge en eau du sol et pour l'écoulement (SUTCLIFFE et PIPER, 1985). Il s'exprime par la formule suivante :

Bc = P - ETP, **(4)** avec :

- *Bc*, bilan climatique en mm
- *P*, pluie totale annuelle en mm
- *ETP*, évapotranspiration réelle en mm

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.

Le bilan climatique a souvent été utilisé, notamment dans une étude régionale des ressources hydroélectriques en l'Afrique de l'Ouest (THOMSON, 1985 ; OLIVRY, 1993 ; LE BARBE *et al.* 1993) ou encore dans une étude du bilan hydrologique en Guinée et au Togo- Bénin (SUCLIFFE et PIPER, 1985, VISSIN 2007), c'est-à-dire dans les régions où les pluies sont abondantes et concentrées sur une seule saison de l'année, l'autre étant sèche.

Une étude approfondie de la variabilité pluviométrique et hydrologique nous permettra de mettre en évidence la caractérisation hydro-pluviométrique du bassin versant du fleuve Ouémé.

2.3.2 Méthode de caractérisation hydropluviométrique

Cette méthode permet d'analyser la variabilité interannuelle des indices pluviométriques et hydrométriques.

2.3.2.1 Paramètres de tendance centrale et moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est utilisée pour étudier les régimes pluviométriques dans les différentes stations. C'est le paramètre fondamental de tendance centrale, représenté ici par la « normale », moyenne calculée sur une série de soixante ans dans toutes les stations (synoptiques et pluviométriques) retenues dans le cadre de cette étude. Elle s'exprime de la façon suivante:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (5)$$

$\overline{X}=\frac{1}{i}\sum_{i=1}^{1} xi$ et a permis de caractériser l'état climatique moyen et de calculer les indices de dispersion les plus significatifs.

2.3.2.2 Paramètres de dispersion et anomalies standardisées

L'écart-type a permis d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carrée de la variance : σ(x) = σ(x) = $\sqrt{V}$ où *V* est la variance. L'écart-type est par excellence l'indicateur de la variabilité climatique. A partir de l'écart-type, ont été calculées les anomalies centrées réduites pluviométriques et thermométriques mensuelles et inter annuelles, en standardisant les données. Les anomalies (indices) sur chaque station et sur les différents secteurs agro écologiques se calculent par la formule :

$$x'_i = \frac{xi - \bar{x}}{\sigma(x)} \quad (6)$$

Où: x' = anomalie centrée réduite pour l'année i

xi = la valeur de la variable

$\bar{x}$ = la moyenne de la série

σ(x) = l'écart type de la série

Pour mettre en évidence les tendances pluviométriques et hydrométriques, la moyenne mobile a été calculée sur la même période et superposées graphiquement aux anomalies interannuelles standardisées. La technique des moyennes mobiles consiste à lisser les irrégularités en associant aux valeurs d'une chronique de nouvelles valeurs qui sont les moyennes arithmétiques d'une valeur originale et des valeurs qui l'encadrent. Les moyennes mobiles peuvent être calculées sur trois (3) ans ou cinq (5) ans. Cette méthode a permis d'avoir des séries hydrométriques et pluviométriques lissées sur les différents sous bassins versants au pas de temps journalier, mensuel et annuel.

2.3.3 Analyse de la variabilité des pluies mensuelles et saisonnières

L'étude des régimes mensuels et saisonniers a pour intérêt de comprendre le rythme de répartition des précipitations. La variabilité des pluies mensuelles et saisonnières se manifestent par la baisse des totaux pluviométriques et du nombre de jour de pluies observée au cours du mois ou de la saison, la diminution des hauteurs de précipitation de la frange côtière vers le septentrion, l'élévation de la température au fur et a mesure qu'on quitte la plaine du littorale pour le septentrion, l'instabilité pluviométrique caractérisée par l'arrêt momentané de la saison des pluies au sein de la saison de mousson.

2.3.3.1 Analyse de la variation climatique

Les tests statistiques sont effectués grâce au logiciel Khronostat qui permet de déterminer les ruptures de stationnarité afin d'approfondir nos connaissances sur l'évolution du climat. Ce logiciel regroupe des tests de vérification du caractère aléatoire de l'échantillon (test d'autocorrélation et test de corrélation sur le rang) et de détection de rupture. Ainsi, le test de Buishand et l'ellipse de Bois, la méthode non paramétrique de Pettitt, l'approche bayésienne de Lee et Heghinian et la méthode d'Hubert (Lubès *et al.*1994) sont utilisés pour la détection de ruptures climatique et hydrologique dans le bassin sédimentaire côtier du Bénin.

2.3.3.2 Méthodes de détection des ruptures dans les séries pluviométriques

Les séries chronologiques homogénéisées, avec les années lacunaires reconstituées, ont été analysées à l'aide du programme avancé Xlstat d'Addinsoft du tableur Excel, en vue de détecter les ruptures liées à une non-stationnarité. Deux tests d'homogénéité ont été appliqués grâce à l'outil Khronostat : Pettitt (1979) et Buishand (1982). Ils sont d'usage très répandus etsont adaptés à la détermination d'une rupture unique.

Test de Pettitt : Le test de Pettitt, non paramétrique est dérivé du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série Xi de taille N constitue l'hypothèse nulle.

La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) i=1 à t et t+1 à N appartiennent à la même population (Lubès et *al.* 1994). Ce test repose sur le calcul de la variable Ut, N définie par :

où :$\mathbf{D_{ij} = sgn\ (x_i - x_j)}$ **(7)**

avec sgn(Z) =1 si (Z)> 0 ; 0 si Z=0 et -1 si Z<0. Soit *KN* la variable définie par le maximum en valeur absolue de *Ut, N* pour *t* variant de *1* à *N-1*. Si *K* désigne

la valeur de *KN* prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K est donnée approximativement par :

$U_{t,N}=\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=t+1}^{N} D_{ij}$ ou D_{ij}= sgn ($x_i - x_j$) avec sgn (z) = 1 si (Z) > 0 ; 0 si Z= 0 et -1 si Z < 0(8)

Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de *Ut, N* pour *t* variant de *1* à *N-1*. Si *K* désigne la valeur de *KN* prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K est donnée approximativement par : Prob (K_N> K) ≈2exp (- 6 K^2 / (N^3+N^2)).Pour un risque αde première espèce donné, si Prob (K_N> K) est inférieure à α, l'hypothèse nulle n'est rejetée.

- test de Mann-Kendall

Le Test de Mann-Kendall est un test non paramétrique qui permet de mesurer le degré de signification de la tendance et les ruptures de stationnarité dans les séries pluviométriques et hydrométriques. Soit x_1, x_T une séquence de données. A chaque xi est associé un nombre n_i comptabilisant les éléments x_j tel que i>j et x_i>x_j. La statistique s'écrit alors :

t = $\sum_{i=1}^{T} nj$**,** celle-ci sous l'hypothèse nulle de l'absence de tendance, suit une loi de répartition **E (t) =** $\frac{(T-1)}{4}$**; (9)** **Var (t) =** $\frac{(T-1)(2T+5)}{72}$ **; (10)**

Sa formule est alors **: U (t) =** $\frac{-E(t)}{Var(t)}$**(11)**

A cette statistique est associée une probabilité de signification, celle de détecter une tendance alors qu'il n'en existe pas. Le test a été validé par plusieurs auteurs scientifiques à travers différentes applications comme (Stewart et Glantz, 1985 ;
Oeschger et *al*. 1989).

Test de Buishand et Ellipse de Bois : Le test de Buishand est un test paramétrique dont la statistique est définie à partir du maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne ou à la médiane. C'est un test permettant la

détection d'une rupture temporelle dans une série de données. L'hypothèse alternative de ce test étant un changement brutal de la moyenne, la fonction puissance est estimée en générant des séries à partir de variables normales indépendantes de même variance mais présentant une rupture de la moyenne à partir d'un individu choisi aléatoirement (Lubès et *al*. 1998).

2.3.4 Méthode d'interpolation spatiale des précipitations

La variation spatiale des précipitations a été analysée, dans la région d'étude, à partir du fichier homogénéisé des précipitations annuelles moyennes sur 54 ans. Elles ont été spatialisées en utilisant la méthode d'interpolation « au plus proche voisin » qui consiste à affecter à tout nouveau point de mesure la valeur du signal bidimensionnel échantillonné(n_i, n_j) → S (n_i, n_j) au point de mesure original le plus proche. Dans la pratique, on utilise ce type d'interpolation simple par la technique IDW (inverse distance pondéré) dans Arc View (Klein, 2011).

2.3.5 Comparaison de deux échantillons temporels

Cette évaluation a pour objectif de mettre en évidence la péjoration hydropluviométrique observée dans le bassin versant au cours des années 1970. Le choix des périodes sera issu des résultats de l'application des tests de Pettitt et de Mann-Kendall sur les différentes séries (Vissin, 2007). L'écart entre la moyenne *m1* de la période pré-1970 et la moyenne *m2* de la période post-1970 est déterminé par la formule suivante :

$$e = m_2 - m_1 \qquad (12)$$

Avec

m_1= la moyenne de la période pré-1970

m_2= la moyenne de la période post-1970

e = écart entre les moyennes $m_1$et m_2

- **Déficit**

$$Déficit = \left(1 - \frac{}{1}\right) * 100\ (\%) \quad (13)$$

2.3.6 Etude du Bilan hydrologique

Cette étude est indispensable pour estimer les ressources en eau du bassin, évaluer l'impact des fluctuations pluviométriques sur les autres termes du bilan et mettre aussi en évidence la relation existant entre la sécheresse pluviométrique observée depuis 1970 et la sécheresse hydrologique de ces trois dernières décennies. L'équation du bilan hydrologique (LE BARBE *et al,* 1993) au cours d'une période peut s'écrire de la façon suivante :

$$P = E + L + I + (S1 - S\,0) \qquad (14)$$

avec : P = pluie, en mm

E = évaporation, en mm

L = écoulement, en mm

I = recharge (infiltration), en mm

$S1 - S0$ = variation du stock d'eau présent dans le bassin, en mm

Des cinq termes de cette équation, deux (I et $S_1 - S_0$) ne sont pas quantifiables par des mesures directes.

Pour diminuer le nombre d'inconnues, ($S_1 - S_0$) est supposé négligeable. C'est pourquoi nous avons décidé de travailler en année hydrologique, déterminée par la date des étiages absolus, dans cette région. Travailler sur une année hydrologique permet de minimiser des erreurs dans la variation du stock d'eau du bassin et cela facilite l'estimation de l'infiltration (VISSIN, 2007). Celle-ci n'étant pas mesurée, elle doit donc être déduite à partir des autres termes. Toutefois, l'évaluation des autres termes pose également certains problèmes. L'infiltration n'est pas mesurée, elle devra donc être déduite des autres termes.

2.3.6.1 Détermination de l'écoulement

Selon Vissin (2007), lorsqu'on veut faire le bilan hydrologique et qu'on dispose d'une ou des station(s) hydrométrique(s) bien suivies et bien étalonnées, le terme écoulement est connu de façon beaucoup plus précise que les autres, qui nécessitent toujours une régionalisation, car l'écoulement est la seule mesure directement faite sur le bassin versant. Malheureusement, les quatre stations dont nous disposons sur le bassin versant de l'Ouémé comportent des lacunes. Compte tenu de l'objectif de l'étude qui consiste à évaluer le bilan hydrologique sur la période1960-2014, il est nécessaire d'essayer de combler ces lacunes. Par ailleurs selon le même auteur, l'équation du bilan, telle que exprimée précédemment, suppose qu'on détermine les écoulements causés par les pluies tombées au cours de la période. Une partie du volume V_{i-1} écoulé de l'année i-1, causé par la pluie P_{i-1}, se répercute sur le volume V_i de l'année suivante i causé par la pluie P_i. Pour apporter une correction aux lames écoulées observées au cours de l'année hydrologique i ; pouvons l'appliquer au débit moyen du dernier mois de l'année hydrologique Qmars connaissant la loi de tarissement de MAILLET.

Pour faire cette correction, on estime que le volume V_{i-1} en m^3 de l'année hydrologique i-1qui reste à s'écouler est :

De même, à la fin de l'année i, il reste à s'écouler un volume *Vi* qui est :

$$V_1 = \int_0^{\infty} Qmars_1 Exp(\frac{-t}{Tar})dt \Rightarrow V_1 = Qmars_1 Tar \quad \textbf{(15)}$$

Ainsi, la lame d'eau provenant de la pluviométrie observée au cours de l'année est :

$$Lec_1 = Lem_{(i-1)} + (Q_{marsi} - Q_{mars(i-1)} X \frac{Tar}{S} \quad \textbf{(16)}$$

Avec : $Léc_i$= lame écoulée due aux pluies de l'année i (mm)

Lem_i= lame écoulée effectivement mesurée au cours de l'année i (mm)

Tar = durée du tarissement (en seconde (s))

S = surface du bassin versant (km^2)

Q_{mars} = débit de mois de mars (m_3)

$Q_{mars..Tar} = Q_{mars} \int_0 Exp(\frac{-t}{Tar})dt$ est le volume correspondant à un tarissement complet.

Pour compléter les lacunes, il faut un modèle. Pour le faire, nous avons choisi d'utiliser la méthode de Sutcliffe et Piper (1986) qui mettent en relation la lame écoulée corrigée non pas avec la pluviométrie totale mais avec la contribution de la pluie à l'écoulement, c'est-à-dire la pluie diminuée de l'ETR. Nous voulons montrer à ce stade que cette façon de procéder améliore la variance des erreurs d'estimation des lames écoulées.

2.3.6.2 Estimation de l'infiltration

La méthode d'estimation de l'infiltration adoptée ici est celle utilisée par Vissin (2007) qui n'est que le solde du bilan hydrologique. Les autres termes du bilan sont eux-mêmes connus avec une certaine imprécision. Cette imprécision va se répercuter sur l'infiltration estimée. Du fait de ces incertitudes, nous ne pouvons pas assimiler directement l'infiltration à la recharge de la nappe. Néanmoins, l'analyse de ce paramètre peut traduire l'évolution de la recharge sur le bassin versant. On peut la définir par:

$$\mathbf{I = P - (L + E)} \qquad \mathbf{(17)}$$

Avec *I = Infiltration en mm ; P = pluie en mm, L= écoulement en mm*

2.3.6.3 Estimation de l'évaporation réelle

L'estimation de l'évaporation réelle est faite à partir de l'équation suivante :

$$\mathbf{ETR = \alpha.ETP} \qquad \mathbf{(18)}$$

L'utilisation de cette formule nécessite la connaissance des paramètres ETP et α.

L'ETP est, par définition, l'évaporation maximale que pourrait fournir un couvert végétal (gazon) suffisamment irrigué pour satisfaire la demande en eau de l'atmosphère (Vissin, 2007 ; Amoussou, 2010). Elle est donnée par la formule de PENMAN (qui utilise plusieurs paramètres climatologiques : pression atmosphérique, tension de vapeur, radiation, insolation, rayonnement global…). C'est cette formule essentiellement basée sur le bilan radiatif qu'a utilisée le Service de la Météorologie Nationale (SMN).

Le coefficient α est toujours inférieur à 1 et traduit la disponibilité en eau dans les premiers horizons du sol. Il faudra pour l'exprimer de façon rigoureuse, connaître à la fois le stock d'eau présent dans le sol et les résistances opposées par le système sol/végétation à l'évaporation. Nous avons donc adopté la même hypothèse que Sutcliffe et Piper (1986) à savoir :

Si $P_i > ETP$, alors $\alpha = 1$;

Si $P_i < ETP$, alors $\alpha = \frac{Pi}{ETP}$;

Cette façon de faire est très approximative lorsqu'elle s'applique à l'échelle mensuelle, car ne donne de résultats satisfaisants que les mois très pluvieux et les mois secs. Par contre, il y a une compensation entre les erreurs de début et de fin des saisons de pluie grâce à la surestimation (car il faudrait reconstituer les réserves en eau du sol et régénérer la végétation) et la sous-estimation (à cause des réserves d'eau dans le sol) de l'ETR.

2.3.7 Méthode d'analyse des risques hydroclimatiques

2.3.7.1 Méthode d'analyse de la sécheresse

La sécheresse a été analysée par la variabilité des séquences sèches les plus longues pendant les mois les plus pluvieux qui sont mai juin juillet pour la grande saison et septembre octobre pour la petite saison (Affo, 2007). L'analyse des séquences sèches suivant la période allant de 1960-2014 a fait ressortir la

tendance des poches de sécheresse survenues pendant les mois les plus pluvieux de la saison. Les tests de tendance et de la significativité des ruptures sont analysés. Les séquences sèches les plus longues sont générées des données pluviométriques de la série 1960- 2014 des stations retenues pour notre étude. Une séquence sèche est le nombre de jours consécutifs sans pluie supérieure au seuil de 1 mm.

Pour caractériser et identifier la sécheresse, plusieurs indices et méthodes sont utilisés.

- **Indice de l'écart à la moyenne (Em)**

C'est l'indice le plus utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année. L'écart à la médiane est le plus utilisé par les agro météorologues. Bien évidemment, quand l'échantillon de données est dissymétrique, la différence entre la moyenne et la médiane est grande (Koumassi, 2014). L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (Pi) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (Pm).

$$Em = Pi - Pm \quad (I) \qquad (19)$$

L'écart est positif pour les années humides et négatives pour les années sèches. On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée. Cet indice permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession.

- **Indice de pluviosité (Ip)**

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation (Doukpolo, 2007).

$$Ip = Pi/Pm \qquad (20)$$

Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1. Pour situer une pluviométrie dans une longue série de

relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne (Ipm) qui diffère de la pluviosité en soustrayant 1 de cet indice.

$$Ipm = Ip - 1 \qquad (21)$$

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est de type « sèche », dans le cas contraire.

Indices PDSI (Palmer Drought Severity Index)

Indicateur de sécheresse sévère de Palmer (PDSI)

L'indice de Palmer (PDSI) a été développé par Palmer (1965), pour décrire les situations de sécheresse sévère. Il mesure la différence d'approvisionnement en humidité pour les phases sèches autant que pour les phases humides. Il est calculé pour des périodes hebdomadaires ou mensuelles afin de caractériser les conditions régionales. Il permet de faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace. Il est largement utilisé et même reconnu aux USA comme l'indicateur de sécheresse le plus important. Cet indice ne permet pas l'identification de début et la fin des poches de sécheresse. Il est calculé à partir de la relation suivante :

$$PDSI = X(i) = 0.897X(i-1) + Z(i)/3 \qquad (22)$$

Ou : X_i (i-1): PDSI de la période précédente

Z(i) : indice de l'anomalie en humidité

i : mois de l'année

et $Z(i) = K(P-P_C)$ Ou :

K : facteur de poids (Alley, 1984)

P : Précipitation actuelle en mm

P_C : Précipitation CAFEC en mm

Or $P_C = \alpha_j . PE + \beta_j . PR + \gamma_j . PRO - \delta_j . PL$ (mm) **Ou**

CAFEC : Appropriée pour les conditions climatiques existantes

$\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \delta_j$: Coefficient climatiques mensuels

j : mois de l'année

PE : évapotranspiration potentiel (mm), PR : recharge du sol (mm), PRO : ruissellement potentiel (mm), PL : perte potentielle dans le sol (mm)

Le PDSI utilise en plus des précipitations et de la température de l'air, l'humidité contenue dans le sol. Toutefois, il ne tient pas compte des ressources hydrologiques de surface pouvant influencer les conditions de sécheresses, comme les cours d'eau, les réservoirs, la couverture neigeuse ou le gel du sol. Il ne tient pas compte non plus des changements pouvant survenir dans l'utilisation des ressources en eau. Le tableau 4 montre la classification de l'indice PDSI selon Alley, 1984

Tableau 4 : Classification des valeurs du PSDI

≥ +4.0	**Extrêmement humide**	**Alerte**
[3.0, 3.99]	**Très humide**	**verte**
[2.0, 2.99]	**Humidité modérée**	**verte**
[1.0, 1.99]	**Peu humide**	**verte**
[0.5, 0.99]	**Début d'humidité**	**verte**
[0.49, -0.49]	**Humidité Presque normale**	**verte**
[-0.5, -0.99]	**Début de sécheresse**	**jaune**
[-1.0, -1.99]	**Sécheresse peu prononcée**	**jaune**
[-2.0, -2.99]	**Sécheresse modérée**	**orange**
[- 3.0, -3.99]	**Sécheresse sévère**	**rouge**
≤ -4.0	**Sécheresse extrême**	**rouge**

Source : SAP, 2015

Rapport à la normale des précipitations (RN)

Le rapport à la normale des précipitations représente le pourcentage de l'écart des précipitations d'une période par rapport à la normale historique de cette période. La normale étant habituellement la moyenne des précipitations totales de la période, calculée à partir d'environ 30 ans de données. Cet indicateur est appliqué à l'échelle locale ou régionale pour des périodes de temps variant de 1 mois à quelques mois, voire une année. En pratique, cet indice, qui est exprimé en pourcentage, peut être obtenu en divisant la précipitation annuelle par la précipitation normale et en multipliant le résultat par 100 (Equation 1). Le rapport à la normale en pourcentage permet d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale. Une année est classée comme sèche si la pluviométrie se situe au-dessous de la normale.

$$RN\ (\%) = (Pi/Pn)*100 \qquad (23)$$

Où :

RN : rapport à la normale des précipitations (en pourcentage).

Pi : précipitation annuelle (en mm).

Pn : précipitation normale (en mm).

2.3.7.2 Méthode d'analyse des températures extrêmes

L'analyse des températures extrêmes a permis de caractériser la hausse des températures. L'étude a porté sur la moyenne annuelle des températures maximales et la moyenne annuelle des températures minimales.

2.3.7.3 Méthode d'analyse du démarrage de la saison des pluies

Les paramètres caractéristiques de la saison (date de démarrage, date de fin, longueur et les séquences sèches) ont été générés dans Instat+ suivant les critères bien définis (Affo, 2007) suivants :

- ✓ Date de début de la saison des pluies

- Grande saison des pluies : à partir du 15 mars, 20 mm de pluie cumulée en un ou deux jours successifs,
- Petite saison des pluies : à partir du 15 août, 10 mm de pluie cumulée en un ou deux jours successifs,

✓ Date de fin de la saison des pluies

- Grande saison des pluies : à partir du 1er juillet, lorsque la réserve utile du sol reste inférieure ou égale à 0.05 mm ou au plus tard la veille du démarrage de la petite saison des pluies, lorsque la réserve utile du sol ne s'annule pas avant cette date.
- Petite saison des pluies : à partir du 1er novembre lorsque la réserve utile du sol reste inférieure ou égale à 0.05 mm

L'application des différents tests précités aux dates de début de saison des pluies a permis de mettre en évidence le démarrage tardif.

2.3.7.4 Méthode d'analyse de la longueur des saisons

La différence entre la date de fin et la date du début nous a permis de déterminer la longueur de la saison. L'étude du raccourcissement des saisons est faite par l'analyse des longueurs de saison. Aussi cette étude est passée par les différents tests statistiques décrits précédemment.

2.3.7.5 Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale)

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne. Elle s'exprime par la formule suivante :

$$IDP\ (\%) = (Pi - Pm)/Pm \times 100 \qquad (24)$$

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage).

Pi : précipitation annuelle (en mm).

Pm : précipitation moyenne (en mm). Cet indice nommé aussi Ecart à la normale, permet de visualiser et de déterminer le nombre des années déficitaires et leur succession.

Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif de sèche lorsqu'il est négatif.

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre (SAP 2015). Quand la somme des écarts croît, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est de type « sèche » dans le cas contraire.

2.3.7.6 Indice du nombre de jours consécutifs secs

L'indice du nombre de jours consécutifs sec donne un nombre par année qui indique une sécheresse relative pour l'année en question pour la localité concernée. Il est largement utilisé et demande une longue période de donnée.

2.3.7.7 Indice standardisé de précipitation

L'Indice de précipitation standardisé **(**SPI Standardized Precipitation Index) McKee et al (1993) est un indicateur statistique communément utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales. Le SPI a été développé par McKee et al (1993).C'est un indicateur statistique utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales (SAP 2015). Basé sur un historique de précipitations de longue durée, le SPI permet de quantifier l'écart des précipitations d'une période, déficit ou surplus, par rapport aux précipitations moyennes historiques de la période. Cette période varie généralement de 3 mois à 2 ans, selon le type de sécheresse que l'on désire suivre

$$\mathbf{SPI = (P - Pm)/ \sigma} \qquad \mathbf{(25)}$$

Où :

P: Précipitation totale d'une période (mm)

Pm: Précipitation moyenne historique de la période (mm)

σ: Écart-type historique des précipitations de la période (mm)

Recommandé par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) en 2009 pour surveiller les sécheresses et gérer les risques liés au climat (Gibbs, 1975). 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 et correspond à la transformation de la série temporelle des précipitations en une distribution normale standardisée de moyenne nulle et d'écart-type unitaire (distribution gaussienne).

À l'échelle temporelle d'une semaine, par exemple, la réponse du SPI est très variable. Le tableau 5 présente la classification des valeurs du SPI avec les couleurs d'alerte.

Tableau 5 : Classification des valeurs du SPI

SPI Valeurs	Classification	Alerte
SPI≥+2	Humidité Extrême	Verte
[1,5 1,99]	Très Humidité	Verte
[1;1,49]	Modérément humidité	Verte
[-0,99;0,99]	Humidité presque normale	Verte
[-1;-1,49]	Modérément sèche	Jaune
[1,5;1,99]	Très sèche	Orange
≤ -2	Extrêmement sèche	Rouge

2.3.8 Méthode d'analyse de risque d'inondation

Dans la présente étude, la méthode d'étude du risque d'inondation utilisée consiste à analyser d'une part l'aléa par l'analyse fréquentielle des pluies maximales et des débits maximaux et d'autre part la méthode de cartographies à index. C'est une méthode qui est basée sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de risque), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple).

2.3.8.1 Analyse fréquentielle des événements hydroclimatiques

L'étude de la variabilité hydroclimatique a nécessité une analyse fréquentielle des événements climatiques et hydrologiques moyens et extrêmes.

- ✓ **Détermination des événements moyens et extrêmes**

Les événements climatiques et hydrologiques moyens et extrêmes ont été caractérisés par la méthode des quintiles, utilisée au Sénégal par Dione (1996) et Ndione *et al.* (2005), en Thaïlande par Lacombe (2003) et par Meddi et Meddi (2004). Elle consiste à regrouper par ordre croissant les séries pluviométriques, thermométriques ou hydrologiques mensuels ou annuels et à les distribuer en cinq classes d'événements très déficitaires, déficitaires, normaux, excédentaires et très excédentaires. Les cinq classes déterminées à l'aide du logiciel Xlstat 2009 correspondent à des seuils hydroclimatiques très secs, secs, normaux, humides et très humides atteints sur la période 1951-2005 dans le bassin sédimentaire côtier du Bénin. A cet effet, l'analyse fréquentielle a permis de définir cinq scénarios hydroclimatiques, de par leur valeur et leur probabilité d'occurrence dans le bassin côtier du Bénin en utilisant le modèle GEV.

✓ **Modèle fréquentiel de la loi GEV**

Distribution des Valeurs Extrêmes Généralisées (GEV)

La loi correspond à une formule mathématique générale utilisée pour décrire les distributions de valeurs extrêmes. Elle est définie par la fonction de répartition suivante :

$$\begin{cases} f(x) = \exp\left[-\left(1-\xi\dfrac{x-u}{\alpha}\right)^{-\frac{1}{\xi}}\right], & si\,\xi \neq 0 \\ f(x) = \exp\left[-\exp\left(-\dfrac{x-u}{\alpha}\right)\right], & si\,\xi = 0 \end{cases} \qquad \textbf{(26)}$$

Trois types de distribution des valeurs extrêmes peuvent ainsi être distingués en fonction de la valeur du paramètre de forme ξ. Lorsque ξ⟶0, on retrouve la distribution de la loi GEV ou distribution des valeurs extrêmes de type I. Quand ξ>0, il s'agit de la distribution de Fréchet ou distribution des valeurs extrêmes de type II, qui est utilisée pour modéliser des séries qui tendent très lentement vers une asymptote et est bornée inférieurement. Pour ξ<0, la distribution possède une borne supérieure et correspond à la distribution de Weibull ou distribution des valeurs extrêmes de type III (Bernier, 1957).

Par ailleurs, les prévisions des paramètres de pluie ne peuvent être établies pour des périodes de retour dont la durée est nettement supérieure à la durée d'observations. L'application de ces modèles requiert donc des durées d'observation assez longues pour obtenir des prévisions futures avec une grande précision. L'ajustement d'une distribution à un échantillon nécessite que les observations soient indépendantes ; l'indépendance signifie qu'il n'y a aucun lien entre les observations successives (absence d'autocorrélation), identiquement distribuées ou homogènes. L'homogénéité des valeurs des observations permet d'émettre l'hypothèse qu'elles sont toutes issues de la même population et stationnaires.

La distribution des échantillons est dite stationnaire si les caractéristiques statistiques sont invariantes dans le temps et dans l'espace. La non stationnarité est en particulier caractérisé par un changement brusque ou graduel dans la moyenne.

Deux tests ont été réalisés dans le cadre de cette étude. Il s'agit des tests d'indépendance et de stationnarité et leurs hypothèses sont présentées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Les hypothèses des tests

Hypothèse	test d'indépendance	test de stationnarité
H0	Les observations sont indépendantes	Il n'y a aucune tendance dans les observations
H1	Les observations sont dépendantes	Il y a une tendance dans les observations

Tests d'adéquation

L'ajustement d'une loi à une série de données est un procédé qui permet de vérifier le bon accord entre les observations et les lois de probabilité correspondantes. Pour ce faire, différents tests statistiques sont possibles :

- l'examen des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement dont les valeurs et les champs de variation sont caractéristiques d'un type de loi. Toutefois, les erreurs d'échantillonnage sur ces paramètres sont peu fiables et il serait illusoire d'en tirer des conclusions.
- le test de chi² pour vérifier l'ajustement d'un échantillon à une loi théorique. Ce test est couramment utilisé malgré ses inconvénients. En effet, le test X^2 permet un ajustement à une loi théorique mais ne permet pas la comparaison de deux ajustements. Il est peu puissant, il donne souvent des valeurs de probabilités voisines pour deux types de lois très différentes appliquées à un même échantillon. Enfin, il est très sensible à

la répartition des classes. Or, le choix des classes et de l'origine de la première classe est arbitraire pour une distribution continue.

- le test de Kolmogorov-Smirnov est utilisé pour déterminer si un échantillon suit bien une loi donnée connue par sa fonction de répartition empirique. Le principe est de calculer la distance maximale entre la loi théorique et la loi empirique. Ce test est donc beaucoup plus sensible à l'existence de points aberrants dans un échantillon. Son avantage par rapport au test x^2 est qu'il est adapté aux fonctions continues. Prakash (1981) utilise ce test pour estimer la qualité de l'ajustement des distributions Log Pearson type III et Log normale (SAP, 2015).
- La méthode graphique est la façon la plus efficace pour visualiser la série de données et vérifier si les distributions ajustées apparaissent en accord avec les données (SAP 2015). En effet, plusieurs distributions peuvent fournir des ajustements statistiquement acceptables. Dans ce cas, les tests de validité de l'ajustement ne permettent pas d'identifier la meilleure distribution à utiliser. Le contrôle visuel de l'ajustement n'est pas un test au sens statistique du terme. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision. Les graphiques de quantiles sont une autre solution visuelle pour comparer deux ou plusieurs distributions entre elles mais aussi pour comparer les données à une distribution théorique. Dans la présente étude, Hyfran est utilisé pour faire l'analyse fréquentielle des cumuls des précipitations sur 1, 2 et 3 jours dans chacune des communes de la zone d'étude. Ce qui a fait ressortir les évènements importants et extrêmes avec leur probabilité d'occurrence (temps de retour).

Pour cette phase d'analyse fréquentielle, les données sur la pluviométrie maximale de la période 1960 – 2014 (soit 55 ans) ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Les périodes de retour définies dans le bassin du fleuve Ouémé sont de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour les événements hydroclimatiques.

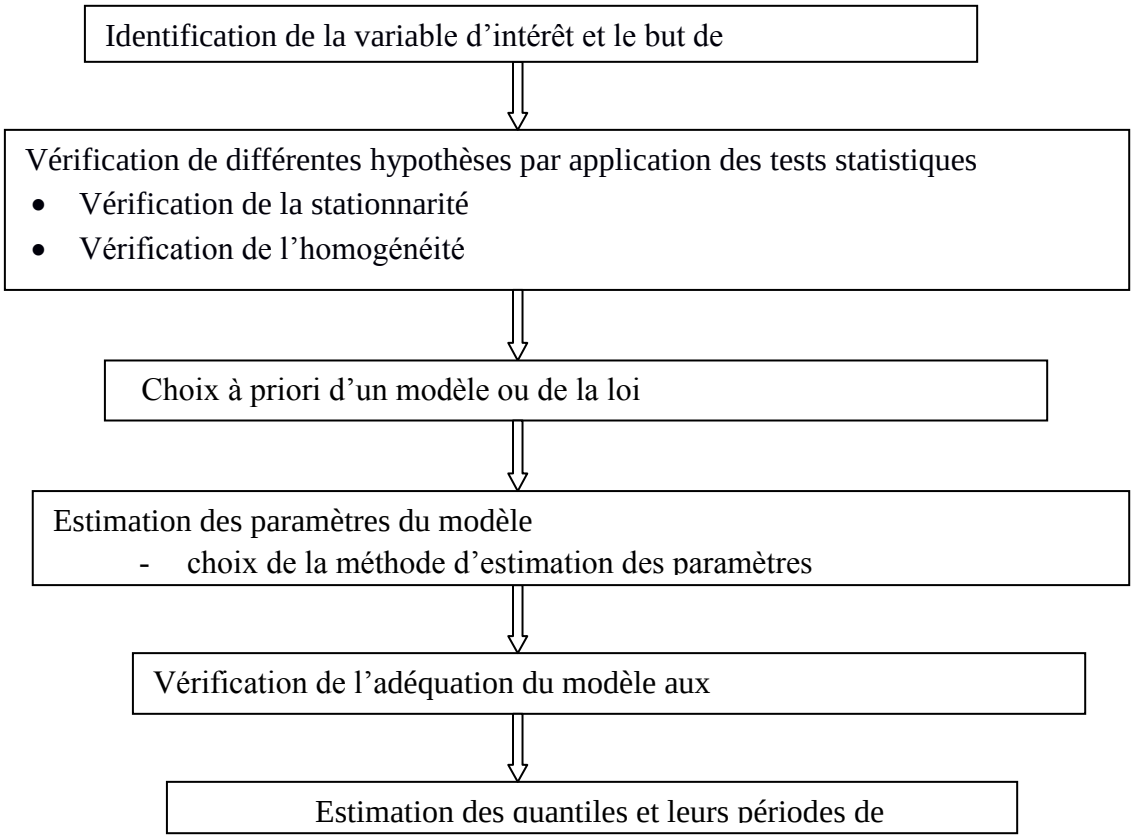


Figure 13 : Principales étapes de l'analyse fréquentielle
Source: Koumassi(2014)

2.4 Evaluation du risque d'inondation

Le risque est exprimé par le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité (Gilard et Gendreau, 1998) :

Risque = Aléa * Vulnérabilité.

Les travaux de Yessou *et al.* (2003) ont porté sur l'apport des données à haute résolution spatiale dans les approches de définition des zones à risque et de mise en place de plan de prévention des risques naturels d'inondation. Selon leurs travaux, le phénomène d'inondation a deux composantes qui sont :

- une composante verticale qui régit la remontée de nappe et,
- une composante horizontale qui définit le débordement des cours d'eau. Henry *et al.* (2003) abordent dans le même sens et soutiennent que la prévision des inondations dépend de deux éléments cruciaux à savoir le degré de saturation du sol et le mouvement horizontal des eaux de surface.

En d'autres termes la composante verticale de l'inondation concerne des eaux souterraines et la composante horizontale les eaux de surface.

2.4.1 Méthode de détermination de l'aléa d'inondation

L'aléa à l'inondation est évalué à partir deux critères dont le mode d'occupation du sol et l'intensité pluviométrique. L'aléa d'inondation (faible 900mm, moyen 900-1000mm, élevée> 1000mm) est issu de la combinaison des valeurs de récurrence (période de retour de débit ou occurrence) et de submersion (hauteur d'eau). Ainsi, dans le cas d'inondation fréquente à forte profondeur de submersion, on obtiendra un aléa élevé et, à l'inverse, dans le cas d'inondations rares à faible profondeur de submersion, l'aléa sera faible. En prenant en compte le rôle des différentes unités d'occupation de sol dans la production des écoulements de surface, une classification est réalisée à partir des unités d'occupation du sol et a permis de retenir trois classes : faible (forêt dense, semi-décidue, galerie forestière et plantation), moyen (forêt claire, savane arborée et arbustive, champs et jachères), fort (agglomérations, formations marécageuses et plan d'eau). Le croisement de ces deux facteurs (pluviosité et couverture du sol) a permis de déterminer l'étendue spatiale et les zones potentiellement exposées aux aléas climatiques pouvant engendrer des inondations dans le bassin versant. Cette méthode avait été déjà utilisée en Côte d'Ivoire par Saley et *al*. (2005) dans la région semi montagneuse et par N'guessan Bi (2011) dans le département de Sinfra.

La combinaison des cartes d'intensité pluviométrique et d'occupation du sol permettent d'apprécier l'aléa selon la figure 14.

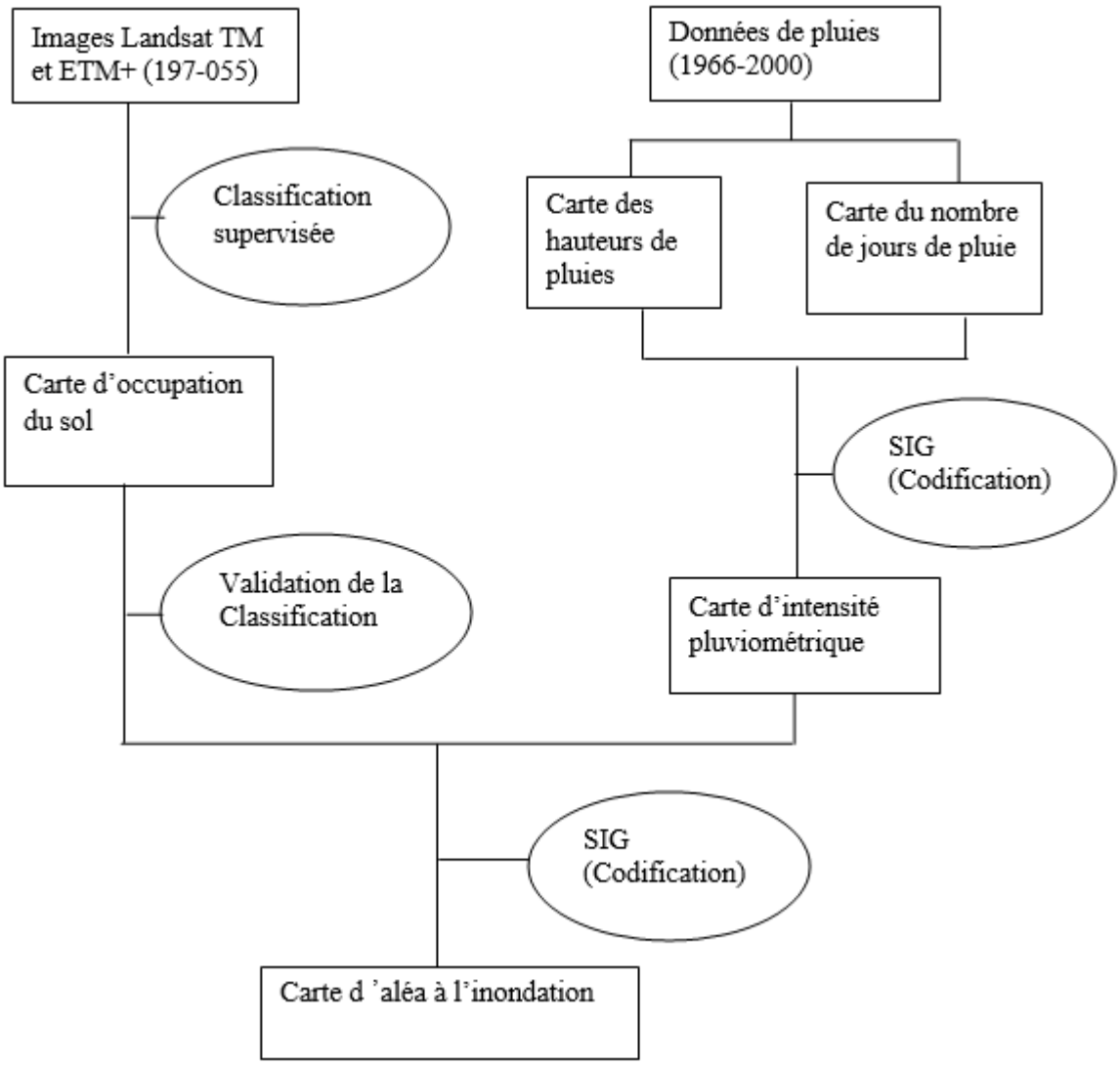


Figure 14 : Organigramme de la détermination de l'aléa à l'inondation

La carte du risque d'inondation par le débordement recherchée résulte de la combinaison par codification des cartes de vulnérabilité et de l'aléa.

2.4.2 Méthode de détermination de la vulnérabilité à l'inondation

Les variables nécessaires à la détermination de cette vulnérabilité sont de plusieurs types car c'est l'action combinée de plusieurs facteurs qui provoque les inondations (Dia *et al.* 2006b; Bâ *et al.*2007). Il s'agit de la densité de drainage, la lithologie, le domaine structural, le drainage souterrain, la pente et la perméabilité induite par le réseau de fracture.

La cartographie du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux a été établie suivant une approche multicritère par la codification des

données multi sources considérées. Ainsi La carte de la densité de fracturation a été combinée avec celle de la densité de drainage, celle du relief ombré, de la carte lithologique, celle des pentes, des perméabilités induites et du drainage souterrain pour donner la carte de vulnérabilité à l'inondation par débordement des cours d'eaux comme le montre la figure 15:

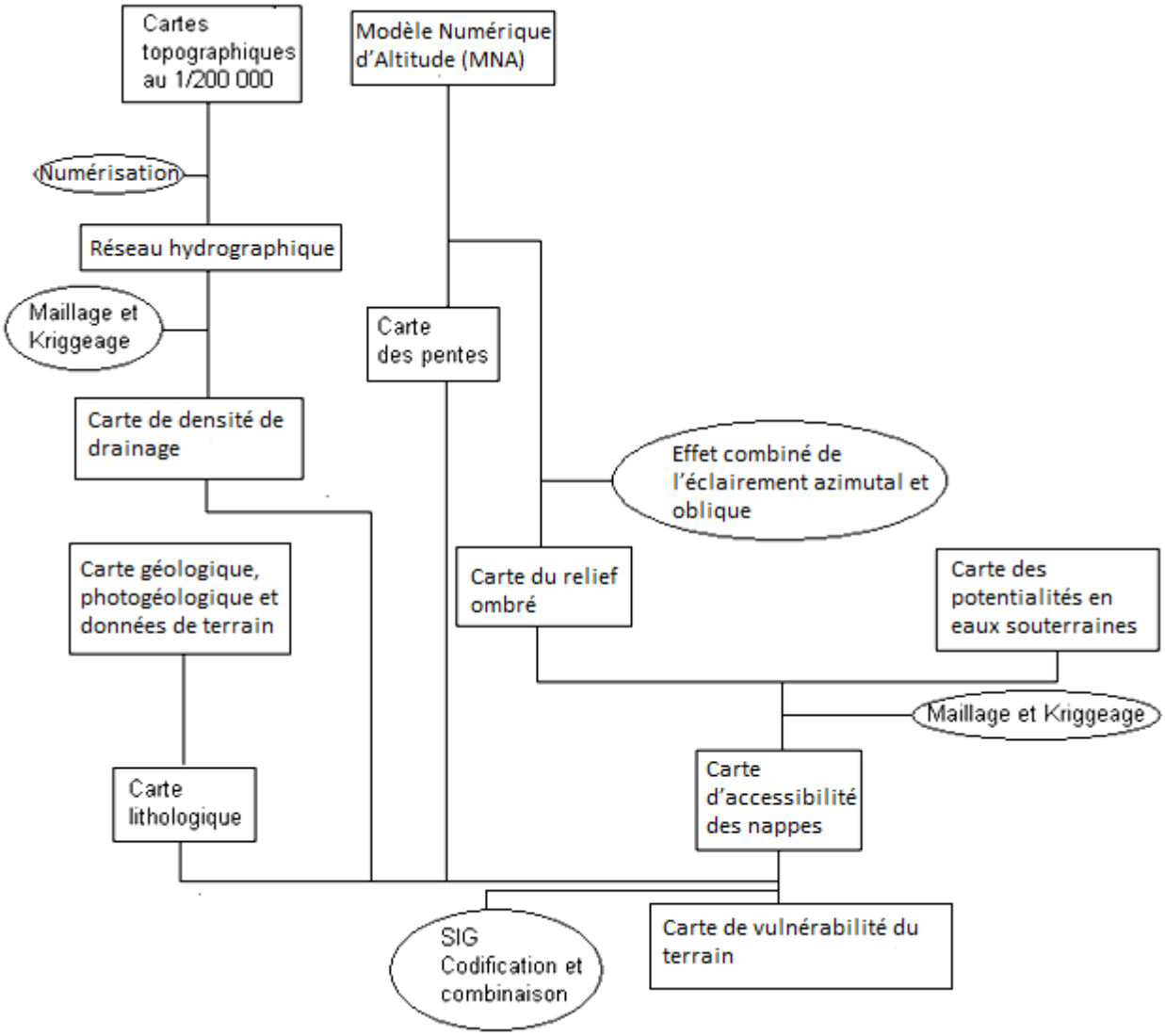


Figure 15: Organigramme d'élaboration de la carte de vulnérabilité à l'inondation par la remontée de nappe

2.4.3 Evaluations du risque potentiel d'inondation

La carte du risque potentiel d'inondation est la résulte de la combinaison de la carte du risque d'inondation par le débordement des cours d'eaux et celle du risque d'inondation par la remontée de nappe (Bourrel *et al*, 2001).

Dans leur travaux Bourrel *et al.* (2001) ont pu mettre en évidence que l'inondation est le résultat de la conjugaison de deux processus: un processus exogène qui implique l'arrivée des eaux de pluies en amont et un processus endogène, avec le débordement des nappes phréatiques alimentées par les précipitations locales. Ils soutiennent dans leurs travaux que trois cas de figures peuvent alors se présenter:

- soit aucun des processus n'a lieu,
- soit le processus endogène se produit seul,
- soit le processus exogène se produit de manière prédominante ou,
- les deux processus se produisent de manière conjuguée, provoquant ainsi les inondations les plus importantes.

Le risque d'inondation potentiel peut être considéré comme la combinaison de deux phénomènes que l'on pourrait qualifier de composantes horizontale et verticale du risque d'inondation. La composante horizontale concerne le mouvement des eaux de surface et est représentée par le risque d'inondation par le débordement des cours d'eau. La composante verticale concerne le mouvement des eaux souterraines est représentée par le risque d'inondation par la remontée de nappe.

2.4.4 Méthode de détermination des zones à risque d'inondation

Pour obtenir la carte du risque d'inondations par débordement, la combinaison par codification des cartes de vulnérabilité et de l'aléa a été faite. Le risque d'inondation est défini comme le croisement de l'aléa préalablement défini et à la vulnérabilité. Un aléa d'inondation fort dans une zone faiblement vulnérable est fortement risqué. Les principales étapes de l'analyse de la

vulnérabilité à l'inondation et du risque d'inondation sont résumées par la figure 16.

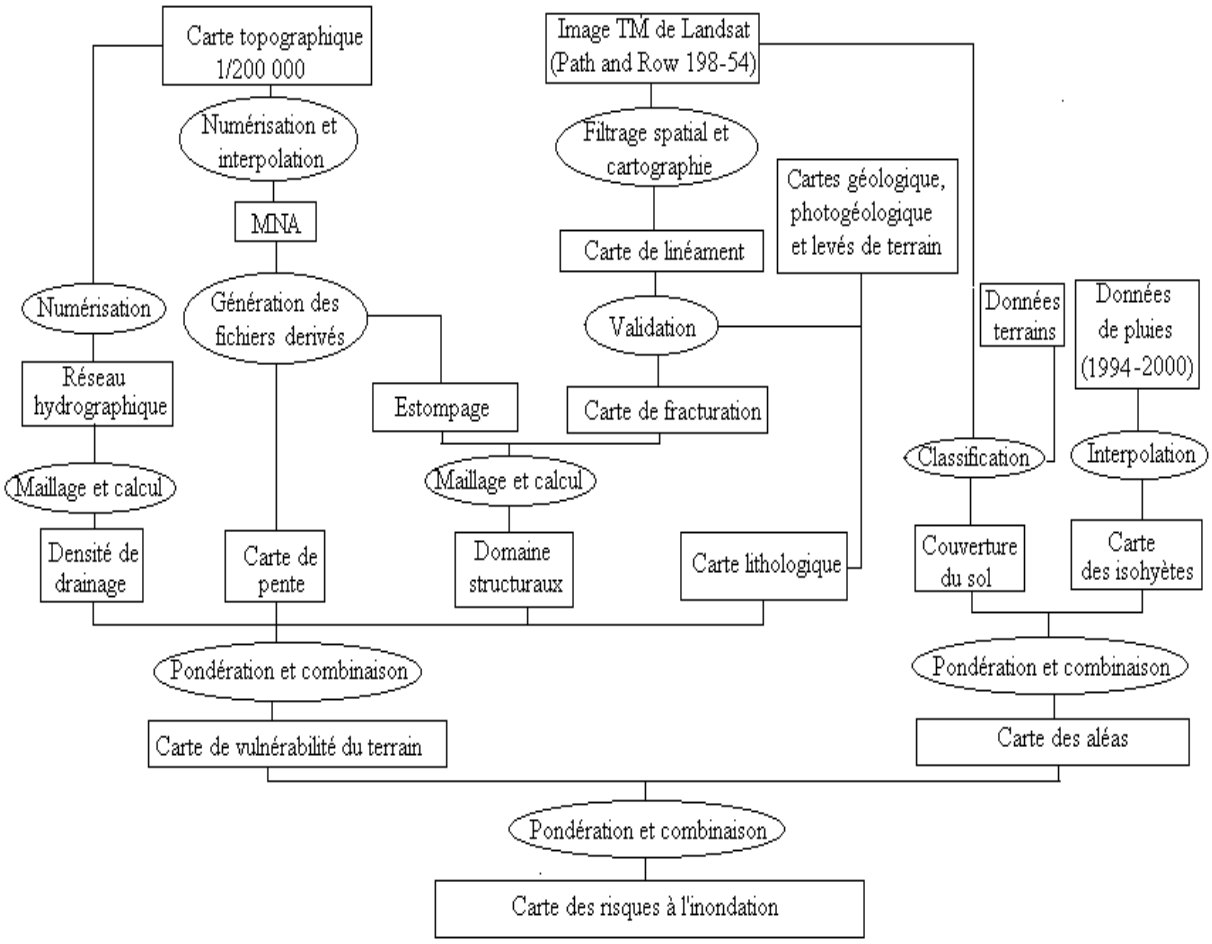


Figure 16 : Organigramme des étapes de cartographie du risque d'inondation
Source: **Saley et *al.* (2005)**

2.4.5 Méthode de détermination de la vulnérabilité socio-économique

Au point de vue socio-économique, est considéré comme vulnérable dans un environnement donné le groupe social qui n'a pas la capacité d'accès aux ressources nécessaires à la pleine satisfaction de ses besoins fondamentaux (PANA, 2010). Les effets néfastes des changements climatiques, en soumettant les moyens d'existence à des contraintes supplémentaires, accroissent la vulnérabilité du groupe concerné.

Trois facteurs déterminent la vulnérabilité d'un système aux variations hydroclimatiques: la nature des variations climatiques auxquelles il est exposé ;

sa sensibilité au climat ; sa capacité de s'adapter à la variation des conditions climatiques.

Les différentes étapes de l'évaluation de la vulnérabilité socio-économiques aux variations hydroclimatiques sont résumées par la figure 17.

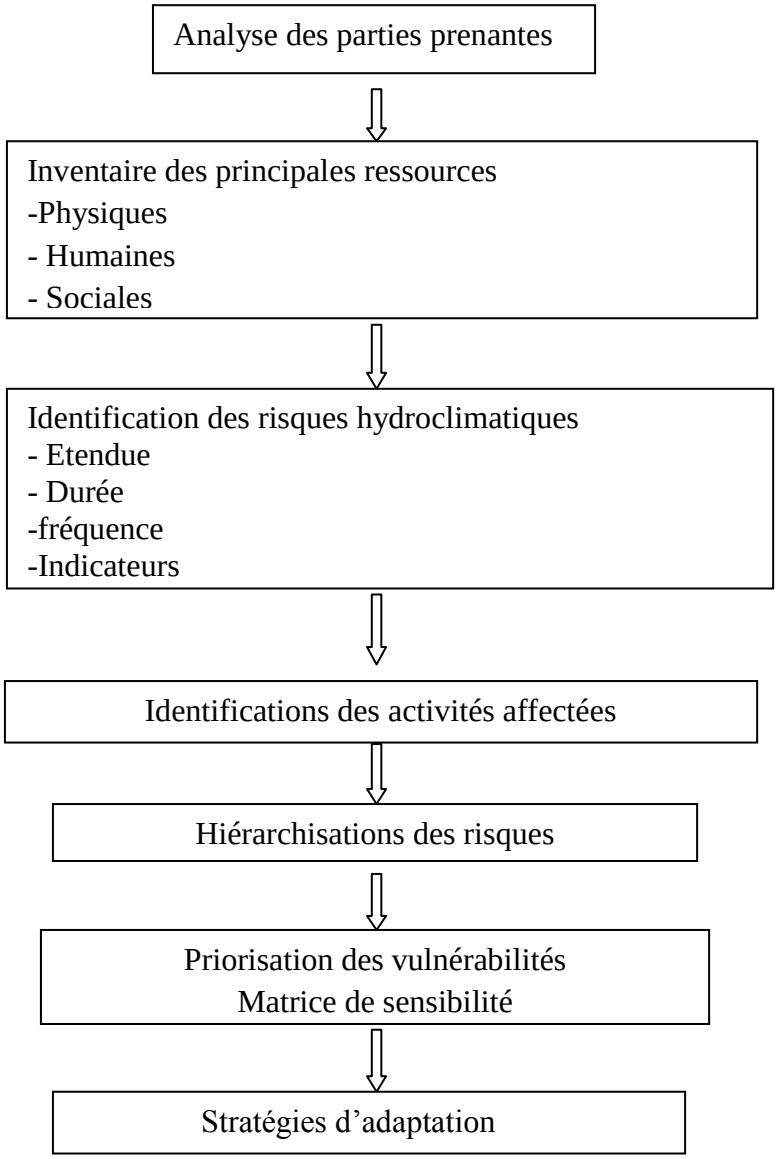


Figure 17 : Etapes d'évaluation de la vulnérabilité socio-économique
Source : Badolo, 2007

Pour analyser la vulnérabilité des modes et moyens d'existences, la matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques est dans la pratique utilisée (Badolo, 2007). C'est une approche méthodologique plus simple qui permet

d'établir la sensibilité aux risques climatiques. La mise en œuvre recouvre plusieurs étapes à savoir :

Etape 1 : elle consiste à établir la liste des unités d'exposition dans la région considérée qui vont être prise en compte dans l'exercice de l'analyse de la vulnérabilité. Ces secteurs ou unités d'exposition font former les lignes de la matrice de sensibilité ;

Etape 2 : la deuxième étape consiste à établir un inventaire des risques hydroclimatiques les plus significatifs pour les secteurs ou unités d'exposition dans la région considérée.

Etape 3 : la troisième étape est celle de l'évaluation du degré de sensibilité de chaque secteur ou unité d'exposition à chacun des risques climatiques retenus. Pour ce faire, on va considérer cinq niveaux de sensibilité comme l'illustre le tableau 7.

Tableau 7 : barème notation de la sensibilité aux risques hydroclimatiques

Le tableau 7quand lui, présente le cadre conceptuel de la matrice de sensibilité

Tableau 7: Cadre conceptuel de la matrice de sensibilité

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

Le tableau 8 quand lui, présente le cadre conceptuel de la matrice de sensibilité

Tableau 8 : Présentation formelle d'une matrice de sensibilité

Unités d'exposition	**Risques hydroclimatiques**			**Indice d'exposition**	**Classement**
	Risque climatique1	Risque Climatique2	Risque Climatique3		
Unité d'exposition 1					
Unité d'exposition 2					
Indice d'impact					

Source: Badolo, 2007

L'application de la matrice produit trois indicateurs:

- l'indice d'exposition;
- le rang en termes d'exposition des unités d'exposition aux risques climatiques ;
- l'indice d'impact des risques climatiques

La valeur de l'indice d'exposition pour une unité d'exposition est donné est la somme des colonnes pour chaque ligne de la matrice. La valeur de l'indice d'impact pour un risque donné est la somme des lignes pour chaque risque. Cet indice peut être utilisé pour établir une hiérarchisation des risques dans la localité considérée par rapport aux unités d'exposition considérés. L'approche méthodologique adoptée dans la présente étude a permis de sélectionner les outils et de collecter les données nécessaires permettant d'analyser la variabilité hydroclimatique et d'identifier les principaux facteurs qui caractérisent la vulnérabilité des populations sur le bassin versant de l'Ouémé.

Ainsi, la deuxième partie du document aborde la caractérisation de la variabilité hydroclimatique et impact des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou.

DEUXIEME PARTIE : CARACTERISATION DE LA VARIABILITE HYDROCLIMATIQUE ET IMPACT DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES SUR LES ECOSYSTEMES DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A BONOU

CHAPITRE III: CARACTERISATION DE LA VARIABILITE HYDROCLIMATIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A L'EXUTOIRE DE BONOU

En outre, les risques climatiques sont lourds de conséquences pour les systèmes agricoles et les ressources dépendants du climat et de ses variations, les écosystèmes marins et côtiers, les systèmes socioéconomiques et humains. Les observations ont montré que les températures au niveau du continent africain ont augmenté de 0,7°C depuis la fin des années 70, une hausse plus importante que celle du niveau mondial. En plus, les études prévoient un accroissement de 3 à 4°C à l'horizon 2100. Cette tendance pourrait engendrer une baisse de la production agricole de 5 à 20% dans les pays subhumides du continent à l'horizon 2050 (GIEC, 2007).

3.1 Variabilité climatique dans le bassin versant de l'Ouémé

Au Bénin, le climat est de plus en plus sujet à de fortes variabilités ou à des changements selon des échelles de temps et d'analyse dont les conséquences restent néfastes pour le développement durable.

Les événements hydroclimatiques tels que les sécheresses, les fortes pluies, les inondations seront de plus en plus intenses et surtout de plus en plus variables d'une année à l'autre au Sahel. Les extrêmes pluviométriques associés en partie à l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique vont s'accentuer avec le changement climatique renforçant ainsi le cycle condensation – pluie – ruissellement. On peut donc s'attendre au cours des années à venir à des situations contrastées alternées de sécheresse et d'excédents pluviométriques (Sarr, 2009).

Une comparaison de la pluviométrie des périodes 1931-1960 et 1961-1990 montre que le Bénin traverse une péjoration climatique depuis les deux dernières décennies. Cette péjoration se manifeste par une réduction de la durée de la saison agricole, une diminution du potentiel pluviométrique accompagnée

d’une réduction du nombre de jours de pluie et une hausse des températures (Houndénou, 1999).

Pour caractériser la variabilité climatique sur le bassin versant de l’ouémé, la moyenne spatialisée de la pluie est calculée au pas de temps annuel et mensuel dans le bassin versant de l’ouémé et les sous bassin versant de l’ouémé à l’exutoire de Bonou et de l’ouémé à l’exutoire de Savè. Ainsi, la variabilité est caractérisée aux échelles annuelle, mensuelle.

3.1.1 Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le bassin versant de l’Ouémé

L’analyse de la variabilité interannuelle des pluies dans le bassin versant de l’Ouémé porte sur la période de 1960-2014. La figure 18 traduit la variabilité interannuelle de la pluie dans le bassin versant de l’Ouémé.

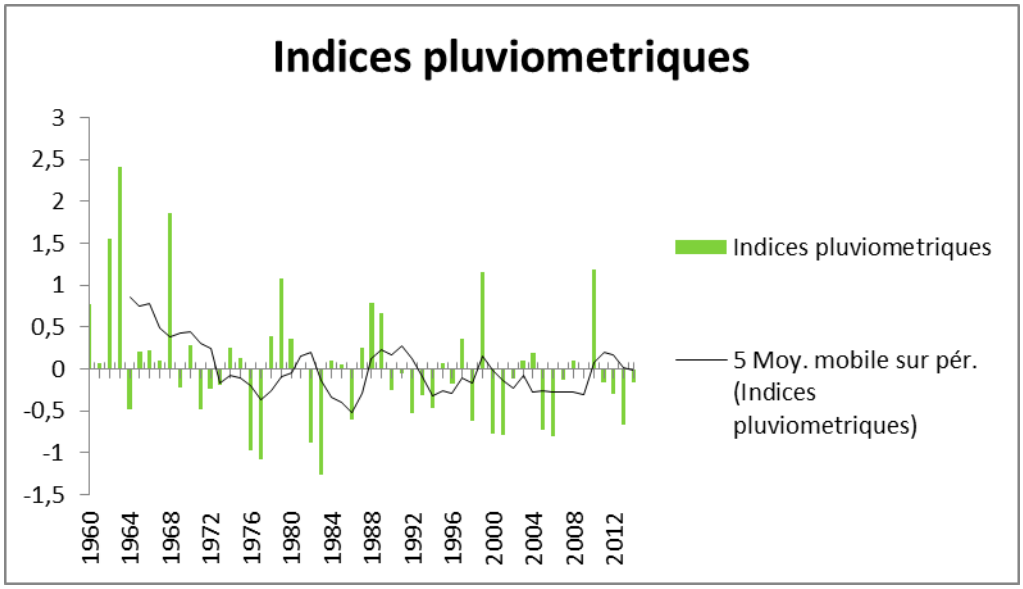


Figure 18: Variabilité interannuelle des pluies dans le bassin versant de l’Ouémé (1960-2014)

L’analyse de cette figure a permis d’observer une variation pluviométrique de 1960 à 2014. Deux phases ont été identifiées dans l’évolution de la pluviométrie dans le bassin versant de l’Ouémé. La première phase est marquée par des excédents pluviométriques, et concerne la période 1960-1968 ; la deuxième sous-série est caractérisée par des déficits pluviométriques entre la

période 1970-1983. La troisième phase est caractérisée par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie et concerne la période 1986- 2014.

3.1.2 Variation pluviométrique dans les sous bassins versants de l'Ouémé

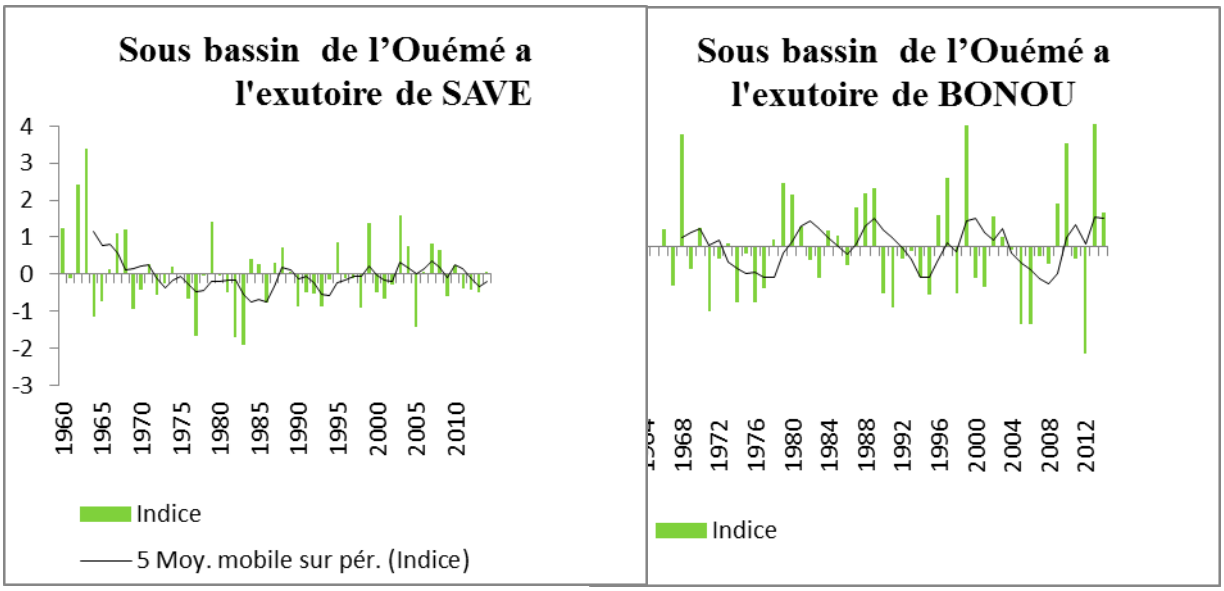


Figure 19: Indice pluviométrique dans les sous bassins versants de l'Ouémé

Il ressort de la figure 19 que le sous bassin de l'Ouémé à Bonou a connu assez de perturbations pluvieuses que celui de Savè. Les pics les plus élevés sont observés dans les années de 1967, 2000 et 2013 à Bonou tandis que ceux de Savè sont enregistrés dans les années 1963 et 1964.

3.1.3 Rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques

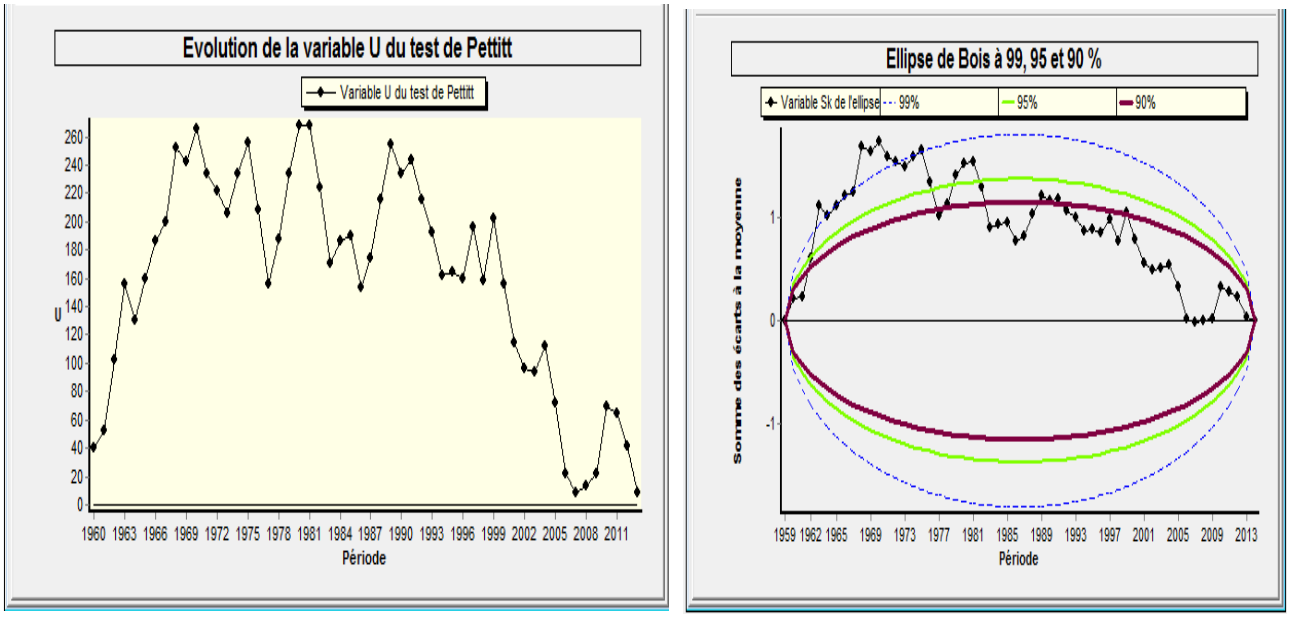


Figure 20: Rupture de stationnarité par le test de Pettitt et Buishand dans les séries pluviométriques du bassin versant de l'Ouémé

Cette figure traduit une variation des précipitations dans le temps (figure 20). Ainsi de 1970 à 2014, le bassin versant de l'Ouémé à Bonou a connu une baisse des précipitations. Cette baisse des précipitations s'est amplifiée de 2000 a 2014. Plusieurs chercheurs en Afrique de l'Ouest ont démontré cette diminution des précipitations dans les dernières décennies à travers des auteurs comme (Fontaine et Janicot, 1993 ; Mahé et Citeau, 1993 ; Mahé et Olivry, 1995 ; Paturel et Servat, 1996 ; Paturel *et al*. 1998 ; Ardoin-Bardin, 2004 ; Peugeot *et al*. 2012), au Bénin (Boko, 1988 ; Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2006 ; Vissin, 2007, Amoussou, 2010) et dans le bassin de l'Ouémé (Le Lay, 2006 ; Totin *et al*. 2007 ; Akognongbé, 2014).

3.1.4 Détection de rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques des différents sous bassins versants

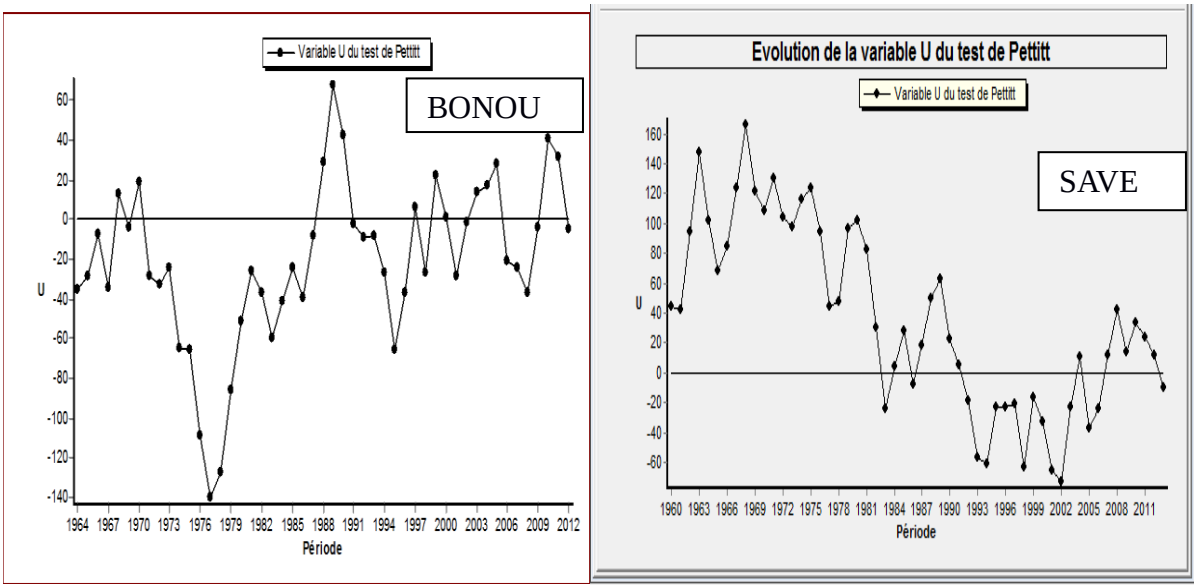


Figure 21: Rupture de la stationnarité par le test de Pettitt dans les sous bassins versants de l'Ouémé

Il ressort de la figure 21 que la rupture pluviométrique à Bonou est observée en 1968 avec un seuil de 99% selon le test de Pettitt tandis que des ruptures de stationnarité sont observées dans les années 1968 et 1987 à Savè. Ces années de ruptures confirment les études antérieures de quelques auteurs tels que : Vissin, 2007 ; Amoussou, 2010.

3.2 Bilan climatique

Selon Vissin (2007), le bilan climatique calculé au pas de temps annuel est déficitaire pour la période 1965-2008 dans tous les sous bassins versants, car l'évapotranspiration potentielle annuelle est supérieure à la pluie totale annuelle quelle que soit l'année considérée. Cependant, poursuit le même auteur, l'étude mensuelle montre que ce déficit n'est pas vérifié tout au long de l'année.

3.2.1 Bilan climatique mensuel dans les sous bassins versants

La figure 22 traduit le bilan climatique calculé au pas de temps mensuel dans les sous bassins versants de Savè et de Bonou sur la période de 1960-2014.

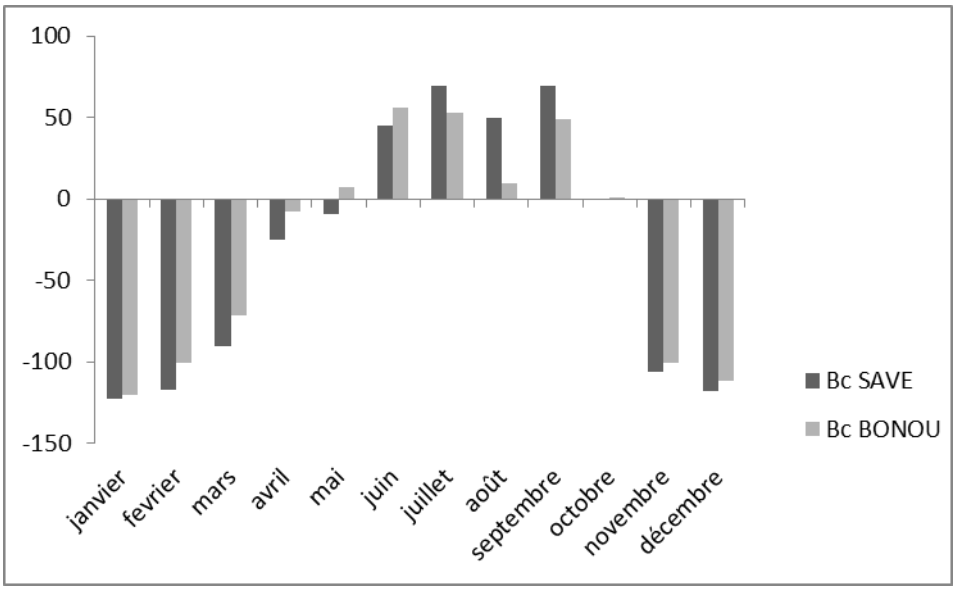


Figure 22: Bilan climatique mensuel dans les sous bassins versants

De l'analyse de cette figure, il ressort qu'au pas de temps mensuel, le bilan climatique dans les sous bassins versants de Savè et Bonou permet d'identifier deux périodes opposées :

- quatre mois humides s'observent de juin à septembre (JJAS), avec un maximum en Juillet.

Les rivières et cours d'eau sont alimentés en excès d'eau favorisant ainsi l'alimentation des réservoirs souterrains des sous bassins versants. Cette période est aussi favorable aux risques d'inondation causée par les fortes pluies enregistrées en juillet et en septembre.

De même, la répartition illégale des pluies peut être génératrice des épisodes de sécheresse très dangereuse pour l'agriculture :

- entre novembre et avril, ce sont les mois secs où la demande évaporatoire de l'atmosphère est très importante, avec un fort amenuisement et même l'assèchement des réserves d'eau du sol.

Le bilan climatique mensuel estimé entre les sous périodes (figure 23), permet de déceler des nuances dans l'évolution du bilan climatique dans les sous bassins versants.

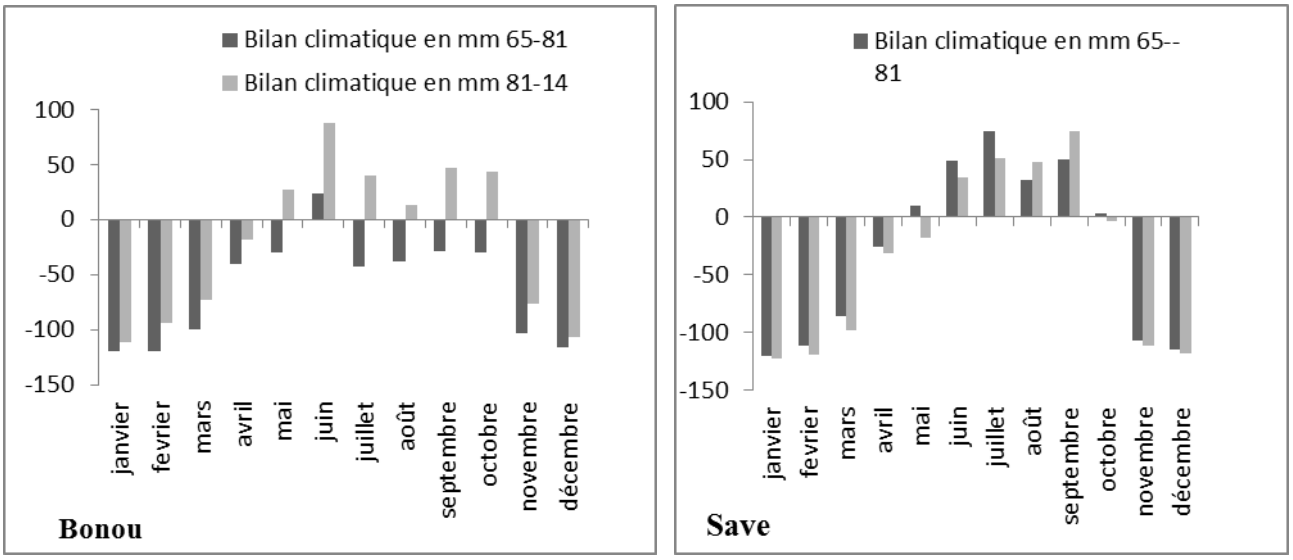


Figure 23: Variation du bilan climatique mensuel sur les sous-périodes 1965-1981 et 1981-2014

Le bilan climatique mensuel estimé dans les sous périodes, montre une baisse marquée du bilan climatique de la sous-période 1965-1981 par rapport à la sous –période 1981-2014.

3.3 Evolution intra-saisonnière comparée des précipitations dans le bassin de l'Ouémé à Bonou et Savè allant des périodes de 1965-1981 et de 1981-2014

3.3.1 Répartition inter-saisonnière du bassin versant de l'Ouémé à Bonou et à Savè

La figure 24 montre l'évolution inter-saisonnière des hauteurs de pluies des sous périodes 1965-1981 et 1981-2014 dans le bassin versant de l'Ouémé.

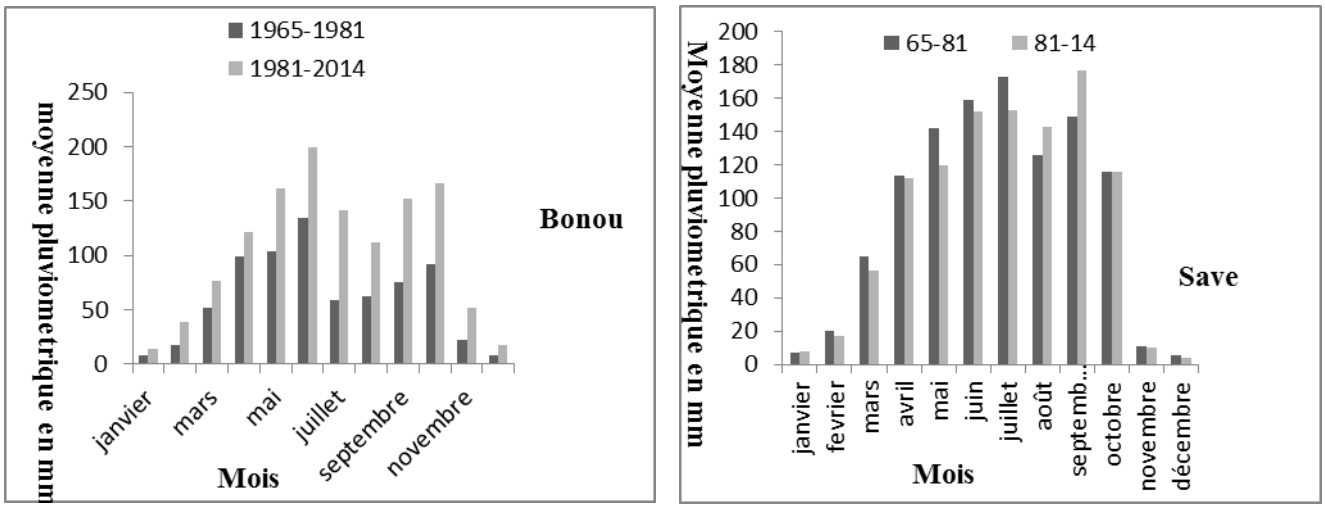


Figure 24: Régime pluviométrique des sous périodes 1965-1981 et 1981-2014 dans l'Ouémé

L'analyse de la figure 24 montre que la saison pluvieuse de la sous période 1965-1981 est plus arrosée à Savè alors que la sous période 1981-2014 est plus arrosé à Savè. Le mois le plus arrosé est juin à Bonou avec une hauteur de pluie ≥ 180 mm et le mois de septembre à Savè avec une hauteur de 180 mm

Le tableau 9 permet de mieux apercevoir le déficit de la sous période des mois les plus humides entre les sous périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans les sous bassins versants du fleuve Ouémé à Bonou et à Savè**.**

Tableau 9 : Excédent pluviométrique des mois les plus humides entre les sous périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou et à Savè

Hauteurs de pluies (mm) dans le sous bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de BONOU					
Mois	1964-2014	1964-1971	1972-2014	Ecart	Excédent
Juin	171	24	200	176	7
Juillet	114	14	134	120	9
Aout	91	6	107	101	17
Septembre	122	13	144	131	10
Total	498	57	585	528	43

De l'analyse du tableau 9, il ressort que la sous-période 1972-2014 est nettement excédentaire. Les quatre mois les plus humides (juin, juillet, août et septembre) fournissent sur la période 1964 - 2014 est de 497 mm d'eau. Ces différents mois ne présentent aucun déficit durant les différents sous-périodes1964-1971 et 1972-2014. Le mois de juin est marqué par une forte pluviométrie observé avec un excédent de 162 mm d'eau.

Tableau 10 : Déficit pluviométrique des mois les plus humides entre les sous périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans le sous bassins versants du fleuve Ouémé à Savè.

Hauteurs de pluies (mm) dans le sous bassin versant du fleuve Ouémé à SAVE					
Mois	1960-2014	1960-1971	1972-2014	Ecart	Déficit en %
Juin	159	206	146	-60	-29
Juillet	169	196	162	-34	-17
Aout	145	172	137	-35	-20
Septembre	170	174	169	-5	-3
Total	643	748	614	-134	-69

De l'examen de ce tableau, il ressort que les quatre mois les plus pluvieux jouent un rôle important dans la péjoration pluviométrique du bassin versant.

Pour le cas de Save, le déficit des mois les plus humides varie de 3 % à 29 %. Le déficit le plus important est enregistré dans le mois de juin (29%). Selon Bricquet et *al.* (1997), le déficit de l'apport en eau pour l'Afrique tropicale est de 16 % durant la décennie 80 contre 7 % au cours de la décennie 70.

Le tableau 11 montre la contribution des mois les plus humides à la réduction du déficit global dans les sous bassin versant de l'Ouémé.

Tableau 11 : Récapitulation de l'impact du déficit/ excédent des mois humides les sous-périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou et à Savè.

BONOU	**1964-2014**	**1964-1971**	**1972-2014**	**Ecart**	**Excédent**
12 mois de l'année	1045	157	1223	1066	7
4 mois humides	498	57	585	528	9
8 mois secs	548	99	638	539	5
Poids des 4 mois dans l'apport annuel (%)	48	36	48		

SAVE	**1964-2014**	**1964-1971**	**1972-2014**	**Ecart**	**Déficit %**
12 mois de l'année	1235	1090	1066	-24	-2
4 mois humides	619	638	615	-23	- 4
8 mois secs	451	451	451	0	Nul
Poids des 4 mois dans l'apport annuel (%)	50	59	58		

L'analyse de ces tableaux, montre que les mois les plus humides contribuent énormément au cumul annuel. Le poids des mois les plus pluvieux

est de 48 % à Bonou alors qu'il varie de 50 à 59 % à Savè. L'écart entre les deux sous périodes est plus significatif à Bonou pendant la zone humide (528 mm).

3.4 Etude de la variabilité des températures dans le bassin versant de l'Ouémé

3.4.1 Variabilité interannuelle de la température

Les figures 25a et 25b, montrent l'évolution des températures minima et maxima dans le bassin versant de l'Ouémé sur la période 1960-2014.

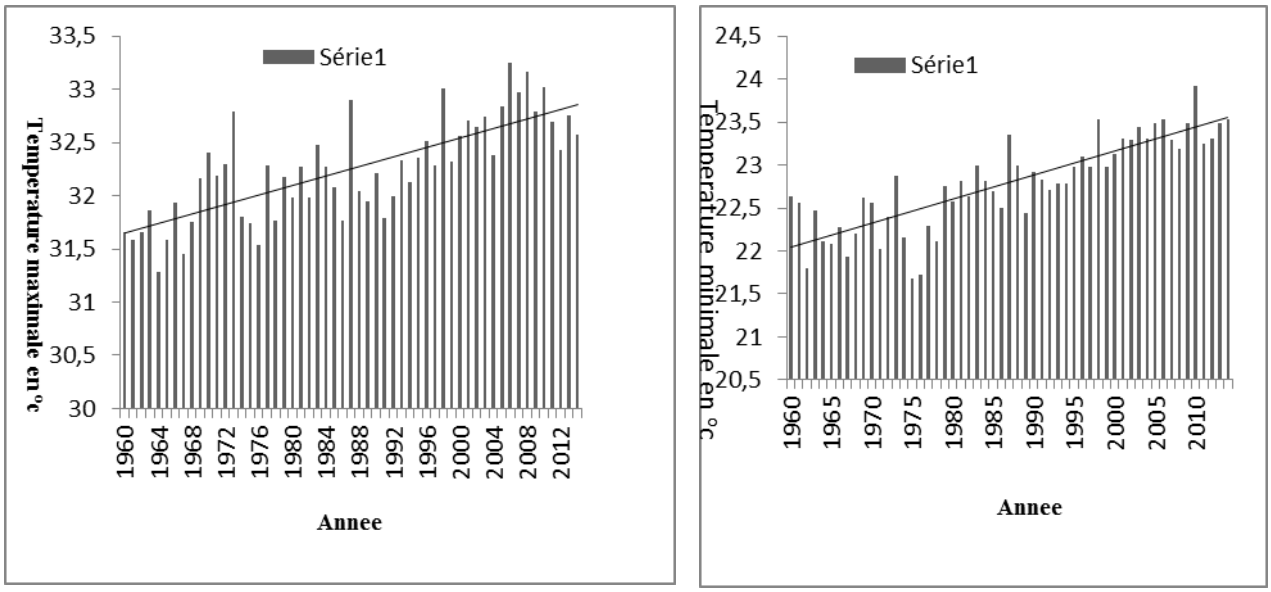


Figure 25: Evolution des températures maximales et minimales dans l'Ouémé (1960-2014)

L'évolution des températures permet de constater une tendance à l'augmentation des valeurs des températures sur la période de l'étude. Cela confirme par ailleurs les données du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat, GIEC(1990), sur le phénomène global du réchauffement de la planète. L'analyse montre une tendance à la hausse des valeurs de températures maximales et minimales. La tendance à la hausse est significative dans les températures minimales. Elle a connu une hausse plus importante sur la période 1999-2010. Cela confirme par ailleurs les données du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat, GIEC (2007), sur le phénomène global du réchauffement de la planète. En Afrique de l'Ouest, les

températures ont évolué quelque peu plus rapidement que la tendance mondiale, avec des augmentations allant de 0,1°C à 0, 3°C par décennie depuis la fin des années 1970 dans les zones sahélienne et soudanienne (CEDEAO-CSAO/OCDE/ CILSS, 2008). La hausse observée est toutefois plus importante sur les températures minimales (jusqu'à plus de +1°C) que sur les maximales (jusqu'à + 0,5°C).

L'évolution des températures présente donc une structuration similaire à l'évolution de l'évaporation. La hausse des températures au sol peut avoir de multiples effets sur les écosystèmes (notamment sur les plantes).

La température moyenne annuelle pour la période 1960-2014 sur le bassin versant est de 27,8°C. Les températures les plus élevées s'observent en mars, avril et mai (figure 25a et 25b) et les plus basses en décembre et janvier, période pendant laquelle sévit l'harmattan.

3.4.2 Variabilité inter mensuelle de la température

Les figures 26a et 26b montrent l'évolution de la température mensuelle maximale et minimale dans le bassin versant de l'Ouémé (1960-2014).

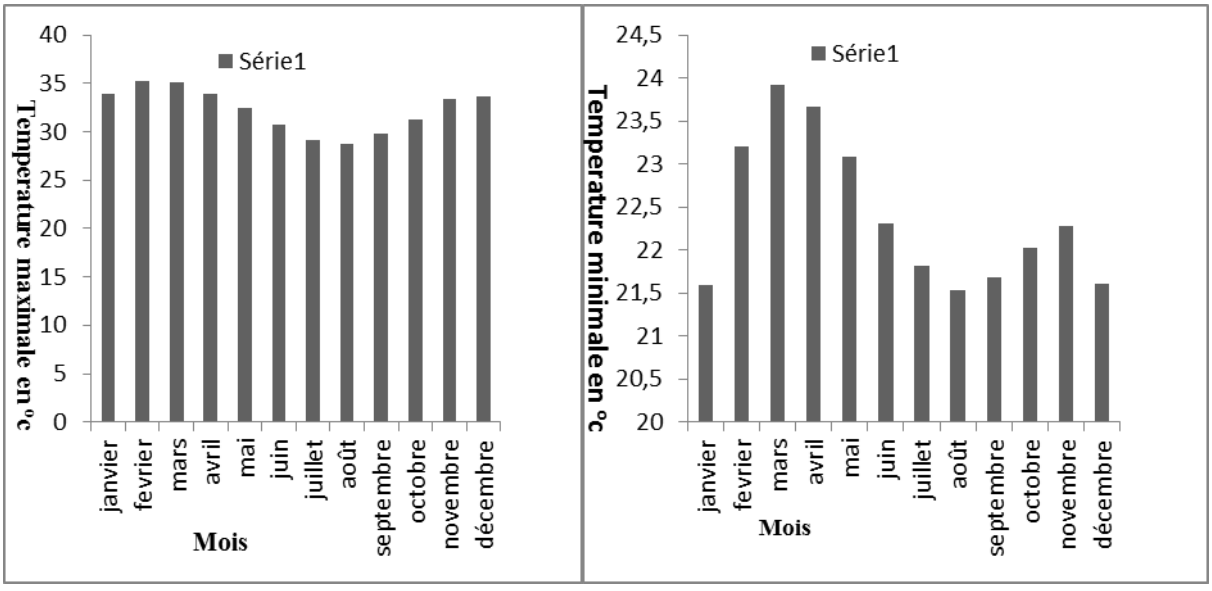


Figure 26 : Evolution saisonnière des températures moyennes maximales et minimales

Les températures moyennes maximales sont en général élevées sur toute l'année et varient entre 30°C et 36°C. En revanche, les minimas varient entre 22°C et 24°C comme l'indique les figures 26a et 26b. Cependant, la fin de la saison des pluies entraîne une augmentation de la température qui va être très rapidement contrariée par la baisse du rayonnement solaire dès novembre.

3.5 Variabilité hydrologique dans les sous bassins versants de l'Ouémé

Elle permet de caractériser la dynamique des régimes et la réalité des déficits d'écoulements, liées notamment à la pluviométrie. Il a été mis en évidence les impacts des fluctuations pluviométriques sur l'écoulement et les bilans hydrologiques du Bassin.

3.5.1 Régime hydrologique moyen dans les sous bassins versants de l'Ouémé

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se définit par les variations de son débit habituellement représentées par l'écoulement mensuel moyen. L'analyse de la répartition mensuelle des débits enregistrés au niveau des stations hydrométriques a permis de caractériser le régime hydrologique des différents sous bassin versant de l'Ouémé (Figure 27).

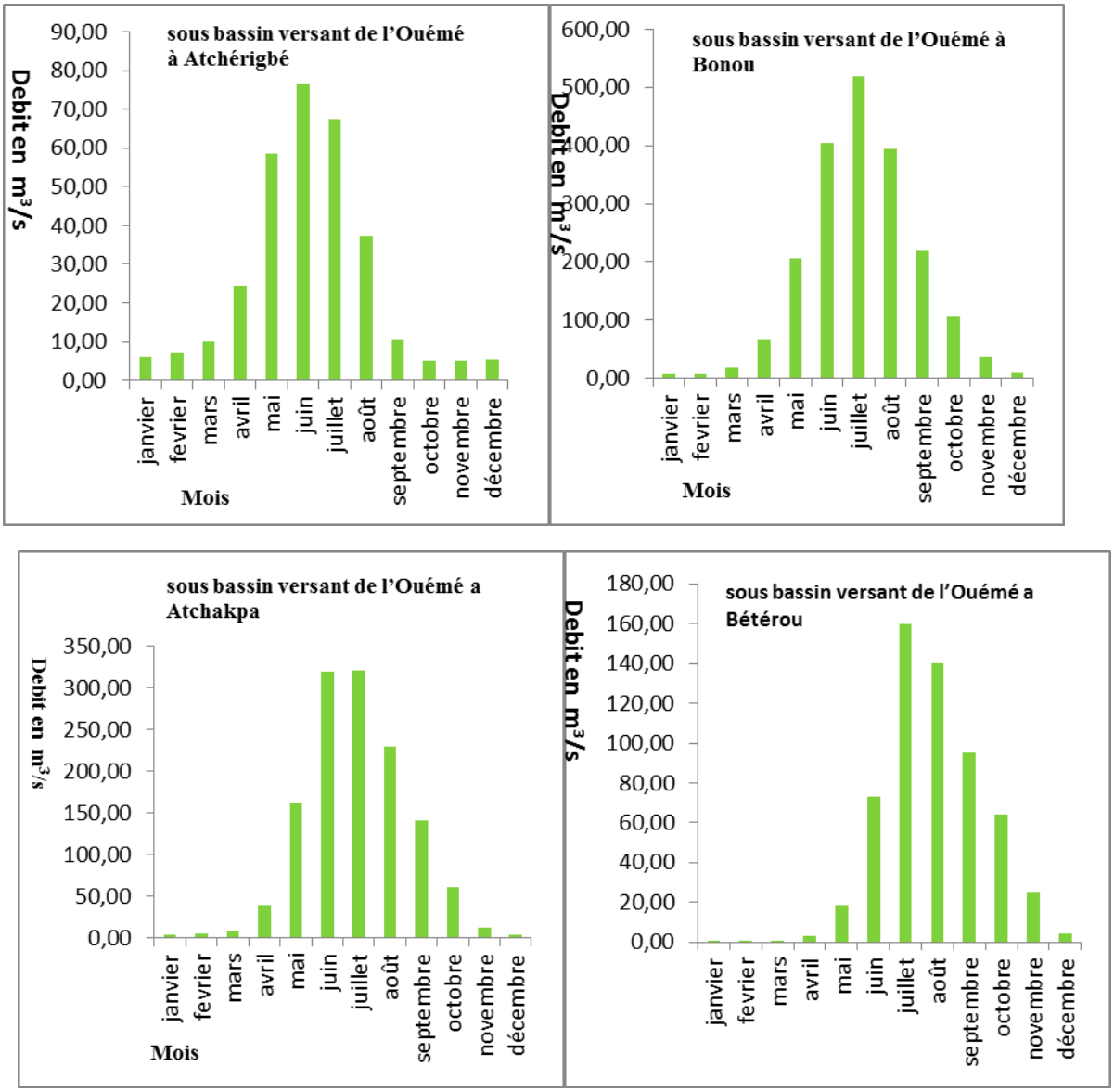


Figure 27: Régime hydrologique moyen dans les différents sous bassin de l'Ouémé

De l'analyse de la figure 27, il ressort que les cours d'eau connaissent le maximum de débit en Juin à Atchérigbé et en juillet à Atchakpa, Bonou et Béterou. Savè et en octobre à Bonou. Les hautes eaux durent généralement trois mois et varie d'une période à une autre (août, septembre et octobre). Ces hautes eaux représentent en moyenne 80 à 90 % de l'écoulement annuel. Cette période est caractérisée par le débordement des cours d'eau qui inondent les champs et mêmes les habitations et perturbent les activités socio-économiques des populations. La décrue est amorcée en fin octobre et atteint son niveau critique en janvier sur l'ensemble des sous bassins versants.

3.5.2 Variation interannuelle des débits dans les sous bassins versants de l'Ouémé

La figure 28 présente l'évolution interannuelle des débits moyens annuels dans les sous bassins versants de l'Ouémé sur la période 1960-2014.

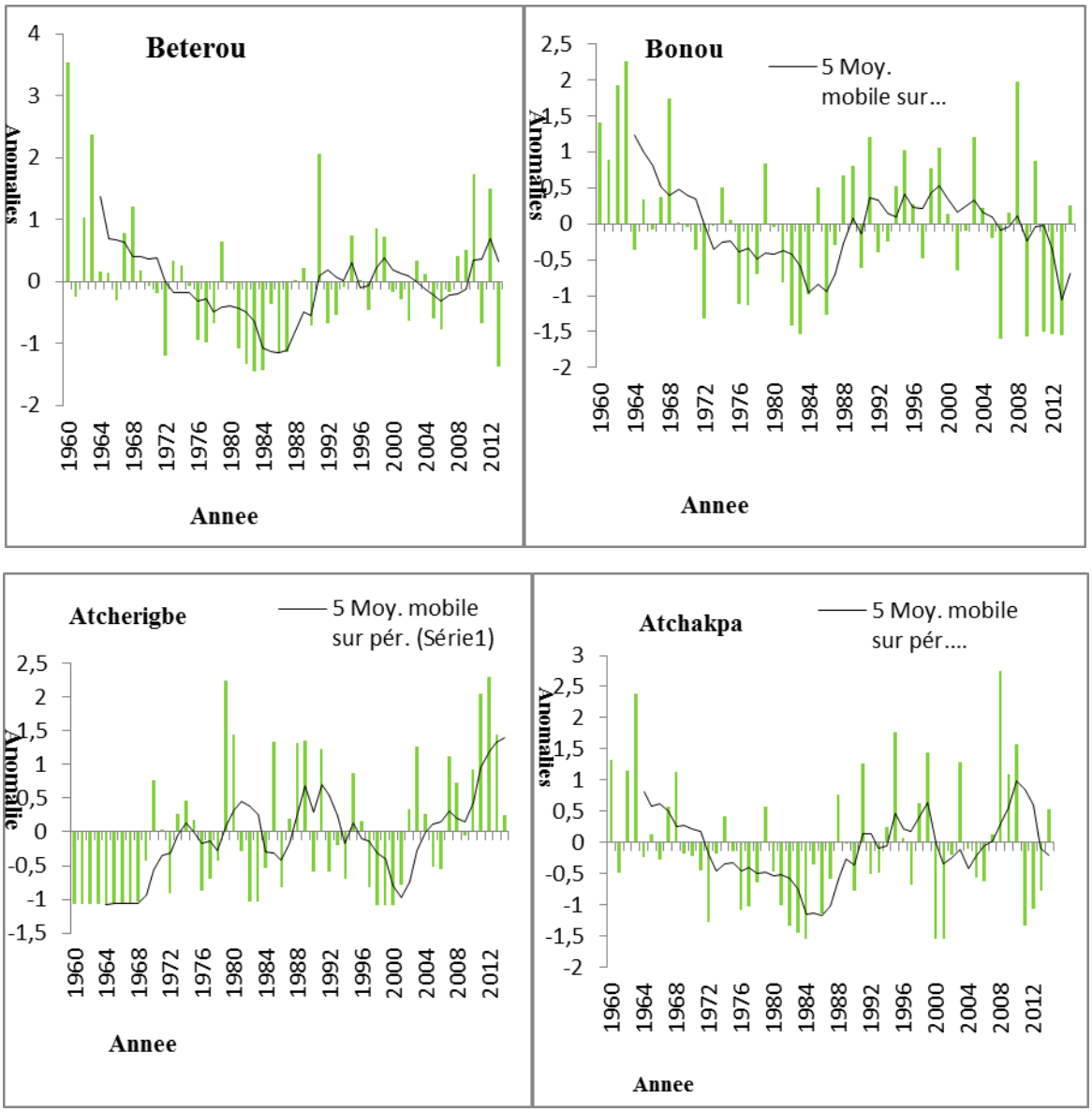


Figure 28: Variabilité interannuelle des débits annuels dans les différents sous bassins

La figure 28 montre une variation importante des débits moyens annuels observée à partir des années 1970 dans les deux sous bassins versants de l'Ouémé. La variation interannuelle des débits et des pluies présente les mêmes tendances. Il convient alors de confirmer la règle qui stipule que la distribution des débits dans un bassin versant soumis à un régime unique, s'ordonne suivant

les mêmes lois statistiques que les distributions des précipitations du bassin versant correspondant (Dakkiche, 1993).

Ainsi le test de pettitt appliqué aux séries hydrométriques dans les sous bassins versants (figure 29) a permis de détecter des ruptures de stationnarité des débits en début des décennies 1968 et 1969 significatives à 90 %.

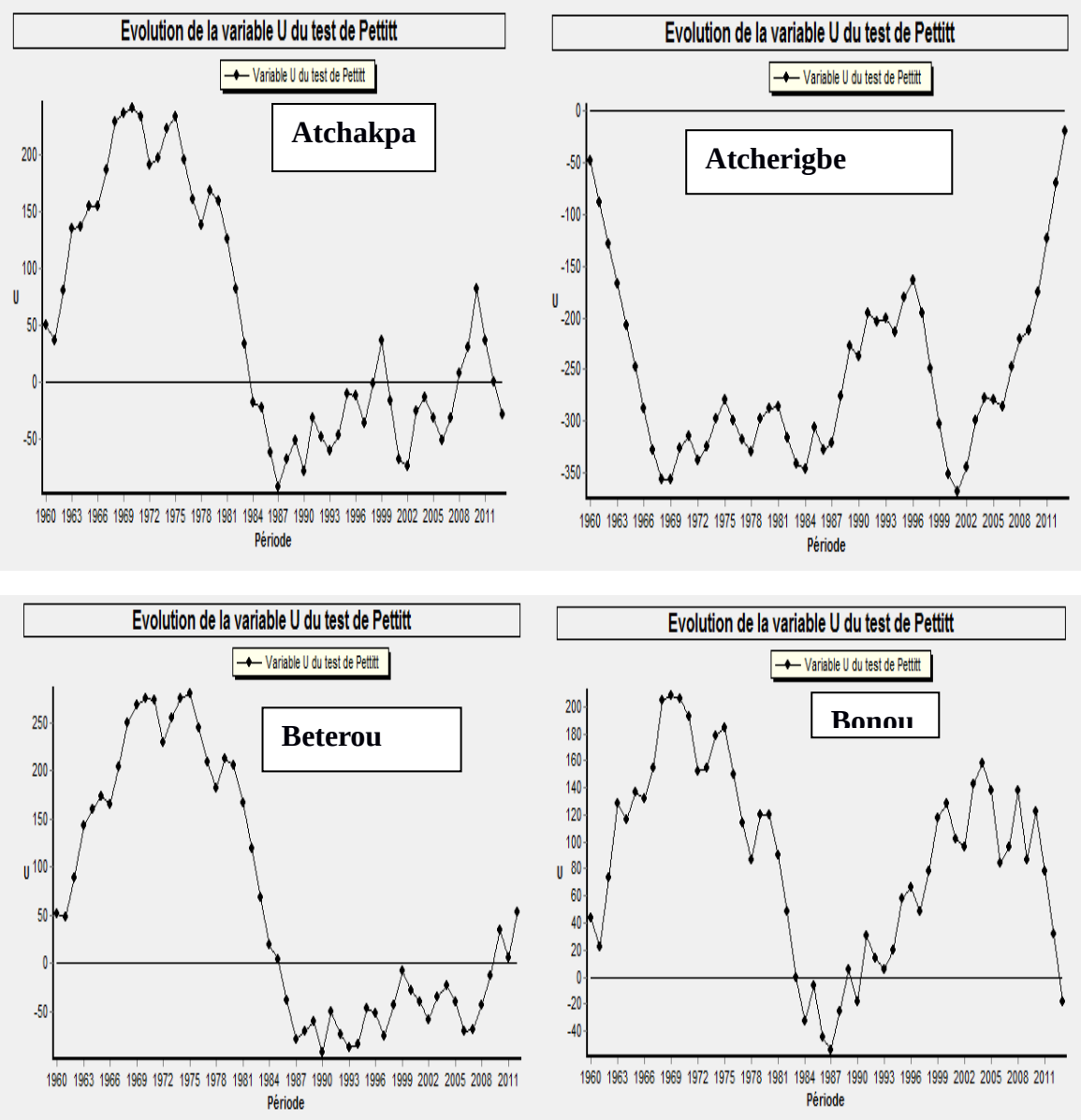


Figure 29: Rupture de stationnarité des débits annuels dans les différents sous bassins

Il ressort de la figure 29 que la rupture pluviométrique dans le domaine subéquatorial à **régime bimodal est observé en 1968 selon le test de Pettitt tandis que des ruptures de stationnarité sont observées en 1968 et 1987 dans**

les domaines sud soudaniens (régime unimodal) et celui de transition en 1969. Ces années de ruptures de stationnarité confirment les études antérieures sur la variabilité pluviométrique en Afrique subsaharienne et au Bénin (Le Barbé, 1993 ; Vissin, 2007 ; Amoussou, 2010 ; Kodja et al ; 2012 ; Akognongbé, 2014 ; Donou, 2015).

L'analyse de Segmentation de Hubert (Tableau 12) a permis de mieux apprécier les sous périodes qui se dégagent de ces années de ruptures de stationnarité.

Tableau 12 : **Segmentation d'Hubert dans les différents sous bassins de l'Ouémé**

Station	Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
ATCHAKPA	**1960**	**1968**	**1928,744**	**837,305**
	1969	**2014**	**1080,567**	**719,377**
ATCHERIGBE	**1960**	**1968**	**9,633**	**2,894**
	1969	**2006**	**278,568**	**231,648**
	2007	**2014**	**642,313**	**238,636**
BETEROU	**1960**	**1980**	**676,562**	**341,214**
	1961	**1987**	**157,414**	**116,665**
	1988	**2013**	**598,312**	**295,939**
BONOU	**1960**	**1968**	**2872,689**	**1259,983**
	1969	**2014**	**1701,993**	**1046,486**

Source : OYEDE, 2017

Il ressort de l'analyse du tableau 12 que la sous-période 1960-1968 dont les moyennes pluviométriques annuelles sont respectivement de 1928,74 ; 2872,68 mm à Atchakpa et Bonou sont supérieure à celle de la période 1969-2015(1080,56 mm ; 1701,993 mm) soit un déficit pluviométrique négatif de 848.18 ce qui confirme que la sous période 1960-1968 est supérieure à celles d'après dans ces deux stations énumérées ci-dessus.

En ce qui concerne le domaine à régime unimodal, il est observé que la sous période 1960-1980 (676,562 mm) est supérieur à la sous période 1961-1987 (157,414 mm). Cette dernière sous période est en régression par rapport à la sous période 1988-2013 (598,312 mm).

3.5.3 Evolution intra-saisonnière des régimes hydrologiques dans les sous bassins versants de l'Ouémé

La figure 30 montre l'évolution intra saisonnière des écoulements dans les sous bassins versants de l'Ouémé à Bonou. L'étude de l'évolution intra saisonnière des écoulements permet de mettre en évidence les variations des écoulements dans les sous bassins versants de l'Ouémé.

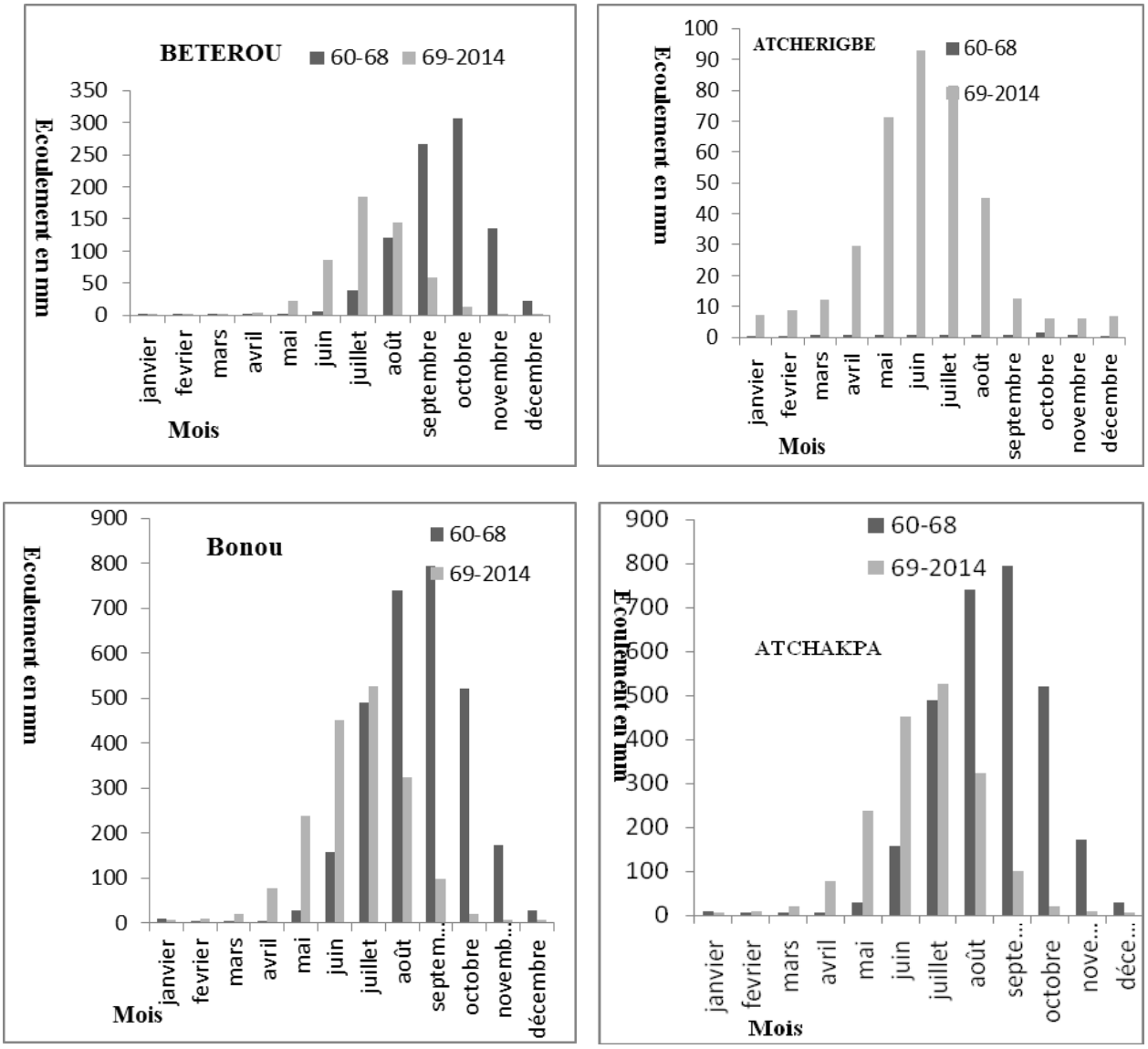


Figure 30: Variation du régime hydrologique dans les différents sous bassins versant de l'Ouémé

De l'analyse de la figure 30, il ressort que les écoulements de la période 1960-1968 sont plus importants dans le sous bassin versant de Bonou et

Atchakpa spécialement au cours des mois de juillet, aout et septembre. Les baisses les plus significatives sont intervenues au cours des mois de janvier- juin. Par contre pour la période 1969-2014, les écoulements sont presque négligeables au cours des quatre premiers mois de l'année et très significatives dans le zou avec un maximum de pic dans le mois de juin.

3.5.3 Analyse hydrométéorologique de la sécheresse dans le bassin de l'Ouémé à Bonou

L'analyse de deux indices annuels de sécheresse dans le bassin montre qu'il existe différents degrés de sécheresse sur la période de 1960 à 2014. La figure 32 montre, à travers une analyse comparée de deux indices de sécheresse (PDSI, PHDI), que le bassin a connu une variation de sécheresse sur la période de 1960 à 2014

La figure 31 montre l'indice de sécheresse météorologique et hydrologique dans le bassin.

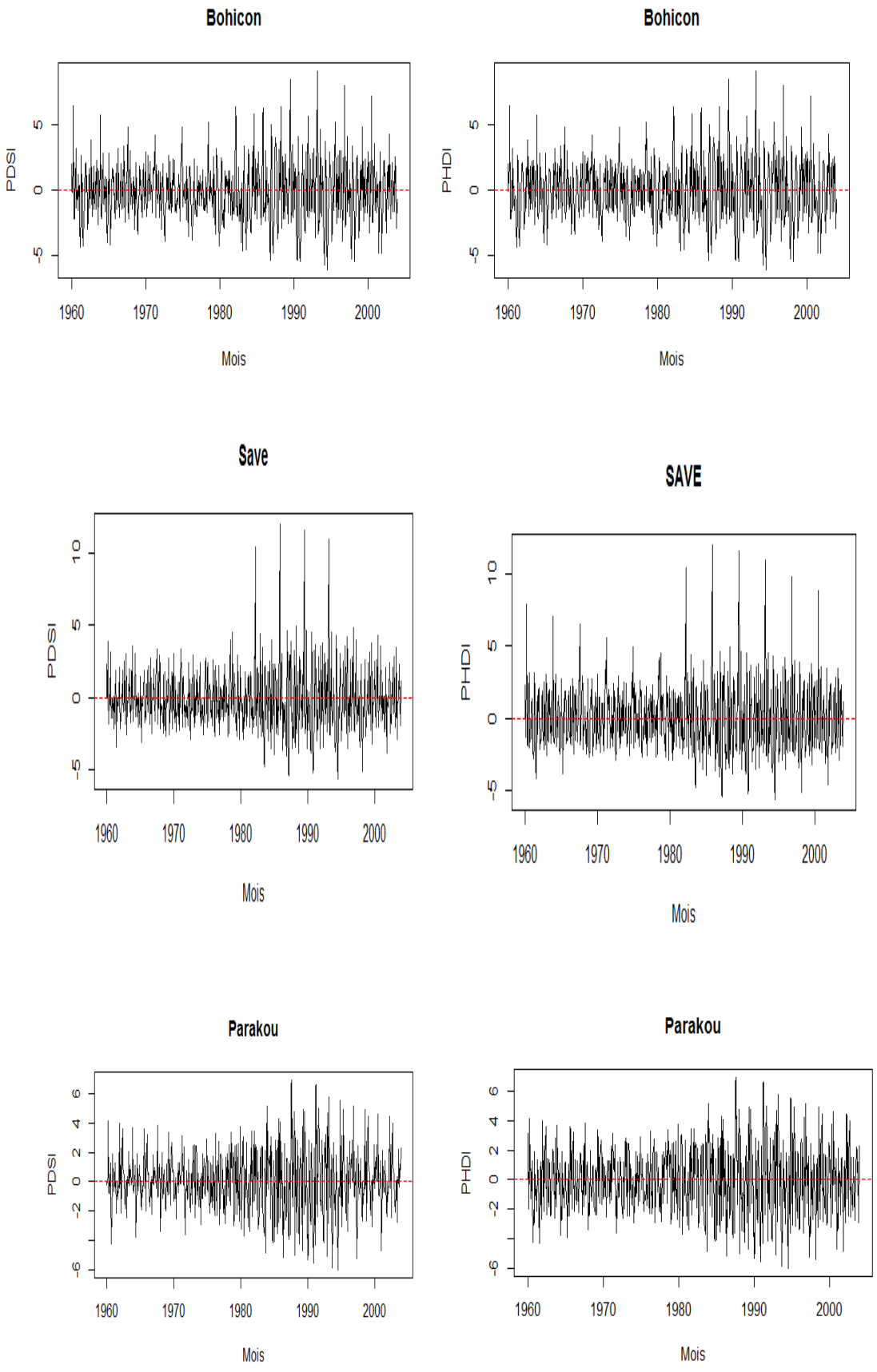


Figure 31: Indice de sécheresse météorologique et hydrologique

De l'observation de cette figure, il ressort que les indices de sécheresse météorologique et hydrologique calculés à partir des moyennes annuelles de précipitations et de températures ont permis d'identifier les mêmes années de sécheresse dans la même station. Ce qui signifie qu'il existe une bonne corrélation entre ces deux indices. Ces indices (PDSI et PHDI) permettent d'identifier le début et la fin d'une période sèche. Aussi tout comme les autres indices, la sévérité ou la magnitude de la sécheresse peut être mesurée. L'identification du début et de la fin d'une période sèche à partir de ces indices est dû au fait que le PHDI est dérivés du PDSI qui est un indice qui prend en compte l'état d'humidité du mois précédent, ce qui permet de faire un cumul pour ressortir la durée d'une période de sécheresse.

Ainsi, le bassin a connu différentes périodes de sécheresse aussi bien météorologique qu'hydrologique au sud du bassin, nous observons des valeurs (PDSI, PHDI) $\leq$ -3 dans les années 1987, 1991, 1994 et 1998. Cela traduit donc une sécheresse sévère dans cette période.

Au centre du bassin, on note une variation d'indice. Les valeurs comprises entre [-3, -5] sont enregistrées dans la période allant de 1983 à 1998, ce qui traduit des moments de sécheresse aussi sévère qu'extrême. Par contre il est observé des valeurs $\geq$ 4. Ce qui marque des années extrêmes humides en 1982, 1988, 1992 et 1995.

Au nord du Bassin, il est enregistré des sécheresses extrêmement sèches dans les années 1983, 1989, 1991, 1995 et 1997. Il faut signaler qu'après l'année 1989 il y eut une reprise des précipitations qui n'ont jamais atteint la normale jusqu'à ce jour. Les années 1997 à 1999 ont été relativement humides mais à partir de 2000 jusqu' en 2008, cette zone est restée sous l'influence d'une sécheresse plus ou moins modérée.

En comparant les indices PDSI et PHDI, il est observé de très fortes corrélations entre ces deux indices (Figure 31). Ceci montre que ces deux indices ont identifiées à quelques différences près les mêmes périodes de sécheresse avec les mêmes degrés de magnitude. En somme, nous pouvons dire qu'au pas de temps annuel, que les indices météorologique et hydrologique ont permis d'identifier les années et périodes marquées par des phénomènes de sécheresse.

3.6 Bilan hydrologique du bassin versant de l'Ouémé

La figure 32 présente le comportement hydrologique du bassin du fleuve Ouémé en rapport avec le bilan climatique.

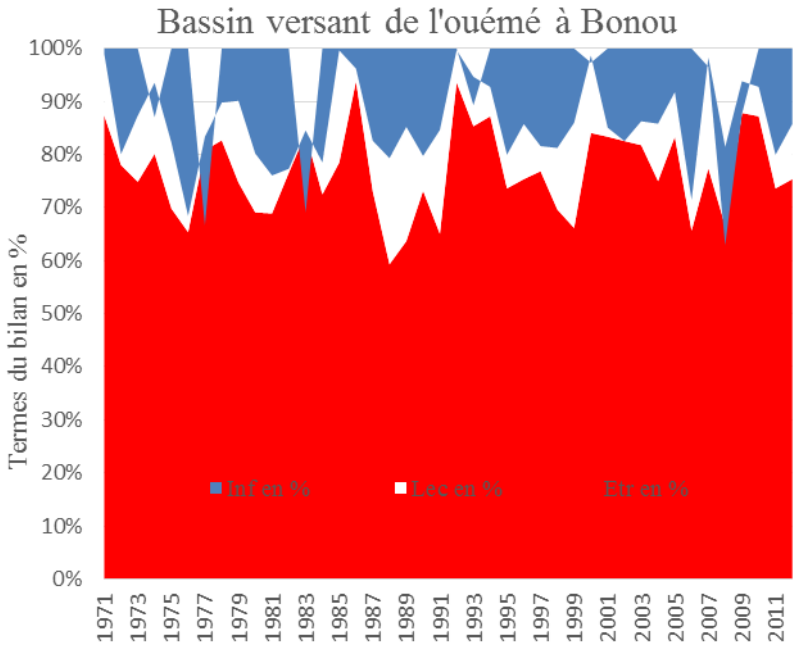


Figure 32: Variation des thèmes du bilan hydrologique dans le bassin de l'Ouémé à Bonou de 1971 à 2012

Il ressort de la figure 32 que la pluie est l'élément fondamental qui conditionne les autres paramètres du bilan hydrologique. Ainsi des pluies moyennes de 1200mm ont entraîné un écoulement moyen de 150mm, des infiltrations moyennes de 250 mm et une évapotranspiration de 800mm. Il s'ensuit donc que pour 100 % de pluie dans le bassin, 66 % sont destinées à l'évapotranspiration, 12 % à l'écoulement et 20 % l'infiltration. Le taux d'évaporation est donc très élevé sur l'ensemble du bassin. Il est à remarquer

que la période de récession pluviométrique (1971-1987) enregistre moins d'évaporation, et d'écoulement que la période de retour des hauteurs de pluies (1988-2012) sur le bassin. Cela confirme effectivement que la pluie impacte les autres paramètres du bilan hydrologique principalement l'écoulement des cours d'eau.

3.7 Evolution des débits maximaux dans les sous bassins versant de l'Ouémé

L'étude des débits maximaux permet de connaitre les débits provocateurs des crues et inondations dans le bassin versant ces dernières années.

La figure 33 montre l'évolution des débits maximaux dans les sous bassins versant de l'Ouémé à Bonou

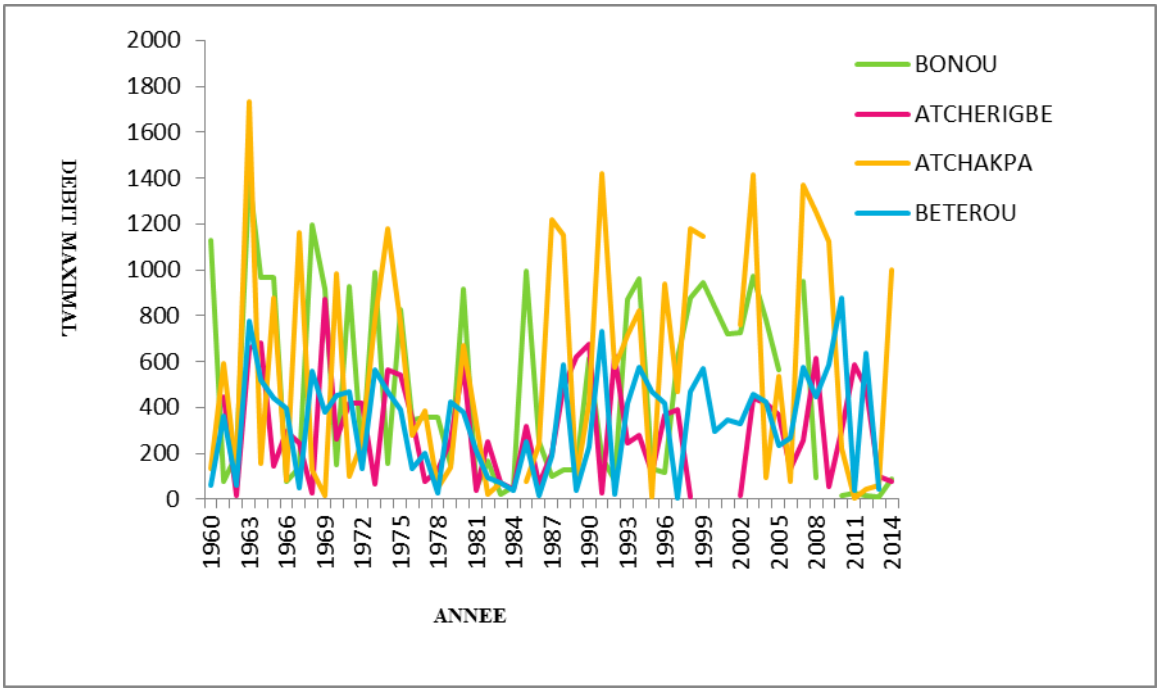


Figure 33: Evolution des débits maximaux dans les sous bassins de l'Ouémé 1960-2010

De l'analyse de la figure 33, il ressort que les débits maximaux dans les sous bassins versants présentent une variation importante avec un maximum de pic en 1963 à Atchakpa (1700 m^3). Les sous bassins de Bétérou et Atchérigbé ne présentent pas un maximum assez significatif au cours de cette période. Les débits de pointe permettent de comprendre l'évolution ou non des crues .Cette compréhension du bassin versant est déterminée par la combinaison complexe

des divers éléments caractérisant l'organisme fluvial : Etat de saturation du sol, importance des pentes, densité de drainage, taux de couverture végétale, forme du bassin versant,…etc. (Fares, 2012).

Dans le bassin versant de l'Ouémé, les débits maximaux s'installent entre les mois de septembre et octobre. Ces débits maximaux présentent près de 70 % de flux annuel du bassin versant. Les années extrêmes enregistrées sont 1960, 1962, 1967, 1974, 1980, 1986, 1989, 1996, 2008et 2010 dans le sous bassin versant de Bonou. De même dans le sous bassin versant de Atchakpa les années extrêmes sont 1960, 1963, 1967, 1974, 1980, 1989, 1992, 2008. Ces débits se manifestent souvent par d'importantes inondations qu'affrontent les populations avec les moyens dont elles disposent.

3.8 Analyse fréquentielle et intensité des pluies maximales

3.8.1 Analyse fréquentielle des précipitations dans les différentes stations

La figure 34 montre l'ajustement de la loi GEV dans les différentes stations du bassin versant de l'Ouémé

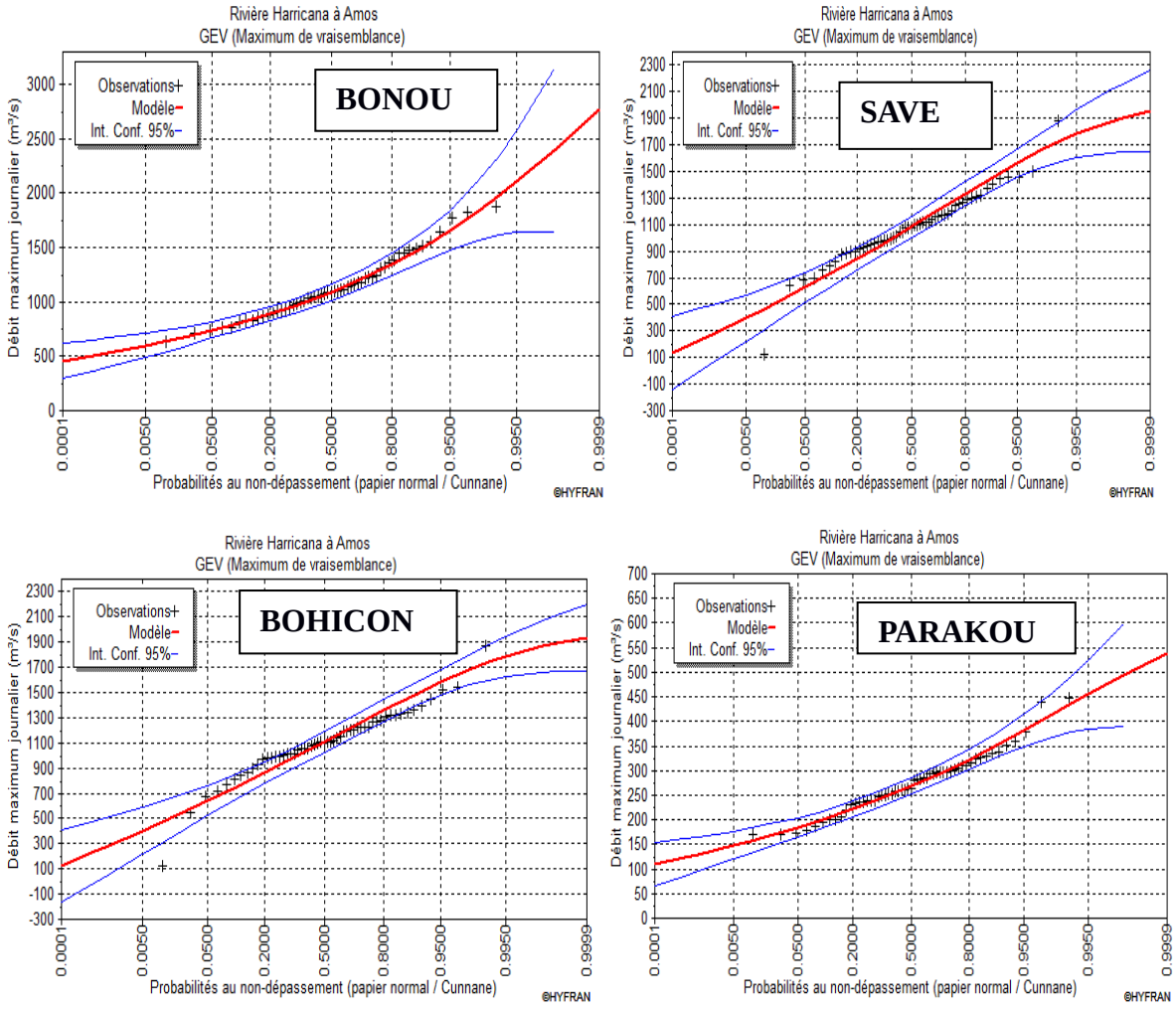


Figure 34: Ajustement de la loi GEV dans les différentes stations du bassin versant de l'Ouémé

De l'analyse de la figure 34, il ressort que toutes les séries pluviométriques s'ajustent bien aux lois GEV avec une marge d'erreur de 5 %. Conformément à la méthodologie de l'analyse fréquentielle, il faut assurer l'indépendance et la stationnarité de la série (Meylan ; Musy, 1999).

Ainsi, les hypothèses d'indépendance et de stationnarité ont été vérifiées. L'hypothèse d'indépendance a été validée à l'aide du test de Wald-Wolfowitz (Walet Wolfowitz, 1943). Les tests de stationnarité utilisés sont respectivement ceux de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945) et de Kendal (Kendal, 1975).

Tableau 13 : Résultats des tests statistiques appliqués aux hauteurs de pluie maximaux dans l'Ouémé

STATION	TEST D'INDEPENDANCE		TEST DE STATIONARITE	
STATION	**U**	**P-value**	**K**	**P-value**
SAVE	**0.27**	**0.828**	**0.123**	**0.902**
BONOU	**0.107**	**0.915**	**0.232**	**0.816**
BOHICON	**0.835**	**0.404**	**1.33**	**0.184**
PARAKOU	**1.73**	**0.0830**	**0.407**	**0.684**

Source : traitement de données m^3/s

Tableau 14 : Estimation des caractéristiques de hauteurs de pluies et leurs intervalles de confiance par la loi GEV dans le bassin de l'Ouémé.

Stations	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
BONOU	**1090 [1020-1170]**	**1350 [1240-1450]**	**1510 [1370-1640]**	**1660 [1470-1840]**	**1840 [1570-2120]**	**1980 [1610-2340]**
SAVE	**1080 [1000-1160]**	**1330 [1240-1420]**	**1460 [1360-1560]**	**1560 [1450-1670]**	**1670 [1530-1800]**	**1730 [1580-1880]**
BOHICON	**1110 [1030-1190]**	**1360 [1270-1450]**	**1480 [1390-1580]**	**1580 [1480-1680]**	**1680 [1560-1800]**	**1740 [1600-1880]**
PARAKOU	**268 [251-285]**	**322 [301-343]**	**354 [328-380]**	**382 [349-414]**	**414 [368-459]**	**435 [378-492]**

Source: traitement des données

De l'analyse du tableau 14, il ressort que les pluies maximales responsables des inondations fréquentes ont une valeur située entre 1000 et 1450 mm/jours au Sud et au centre du pays tandis que cette valeur se situe entre 251 et 343 mm/jours dans le septentrion.

3.8.2 Intensité des pluies maximales dans le bassin versant

Pour analyser l'intensité des séries maximales sur le bassin versant, il a été ajusté à chacune des séries de maximales journalières. La figure 35**,** montre l'intensité de la pluie maximale en fonction de sa période de retour qui en découle.

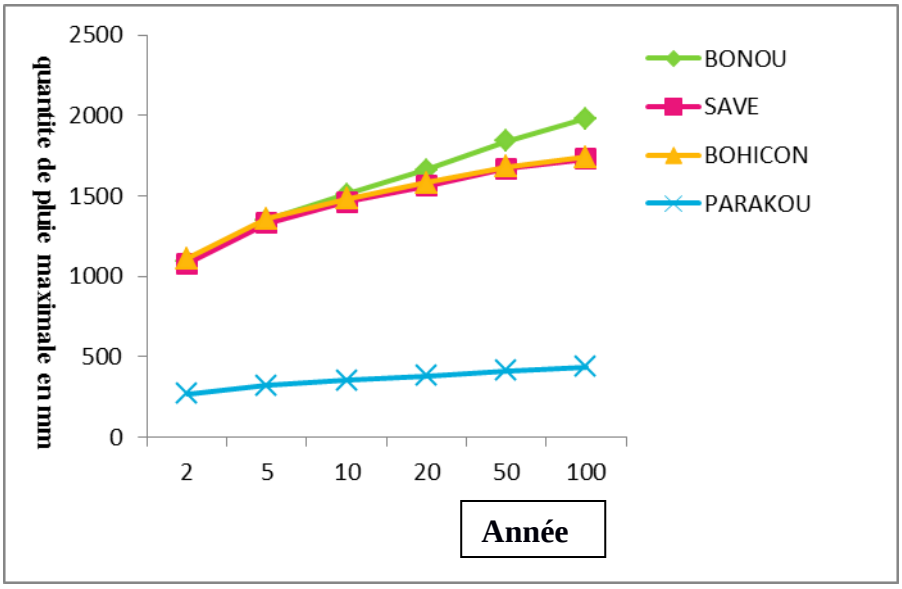


Figure 35: Intensité de pluie maximale dans les différentes stations

Les courbes d'intensité (au pas de temps annuel) décrivent les intensités des pluies de différentes durées qui peuvent survenir dans le bassin versant. Ces courbes montrent les temps de retour de 2, 5, 10, 20, 100 ans. L'allure des courbes obtenues pour les différentes stations diffèrent d'une région à une autre. Les périodes de retour dans les régions du Sud et du centre au cours de lapériode1960-2014 sont quasi égales. Mais celle relative à la station du Nord est significativement faible. Ce qui traduit que les données traitées sont homogènes dans leur globalité. Le quantile des précipitations maximales journalières de temps de retour de deux ans varie de 1000 à1450 mm au sud et au centre du pays. Une pluie est d'autant plus intense que sa récurrence est grande (Musy etHigy, 2004).

3.9 DISCUSSION

Les précipitations ont été largement amplifiées en intensité pluviométrique dans certaines stations de l'Ouémé particulièrement à Bonou. Cela suggère une diminution importante des aquifères et de leurs niveaux piézométriques puisque ces derniers freinent le passage de l'écoulement d'eau. Les corrélations entre les termes du bilan hydrologique présentent, sur l'ensemble du bassin, des valeurs élevées. La dépendance des écoulements à la pluie à Savè est cependant beaucoup plus importante que celle observée dans le sous bassin de l'Ouémé à Bonou. Dans ce sous bassin, on note en revanche une faible corrélation entre écoulement et recharge, ce qui n'est pas le cas du sous bassin de Savè. L'évaluation des conséquences de la baisse pluviométrique sur les écosystèmes dans la zone étudiée a permis de caractériser les risques hydroclimatiques en terme de déficit ou d'excès d'eau.

Les extrêmes pluvio-hydrologiques ont connu une augmentation sur la période 1960-2014 dans le bassin versant du fleuve Ouémé. Les hauteurs des pluies maximales journalières annuelles ont connu une évolution significative au cours de la période d'étude de même que les débits maximaux. Il faut noter que les débits extrêmes ont tendance à mieux s'ajuster à la loi GEV avec un intervalle de confiance à 95 %.

De nombreuses études ont montré le lien étroit entre la variabilité pluviométrique et la variabilité des écoulements (Paturel et *al.*1997 ; Mahé et al. 2005). Les écoulements des grands fleuves varient de façon concomitante avec les précipitations, mais de façon non linéaire, puisque la diminution relative des écoulements est plus importante que celle des pluies.

SYNTHESE

La problématique des risques hydroclimatiques s'exprime en termes de variabilité, de surabondance en un temps très court (inondation) ou de déficit en eau (sécheresse) puis de la qualité de l'eau. En somme il s'agit de l'amenuisement de la disponibilité et de la dégradation de la qualité de l'eau. Plusieurs impacts actuels de la variabilité accentuée du climat ont été relevés sur les ressources en eau et les secteurs connexes. Ces impacts se traduisent par des sécheresses intenses impliquant le tarissement de certains cours d'eau dans le bassin de l'Ouémé. Aussi des impacts sur la santé en matière de recrudescence de maladies liées à l'eau ont été relevés de même que la dégradation des infrastructures de transport rural.

Le besoin d'un renforcement de capacité s'avère indispensable pour mieux cerner les questions liées aux risques hydroclimatiques ainsi que les conditions d'adaptation. A cet effet, les options potentielles suivantes pourraient être mises en œuvre : il s'agit de :

i) la mise en place d'un système d'alerte précoce aux inondations et à la sécheresse ;
ii) la construction de digues de protection ;
iii) la construction de retenues d'eau sur les cours des principaux fleuves et rivières.

Le chapitre suivant traite de l'analyse de l'influence des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou.

CHAPITRE IV : ANALYSE DE L'INFLUENCE DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES SUR LES ECOSYSTEMES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUEME A BONOU

Les risques hydroclimatiques sont des phénomènes naturels, violents ou extrêmes, d'origine météorologique ou climatique, qui peuvent se déclencher en n'importe quel point de la planète. Ils constituent des évènements ponctuels (les tornades, les inondations, les sécheresses), généralement associés à des conséquences négatives qui peuvent se manifester sous la forme d'un désastre (KOUMASSI, 2014).

Comprendre l'impact des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes est souvent difficile car ces écosystèmes sont variables dans l'espace. Alors toute modification du climat entraine un déplacement des écosystèmes, et leur disparition si les espèces ne peuvent pas suivre leur niche climatique ou si cette niche sort des limites altitudinales des régions concernées (Thuiller et al, 2005).
Ce chapitre est consacré à l'analyse des risques hydroclimatiques dans le bassin versant et à la détermination de l'influence de ces risques sur les écosystèmes dans le bassin versant.

4.1 Analyse des risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou

L`Afrique demeure le continent le plus vulnérable aux risques naturels. Tous les pays d'Afrique de l'ouest sont vulnérables aux extrêmes hydroclimatiques (sécheresse et inondations). De plus, au Bénin, plusieurs études ont été réalisées sur les risques hydroclimatiques. Par exemple dans le cadre du projet PANA (2008), cinq principaux risques climatiques ont été abordés dont : les inondations, les épisodes de sécheresse, les pluies tardives et violentes, les chaleurs excessives. Parmi ces risques, les inondations et la sécheresse constituent des risques hydroclimatiques majeurs dans le bassin versant de l'Ouémé.

4.1.1 Analyse de risque d'inondation

L'analyse du risque d'inondation consiste à déterminer l'aléa d'inondation et à cartographier les zones à risque d'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé. Dans le contexte de l'étude des risques, l'aléa se définit comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène. Il dépend de l'intensité du phénomène et de son occurrence, mais aussi de la durée considérée et de l'espace pris en compte (Bouchir, 2007).

4.1.1.1 Caractérisation de l'aléa hydrologique

La caractérisation de l'aléa hydrométéorologique se fait selon Fouchier (2010) par la détermination de sa probabilité d'occurrence temporelle (estimée par la période de retour) et spatiale (influencée par la climatologie 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 durée (durée des précipitations, durée de la crue). Seul les risques d'inondation pluvial et fluvial sont pris en compte, ce sont seulement les aléas hydrologique et pluviométrique qui sont étudiés.

Fréquence des débits maximaux dans les sous bassins versants de l'Ouémé

La figure 36 traduit un ajustement des séries hydrologiques par la loi de GEV sur la période 1960-2014).

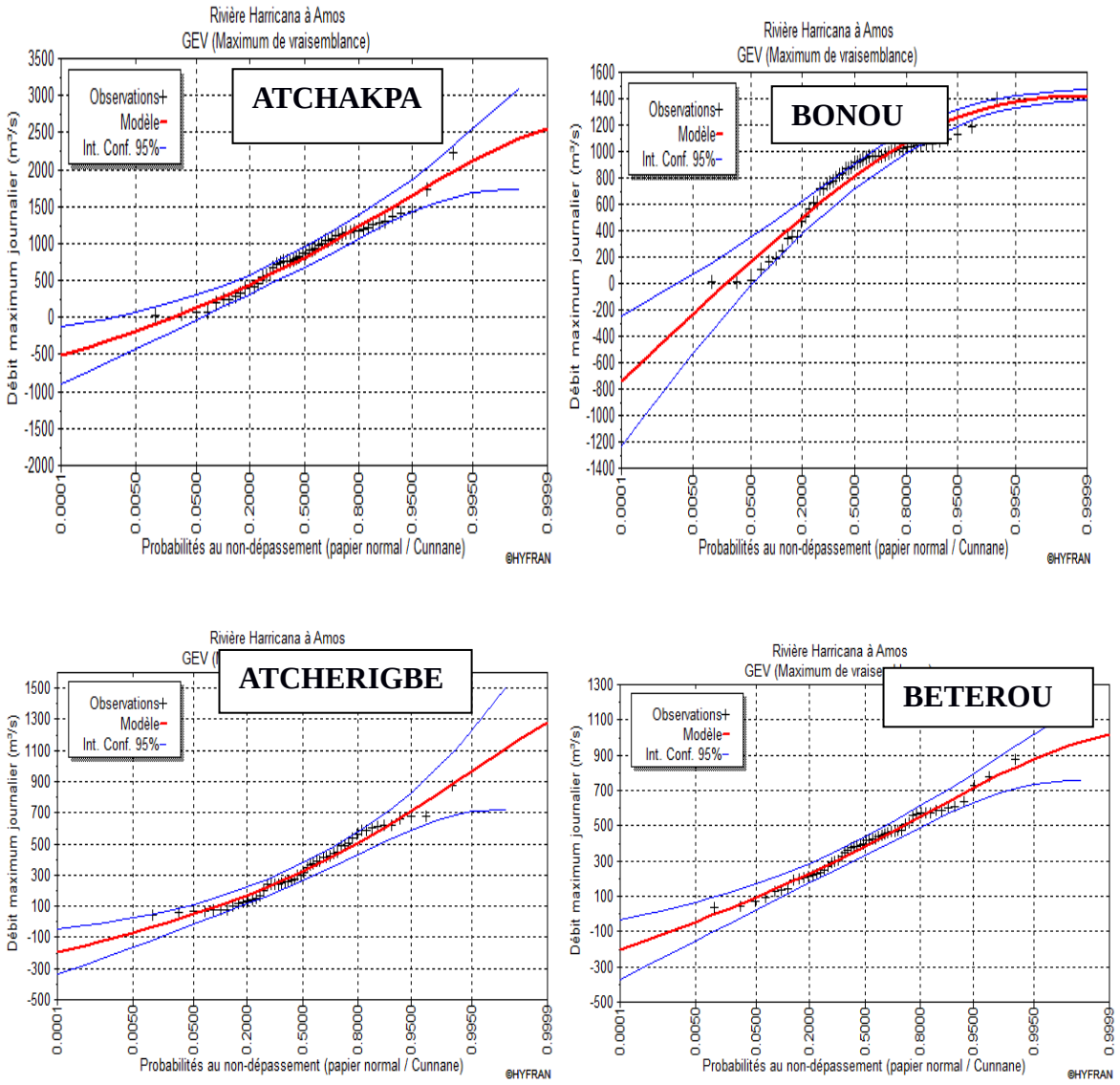


Figure 36: Ajustement de la loi GEV au débit maximal dans les différents sous bassins de l'Ouémé

L'analyse de la figure 35 permet de déduire que l'ajustement est dans son ensemble satisfaisant car la droite d'équation passe par les points expérimentaux. Pour vérifier la fiabilité des résultats, l'application des tests d'indépendance et de stationnarité s'avère nécessaire. Ainsi, les débits de pointe ont été soumis à ces différents tests statistiques (tableau 15).

Tableau 15 : Résultats des tests statistiques appliqués aux débits maximaux dans l'Ouémé

STATIONS	Test d'indépendance		Test de stationnarité	
	U	P (0,05)	K	P (0,05)
BONOU	**2.91**	**0.00367**	**2.16**	**0.0306**
ATCHAKPA	**1.61**	**0.108**	**0.702**	**0.483**
ATCHERIGBE	**0.759**	**0.448**	**0.734**	**0.463**
BETEROU	**1.40**	**0.161**	**0.343**	**0.731**

Source: traitement des données

L'analyse des données du tableau 15, permet de constater que, les débits de pointe sur les différents sous bassins versants sont indépendants et stationnaires. Il résulte de l'analyse au niveau de signification de 1 à 5 % que toutes les stations obéissent aux exigences de l'analyse fréquentielle. Toutes fois, sur la station de Bonou, les séries hydrologiques sont non indépendantes et non homogènes. Cet état de chose s'explique par les lacunes observées au niveau des débits journaliers à Bonou.

A partir de la loi GEV, les quantiles des débits maximaux ont été calculés pour différentes périodes de retour et leurs intervalles de confiance. Voir (Tableau 16).

Tableau 16 : Estimation des débits caractéristiques et les intervalles de confiance par la loi GEV

Stations	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
BONOU	800 [714-906]	1070 [988-1160]	1180 [1110-1260]	1260 [1190-1320]	1320 [1270-1380]	1350 [1310-1400]
ATCHAKPA	815 [680-949]	1230 [1070-1390]	1450 [1270-1640]	1640 [1420-1870]	1860 [1560-2150]	1990 [1630-2350]
ATCHERIGBE	321 [263-379]	504 [430-577]	612 [520-704]	708 [590-826]	821 [655-987]	898 [687-1110]
BETEROU	385 [330-439]	551 [489-613]	640 [571-706]	712 [632-792]	789 [687-890]	837 [716-958]

Source : Traitement des données (m^3/s)

L’analyse fréquentielle des débits journaliers maximums annuels permet d’estimer les débits de crue ayant une probabilité de subvenir dans le bassin versant. Ainsi, les débits de crue ayant une probabilité sur deux de subvenir dans les différents sous bassins versant de l’Ouémé varient d’une région à une autre. Généralement ces débits sont en baisse au Nord du pays comparativement au Sud. Elle est comprise entre 714 et 906 m3/s à Bonou et entre 330 et 439 m3/s à Bétérou.

Il ressort de l’analyse du tableau 16 que les inondations fluviales fréquentes sont causées par les crues dont les débits de pointe se situent entre 714 et 1160 m^3/s. autrement dit, les débits dont les périodes de retour se situent entre 2 et 5 ans. De même, les crues responsables des inondations fluviales moyennes ont des débits situés entre 1110 et 1320 m^3/s. Et enfin les inondations fluviales rares sont causées par les débits dont les périodes de retour sont situées entre 50 et 100 ans avec des valeurs allant de 1270 à 1400 m^3/s.

Aussi, les débits de crues fréquentes (2 ans) et décennales (10 ans) sont à l’origine des inondations de plus en plus fréquentes observées dans le bassin versant. Dans la même logique les débits de crue rare (période de retour supérieur ou égale à 50 ans) se situent entre 1270 et 1400 m^3/s à Bonou, entre 655 et 1110 m^3/s à Atchérigbé, entre 687 et 958m^3/s à Bétérou et enfin entre 1560- 2350m^3/s à Atchakpa.

Durée des évènements hydropluviométriques dans le bassin versant

La figure 37, traduit l'évolution du nombre des jours de pluie sur les différentes stations du bassin versant de l'Ouémé de 1960 -2014.

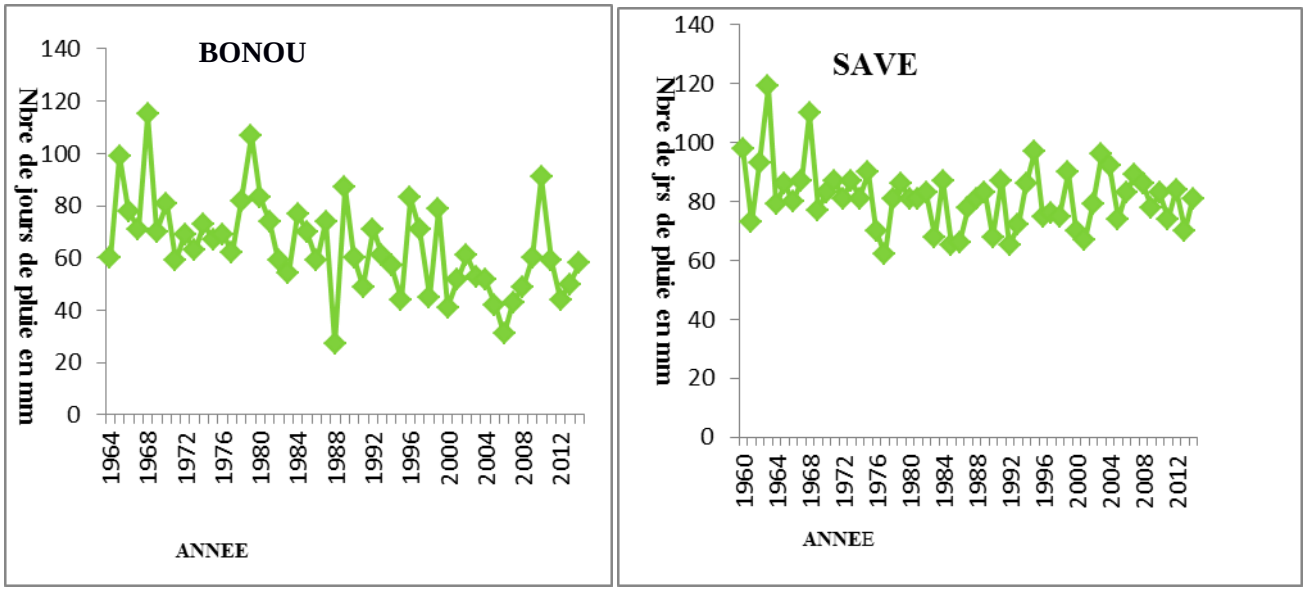


Figure 37: Nombre de jours de pluie dans les sous bassins versant de l'Ouémé de 1960-2014

Du point de vue climatologique, l'analyse sur les jours pluvieux permet d'améliorer nos connaissances sur les aspects des déficits pluviométriques saisonniers et annuels ainsi que sur les changements susceptibles d'affecter l'évolution des précipitations (Kouassi *et al*. 2010). L'étude de la variabilité du nombre annuel de jours de pluie a été très peu abordée au cours des travaux antérieurs. Dans le bassin versant de l'Ouémé, il ressort de l'analyse de la figure 37, qu'il y a eu une baisse générale du nombre de jours sur l'ensemble des différents sous bassins de l'Ouémé. Les baisses les plus significatives sont enregistrées à Bonou.

4.1.1.2 Paramètres agroclimatiques

✓ **Démarrage des dates de début et de fin des saisons**

La figure 38, traduit la variabilité des dates de début et de fin des saisons pluvieuses dans le bassin versant de l'Ouémé de 1960 -2014.

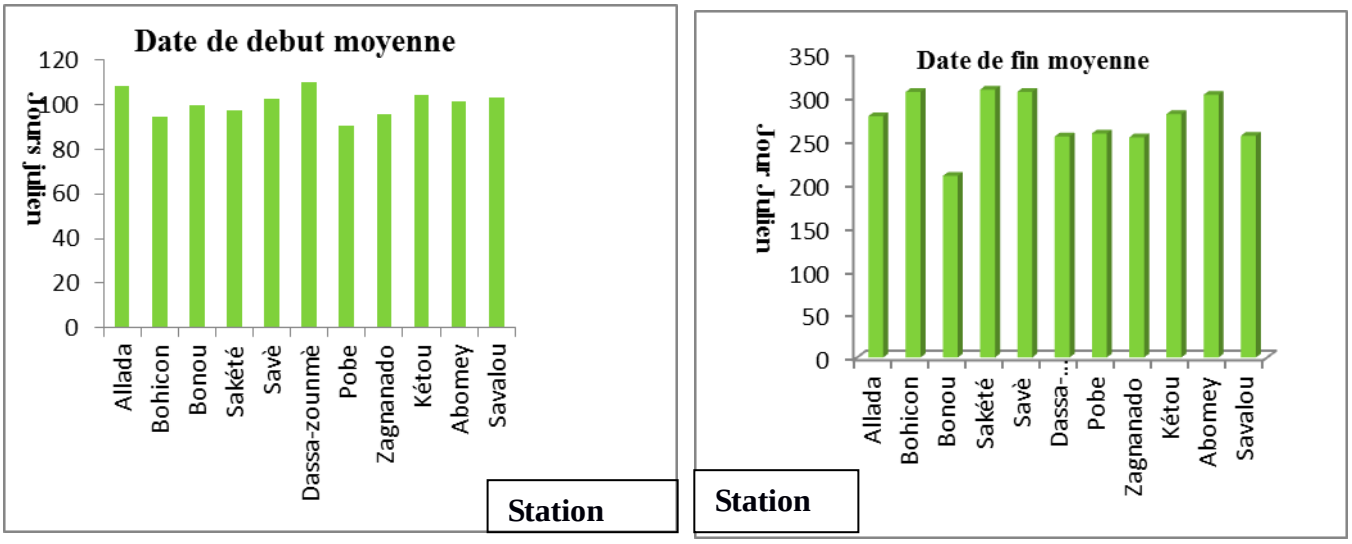


Figure 38: Date de début et date de fin de la saison pluvieuse dans le bassin versant de l'Ouémé

L'analyse de ces figures révèle une forte variabilité des dates de démarrages pour la plupart des stations à l'exception de celles de Pobè, Bohicon et Zagnanado qui sont proches de la zone climatique homogène 1. Les dates de fin moyenne présentent une forte variabilité interannuelle avec des fins généralement précoces dans les communes de Bonou (18 juillet), Dassa (06 septembre), Pobè et Zagnanado pendant cette période.

✓ **Séquences sèches**

La figure 39, traduit la variabilité des séquences sèches dans le bassin versant de l'Ouémé de 1960 -2014.

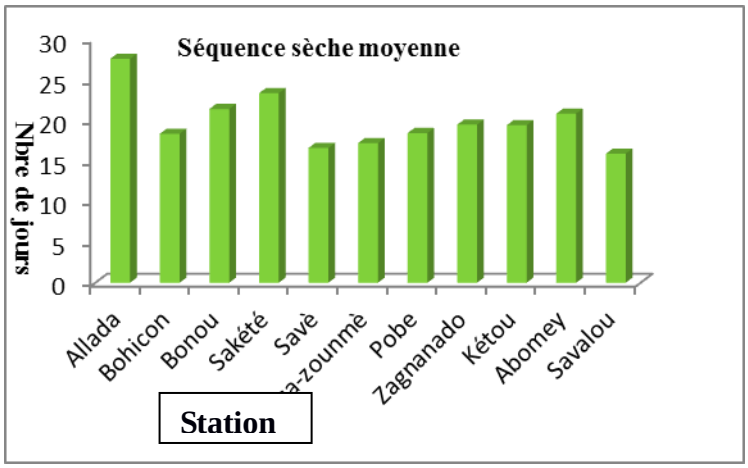


Figure 39: séquences sèches dans le bassin versant de l'Ouémé

Les séquences sèches traduisent les risques de stress hydrique en période reproductive. Il ressort de cette figure que les séquences sèches sont supérieures à 15 jours pour l'ensemble des stations et celles-ci présentent une forte variabilité.

4.1.2 Caractérisation de la sécheresse

La sécheresse est un phénomène naturel dangereux de caractère insidieux, qui résulte d'une insuffisance des précipitations par rapport aux valeurs normales. Lorsqu'elle persiste durant une saison entière ou plus, cette insuffisance empêche de répondre comme il convient, aux besoins des sociétés humaines et de l'environnement. Elle est donc une anomalie temporaire, à la différence de l'aridité, qui est une caractéristique permanente du climat. Cependant, la sécheresse doit être considérée comme un état relatif plutôt qu'absolu, elle se produit aussi bien dans des zones à fortes précipitations que dans des zones à faibles précipitations, et sous presque tous les climats. Il existe plusieurs types de sécheresse, les sécheresses météorologique, hydrologique, agricole et socio-économique.

4.1.2.1 Les sécheresses météorologiques

Les sécheresses dites météorologiques sont basées sur le degré d'aridité d'une période sèche par rapport à la normale (médiane ou moyenne) et sur la durée de cette période sèche. Elles sont donc définies par un seuil correspondant à un déficit de précipitations sur une période de temps déterminée. La sécheresse de type météorologique est spécifique à une région puisque les conditions météorologiques normales changent grandement d'une région à l'autre. Le tableau 17 présente la fréquence des années sèches au cours de la période 1960-2014

Tableau 17 : Fréquence des années sèches 1960-2014

Stations	BONOU	SAVE	PARAKOU
Années sèches (%)	29	31	27

Source : traitement des données

De l'analyse de ce tableau, il ressort que, le taux d'années sèches varie de 29 à 31 % de Bonou à Parakou. Le taux moyen de la sècheresse oscille autour de 29 % sur la période de 1960 à 2014 dans ces régions. Pour mieux analyser le degré des sécheresses, nous avons calculé les indices SPI afin de mieux caractériser le niveau de sévérité des sécheresses vécues dans le milieu. Aussi, les fréquences des années sèches ont été calculées à partir des valeurs de l'indice standardisé de précipitations pour quelques stations au cours de la période d'étude (tableau 18).

Tableau 18 : Fréquence de différentes classes de la sécheresse au cours de la période1960-2014

Sous bassins versants	Sécheresse modérée (%)	Sécheresse Forte (%)	Sécheresse Extrême (%)
Bonou	4	5	5
Savè	4	5	0

Source : traitement des données, 2017

Il ressort de l'analyse de ce tableau que, la fréquence des sécheresses modérées est de 4 % à Bonou et Savè. Celle des sécheresses fortes est aussi de 5 % dans les différents sous bassins versants de l'Ouémé entre Bonou et Savè. Cependant, le sous bassin de Savè ne présente pas de sécheresse extrême alors que celui de Bonou en présente un faible taux qu'est de 5%. Sur l'ensemble du bassin versant, l'analyse de différentes sécheresses au niveau des sous bassins versants permet de confirmer une fois de plus, l'assèchement du bassin versant tel que souligné par les populations lors de nos travaux de terrain. Il se pose la question de savoir quel est l'impact des épisodes de sècheresses sur les eaux souterraines et les rivières dans le bassin versant? Pour répondre à cette préoccupation, il urge de caractériser la sécheresse hydrologique.

4.1.2.2 Les sécheresses hydrologiques

La sècheresse constatée aux stations pluviométriques influence fortement l'hydrologie du fleuve, ce qui se traduit par une diminution des écoulements dès le début des années 1960. Ces sécheresses hydrologiques sont basées sur le débit des eaux souterraines, la quantité d'eau stockée au niveau des estuaires, des cours d'eau et rivière. Les sécheresses en eaux souterraines existent lorsque la recharge des aquifères est inférieure à la recharge annuelle moyenne sur une période de plus d'un an. La baisse des débits est bien sûr amplifiée par rapport à celle des pluies pendant la période d'étude à Atchakpa et à Bonou. , Dans le

même temps, les précipitations ont chuté en moyenne de 20 % (avec des diminutions par station de 6 à 25,7 %).

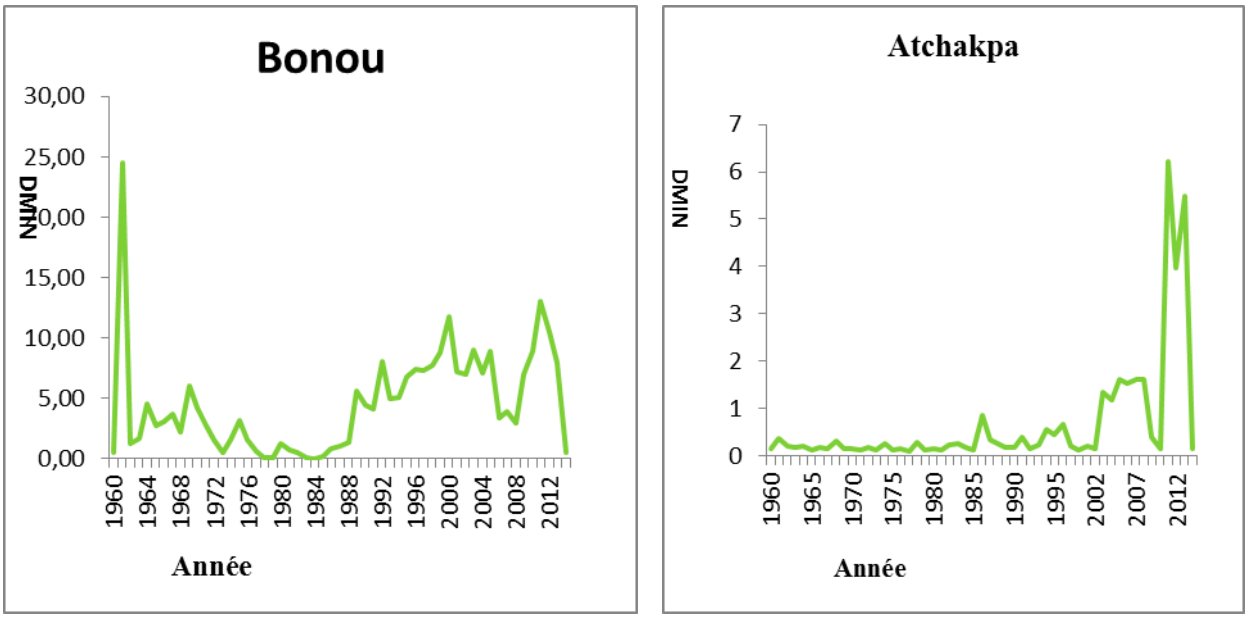


Figure 40: Débits d'étiage à Bonou et à Atchakpa

De l'analyse de ces figures, on retient que le sous bassin versant de l'Ouémé à Atchakpa a connu plus d'années hydrologiquement sèches que celui de Bonou. L'année hydrologique 1983-1984 a été la plus sèche de la période 1960-2014 à Bonou. Elle correspond parfaitement à l'année 1984 qui a été considérée comme celle d'une sécheresse extrême en considérant les indices météorologiques déjà calculés. Les données hydrologiques mettent très logiquement en lumière une diminution relative des écoulements plus forte que celle des précipitations. Cette sécheresse hydrologique a provoqué la diminution de l'écoulement des cours d'eau. Mais il apparaît surtout que la sècheresse hydrologique est encore effective au cours des dernières décennies.

4.1.2.3 Les sécheresses agricoles

Les sécheresses agricoles quant à elles, font un rapport entre les caractéristiques des sécheresses météorologiques ou hydrologiques et les impacts sur le milieu agricole. Elles portent sur l'insuffisance des précipitations,

la différence entre les évapotranspirations réelle et potentielle, et le manque en eau des sols et des réserves hydriques.

Dans le cas de cette étude, ce type de sécheresse n'a pas été abordé.

4.1.2.3 Les sécheresses socio-économiques

Les sécheresses socio-économiques définissent le lien entre l'offre et la demande d'un bien économique et certains éléments des sécheresses météorologiques, hydrologiques ou agricoles. L'occurrence d'un tel type de sécheresse dépend de la variation temporelle et spatiale de l'offre et de la demande de ce bien économique. Ce bien dépend toujours des conditions climatiques et peut tout aussi bien être l'eau, une récolte ou de l'électricité. Il y a sécheresse socio-économique lorsque la demande pour un bien excède l'offre à cause d'un manque hydrique relié au climat.

Le schéma ci-dessous (Figure 41) montre les relations qui existent entre les différents types de sécheresse :

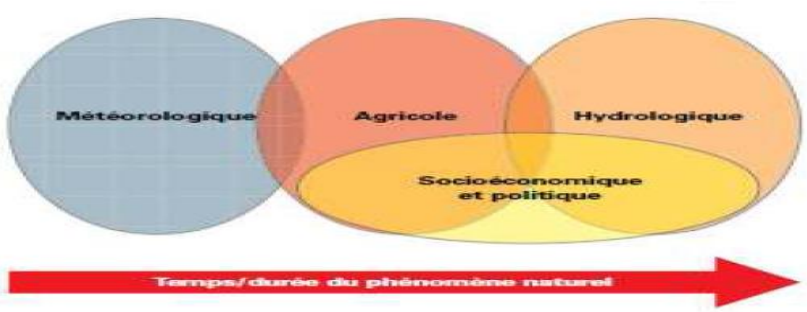


Figure 41: Relations entre les types de sécheresses

4.2 Facteurs de vulnérabilité du bassin versant aux risques hydroclimatiques

La vulnérabilité des populations constitue l'impact le plus négatif des risques hydroclimatiques. Dans le bassin versant de l'Ouémé, les écosystèmes sont affectés par un processus généralisé de dégradation qui l'expose aux aléas hydroclimatiques.

La dégradation des écosystèmes est particulièrement remarquable dans les zones agricoles et autour des grandes agglomérations.

La figure 42 montre la dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant de l'Ouémé.

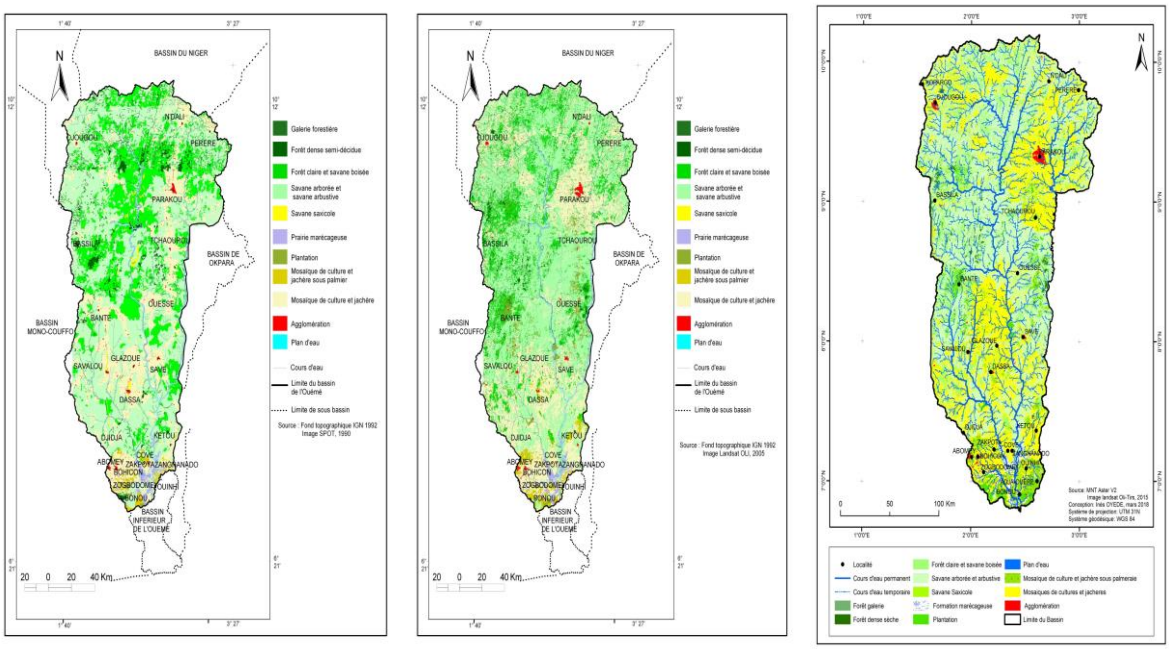


Figure 42: Occupation des sols dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou (1990, 2005 et 2014)

Le tableau 19 présente la dynamique de l'occupation du sol au Bénin : états 1995, 2005 et 2014

Tableau 19 : dynamique de l'occupation du sol au Bénin : états 1995, 2005 et 2014

Unité d'occupation du sol	Occupation 1995	Occupation 2005	Evolution 2014
	Superficie (Ha)	**Superficie (Ha)**	**Superficie (Ha)**
Agglomération	4846,74	6398,12	33220.0928
Forêt Claire et savane boisée	1059704,22	690656,26	560344.518
Forêt dense sèche	127470,34	46185,96	46053.1975
Forêt galerie	179348,42	111703,03	109334.425
Formation Marécageuse	60129,08	60129,10	48660.2825

Mosaïque de culture et jachère sous palmeraie	233161,52	179239,15	109710.988
Mosaïques de cultures et jachères	1229917,4	2220971,11	1389589.24
Plan d'eau	5211,11	6021,75	6126.28225
Plantation	16171,10	115251,35	120991.209
Savane arborée et arbustive	1701481,05	1180885,06	2011626.11
Savane Saxicole	3500,22	3500,32	3500.31907

De l'analyse de la figure 42 (occupation du sol) et du tableau 19, il ressort que le bassin versant présente une variation des différentes unités naturelles d'occupation du sol.

L'appauvrissement de terres lié aux pratiques culturales contraint les populations à les laisser en jachère. Le recul de la superficie des formations végétales augmente l'exposition du bassin versant à l'inondation, car le couvert végétal (forêt, bois) favorise le ralentissement du mouvement des eaux. En effet, la végétation permet de lutter contre le ruissellement, en augmentant l'infiltration de l'eau. Les sols, plus poreux, sont alors à même de stocker de plus grandes quantités d'eau, jouant un rôle d'éponge, plus ou moins important selon l'état de saturation des sols. Les différentes forêts à savoir les forêts claires, les forêts denses et les forêts galeries ont connu une régression sensible de leur superficie, qui passe de 1.059704 hectares en 1995 à 560.344 hectares en 2014 d'une part et de 179.348 hectares en 1995 à 109 334 hectares en 2014 soit un taux de diminution respectifs de 0,9% et de 1,03% par rapport à l'état des forêts denses dans le bassin. Aussi, il est observé une diminution de la formation marécageuse allant d'une superficie de 60 129 en 1995 à 48 660 en 2014.

Par ailleurs, il est enregistré une augmentation de la superficie des mosaïques de cultures et de jachères dans le bassin versant de l'ouémé passant

de 1.229917 en 1995 à 1.389.589 en 2014 avec un taux de progression de 31,3% par rapport à celle de 1995. Cette augmentation entraine la destruction des écosystèmes dans le bassin. Quant aux formations végétales, le recul de cette superficie augmente l'exposition du bassin versant face aux risques hydroclimatiques.

La figure 43 illustre les écarts des changements observés entre les unités d'occupation des terres dans le secteur d'étude.

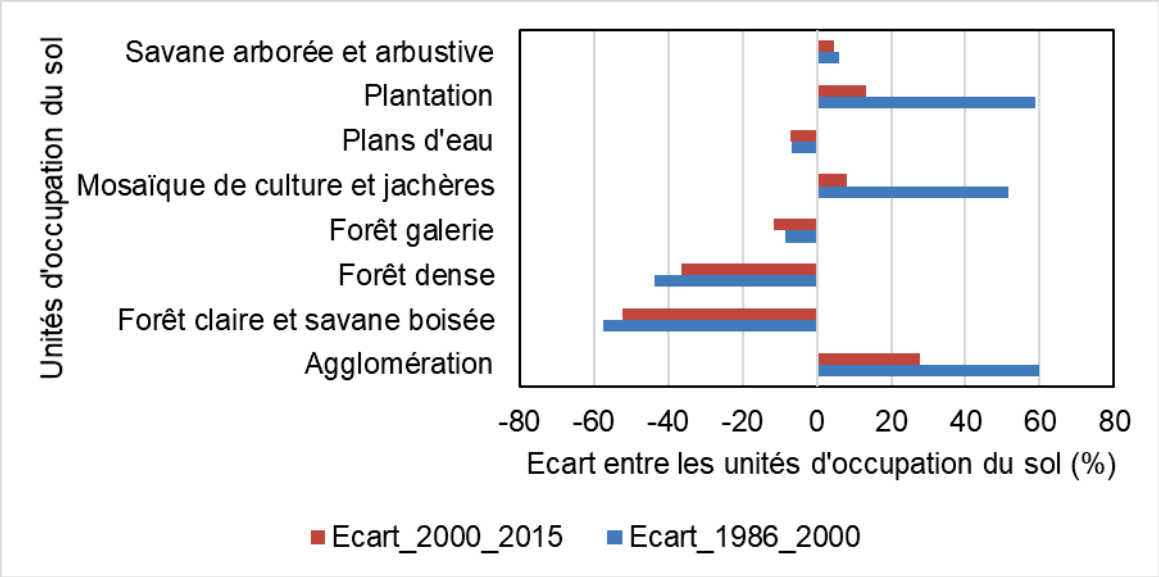


Figure 43: Écarts entre les unités paysagiques dans le bassin-versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en 1986, 2000, 2015
Source : (KODJA, 2018)

L'analyse de la figure 43 indique que les unités d'occupation du sol ont connu une diminution soit une régression dans le secteur d'étude. De 1986 à 2000, il est observé une régression de 57,6 %, de 43,5 %, de 8,5 % et de 6,8 % respectivement pour les forêts claires et savane boisée, les forêts denses, les forêts galeries et les plans d'eau. De même, entre 2000 à 2015, ces différentes unités sont passées respectivement à une régression de 52,2 %, de 36,3 %, de 11,5 % et de 7,2 %. Cette diminution des unités de forêts claires, de savanes boisées, de forêts denses, de forêts- galeries, serait en particulier imputée à la

culture du coton fortement encouragée par les politiques et qui occupe de vastes superficies. Une activité qui nécessite le déboisement et le dessouchage systématique pour la quête de nouvelles parcelles en plus des activités de la production de charbon et de bois d'œuvre (Yabi, 2008 ; Atchadé, 2014). D'après Boko *et al.* (1997), cette régression des unités d'occupations des terres serait aussi liée à la récession pluviométrique des années 1970 et 1980.

Au regard de cette analyse supra, il convient de dire que le couvert végétal est sous l'emprise des activités humaines dans le secteur d'étude et que les ressources en eaux sont menacées dans le bassin. Ce constat est déjà signalé par Akognongbé (2014).

4.3 Vulnérabilité du bassin versant de l'Ouémé

La vulnérabilité dans le bassin versant est liée aux inondations, aux sécheresses, à la faible valorisation des ressources en eau, à l'état obsolète des réseaux de collecte de données pluviométriques et hydrologiques et aux phénomènes épidémiques. L'accentuation de la variabilité climatique est une contrainte supplémentaire dont il faut tenir compte. En terme d'impact, il est à noter que la sécheresse continue, les inondations (ou les crues) sont les risques hydroclimatiques qui affectent le plus les modes d'existence du bassin versant. Ces risques hydroclimatiques majeurs sont suivis des pluies tardives ou précoces et d'assèchement des cours d'eau.

4.3.1 Vulnérabilité biophysique dans le bassin versant de l'Ouémé

La vulnérabilité biophysique se limite au sens physique du terme. La vulnérabilité physique, qui présente les risques qui sont liés aux infrastructures du bassin à l'intérieur de l'unité hydrographique. Elle varie en fonction de l'installation anarchique des habitations par rapport aux berges des cours et plans d'eau et des pentes.

4.3.1.1 Vulnérabilité à l'inondation

Plusieurs méthodes permettent de déterminer la vulnérabilité d'un espace à l'inondation. Compte tenu des données existantes, la méthode cartographique a été utilisée pour déterminer la vulnérabilité à l'inondation du bassin versant. Pour cartographier les niveaux de vulnérabilité dans le bassin versant, plusieurs cartes thématiques ont été préalablement établies. La figure 43, montre les différentes cartes qui ont permis de déterminer la vulnérabilité à l'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé.

La figure ci-dessous présente les différentes cartes thématiques pour l'établissement de la carte de vulnérabilité à l'inondation. (Voir figure 43)

a. a

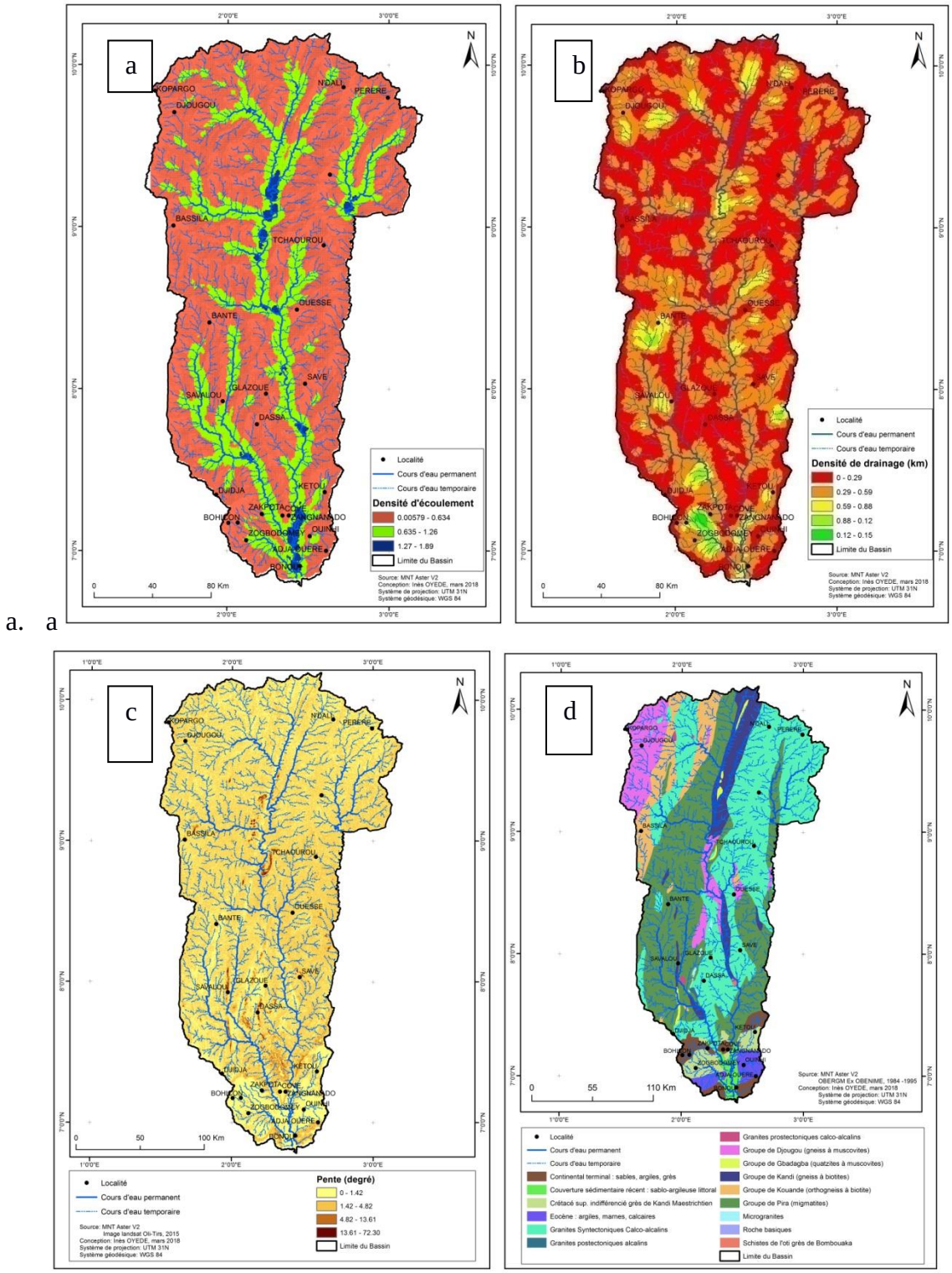


Figure 44: Différentes cartes thématiques pour l'établissement de la carte de vulnérabilité à l'inondation a)zone de drainage b) zone de pentes c) densité écoulement d) géologie

La carte de vulnérabilité à l'inondation (figure 44) est réalisée par la combinaison de plusieurs cartes:

- la carte de densité de drainage

- la carte des pentes
- la carte de densité à l'écoulement
- la carte géologique

La vulnérabilité à l'inondation permet d'identifier que dans le bassin versant de l'Ouémé, tous les secteurs touchés par l'environnement (caractéristiques géologiques et géomorphologiques) sont favorables à l'inondation. La figure 44 présente la vulnérabilité du bassin versant à l'inondation.

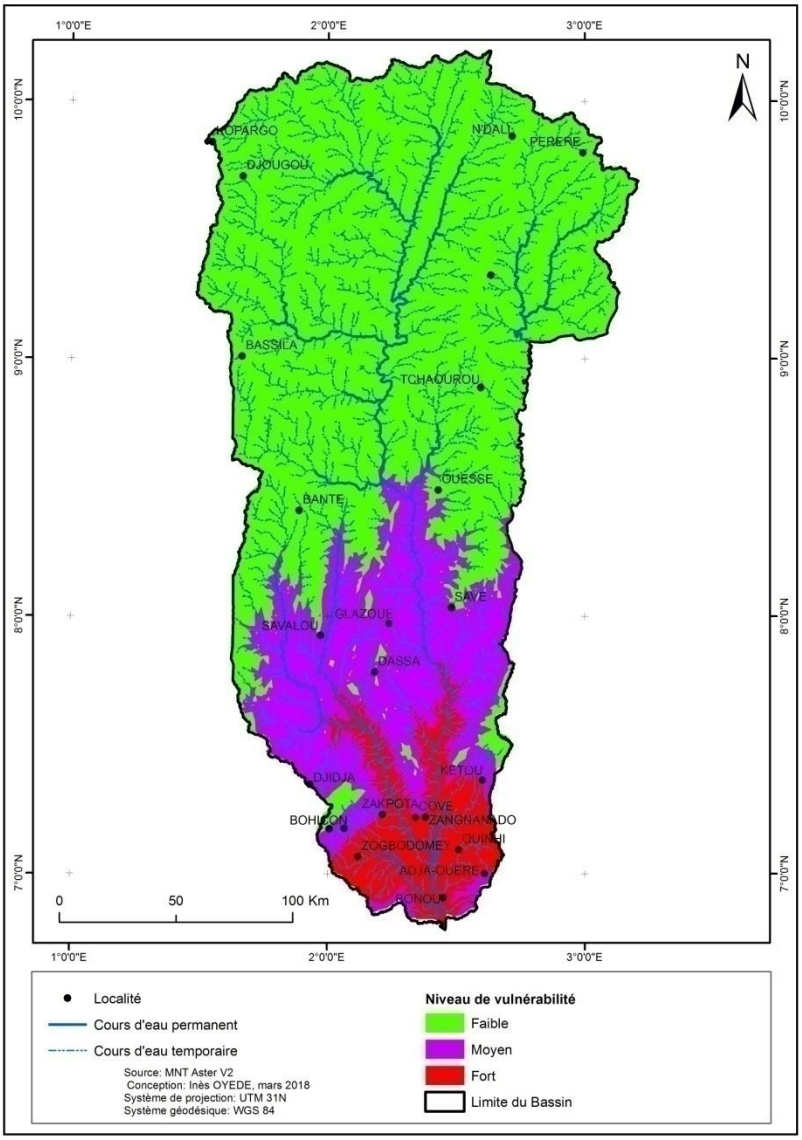


Figure 45: Vulnérabilité à l'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé

La carte de vulnérabilité est réalisée grâce à la combinaison des cartes de pentes réalisées sur la base du MNT ASTER V2 et de la densité du drainage

ajoutée aux cartes de densité d'écoulements des principaux cours d'eau et celle des ensembles géologiques du bassin. L'analyse de cette figure permet d'identifier quatre zones de vulnérabilité à l'inondation. Les zones de faible vulnérabilité à l'inondation couvrent environ 55 % du bassin versant et sont disséminées légèrement à Bohicon, Savalou, Savè jusqu'à la latitude du Nord. Les zones de vulnérabilité moyenne correspondent aux zones où le ruissellement facilite la non stagnation des eaux. Ces zones occupent 25 % de la surface du bassin versant et sont localisées au centre du bassin. Les zones de forte vulnérabilité à l'inondation occupent 20 % de la surface du bassin versant. Ces zones concernent les plaines sujettes à la submersion, et sont situées aux abords des cours d'eau dans les plaines qui longent les cours d'eau. Les agglomérations de Bonou, Adja Ouèrè, Zogbodomey, Ouinhi, Zakpota et Kétou sont quelques-unes des localités concernées.

4.3.1.2 Aléa d'inondation

L'aléa d'inondation prend en compte les zones dans lesquelles des inondations sont susceptibles de se produire, de façon plus ou moins importante et fréquente, suite aux fortes précipitations ou au débordement des cours d'eau. La carte de l'aléa d'inondation représente donc des zones où il existe un risque d'inondation.

La carte de l'aléa (figure 46) est obtenue par la combinaison de la distribution des champs pluviométriques (figure 45 a) et de la distribution des unités d'occupation du sol (figure 45 b).

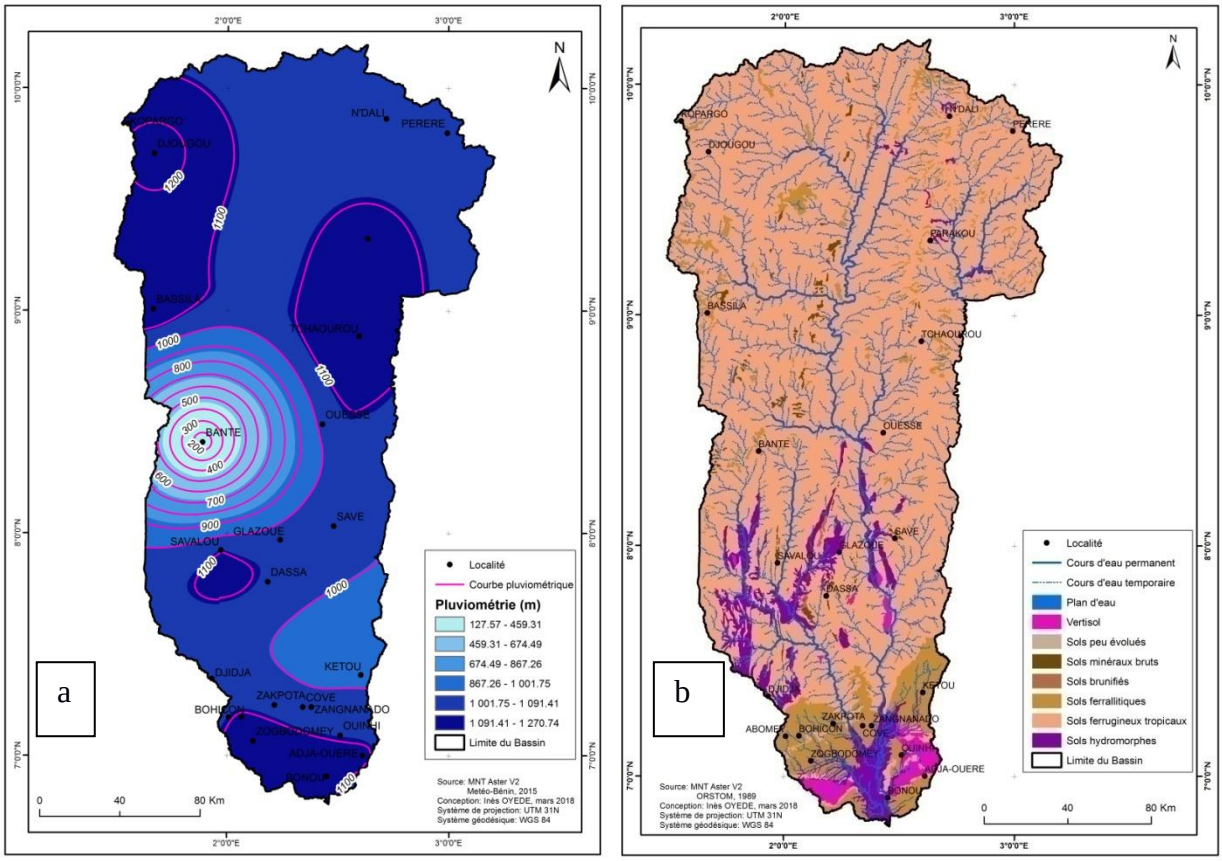


Figure 46: (a) Distribution de l'intensité pluviométrique;(b) Couverture du sol

L'aléa hydrométéorologique est lié à la hauteur pluviométrique et à la nature de la couverture du sol qui reçoit l'information pluviométrique. Ainsi, pour cartographier l'aléa d'inondation (figure 46), la carte des champs pluviométriques (figure 45a) et la carte de la pédologie (figure 45 b) ont été préalablement établies. La combinaison à l'intérieur d'un SIG de ces deux cartes thématiques a permit d'obtenir la carte de l'aléa d'inondation (figure 46).

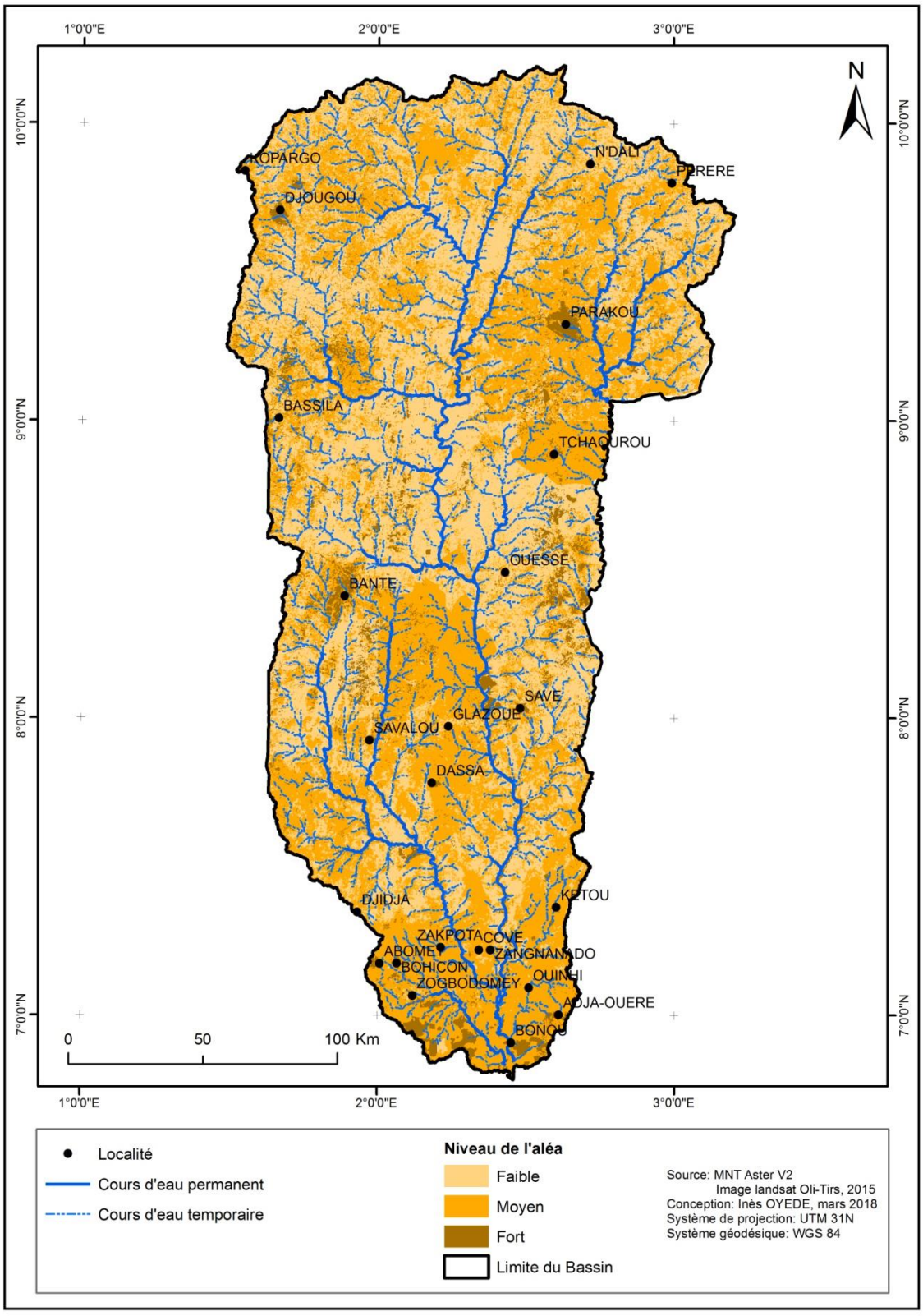


Figure 47: Aléa d'inondation

De l'analyse de la figure 47, l'aléa d'inondation dans le bassin versant est classé en trois niveaux : faible, moyen et fort. Il ressort que la zone à faible aléa

occupe 35 % de la superficie du bassin versant et s'étend sur tout le bassin mais principalement au Nord et au centre du bassin. Les zones à aléa moyen sont dispersées sur l'ensemble du bassin versant. Elles représentent 40 % de la superficie du bassin versant. L'aléa fort occupe le reste du bassin versant, soit 25 % de la superficie du bassin versant et correspond aux forêts galeries et aux sols recouverts d'une végétation peu dense.

4.3.1.3 Risque d'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou

La cartographie des zones inondables constitue un des meilleurs outils de prévention des risques d'inondations liées surtout aux débordements des cours d'eau. En effet, les informations hydroclimatiques permettent aux décideurs et à toute la population vivant dans ce milieu de prendre en amont des dispositions idoines avant que la catastrophe ne se produise. Dans le bassin, le risque d'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé a été déterminé par le croisement des cartes de vulnérabilité à l'inondation et celle de l'aléa qui est le facteur déterminant de l'inondation. La figure 48 montre les secteurs à risques d'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé.

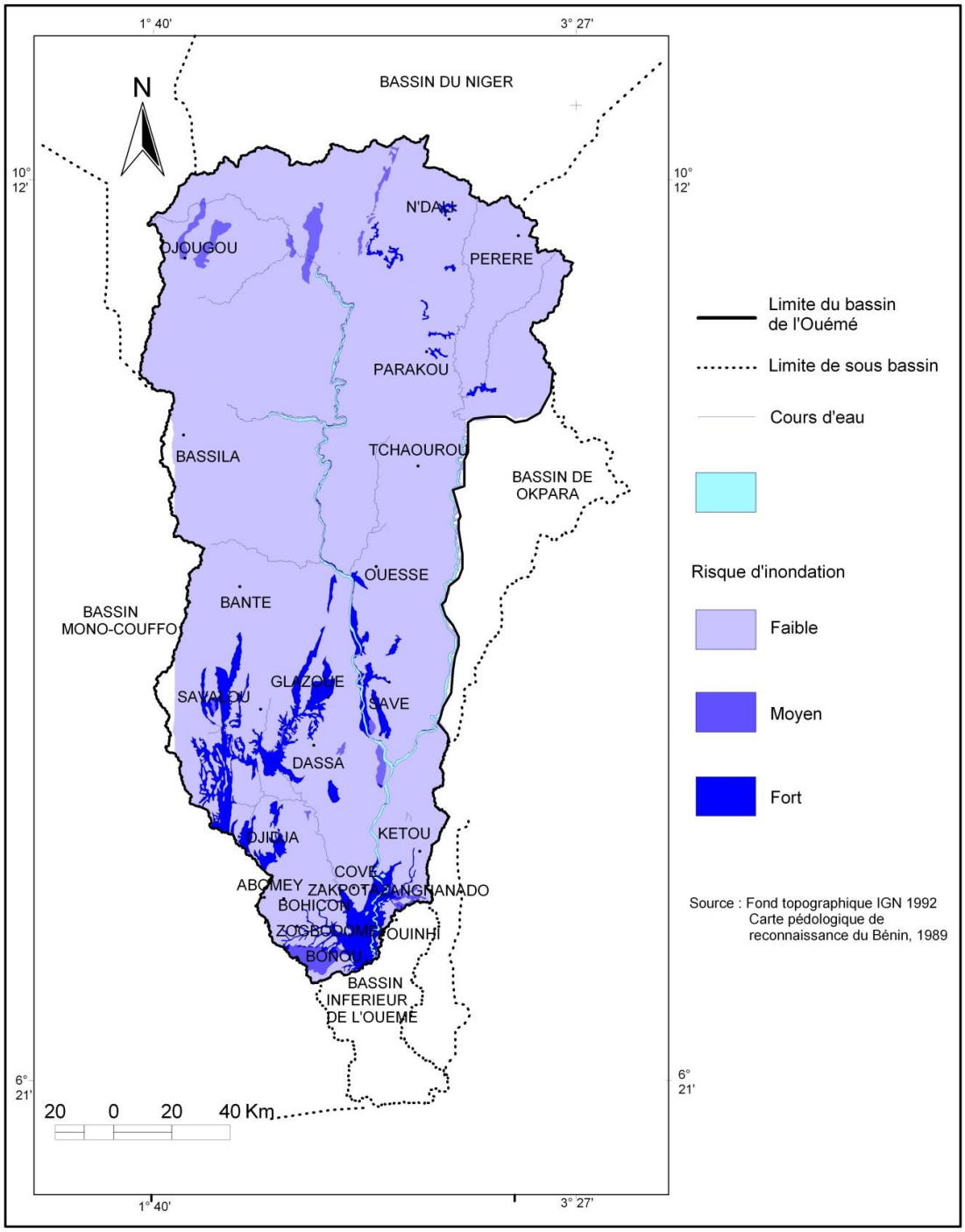


Figure 48: Zones à risques d'inondation

Il ressort de cette figure que les zones à risque d'inondation dans le bassin versant varient du faible au fort. Ces différentes zones ont été retenues après la superposition des informations recueillies sur le terrain et les résultats issues des traitements SIG. Ainsi, les zones à risques faible couvrent environ 60% de la

surface et sont dispersés sur l'ensemble du bassin versant. Les zones à risque moyen couvrent 15% de la surface et se situe au Sud plus précisément à Bonou et dans quelques localités du Nord tels que Djougou, N'Dali et Parakou. Les zones à fortes risques occupent 25% du bassin et se situent au Sud du bassin et dans quelques localités du centre tel que : Dassa, Savè, Glazoué et Savalou. Ces zones à fortes risques présentent des conséquences en période de crues.

4.3.2 Vulnérabilité socio-économique du bassin versant de l'Ouémé à Bonou

La vulnérabilité socio-économique tient compte des déterminants politiques, socioéconomiques, culturels et institutionnels de la vulnérabilité. Elle fait état de la désuétude des activités socio- économiques par rapport au bénéfice à court et à moyen termes que rapporte l'exploitation des ressources naturelles (charbon, planche, bois gras, etc.). Elle se mesure à l'aide d'indicateurs du type : niveau d'éducation, de revenus, de pauvreté et autres données comme le capital social, la diversification des moyens d'existence, le foncier (PANA1, 2008).D'une part, les risques n'étant pas conformes sur l'ensemble du bassin versant, et d'autre part, la vulnérabilité socio-économique varie en fonction des modes et moyens d'existence, les mailles ont été formées pour faciliter l'analyse sur le bassin versant. Les mailles sont formées en s'inspirant des travaux de PANA1 2008. Ces mailles regroupent les communes subissant les mêmes contraintes physiques, biologiques et sociales dans lesquelles les populations développent les mêmes stratégies d'adaptations appelée zones agro-écologiques (47).

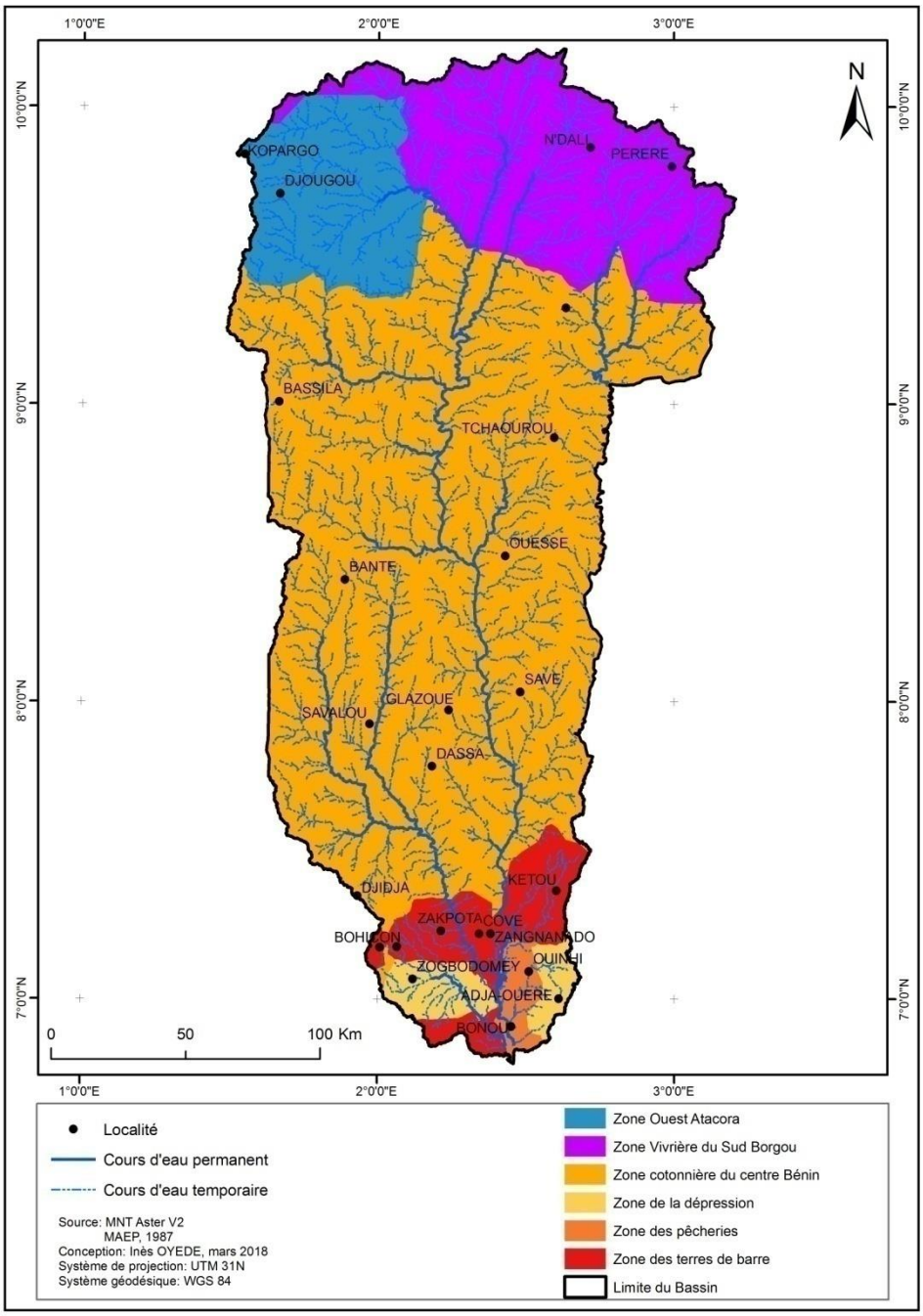


Figure 499: Zone agro-écologique dans le bassin versant de l'Ouémé

La superposition de la carte du bassin versant de l'Ouémé avec la carte des zones agro-écologiques du Bénin définies par l'INRAB permet de distinguer six (06) zones agro-écologiques dans le bassin versant de l'Ouémé a Bonou: il s'agit de :

- zone I, zone Ouest Atacora
- Zone II : zone vivrières du Sud Borgou

- Zone III : zone cotonnière du centre Benin ;
- Zone IV : zone de la dépression
- zone V : zone des pêcheries
- Zone VI : zone des terres de barre regroupe plusieurs localités comme Bonou, Zakpota, Abomey, Ketou, Bohicon et Zagnanado.

Divers moyens et modes d'existence sont énumérés par les populations dans les différentes zones agro écologiques. Ces moyens et modes d'existences sont influencés par plusieurs risques hydroclimatiques.

L'ensemble des caractéristiques identifiées sur le Bassin subit presque les mêmes contraintes physiques, biologiques et sociales et dans lesquelles les populations développent des stratégies adaptatives spécifiques. Pour la détermination de la vulnérabilité socio-économique dans le bassin versant, les différentes zones agro écologiques seront présentées dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Mode de répartition des zones agro écologiques et leurs caractéristiques de base.

zones	Communes couvertes	Superficies en km^2	climat	Pluviométrie annuelle	Activités économiques majeures des populations vulnérables
Zone 1 : zone ouest Atacora	Djougou, Copargo	16936	climat particulier où les températures sont plus fraîches et les orages plus fréquents que dans les autres zones	800 à 1350 mm	Céréales au nord de la zone et les tubercules au sud de la zone
Zone 2 : zone vivrière du Sud Borgou	Pèrèrè, N'Dali,	23442	climat soudanien humidemarqué par une saison pluvieuse d'Avril à septembre et une saison sèche qui dure près de cinq mois	1000 à 1010 mm	mill, sorgho, igname et manioc

Zone 3 : zone cotonnière du centre Benin	Bantè, Savè, Glazoué, Savalou, Dassa, Djidja et Kétou	32.163	Soudano-guinéenneà deuxsaisons pluvieuses au Sud etune auNord	1.100 à 1.400 mm/an	Céréales, tubercules et légumineuses et coton sont produits deux fois au cours de l'année
Zone 4 : zone de la dépression	Zogbodomé, Pobe	2.564	Soudano guinéen à deux saisons pluvieuses au Sud et une au Nord	1.100 à 1.400 mm/an	Maïs associé au manioc, au niébé, à la tomate, au piment, etc. constituent la base du système de production
zone 5 : zone des pêcheries	Bonou , Ouinhi	3.280	Soudano-guinéen à deux saisons pluvieuses	1.000 à 1.400 mm/an	Principalement la pêche, ensuite le maïs en tête de rotation, le manioc, le niébé et les cultures maraîchères. La très faible disponibilité des terres y limite l'extension de l'agriculture
zone 6 : zone des terres de barre	Zakpota, Kétou, Abomey, Bohicon et Zagnanado	6.391	Soudano-guinéen avec deux saisons pluvieuses	800 à 1.200 mm/an à l'Ouest et 1.000 à 1.400 mm/an à l'Est	Maïs en tête de rotation, manioc, niébé et arachide sont les principales spéculations. Dans cette zone le régime des pluies est souvent perturbé entraînant des changements dans les cycles de production annuels

Source : MEPN (2008)

4.3.2.2 Sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques

Le tableau 21, traduit la sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques dans la zone agro écologique I et II.

Tableau 21 : Matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques dans la zone agroécologique I et II

Unités d'exposition	**Risques hydroclimatiques**		**Indice d'exposition en %**	**rang**
	sécheresse	inondation		
agriculture	3	5	80	1er
Elevage	4	3	70	2e
pêche	4	3	70	2e
Sante	4	2	60	3e
habitat	2	3	50	4e
Ressource en eau	5	3	80	1er
Faune et flore	4	2	60	3e
transport	2	2	40	5e
commerce	4	2	60	3e
Indice d'impact en %	32	25		

Source : Traitement de données

Il ressort de l'analyse du tableau 21 que dans les zones agro-écologiques I et II, les sécheresses et les inondations sont respectivement les risques hydroclimatiques les plus connus par les populations. Soulignons que les autres risques climatiques ne sont pas à négliger dans ces zones. Il s'agit entre autre de la forte chaleur et du vent violent qui sévissent par moment. Aussi, il convient de noter que les ressources les plus exposées à ces risques sont l'agriculture vivrière, les ressources en eau et la pêche. Les groupes sociaux dominants les plus affectés sont les groupes les plus vulnérables du point de vue socio-économique.

4.3.2.3 Sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques

Le tableau 22, traduit la sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques dans la zone agro écologique III et IV.

Tableau 22 : Matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques dans la Zone agroécologique III et IV

Unités d'exposition	Risques hydroclimatiques		Indice d'exposition en %	Rang
	sécheresse	inondation		
agriculture	3	4	70	2e
Elevage	4	2	60	3e
Sante	4	4	80	1er
habitat	2	4	60	3e
Ressource en eau	4	3	70	2e
Biodiversité	4	2	60	3e
transport	2	3	50	4e
pêche	4	4	80	1er
commerce	2	2	40	5e
Indice d'impact en %	45	40		

Source : traitement des données

Les zones agro-écologiques III et IV dans le bassin versant de l'Ouémé regroupent les communes de Bonou, Ouinhi, Abomey, Bohicon, Zakpota, Covè et Zagnanado. Ces communes ont une population estimée à 606.903 habitants en 2012 (RGPH4, INSAE, 2013). L'agriculture est la principale activité des populations dans ces différentes zones. L'économie dans la zone est essentiellement agricole avec une part significative aux cultures vivrières (sorgho, mil, maïs, fonio, riz, manioc, igname etc.). Ces cultures sont associées à d'autres telles que les oléagineux (arachides) et les légumineuses.

L'élevage de gros bétail est très répandu et permet le développement de la culture attelée. D'autres risques climatiques sont présents dans ces zones, il s'agit entre autre: des pluies tardives, des vents violents et de la chaleur excessive.

4.3.2.4 Sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques

Le tableau 23, traduit la sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques dans la zone agro écologique V et VI.

Tableau 23 : Matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques dans la zone agroécologique V et VI

Unités d'exposition	**Risques hydroclimatiques**		**Indice d'exposition en %**	**rang**
	sécheresse	inondation		
agriculture	4	4	80	1er
Elevage	4	3	70	2e
Sante	2	4	60	3e
habitat	2	4	60	3e
Ressource en eau	3	4	70	2e
transport	2	3	50	4e
pêche	2	4	60	3e
commerce	3	2	50	4e
Indice d'impact en %	22	28		

Le tableau 23 montre une répartition inégale des risques hydroclimatiques dans les zones agro-écologiques V et VI. Les ressources les plus exposées sont l'agriculture, l'élevage, les ressources en eau, la pêche et la santé. La zone V est une zone où le développement de la pêche maritime et continentale est développé mais la zone VI est marquée par des terres de barre en raison des caractéristiques du sol. Il est à noter que la conservation des sols et de l'eau à pour but d'empêcher toutes formes de dégradation (physique chimique et biologique) ou d'en minimiser les effets sans pour autant compromettre le potentiel productif des sols.

4.4 Vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé

Le développement des activités socio-économiques des populations du bassin versant de l'Ouémé dépend du risque hydroclimatique que rencontre la communauté de Base. La perturbation observée ces dernières années dans les paramètres hydro-climatiques ne peut donc qu'impacter les modes de vie de ces populations. Ce paragraphe est consacré aux impacts des risques hydro-climatiques sur les écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé.

4.4.1 Impact des risques climatiques sur les ressources en eaux

Il s'agit essentiellement de présenter l'influence des chaleurs excessives, des pluies tardives, des poches de sécheresse, de la répartition illégale des pluies et des cas d'inondations sur les ressources en eau.

4.4.1.1 Chaleurs excessives

Il ressort des enquêtes de terrain que 60 % des producteurs interrogés ont affirmé que l'assèchement précoce et prolongé des ressources en eau utilisables pour les activités agricoles telles les forages, les cours d'eau, les plans d'eau et les barrages hydro-agricoles est provoqué par les chaleurs excessives. Selon eux, les poches de sécheresse observées sur le fleuve Ouémé sont provoquées par les chaleurs excessives. Les observations faites au cours de la présente étude permettent de dire qu'en réalité, il se produit une diminution du niveau d'eau faisant apparaître des poches de terres.

4.4.1.2 Pluies tardives

L'analyse des données pluviométriques montre que la saison sèche varie suivant chaque année. Ce qui a pour conséquence le démarrage tardif de la saison des pluies. L'impact direct de ce risque est le bouleversement du calendrier agricole. Plus de 50% des producteurs ont été interrogés. Cette situation oblige les producteurs à modifier les périodes de semis des cultures. Par exemple, les meilleures périodes de semis sont déterminées par le paysan

qui se base sur les dates de démarrage des pluies et parfois sur les résultats issus des prévisions saisonnières fournis par METEO BENIN. Dans les Communes identifiées dans le cadre de cette étude, il ressort que plus de la moitié des paysans affirment qu'ils exploitent les forages et les cours d'eau pour satisfaire le besoin en eau des cultures (vivrières et maraichères) particulièrement à la phase du lever. On en déduit que les pluies tardives conduisent davantage au recours à l'irrigation qui entraine des coûts supplémentaires de production.

4.4.1.3 Mauvaise répartition des pluies

La mauvaise répartition spatio- temporelle des pluies a été identifiée comme un risque hydroclimatique qui affecte les ressources en eaux nécessaires au développement des activités développées par les populations. Les impacts de cette situation se manifestent par un démarrage tardif des activités de production d'une part et par un faible rendement agricole d'autre part et ce, d'une région à une autre.

Cette mauvaise répartition des pluies a aussi pour conséquence l'assèchement des plants (70 % des producteurs). Dans un milieu où les conditions socio-économiques des populations ne sont pas du tout reluisantes, ces risques ne peuvent que rendre plus vulnérable le mode d'existence de ces dernières. Quand il s'agit des cultures installées dans les zones cotonnières, les conséquences sont plus dramatiques
(Voir photo 1).



Photo 1 : Champs de maïs en pleine saison sèche
Prise de vue : Inès 2017, Kétou

Encadré 0 ***: Propos recueillis par un producteur***

Sur le terrain le constat est amer. Les champs de maïs, de tomates, de piments sont engloutis par l'assèchement d'eau. Il ressort de cette enquête que les pluies n'ont pas vite démarrée comme prévu. Ce qui a causé une baisse énorme de rendements agricoles. Les dégâts sont énormes. Vu le retard des premières pluies dans la commune, les estimations parlent de centaines d'hectares détruites par la pluie de dernières minutes. Cette baisse est due au retard de la vulgarisation des prévisions saisonnières.

4.4.1.4 Inondations

Depuis quelques décennies, les inondations sont de plus en plus récurrentes en raison notamment de la destruction des forêts et des savanes, de mauvaises pratiques de gestion des eaux et des terres, aggravées par les changements climatiques. La variabilité hydroclimatique interannuelle durant les 50 dernières années, révèle que les années 1962, 1963, 1968, 1988, 1997, 1998 et 2010 ont enregistré des cas de fortes inondations (MEHU, 2011 ; WACDEP, 2016).

Les expériences vécues par les populations suite aux inondations ont amenées ces dernières à mettre en valeur les abords des cours et plans d'eau pour prévenir les déficits hydriques en cas d'une éventuelle sécheresse. Mais elles sont parfois déçues si en lieu et place des sécheresses elles assistent aux hautes eaux (inondations) (cas de Bonou). Les dégâts causés par les inondations sont souvent majeurs quand il y a une rivière saisonnière proche du champ. L'excessivité de la pluie rend inefficace les traitements phytosanitaires et l'utilisation de l'engrais, d'après les producteurs. En effet, ils expliquent que les intrants ruissellent dans l'eau. Les inondations sont donc un risque qui affecte les ressources en eau par le transport de produits nocifs et le développement de germes nuisibles. Or plus de la moitié des populations ont recours aux eaux de surface pour satisfaire leurs besoins en eau. Les inondations dégradent la qualité des ressources en eau comme l'illustre la photo 2.



Photo 3 : Débordement du fleuve Ouémé dans la Commune Zagnanado

Prise de vue : Inès 2017



Photo 2 : Rétention d'eau sur l'axe Save-Gobé

Prise de vue : Inès 2017

Les zones de pêcheries étant inondables, les poissons sont rares. Cette situation vécue par un pêcheur à Bonou est décrite à travers des propos présentés dans l'encadré 1.

Encadré 1 : Propos d'un pêcheur à Bonou

« Les inondations de cette année 2017 ne nous ont pas permis de mieux vaquer à notre activité quotidienne qu'est la pêche. Du coup les poissons sont très couteux dans le milieu à cause de leur rareté. Mais j'espère d'ici quelques temps que tout rentrera dans l'ordre. »

Du point de vue agricole, les paysans éprouvent des difficultés à cultiver dans les Bas-fonds faute de stagnation d'eau ; du coup, ces derniers sont immergés. Il est important de souligner que certaines inondations salinisent les bas-fonds en les rendant improductifs.

Retenons que les risques hydroclimatiques ont des incidences sur les ressources en eau, et sur les activités agricoles. Toutes ces incidences concourent à la baisse des rendements agricoles, affectant ainsi la sécurité alimentaire. Comme dégâts liés à ces risques, il y a envahissement des champs par les eaux, la destruction des écoles et des marchés, les habitations qui sont humides et les enfants pataugent dans les eaux, causant ainsi des maladies hydriques, les IRA et les dermatoses.

Comme impact socio-économique sur les ressources en eau, la réduction des hauteurs de pluies a affecté les activités agricoles traditionnelles ce qui va favoriser l'exode rural. Les déplacements des populations vers les zones urbaines vont augmenter la demande en eau des collectivités (les besoins en eau en milieu rural étant de 35 l/j/hab. contre 90 l/j/hab. en milieu urbain, DGE, 2007). Ce mouvement peut également provoquer une augmentation des eaux usées domestiques.

4.4.2 Incidences des risques hydroclimatiques sur les infrastructures socio-économiques

L'Indice de Pauvreté Humaine (IPH) est voisine de 0,412 et l'Indice moyen de Pauvreté Monétaire (IPM) est de 0,315. (DCN, 2010).

Les activités telles que l'agriculture, l'élevage, la pêche et parfois l'industrie sont pratiquées dans le bassin de l'Ouémé en dehors de la consommation en eau domestique. Mais les estimations par domaine d'activité ne sont pas disponibles dans le bassin.

Par ailleurs, la mauvaise répartition des précipitations dans la saison ainsi que l'augmentation des intensités de pluie créent des dommages importants (DANIDA, 2012) aux pistes rurales notamment :

- la traversée de la route par l'eau ;
- la submersion temporaire ou prolongée de radier ;
- la submersion temporaire ou prolongée de dalots et/ou ponts;
- l'inondation complète de la chaussée ;
- la coupure de la voie empêchant tout passage;



Photo 4 : Impact des précipitations intenses à la descente du pont de Savalou
Prise de vue : Inès, 2016

En outre, les infrastructures socio-économiques ne sont pas épargnées, pour la plupart, par les risques hydroclimatiques en l'occurrence les inondations. En effet, avec les habitations **(photo 5)** qui sont souvent inondées, on compte

des sinistrés qui vont occuper les écoles, hypothéquant la rentrée scolaire suivante dans les hameaux environnants.



Photo 5 : Culture maraichères inondées par la crue à Bonou
Prise de vue : Inès, 2017

Les inondations liées aux crues du bassin de l'Ouémé affectent les parcelles agricoles et rendent ainsi certaines voies impraticables. A Bonou, de nombreux agriculteurs sont contraints de quitter leurs habitats durant le mois de septembre, et parfois jusqu'en octobre, ou de s'y rendre en pirogue.

Face à ce problème qui tend à s'amplifier d'année en année (*per obs.* et selon nos enquêtes), la population ne peut compter sur l'aide des élus locaux. Bien que la plupart des mairies situées dans le bassin ne dispose pas de plans de gestion adéquate pour la prévention des risques liés aux inondations, faute de moyens financiers et techniques. Il est presqu'impossible de cultiver durant la petite saison des pluies, de nombreux agriculteurs se détournent de l'agriculture à cette période, pour s'orienter vers d'autres activités salariat, petit commerce, pêche ou prières. Un groupe de producteurs organisés que nous avions eu l'occasion d'interroger nous affirme :

«Suite aux crues très remarquées de 2010 : le groupement des producteurs loue collectivement de nouvelle parcelle plus éloignée des zones inondables, où ils pourront cultiver durant la période des crues afin de subvenir à leur besoin ».

4.4.3 Influence des risques hydroclimatiques sur le secteur agricole et sécurité alimentaire

Selon la FAO, l'insécurité alimentaire existe lorsque les personnes n'ont pas accès à une quantité suffisante d'aliments sains et nutritifs, ce qui les empêche de mener une vie active et saine. En outre, les personnes qui jouissent de la sécurité alimentaire aujourd'hui pourraient se retrouver exposées à l'insécurité alimentaire demain. Les populations qui sont déjà pauvres sont vulnérables à la faim, car elles ne disposent pas des ressources nécessaires pour satisfaire, chaque jour, leurs besoins essentiels (elles sont exposées à l'*insécurité alimentaire chronique*). Elles sont également extrêmement vulnérables même aux petits chocs, qui les poussent toujours un peu plus vers le dénuement, l'inanition, voire la mortalité précoce. Les personnes qui ne sont pas pauvres aujourd'hui mais sont exposées à un risque de pauvreté pour l'avenir sont vulnérables à la faim dès lors que ce risque se concrétise et qu'elles ne sont pas suffisamment protégées (elles sont exposées à l'*insécurité alimentaire transitoire*).

Par exemple dans la commune de Bonou, les populations pratiquent l'agriculture sous trois types de terre à savoir le plateau de terre de barre, les bourrelets de berge et les bas-fonds. Sur le plateau de terre de barre, la palmeraie est exploitée de façon assez intensive et la quasi-totalité du sol sous palmeraie est consacrée à des cultures de manioc et de maïs. Sur les bourrelets de berge, il est possible d'y pratiquer deux cultures annuelles, l'une en décrue (décembre à mars et l'autre pluviale de mars à juin : manioc, haricot, patate douce, maïs, piment, tomate, gombo, etc. par contre dans les bas-fonds, on y effectue qu'une seule culture de décrue : les cultures maraîchères et le maïs.

Au niveau des ménages, la vulnérabilité est le plus souvent associée aux menaces qui pèsent sur les moyens d'existence. Soit ceux-ci sont insuffisants en raison de ressources limitées et d'une faible productivité (par exemple les

agriculteurs qui ne possèdent pas suffisamment de terres et n'ont pas accès aux engrais), soit ils sont fragiles et risquent à tout moment de s'effondrer (par exemple en raison d'une sécheresse qui aurait entraîné de mauvaises récoltes). Il est important de noter que dans de nombreux pays, la majorité des petits producteurs alimentaires sont des acheteurs nets de produits alimentaires. Avant toute chose, les risques hydroclimatiques accroissent le taux d'insécurité alimentaire en raison de ses effets sur les cultures, le bétail et la productivité des systèmes agricoles. . L'aggravation attendue de l'instabilité du climat entraînera un accroissement de la variabilité de la production agricole, avec à la clé des fluctuations de prix et de revenus plus importantes.

La situation socio-économique dans le bassin du fleuve Ouémé ne fait qu'augmenter la satisfaction des populations en ce qui concerne l'incertitude de la sécurité alimentaire. Ainsi, certaines communes ont subi des pertes de superficies emblavées pour les cultures maraichères et vivrières. Lors de la campagne agricole de 2017, dans certaines communes comme Kétou, Zagnanado et Savè, des pertes de superficies emblavées pour les cultures de maïs ont été enregistrées. Il y a donc un risque d'insécurité alimentaire.

4.4.4 Influence des risques hydroclimatiques sur l'élevage

Les éleveurs disposent de différentes options pour prévenir les risques et ajuster leurs choix de production aux conditions saisonnières. Cette gestion individuelle du risque doit être prise en compte par les éleveurs afin qu'ils choisissent la part de risque qu'ils sont prêts à supporter, et celle qu'ils souhaitent mutualiser ou déléguer (Mosnier et al. 2009). Afin de mieux cerner les modalités en la matière, les compagnies d'assurance et les pouvoirs publics doivent pouvoir estimer les impacts que peuvent avoir les aléas climatiques sur les résultats techniques et économiques des élevages allaitants et leur capacité à faire face à ces perturbations (Mosnier et al. 2009 ; Dedieu et Ingrand, 2010).

De même, les risques hydroclimatiques font subir de fortes pertes dans le secteur de l'élevage en raison des maladies, manque d'eau et noyades des animaux. Chaque ménage perd par exemple au moins 2 à 5 animaux pendant les inondations. Par exemple, les pertes enregistrées dans la Commune de Zagnanado en 2017 sont dues à la montée des eaux du fleuve Ouémé avec des seuils du niveau d'eau de plus de 750 cm. Les populations qui pratiquent l'élevage dans le bassin ont enregistré des pertes d'environ 300 bêtes. De ce fait, le commerce des animaux qui s'effectue a été affecté avec des répercussions sur la sécurité alimentaire.

4.4.5 Influence des risques hydroclimatiques sur les établissements humains et la santé

La surabondance ou le déficit en eau cause également des déconvenues qui touchent d'autres secteurs comme la santé, l'agriculture et l'habitat où des pertes énormes sont constatées suite aux inondations ou à la sécheresse. Par exemple, les inondations de 2008, dans le département de l'Ouémé, ont entrainé la mort de cinq personnes, la perte de 15498 ha de culture, 3190 animaux et 5965 tonnes de vivres. De plus des infrastructures sociocommunautaires dont 13 écoles primaires, un collège et 3 centres de santé ont été inondées (MEHU, 2011). Le cas des inondations de 2010 constitue l'événement le plus extrême jusque-là connu par le pays de par son ampleur puisque ces inondations ont touché tous les départements du pays avec 45 pertes en vies humaines directement dues aux inondations au 25 Octobre 2010 (MEHU, 2011) avec 680.000 personnes affectées et d'énormes quantités de vivres détruits.

Les caractéristiques des établissements humains dans le bassin versant de l'Ouémé, se traduisent par le manque de représentativité des structures nationales de contrôle des infrastructures. Ainsi, il existe très peu d'indicateurs fiables sur la qualité de l'habitat. Du point de vue enquête sur le terrain, près de 40% vivent dans des habitations précaires. En effet, dans le bassin versant de

l'Ouémé plus précisément à Bonou; les maisons sont construites en paillotte (15%) associer avec du ciment pour augmenter sa résistance. Cette situation est aggravée par la durée de submersion en cas d'inondation importante. Avec les fortes pluies enregistrées ces dernières années, on assiste à des inondations pluviales aggravées par celles dues au débordement des cours d'eau et aux crues dans le bassin versant.

Sur le plan sanitaire, la température et les précipitations jouent des rôles très importants dans la formation et la propagation des différentes maladies. Cette situation favorise la formation des larves ou parasites (16-22° C) et le développement des moustiques. L'évolution des précipitations constatées ont conduit les communautés à être habituées a la variabilité pluviométrique. De même, les variations de précipitations devraient conduire à un accroissement de phénomènes responsables de maladies diarrhéiques, les populations sont soumises à des taux exceptionnellement élevés de décès liés au paludisme, à la diarrhée et au choléra principalement chez les enfants, les handicapés et les personnes âgées dans les années de fortes hauteurs de pluies (2010, 2014 et 2017). L'analyse des paramètres thermométriques montre une variation positive des températures moyennes, ce qui accentue l'évapotranspiration, l'assèchement des sols, l'accélération de la formation de poussière. On assiste à une augmentation de cas de méningites, d'affections respiratoires et cardio-vasculaires et à un accroissement d'intoxications alimentaires.

Les principales maladies liées aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé sont consignées dans le tableau 24.

Tableau 24 : Principales maladies liées aux risques hydroclimatiques

Catégories de maladies	**Maladies**	**Paramètres climatiques**	**Groupes sociaux les plus affectés**	**Tendance actuelle**
Maladies hydriques ou liées l'eau	Paludisme	Inondation, forte chaleur	Enfants de 0 – 5 ans	stationnaire
	Diarrhée	Inondation	Enfants de 0 – 5 ans, femmes enceintes	En baisse
	l'ulcère de Buruli	humidité extrême	Toutes catégories	En baisse
	Onchocercose	Forte Chaleur, sécheresse	Toutes catégories	En baisse
	Choléra	Inondation	Toutes catégories	Sporadique
Maladies liées à la chaleur	Méningite cérébro--spinale	Forte Chaleur, sécheresse	Vieillards	Sporadique
	Les maladies cardio-vasculaires et cérébrovasculaires	Forte Chaleur, sécheresse	Toutes catégories	Non connue
	maladies émergentes (grippe aviaire, fièvres hémorragiques)	Les chaleurs	Toutes catégories	Rares
Les maladies respiratoires	(bronchite aiguë, bronchite)	Forte Chaleur, sécheresse	Enfants, vieillards	Stationnaire
	Les pneumonies	Forte Chaleur, sécheresse	Enfants, vieillards	En baisse
	L'asthme	Forte Chaleur, sécheresse	Toutes categories	stationnaire

Source: DNSP, 2016

4.5 Vulnérabilité et résilience des ménages aux écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé

La vie étant liée à la stabilité des conditions d'existence, c'est tout naturellement qu'un changement du climat représente une menace pour la biodiversité. Les différentes manifestations mises en exergue sont appréciées à partir des données hydroclimatiques, mais aussi des changements ressentis par les ménages dans leur vécu quotidien.

4.5.1 Vulnérabilité et résilience socio-environnementale des populations

Cette vulnérabilité est exacerbée par les problèmes de développement tels que la pauvreté endémique, la mauvaise gouvernance, l'accès limité aux capitaux, l'insuffisance des infrastructures et des technologies, la dégradation des écosystèmes, les catastrophes complexes et les conflits. Cette situation est aggravée d'une part par l'interaction de nombreux stress à différents niveaux et, d'autre part, par la faiblesse des capacités d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques. L'enjeu est donc de taille pour le Benin qui doit, par conséquent, continuer à améliorer les politiques et les stratégies existantes en matière de gestion des risques hydroclimatiques. Pour ce faire, la connaissance des modifications climatiques est essentielle, de même que la perception qu'en ont les populations locales. Il s'agit des effets directs sur la population, les conséquences sur le capital des exploitations, les pertes partielles ou totales de récolte. Pour la plupart des producteurs, une baisse moyenne des cultures est signalée par bon nombre de producteurs. Il y a également un déficit hydrique en cours de cycle, un arrêt précoce des pluies, des troupeaux moins productifs, etc.
Les écosystèmes restent caractérisés par des capacités adaptatives et productives très élevées. La bonne capacité de résilience qui caractérise ces écosystèmes est assurée à la fois par les particularités des régulations morphologiques et

physiologiques des plantes qui les constituent et par la diversité de l'origine biogéographique de leurs cortèges floristiques.

4.6 Discussion

Dans le souci d'accroître la production agricole, 80 % les agriculteurs laissent les espaces appauvris en jachère de courte durée. Les formations végétales naturelles constituent l'habitat pour les espèces animales sauvages. Ainsi, la modification ou la destruction de leur biotope pourrait entraîner la migration de ces dernières vers d'autres zones écologiquement plus stables. En dehors de cette perturbation, certaines espèces font l'objet de chasse par les populations du bassin. La persistance de la crise climatique sur aussi bien des espèces animales et végétales que les cultures exige des efforts d'adaptation paysanne pour diminuer le risque et surmonter la contrainte climatique (Houndénou, 1999). La détermination de la disparition des espèces animales et végétales créant un déséquilibre écosystémique est fait en se fondant uniquement sur la surface terrienne des arbres. Or, ils cohabitent avec d'autres espèces dont il aurait fallu tenir compte. Les formations végétales naturelles constituent l'habitat pour les espèces animales sauvages. Ainsi la destruction de leur biotope pourrait entrainer la migration de ces dernières vers d'autres zones écologiquement plus stables.

SYNTHESE

En somme, ce chapitre montre que le bassin de l'Ouémé à Bonou connait une alternance de période humide et sèche, ce qui constitue des périodes de risques hydroclimatiques. Ces risques sont à l'heure actuelle, classées parmi les grands défis du développement agricole et rural. Cependant, la forte anthropisation cumulée aux effets des aléas climatiques rendent vulnérables les différents écosystèmes de ce bassin et par ricochet rendent vulnérables les populations riveraines.

De plus, les écosystèmes sont plus représentés en terme de superficies et qui sont particulièrement menacés par plusieurs facteurs anthropiques et climatiques, ne peuvent souvent plus assurer les services indispensables au développement socio-économique du bassin versant et notamment des populations fortement dépendantes de leur ressources naturelles. Ces menaces ont pour impacts la dégradation des ressources naturelles engendrant des problèmes socio-économiques importants qui affectent les moyens de subsistance des populations.

La dernière partie aborde la perception des manifestations des risques hydroclimatiques et stratégies d'adaptation dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou.

TROISIEME PARTIE

PERCEPTION DES MANIFESTATIONS DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES ET STRATEGIES D'ADAPTATION DANS LEBASSIN VERSANT DE L'OUEME A L'EXUTOIRE DE BONOU

CHAPITRE V: PERCEPTIONS PAYSANNES DES MANIFESTATIONS DES RISQUESHYDROCLIMATIQUES DANS LE BASSIN DE L'OUEME A BONOU

Les risques hydroclimatiques sont pour la plupart reconnus par toute la communauté paysanne. Les causes et manifestations de ces risques varient d'une localité à une autre. De même, les causes qui leur sont attribuées revêtent diverses formes. Le présent chapitre aborde les indicateurs, les perceptions et les limites des manifestations des risques hydroclimatiques.

5.1 Indicateurs de l'avènement des risques hydroclimatiques

L'apparition de certaines espèces permet aux populations de mieux s'imprégner des événements hydroclimatiques qui peuvent surgir dans leur milieu.

Il ressort que les populations perçoivent les risques hydroclimatiques non seulement par l'assèchement ou le débordement du fleuve Ouémé, mais aussi par la dégradation rapide de l'environnement, la réduction des pâturages, la baisse de la pluviométrie. Elles établissent une relation entre ces transformations environnementales et la baisse des ressources en eau, et partant de la production agro-sylvo-pastorale comme en témoignent ces extraits des focus group conduits auprès de certains acteurs des zones riveraines du fleuve Ouémé:

« Un vieillard affirme : « Autrefois, il y avait beaucoup de poissons dans le fleuve et les récoltes étaient très bonnes. Maintenant, le fleuve s'assèche en période de sécheresse créant ainsi un dépeuplement de la population. Même nos animaux n'ont plus de pâturage. Les mares d'eau qui existaient ici ont pratiquement disparu. Notre environnement a beaucoup changé».

Par ailleurs, la saison des pluies (Assiko ojo), la saison sèche (Ahùn), l'inondation (Adagùn) sont des terminologies maîtrisées par 80% de l'échantillon d'enquête. Les résultats obtenus montrent que plusieurs indicateurs directs et indirects permettent aux populations nagot de la commune de Kétou de

tenir des discours relatifs aux déroulements climatiques et phénomènes hydroclimatiques. Elles ont développé plusieurs stratégies pour faire face aux manifestations des phénomènes hydroclimatiques. Selon Blanc-Pamard cité par Akindélé, (2011), les animaux possèdent des systèmes de réception plus sensibles que ceux des hommes et ressentent plus intensément les variations du temps. Ainsi, l'apparition des fleurs sur l'arbre (*Spathodea campanulata*) (photo 3de la planche 1) » augure le retard des pluies et la baisse des rendements. Aussi le chant répété de l'oiseau [coq de pagode/ *Centropus senegalensis*] » (photo 4 de la planche 1) présage la fin de la sécheresse. L'apparition des cigognes (*Ciconia nigra*) (photo1 de la planche 1) annonce habituellement le début de la saison des pluies selon 55 % des enquêtés.

Ces oiseaux apparaissent souvent entre mai et juin. Ils annoncent l'excès de pluie donc (inondation) s'ils apparaissent en grand nombre et ceci au-delà du mois de Juin a indiqué 60 % de populations. La sortie abondante de l'hirondelle (*Hirondorustica*) est un grand signe annonçant l'imminence de la sécheresse. De même, lorsque le tisserin gendarme (*ploceuscucullatus*) érige son nid en basse altitude dans un bas-fond, il permet de prévoir une saison très sèche donc une grande sécheresse. Par contre le nid est érigé en haute altitude dans un bas-fond ou dans une dépression, ceci permet de prévoir l'imminence de l'inondation selon 75% des enquêtés.

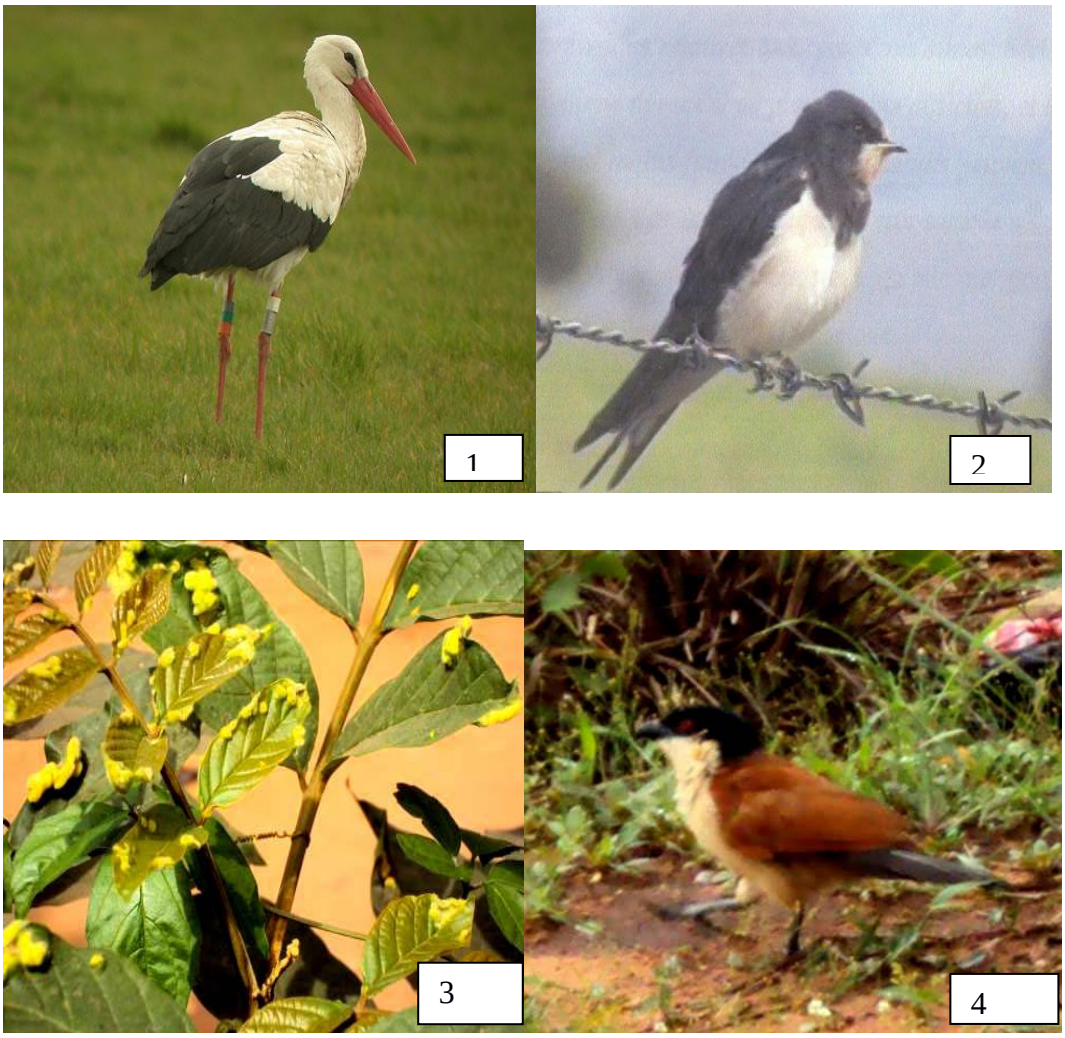


Planche 1: Espèces indicatrices de l'avènement des risques hydroclimatiques Ciconia nigra (1); Hirondo rustica (2); Spathodea campanulata (3); Centropus Senegalensis (4)

Prise de vue ***:*** *KOUMASSI, 2014*

La planche 1 présente la Cigogne (*Ciconia nigra*) dont la présence dans le milieu d'étude indique le début de la saison des pluies. En effet, l'Europe méridionale accueille la majeure partie de la population de cigognes noires. C'est un oiseau qui fait partie des grands migrateurs paléarctiques. Pendant l'hiver boréal, elle se trouve dans une ceinture étroite entre le Sahel et les savanes soudaniennes, jusqu'en Ethiopie. Une population nicheuse relativement importante, mais dispersée, vit en Afrique du Sud (de la Zambie à l'Afrique du Sud et à la Namibie). Il faut signaler que la présence de cet oiseau pendant ce temps (mai et juin) dans le milieu d'étude se justifie par le fait qu'il est à la recherche d'un milieu chaud donc fuyant le froid.

5.2 Perceptions paysannes de l'évolution du climat dans la région d'étude

Les perceptions paysannes de l'évolution du climat montrent que certaines perceptions sont plus tranchées que d'autres. En ce qui concerne la grande saison des pluies, les perceptions les plus tranchées sont relatives à la diminution du cumul pluviométrique et du nombre de jours pluvieux, à l'augmentation du cumul moyen des jours pluvieux et de la fréquence des séquences sèches plus longues et à un démarrage tardif. Quant à la petite saison des pluies, les perceptions les plus tranchées ont trait à la diminution du nombre de jours pluvieux, à l'augmentation de la fréquence des séquences sèches plus longues et à une fin précoce. Quant aux perceptions mitigées, elles font allusion à la fin précoce de la grande saison des pluies, à la diminution du cumul pluviométrique, à l'augmentation du cumul moyen des jours pluvieux et au démarrage précoce de la petite saison des pluies. La comparaison des perceptions tranchées avec les tendances pluviométriques observées à l'échelle de la région montre que les perceptions tranchées reflètent davantage les changements des précipitations observés sur la région d'étude allant de 1960-2014 notamment le démarrage tardif de la grande saison des pluies, la fin précoce de la petite saison des pluies, l'augmentation de l'occurrence des séquences sèches plus longues et le déficit pluviométrique des deux saisons pluvieuses.

5.2.1 Perception d'une mauvaise répartition du nombre de jours de pluie

Le fleuve Ouémé présente une mauvaise répartition du nombre de jours de pluie, affirme la population dans le milieu d'étude. D'après les enquêtes de terrain, 70 % des personnes interrogées reconnaissent que les trois dernières décennies ont été marquées par une mauvaise répartition des pluies, et donc une diminution du nombre de jours de pluie. Dans la

commune de Bonou, lors des enquêtes de terrain un vieux âgé de 60 ans affirme qu'on note une diminution du nombre de jours de pluies. Il s'est référé à la date de démarrage des saisons survenu dans la localité de Sota en 1996 pour expliquer le retard perçu au niveau de cette localité. En ce temps, il disait qu'il avait 40 ans. Selon lui, les paysans commençaient déjà à semer le maïs de la petite saison des pluies. Il constate que ce n'est plus les mêmes réalités ces temps-ci. Il est remarqué que la saison des pluies connaît du retard dans son arrivée et prend vite fin dans la majeure partie des localités de notre zone d'étude.

5.2.2 Perception paysanne de la hausse de la chaleur

La perception paysanne de la température et de l'insolation se résume à la sensation de la chaleur accablante. Le soleil est une source de lumière. Son comportement devient de plus en plus inquiétant car il est davantage réchauffant, brûlant et persistante en toute saison (VISSIN 2012). La variation de la chaleur ces dernières années a des explications multiples selon la population enquêtée. Les raisons les plus fréquemment citées relèvent de l'arrêt précoce de la saison pluvieuse pour la plupart des enquêtées, de la provocation ou de l'interruption volontaire de la pluie par les faiseurs locaux de pluie pour 40 % et de la déforestation au profit des activités culturales par 20 %. Cette hausse de la température a des conséquences sur les écosystèmes selon les paysans.

Le tableau suivant traduit les perceptions paysannes et quelques manifestations de l'évolution du climat.

Tableau 25 : Perceptions paysannes et quelques manifestations de la modification du climat dans le bassin versant de l'Ouémé.

Bouleversements climatiques majeurs	**Quelques conséquences**
Poches de pluies en saison sèche	Croissance rapide de certaines plantes telles que le bananier plantain, le taro et le manioc
Assèchement de certains cours d'eau et marécages	Production de maïs de contre-saison, avec passage d'un à deux cycles de production annuelle
Pluies diluviennes et tempêtes répétées	Pourriture des tubercules de manioc, taro, igname
Poche de sécheresse en saison pluvieuse	Etiolement du riz pluvial, des arachides et du maïs
Augmentation de la chaleur en saison sèche (durée et intensité)	Baisse de production des produits forestiers non ligneux (chenilles, champignons, etc.)
Vents violents	Destruction des champs et cultures

Source : *Enquêtes de terrain, mai-juin, 2016*

90% des personnes enquêtées pensent que les hauteurs de pluies ont diminué considérablement de nos jours par rapport aux trente dernières années. Par contre, pour 60 % des paysans de la région d'étude, les précipitations étaient presque normales de 1951 jusqu'en 1980 contre moins de 2 % actuellement. L'interprétation des données météorologiques indique que la tendance pluviométrique est régressive et évolue vers une aridification (Figure 48). Les hauteurs d'eau ont baissé de 17,4 % entre 1985 et 2014.

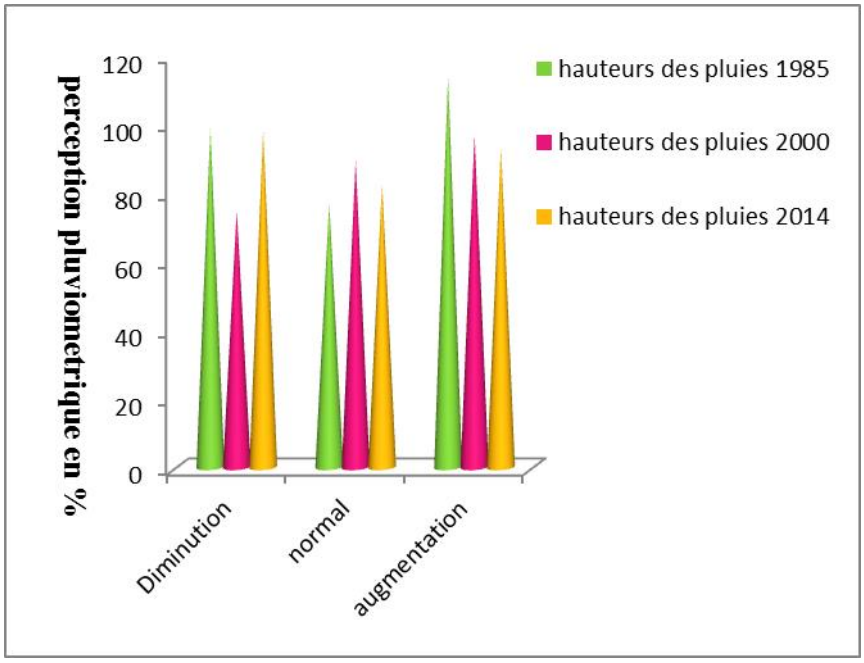


Figure 50 : Perceptions paysannes (%) de l'évolution des précipitations dans le bassin de l'Ouémé

Source : Résultats de traitement statistique des données climatologiques, 2016

La perception de la fréquence des poches de sécheresse est plus élevée dans le plateau et dans la commune de Save. Ces différentes zones sont plus sensibles aux poches de sécheresse, du fait des variétés et des cultures à cycle long qui les exposent plus aux poches de sécheresse, d'où la forte perception observée. Elles restent cependant des zones les moins exposées aux déficits hydriques.

- Fortes pluies, vents forts et inondations ont été notés dans la zone d'étude. Les changements climatiques actuels ont entrainé une détérioration de l'environnement. Ce changement est perçu par les paysans à travers ses effets directs sur les sols (dégradation) et le couvert végétal (déforestation/déboisement). Cette représentation concerne 36 % des exploitants en zone soudanienne et explique la faible valeur des informations sur la perception de la baisse des précipitations dans cette zone.

- Le dérèglement de la saison des pluies est perçu par 35 % des paysans. Ce phénomène se manifeste par une diminution de la durée de la saison des pluies, un début tardif ou/et un arrêt précoce des pluies.

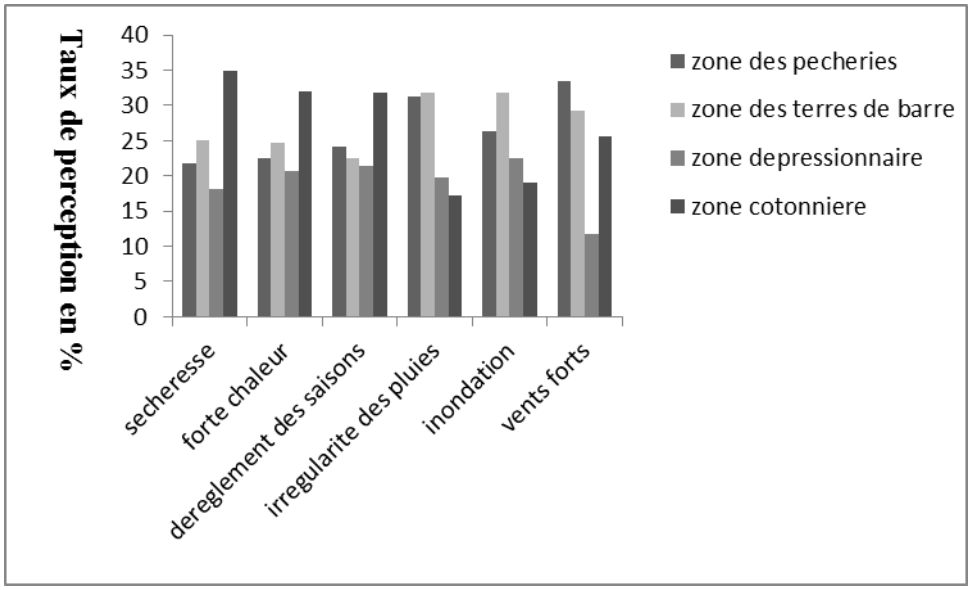


Figure 51: Perceptions paysannes (%) des perturbations climatiques par domaine agroclimatique dans la zone d'étude, 1960-2014
Source : Résultats de traitement statistique des enquêtes de terrain

Depuis quelques décennies, la chaleur est si intense qu'elle ne facilite plus l'exercice des activités agricoles. Plus de 70 % des paysans ont remarqué un fort rayonnement du soleil qui n'est que la manifestation de l'augmentation des températures. Cela est un indicateur qualitatif de l'évolution du climat. Plus de quatre-vingt pourcent (80 %) de la population affirme que ces dernières années ont été marquées par une mauvaise répartition des pluies et par une réduction du nombre de jours pluvieux.

5.3 Perception endogène des risques hydroclimatiques dans le bassin de l'ouémé

La perception paysanne est relative et conjoncturelle. Elle n'est pas quantitativiste comme chez les climatologues (Boko, 1988). Selon Ogouwalé (2013), les populations nagot et les paysans en particulier de la commune de Savè possèdent des repères et indicateurs de perception des phénomènes

hydroclimatiques et des modes d'interprétation. Les connaissances endogènes des phénomènes hydroclimatiques par les populations quoiqu'indispensables, sont en parfaite adéquation avec les connaissances scientifiques. Ainsi, les populations sont conscientes des manifestations des risques hydroclimatiques et leur impacts sur les écosystèmes.

Le tableau **26** suivant montre la caractérisation de la sécheresse et de l'inondation

Tableau 26 : Caractérisation de la sécheresse et de l'inondation

	sécheresse	**inondation**
Caractéristiques	Absence totale de pluie, assèchement du sol, chaleur intense, vent sec, poussière, assèchement des cultures	l'insuffisance dans l'application des règlementations concernant l'aménagement du territoire et l'action humaine sur l'environnement
Variantes	- Sécheresse intermittente : elle entrecoupe la saison pluvieuse et la saison sèche. - Sécheresse ordinaire : elle est la transition entre la saison sèche (précisément grâce à l'harmattan) et la saison des pluies.	Inondation pluviale : forte quantité de pluie tombée pendant un intervalle de temps occasionnant une stagnation des eaux soit par endroits. Inondation fluviale : elle est due à la taille du bassin, la structure du fleuve, l'occupation du sol et la pente.
causes	déforestation, désobéissance aux prescriptions divines et ancestrales, vandalisme	Débordement des cours d'eau, remontée des nappes phréatiques, accumulation des eaux de ruissellements.
Année apparition de repère	1977, 1982, 1983, 1986, 1987, 1990 et 2005	1962, 1968, 1988, 1997, 1998 et 2010

Source : Enquête de terrain, février 2016

De l'analyse du tableau 26, il ressort que les populations ont une véritable connaissance des risques hydroclimatiques. Elles distinguent les poches de sécheresse qui entrecoupe la saison des pluies de la saison sèche. La sécheresse est d'une intensité très remarquable dans le secteur d'étude. Elle dure 2 à 3 mois maximum et varie entre 15 à 40 jours minimum. Le phénomène de sécheresse se manifeste aussi dans l'allongement de la saison sèche. Selon nos enquêtes sur le terrain, il ressort que la durée prolongée de la saison sèche se manifeste par le fruit d'une désobéissance due aux prescriptions divines et ancestrales. Mais pour l'inondation, elle reste très importante à cause de son apparition cyclique liée au rythme des saisons pluvieuses, à la mauvaise occupation et à la gestion de l'espace national. C'est l'aléa le plus récurrent.

5.4 Limite et gestion endogène des dynamiques hydroclimatiques

Les limites portent sur les supports de conservation et de transmission des savoirs. En d'autre terme, ce mode ne garantit pas la fiabilité des informations puisque, dans le contexte de tradition fondée sur l'oralité, l'orateur pourrait consciemment ou inconsciemment déformer l'information selon ce qui est prescrit par le Fa. Du coup, ce support de conservation ne garantit pas la fiabilité des informations. L'information transmise oralement peut être facilement déformée par le détenteur pour plusieurs raisons dont le savoir-faire en particulier. Ainsi bon nombre d'habitants ne fondent plus leur espoir dans la conservation des connaissances endogènes. Plus de 96 % des personnes interrogées reconnaissent qu'il existe dans les différentes localités plusieurs lieux sacrés ou des prières et des offrandes sont faites pour « appeler la pluie ».

5.5 Effets socio-économiques et environnementaux des aléas hydroclimatiques

La variabilité pluviométrique ces dernières années, permet de montrer l'importance de l'érosion des sols sous toutes ces formes. Pour la production végétale, dans les années humides extrêmes (inondation 2010), dans les zones de

dépression pour l'ensemble du bassin, des producteurs affirment avoir perdu plus de la moitié des cultures, et la campagne agricole était une perte pour l'ensemble des producteurs du bassin. Cette perte a générée assez de dégâts matériels et financiers, les producteurs de maïs ont été enquêtés et 80 % affirmait avoir connu des pertes de maïs allant de 50 à 85 % avec une moyenne de 65 %. Il ressort des échanges que les paysans s'adonnent plus à diverses cultures sur le même lot de terrain et dans la même période. Par rapport à la production halieutique, les enquêtes ont révélées que seul 25 % de la population échantillonnée s'adonnent à cette activité. En effet, ces derniers exploitent le fleuve Ouémé et ses affluents de grande importance pour la production halieutique. En situation de pluie abondante ou de hautes eaux, ces masses d'eau sont débordées, ce qui, d'une part, favorise l'émigration des poissons, surtout des mares pour des destinations très peu connues et, d'autre part, entretiennent un terrain favorable pour une migration d'autres espèces de poissons à faible valeur commerciale (Koudamiloro, 2014). En période chaude où les températures sont très élevées, on assiste au réchauffement des eaux des mares qui contiennent très peu d'eau, ce qui entraine la mort des poissons et surtout des alevins par manque d'oxygène dissous (eutrophisation).

Les périodes pluvieuses et sèches constituent des périodes de risques hydroclimatiques. Aussi les dates de démarrage des saisons ont montré que la variabilité pluviométrique a des conséquences sur les écosystèmes. Ces derniers souffrent aussi bien des déficits que des excédents hydriques.

5.6 Paramètres socio-écologiques des conséquences néfastes des changements climatiques

Les paysans ont énuméré une diversité des conséquences négatives des risques hydroclimatiques. Voir (Tableau 27).

Tableau 27 : Les paramètres socio-écologiques des conséquences des risques hydroclimatiques

Paramètres	**Indicateurs de changements**
Ecologique	- Assèchement des cours d'eau - Recul (baisse) de la nappe phréatique - Dégradation du couvert végétal - Disparition/raréfaction d'espèces animales - Baisse de la production fruitière des ligneux sauvages et domestiques - Dessèchement et/ou chute d'espèces ligneuses - Baisse des rendements agricoles
Social	- Insécurité alimentaire - Pauvreté - conflits - Abandon des coutumes - Souffrance - Endettement

Source : Traitement des données, 2017

Il ressort des enquêtes de terrain que les paramètres socio-écologiques affectent les risques hydroclimatiques dans le bassin. Sept indicateurs des conséquences écologiques et 6 indicateurs des conséquences sociales ont été enregistrés. Cette diversité des conséquences énumérées par les producteurs témoignent de la conscience qu'ils ont des effets négatifs des changements climatiques sur leur cadre et leur mode de vie.

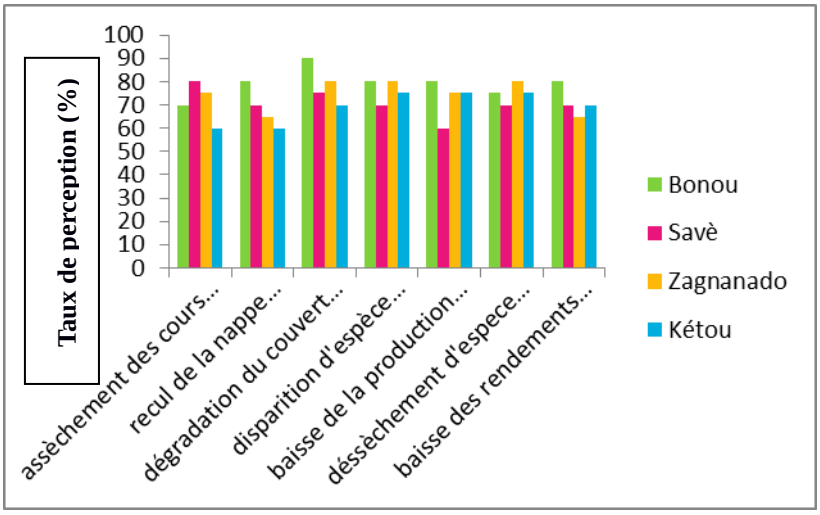


Figure 52 : Perception des conséquences écologiques des risques hydroclimatiques
Source : Traitement des données, 2017

Sur les quatre zones identifiées, au moins 60% des enquêteurs ont perçu l'impact des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes (figure 51). Le recul de la nappe phréatique, la dégradation du couvert végétal, la baisse de la production fruitière, dessèchement des espèces ligneuses et la baisse des rendements agricoles ont été cités par au moins 60% des enquêtés. Les indicateurs de changements écologiques tels que l'assèchement des cours d'eau, la dégradation du couvert végétal, la disparition/raréfaction d'espèces animales, le dessèchement et/ou chute d'espèces ligneuses ont été perçus par 60 à 80% des enquêtés (figure 50). Les taux de perceptions des conséquences ont été plus élevés à Bonou l'exutoire de la zone d'étude et à Zagnanado.

5.7 DISCUSSION

La communauté rurale possède des connaissances endogènes relatives aux phénomènes hydroclimatiques. Celles-ci conditionnant les activités économiques comme l'ont montré Boko (1988), Ogouwalé (2006) et Totin (2010). Les composantes traditionnelles de la relation eau-homme mettent en évidence les différentes perceptions de la valeur de l'eau. Ce résultat est bien montré par les travaux de Boko (1988), Akindélé (2009) et Totin (2008). Aussi, certaines études comme Totin (2003 et 2005) et Boko (1988) ont mis en

évidence les stratégies inspirées des us et coutumes face à l'ampleur des changements climatiques, les baisses des rendements agricoles et de pêche, des relations établies entre les éléments physiques de l'environnement dans le Sud-Bénin. Bien que ces considérations religieuses tendent à disparaître dans les milieux urbains, elles continuent de régir la gestion des ressources dans les milieux ruraux comme l'ont montré Bokonon Ganta (1987), Ogouwalé (2006), Ogouwalé et *al.* (2010) et Allé et *al.* (2013). Ces connaissances endogènes relatives aux phénomènes hydroclimatiques dont sont détentrices les populations se trouvent confrontées à d'énormes difficultés dues à la non-réactualisation de ces connaissances et surtout de son mode de conservation.

Il est remarqué que les conséquences écologiques sont dues essentiellement à la baisse de la pluviométrie. Le raccourcissement de la durée de la saison pluvieuse empêche le développement normal des cultures, certaines cultures n'arrivant plus à boucler leur cycle. Les conséquences de l'agressivité des pluies se traduisent par l'érosion des sols sur les paysages de haut et de milieu de pente. En bas de pente, elle occasionne l'inondation précoce des parcelles de cultures. Les poches de sécheresse provoquent la sénescence des plantes et la dessiccation des sols situés en haut et milieu de pente. A ce titre, Ozer *et al*. (2010) soulignent que la sécheresse figure parmi les variations climatiques au Sahel qui jouent un rôle très important dans le processus de dégradation des terres.

De même, selon les travaux de Ozer *et al*, (2013), sur le plateau d'Abomey, les éléments annonciateurs du début ou de fin des événements climatiques extrêmes existent pour la plupart des risques. C'est ainsi que le « ciel noir annonçant une grande pluie, mais les nuages se dispersent et il ne pleut pas » annonce des vents violents ; « apparition des fleurs sur l'arbre A dada (*Spathodea campanulata*) » augure le retard des pluies et la baisse des rendements ; « le chant de l'oiseau wututu [coq de pagode / *Centropus senegalensis*] » présage la fin de la sécheresse. Mais il faut remarquer que les

indicateurs énumérés par les populations comportent des limites. C'est ainsi que parfois il y une confusion entre les indicateurs des saisons et ceux des risques hydroclimatiques.

SYNTHESE

Somme toutes, face aux variabilités hydroclimatiques, l'irrégularité de la saison, les connaissances endogènes relatives aux phénomènes hydroclimatiques causent d'énormes difficultés dues au non réactualisation des connaissances endogènes et surtout de son mode de conservation. Cette situation entraine une baisse de rendement chez les producteurs agricoles du bassin versant qui n'hésitent plus à adopter les nouvelles variétés mises à leur disposition par des structures telle que l'INRAB, etc.

CHAPITRE VI: STRATEGIES D'ADAPTATION AUX RISQUES HYDROCLIMATIQUESDANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUEME A BONOU

L'adaptation des écosystèmes aux risques hydroclimatiques peut s'appréhender plus globalement en analysant les différentes stratégies que les acteurs agropastoraux adoptent dans l'organisation de leur système d'activité. Plusieurs techniques pourraient être mises en œuvre par la planification ; certaines d'entre elles ont été identifiées ainsi qui suit :

- mettre au point des méthodes de gestion de l'eau à des fins agricoles : conservation des eaux et des sols et la protection des cultures face aux extrêmes hydroclimatiques, irrigation de complément et irrigation à partir des eaux de surface (fleuves, mares, bassins de rétention, eaux souterraines) ;
- encourager le développement des cultures écosystèmes, la diversification et l'intensification des cultures ;
- mettre au point des variétés adaptées au stress hydrique et /ou à la chaleur ;
- adopter les méthodes de gestion raisonnée de la fertilité des sols etc.

Ces stratégies d'adaptation dans le bassin versant peuvent être classées en deux catégories : les stratégies endogènes et les stratégies exogènes. Les stratégies endogènes sont celles développées par les paysans eux même tandis que celles exogènes regroupent celles des politiques agricoles nationales, des services de vulgarisation agricole. Ce chapitre présente les différentes stratégies d'adaptation qui sont développées pour réduire la vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé.

6.1 Stratégies institutionnelle, juridique et organisationnelle de gestion des risques dans l'Ouémé

La gestion des risques hydroclimatiques est encore peu pratiquée en Afrique et particulièrement au Benin. Les structures s'occupant en général de la gestion des risques et catastrophes sont sous équipées, faute de moyens matériels et financiers.

Au Bénin, depuis quelques années, les risques hydroclimatiques prennent de l'ampleur et génèrent des conséquences de plus en plus désastreuses. De nos jours, la gestion du risque se base de plus en plus sur des connaissances et des techniques scientifiques.

La gestion des risques hydroclimatiques consiste à utiliser des données climatologiques pour faire face aux incidences que les variabilités climatiques risquent d'avoir sur le développement et la gestion des ressources. Elle couvre une large gamme d'actions possibles (systèmes de réponse rapide, répartition des risques par la diversification, instruments financiers, conception des infrastructures et renforcement des capacités). Les dispositions mises en place pour la gestion des risques hydroclimatiques s'intègrent dans un cadre général de gestion des risques et catastrophes élaboré au plan national par les acteurs de la plateforme de réduction des risques et catastrophes. C'est une démarche organisée en plusieurs phases et qui se succèdent dans le temps.

6.1.1 Cadre institutionnel, juridique et organisationnel de gestion des risques et catastrophes au Bénin

Le Bénin dispose des structures en charge de la gestion des crises et des catastrophes qui sont : la Direction de la Prévention et de la Protection Civile (DPPC), le Comité National pour la Protection Civile (CNPC) et ses démembrements au niveau décentralisé sur toute l'étendue du territoire, l'Office National pour la Sécurité Alimentaire (ONASA) en charge de la sécurité alimentaire, l'ACNA, en charge de la gestion des réfugiés, le Groupement

National des Sapeurs-Pompiers, la Police, la Gendarmerie Nationale, le Ministère en charge des Affaires Sociales, le Ministère en charge de l'aménagement du Territoire, le Ministère en charge de l'urbanisme etc. Toutes ces structures ont d'une façon directe ou transversale chacun, en ce qui les concerne, la mission de concevoir et/ou de mettre en œuvre la politique de la gestion des urgences. Elles bénéficient aussi de l'appui des ONG(s) humanitaires comme Caritas-Bénin, Care, Plan-Bénin ; de la Croix Rouge béninoise et du Système des Nations Unies en général dans la l'opérationnalisation de la politique avant, pendant et après.

Sur le plan national, les principaux instruments de gestion des urgences sont les décrets, régissant le Comité National Pour la Protection Civile (CNPC), le Plan d'Organisation des Secours (ORSEC) datant des années 80 et d'autres textes normatifs. Sur le plan international, le Bénin a signé plusieurs accords et conventions relatifs à la prévention et à la protection civile, à la réduction des risques de catastrophes, aux droits humains.

Au niveau sous régional, le Bénin pays membre de la CEDEAO, est signataire du document de politique de gestion des crises et catastrophes.

Placé sous l'autorité du Ministère de l'Intérieur et de la Sécurité Publique (MISP), dont le Secrétariat Permanent est assuré par la Direction de la Prévention et de la Protection Civile (DPPC), créée par Arrêté n°98-a » du 30 juillet 1998 qui a, entre autres, pour missions de:

- mettre en œuvre sur toute l'étendue du territoire pour prévenir les sinistres et alerter à temps les autorités et les populations concernées;
- informer, éduquer et sensibiliser les populations sur les dangers, et former les personnels de la Protection Civile sur la gestion des crises;
- élaborer les plans de sauvegarde et de protection des populations en cas de sinistres et de catastrophes naturelles;
- évaluer les besoins des populations sinistrées;
- centraliser et coordonner les secours à apporter aux populations.

Les membres du CNPC sont composés de tous les autres ministres auxquels s'ajoutent les préfets. Il est représenté :

Au niveau du Département par le Comité Départemental de Protection Civile;

Au niveau de la Commune par le Comité Communal de Protection Civile;

Au niveau du village ou du quartier de ville par le Comité local de Protection Civile.

Le CNPC a été complété en 1987 par le plan ORSEC dont les conditions et les modalités d'organisation et de fonctionnement sont fixées par le décret n° 87-408 du7 décembre 1987, portant organisation des secours en cas de sinistre ou de catastrophe au Benin (Plan, ORSEC). Il a été conçu dans le souci d'assurer une plus grande efficacité dans l'intervention des Comités de protection civile à différents niveaux (comités locaux, comités de District et comités provinciaux).

A cet effet, quelques textes régissent la gestion des crises et catastrophes au Bénin. Il s'agit essentiellement :

- La Loi n°87-013 portant réglementation de la vaine pâture, de la garde des animaux domestiques et de la transhumance du 21 Septembre 1987 ;
- la loi N° 97-029 du 15 janvier 1999, portant organisation des Communes en République du Bénin ;
- le Décret n°97-647 portant création, composition, attributions et fonctionnement de la Commission Nationale chargée des Réfugiés (CNR) du 31 Décembre 1997 ;
- le Décret n°2005-377 portant réglementation du maintien de l'ordre en République du Bénin du 23 Juin 2005 ;
- le Décret 2006-573 du 30 octobre 2006 portant organisation des recherches et sauvetages des aéronefs en temps de paix ;
- le Décret n°2007-465 portant attributions, organisation et fonctionnement du Ministère de l'Intérieur et de la Sécurité Publique du 16 Octobre 2007 ;
- Décret n°90-192 portant création du Groupement National des Sapeurs-Pompiers ;

- le Décret N°2012-426 du 06 novembre 2012 portant création, attributions, organisation et fonctionnement de l'Agence Nationale de Protection Civile (ANPC) ;
- l'Arrêté n°185/MISAT/DC/DT/SA du 18 Novembre 1998 portant organisation et fonctionnement de la Direction des Transmissions du Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité ;
- l'Arrêté n°862/MISD/DC/DGPN/DAP/SA du 12 Septembre 2002 portant création d'une Brigade de Protection du Littoral et de la Lutte contre la Pollution au sein de la Police Nationale ;

Ces différents textes ont permis la mise en place d'institutions, d'instruments ou de dispositifs capables d'aider le pays à faire face aux différentes crises et catastrophes.

Pour mieux faire face aux risques et catastrophes, de plus en plus récurrents, les pouvoirs publics ont procédés à l'actualisation des textes et dispositions régissant la gestion des risques et catastrophes. Ainsi, Le CNPC a été remplacé en 2011 par la plate-forme nationale de réduction des risques de catastrophe et d'adaptation au changement climatique. En effet, les dispositions du décret n° 2011-834 du 30décembre 2011 portant création, composition, attributions et fonctionnement de la plate-forme nationale de réduction des risques de catastrophe et d'adaptation au changement climatique en République du Bénin placée sous la présidence du Ministre de l'Intérieur, de la Sécurité Publique et des Cultes. Elles sont composées de tous les autres ministres, les représentants des Institutions d'Etat impliquées dans la gestion des situations d'urgence, les préfets de départements et leurs représentants, des Agences des Systèmes des Nations Unies, les partenaires au développement, de l'association nationale des communes du Bénin, de la croix rouge Béninoise, des Associations et Organisations Non Gouvernementales à vocation humanitaire. La plate-forme a pour mission de :

- promouvoir l'intégralité de la prévention des risques et de la gestion des catastrophes, dans les politiques, plans et programmes de développement durable et de réduction de la pauvreté ;
- définir les orientations stratégiques et de valider les programmes établis dans le cadre de la réduction des risques de catastrophes ;
- faciliter la mobilisation des ressources nécessaires à la mise en œuvre des programmes et projets de prévention des risques, de gestion des catastrophes, de réhabilitation et de développement post- catastrophes.

Dans la même dynamique d'actualisation des instructions de gestion des risques et catastrophes, la DPPC fut remplacée par l'Agence Nationale de Protection Civile(ANPC) dont le décret de création N°2012-426 06 Novembre 2012 fixe les attributions, organisation et fonctionnement. Régie par les dispositions de la loi n°94-009 du 28 juillet 1994 portant création, organisation et fonctionnement des Offices à caractères social, culturel et scientifique, l'ANPC est un établissement public à caractères administratif et social, dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elle est placée sous la tutelle du Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité Publique et des Cultes. Elle a pour mission, de contribuer à la mise en œuvre de la politique gouvernementale en matière de réduction des risques de catastrophe. Dans ce cadre, elle est chargée de :

- prévenir tout risque de catastrophe sur l'ensemble du territoire national ;
- assurer la formation des cadres du personnel de la protection civile et des collaborateurs bénévoles
- préparer les autorités politico administratives, de même que les populations, à faire face aux risques majeurs ;
-assister les Comités de Protection Civile dans la mise en œuvre des mesures de prévention et pour assurer la maîtrise des événements dommageables;
-mettre en œuvre le Plan National d'Organisation des Secours en cas de catastrophe (Plan ORSEC) ;

- centraliser et coordonner les secours à apporter aux populations sinistrées ;
- coordonner l'action des équipes d'intervention spécialisées, en cas de crise ;
- veiller à la préservation de l'environnement ;
- préparer et organiser des exercices de simulation ;
- assurer la protection des réfugiés et participer à la réglementation de leur séjour en République du Bénin.

Dans une approche préventive et pour mieux coordonner les actions en cas de crise, le Bénin depuis 2009, fait l'expérience du Plan de Contingence, pour assurer au mieux la préparation de la réponse aux urgences. Le Plan National de Contingence est conçu pour faire face en temps réel ou à court terme, aux crises, catastrophes, qui peuvent éventuellement affecter l'espace national béninois. Il est confectionné à partir des données de terrain collectées et de leur analyse pour mitiger et aller au secours des populations sinistrées.

6.1.2 Stratégies d'adaptation alternatives

Là où la pression foncière n'est pas encore très forte, elle conduit les acteurs ruraux à répartir leurs activités sur différents sites afin de mieux faire face à la répartition spatiale des pluies pour espérer à leur tour un meilleur rendement.

De façon générale, on note une diversité des écosystèmes dans le bassin. La vulnérabilité de ces écosystèmes provoque la baisse de la biodiversité dans le temps et dans l'espace ; l'augmentation des températures et la modification du régime des pluies, ce qui pourra entrainer la migration et l'extinction de certaines espèces animales et végétales.

Cette diversification des activités rurales au sein d'une exploitation agricole a beaucoup évolué au cours des dernières décennies. Alors qu'elle impliquait autrefois différentes populations à l'échelle préfectorale (*organisation de la fête des moissons*), désormais, elle s'organise principalement à l'échelle de l'exploitation et des unités villageoises. À ces échelles, l'élevage

permet d'exploiter des terrains non cultivés (brousse périphérique, bas-fonds), de valoriser les sous-produits des cultures et de diversifier les revenus. Mais c'est par son rôle de « volant monétaire » venant atténué les fluctuations de rendement des cultures que l'élevage est capital dans l'adaptation des exploitations aux aléas climatiques. Aussi, la décapitalisation du cheptel en période de sécheresse ne doit-elle pas être considérée comme un phénomène trop inquiétant si ce cheptel se reconstitue une fois la sécheresse passée. À ces différentes formes de diversité, il faut ajouter la diversification des activités et des revenus. Le fonctionnement d'une société rurale nécessite l'exercice de différents types d'activités artisanales (forge, mines, menuiserie, taillerie, maçonnerie), forestières, commerciales ou autres (cueillette, chasse, pêche, guides pisteurs, etc.). Depuis longtemps et encore aujourd'hui, ces fonctions sont assurées par des ruraux ayant une activité agricole et c'est grâce à cette pluriactivité que beaucoup d'exploitations peuvent surmonter les fluctuations de revenus induites par les aléas climatiques.

6.1.3 Stockage de récolte

La mise en place des produits agricoles permet de conserver les semences et les vivres. Cette pratique a été longtemps une stratégie de base pour tamponner les effets des risques hydroclimatiques (Photo 7). On voit que les paysans sont loin d'être restés passifs face aux aléas climatiques et à leur accentuation depuis des décennies.

Le battage est une activité post récolte qui consiste à battre les épillets récoltés contre un baril couché horizontalement sur une bâche afin de récupérer les graines. Le battage est suivi de plusieurs autres opérations à savoir : le séchage, le vannage. Mais avant, le riz est séché pour diminuer son taux d'humidité et ceci se fait sur des bâches (Photo n°7).



Photo 6 : Séchage du riz sur les bâches à Zagnanado
Prises de vue : Inès, septembre 2016

Après le séchage suit l'emballage qui se fait juste après le battage, à ce niveau, le riz est emballé dans les sacs de 60, 70, 80 et 100 kilogrammes. Il est suivi d'autres opérations comme l'étuvage ou non, le décorticage etc.

6.2 Stratégies endogènes

Les risques hydroclimatiques sollicitent l'esprit adaptatif des populations des différentes localités. Face à l'ampleur des modifications hydroclimatiques et des problèmes hydriques, les communautés développent des stratégies inspirées de leurs us et coutumes. Les mesures prises dépendent de l'intensité et de la durée des phénomènes hydroclimatiques. En effet, plusieurs cérémonies rituelles sont organisées par les chefs de terre « rois » gardiens de la tradition, après consultation des oracles pour implorer les divinités et les ancêtres afin qu'ils favorisent une bonne saison, notamment une bonne répartition des pluies. Plus de 96 % des personnes interrogées reconnaissent qu'il existe dans les différentes localités plusieurs lieux sacrés ou des prières et des offrandes sont faites pour « appeler la pluie ». De plus, les populations, malgré leurs conceptions des événements hydroclimatiques, identifient, à l'instar de la communauté scientifique, les indicateurs des phénomènes hydroclimatiques. De même, les investigations socio-anthropologiques attestent la perception (par les populations) des changements hydroclimatiques qui s'opèrent dans leur environnement. Les explications anthropologiques des faits et des risques

hydroclimatiques concordent parfaitement avec celles données par les scientifiques.



Photo 7 : Billonnage à l'aide de la traction animale à Kétou

Il ressort de cette image que la traction animale est utilisée par les paysans pour réaliser les billons. Mais selon 50 % des paysans interrogés, les billons peuvent diminuer la cohésion du sol mais aussi l'éroder quand par exemple, la pente est parallèle au sillon. Il est surtout pratiqué dans les zones non inondables comme Kétou, Pobè et Savè.

Face aux risques hydroclimatiques présents dans le bassin versant, des éléments de réponses ont été apportées par les producteurs. Le tableau suivant présente des stratégies endogènes et des mesures d'adaptations aux risques hydroclimatiques.

Tableau 28 : Stratégie endogènes et mesures d'adaptation des risques hydroclimatiques dans le bassin de l'Ouémé à Bonou

n°	Risques hydroclimatiques	Mesures préventives	Mesures curatives
1	Excès pluviométriques	les producteurs font des sacrifices pour implorer le pardon des divinités au bord du fleuve	faire arrêter la pluie par les faiseurs de pluies en cas d'excès. construire les habitations en matériaux définitifs et faire des enclos pour les animaux.
2	L'allongement de la saison sèche		une délégation de l'Union des Producteurs (UCP) pour aller « implorer la venue de la pluie dans le bassin»
3	les retards de pluies	Construire des retenues d'eau ; Entreprendre le reboisement	
4	La mauvaise répartition des pluies	Les offrandes offertes au vodoun pour implorer son pardon	
5	Le retard du démarrage des pluies	Les populations implorent le pardon des dieux en portant des habits à l'envers pour se rendre à la mosquée	
6	L'arrêt précoce des pluies	Les féticheurs et les personnes ressources se réunissent pour faire le tour du village avec le tam-tam en prononçant des incantations servant à activer la pluie.	

Source : enquête de terrain, 2016

6.3 Stratégies exogènes

Depuis l'indépendance, l'agriculture n'a pas toujours bénéficié d'initiatives et d'actions stratégiques structurées certes, mais les multiples programmes et projets d'encadrement du monde rural ont entrainé l'introduction et la sédimentation de certains paquets et itinéraires technologiques. En effet,

techniques culturales alternatives, techniques de conservation des bassins versants, utilisation d'engrais chimique et organo-minéral, utilisation de pesticides de synthèse, utilisation de biopesticides, lutte intégrée contre les nuisibles des cultures, sélection variétale, irrigation et culture de contre saison, sont autant de propositions d'innovations qui ont traversé le monde rural sans pour autant marqué structurellement les écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé, notamment en ce qui concerne l'agriculture vivrière de subsistance.

✓ **Recours aux bas-fonds et plaines alluviales**

Les bas-fonds sont progressivement mis en valeur, au profit de la recherche de nouvelles terres (croissance démographique importante). Auparavant, ces zones étaient évitées à cause de la stagnation d'eau qui crée parfois des risques d'inondation. La baisse des hauteurs de pluies constatées dans certaines communes de la zone d'étude et la densification des cultures de maïs dans le bassin de l'Ouémé (comme le Bénin) encouragent les agriculteurs à mettre en valeur ces zones fertiles malgré certaines difficultés liées à la gestion de l'eau.



Photo 8 : Champs de maïs dans un bas-fond totalement aménagé à Zagnanado
Prise de vue: Inès, 2016.

6.3.2 Recours aux nouvelles espèces et variétés des cultures

De nouvelles variétés de cultures ont été semées ces dernières années. Ces variétés ont évolué en fonction des contraintes hydroclimatiques et des besoins ou possibilités offertes par les marchés. Des enquêtes de terrain, il a été constaté que les semences sélectionnées sont utilisées par la plupart des agriculteurs et bon nombre de population pensent que l'adoption des variétés à cycle court et/ou des variétés à cycle long mais résistantes est l'une des techniques de lutte contre les risques hydroclimatiques. Les variétés à cycle court ont l'avantage d'atteindre le terme de leur cycle de développement avant l'arrivée des crues et des inondations.

En règle générale, les variétés traditionnelles sont bien adaptées aux conditions locales de la région où elles ont été cultivées et développées. Cependant, elles ne sont pas nécessairement adaptées à d'autres zones. Les agriculteurs autochtones reconnaissent les différences entre les variétés traditionnelles qu'ils cultivent, et savent lesquelles d'entre elles sont adaptées à certains endroits, à certains moments. En ce qui concerne les variétés améliorées, certaines ont été développées pour être cultivées dans des zones précises, mais dans de nombreux cas, les programmes de sélection visent à produire des variétés ayant des caractéristiques d'adaptation à un large éventail de conditions agro-écologiques. Il est difficile de prévoir le comportement d'une variété (traditionnelle ou améliorée) dans une zone agro-écologique spécifique jusqu'à ce qu'elle y soit effectivement cultivée. Par conséquent, avant de recommander l'utilisation d'une variété dans une zone donnée, il est important d'obtenir des informations précises et complètes sur ses caractéristiques d'adaptation, et lorsque cela est possible, de recueillir des données sur les résultats positifs des essais de la variété sur plusieurs années, soit dans la zone cible, soit dans un autre endroit ayant des caractéristiques environnementales très similaires.

Le tableau 28 présente quelques variétés de maïs, de riz, de petit mil et de sorghos produits dans le bassin versant de l'Ouémé, la durée de leurs cycles, l'écologie de production et les critères de choix de ces variétés par les paysans.

Tableau 29 : Quelques variétés de cultures produites dans le bassin versant de l'Ouémé

Spéculations	**Variétés**	**Cycle Végétatif (jrs)**	**Rendement moyen en milieu paysan (t/ha)**	**zone de production**	**Raisons du choix de la variété**
Maïs	QPM FAABA	90	8-9	Pluvial	Rendement élevé
	Variétés locales	120	5-7	Pluvial	Bon pour le stockage
Riz	Béris 21	90	5-6	Irrigué dans les basfonds	Précocité
	Nérica-L 20	110	6-6,5	Irrigué et/ou pluvial dans les bas-fonds	Taille des plants très haute leur permettant de surmonter les eaux en cas d'inondation
	R8 (variété locale)	80	3-4	Irrigué et/ou pluvial dans les bas-fonds	Précocité
Sorgho	Locale -	90	-	Pluvial	Moins sensible à la sécheresse Base de l'alimentation

***Source** : CARDER et enquêtes de terrain, 2016*

Les paysans adoptent des variétés fournies par le CARDER à cycle court ou plus résistantes et à haut rendement. Ainsi,90 % des producteurs affirment abandonner le maïs local de 120 jours au profil des variétés à haut rendement a cause de la perturbation des dates de démarrage des saisons. Le maïs à cycle court de 75 a 90 jours est emblavé une première fois en mai pour profiter des premières pluies avant les deuxièmes semis des variétés de 120 jours qui profiteront des pluies de juin, juillet, août et septembre. Cette pratique permet

aux paysans de cultiver deux fois la même spéculation au cours d'une même saison agricole.

6.3.3 Stratégie d'adaptation de la production agricole

Il est prouvé que la variabilité pluviométrique dans son aspect spatiotemporel, a des répercussions sur les rendements agricoles et de ce fait, sur les conditions socioéconomiques du paysan. Alors, pour y faire face, les paysans ont adopté des stratégies qui leur permettent de suivre leur activité principale qu'est l'agriculture. Ces mesures sont entre autres:

- ***le choix variétal:*** les paysans cultivent dans le bassin de plus en plus les variétés de maïs à cycle court de préférence 75 jours au détriment des variétés intermédiaires et tardives. Plus de 80% des enquêtes reconnaissent la dominance du maïs à cycle court malgré les difficultés liées à cette variété (achat des intrants, la qualité de sa patte, etc.);
- ***l'utilisation progressive des engrais chimiques de types NPK*** : cette utilisation devient pressante du fait de la baisse de fertilité des sols soumis à une forte et longue exploitation sans souci de la mise en jachère. De plus, les variétés précoces sont très exigeantes en apport extérieur de nutriments;
- ***L'augmentation des superficies emblavées :*** la baisse des rendements agricoles oblige les paysans à emblaver plus d'espaces surtout dans les zones où le problème foncier ne se pose pas (cas des Collines). Même les bas-fonds antérieurement sont pris d'assaut par des cultures maraîchères ou les cultures trop exigeantes en eau comme le riz pluvial;
- ***L'association et rotation des cultures :*** plus de 60% des paysans (Zou et Collines) reconnaissent être obligés d'associer les cultures malgré la compétition en besoin d'eau.. Ainsi, le maïs est très souvent associé au manioc ou le haricot (Zou) et à l'igname et même avec le coton (Collines). Quant à la rotation, elle est une pratique endogène qui assure rapidement la régénérescence

des sols. C'est ainsi que le maïs, le haricot, les maraîchers se succèdent annuellement ou saisonnièrement sur la même parcelle cultivable ;

- *Les pratiques de semis échelonné variétal et de semis répété:* dans le but de garantir leur autonomie alimentaire dans le contexte de variabilité pluviométrique, certains paysans ont adopté les semis échelonnés variétaux où cohabitent plusieurs variétés de maïs dans le même champ et sur des parcelles différentes. L'argument avancé par ces paysans est qu'ils sont sûrs d'avoir du maïs quelles que soient les conditions pluviométriques. C'est une nouvelle méthode qui en pleine expansion dans les villages surtout du sud (Zou). Par contre, d'autres ont opté pour le semis répété en semant sur la même parcelle au cours de la même saison culturale. Ceci impose donc les récoltes échelonnées.

6.3.4 Actions pour le renforcement des capacités pour la réduction des risques hydroclimatiques

Le tableau 30, présente les actions à mener au niveau de chaque acteur socioéconomique du bassin versant pour le renforcement des capacités d'adaptation aux incidences des risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé.

Tableau 30 : Synthèse des besoins en renforcements de capacités dans différents secteurs

Secteurs	Besoin en renforcement
agriculture	- Amélioration des technologies existantes en matière de collecte, de transmission, de diffusion et d'échange d'information en temps réel. - Renforcement des systèmes de suivi des cultures et de conseils agro météorologiques au niveau des zones agro écologiques. - Renforcement des outils de prévention et de gestion des risques hydroclimatiques
énergie	- Développement des plantations de bois-énergie à partir d'essences résistantes à la sécheresse - Implantation des centrales électriques à biomasse dans des zones moins sujettes aux inondations - Promotion d'infrastructures énergétiques robustes susceptibles de résister aux phénomènes hydrométéorologiques dangereux
Ressource en eau	- Accroissement de la capacité de stockage (naturelle et artificielle) des eaux de surface et des eaux souterraines. - Promotion de la gestion intégrée et participative des ressources en eau. - Renforcement de la réglementation en faveur de la lutte contre l'occupation des exutoires naturels d'eau.
Tourisme	- Renforcement des capacités en matière de sensibilisation, d'information et de communication pour un changement de comportement à l'égard des risques hydroclimatiques - Développement des connaissances sur les menaces et opportunités des risques hydroclimatiques sur les écosystèmes, habitats et espèces.
Littoral	- Protection et restauration des mangroves et écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé - Mise en place d'un système de surveillance et d'avertissement en cas d'événements extrêmes. - Education et sensibilisation des communautés riveraines sur les menaces potentielles des risques hydroclimatiques

Foresterie	- Mise en œuvre d'un plan de gestion participative et inclusive des écosystèmes forestiers - Intensification des actions de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité
Santé	- Renforcement des systèmes d'information, d'éducation et de communication relatif à l'adaptation de santé humaine aux risques hydroclimatiques - Développement d'une planification stratégique des interventions de santé face aux risques hydroclimatiques

***Source** : OYEDE, juin 2017*

Tous les secteurs d'intervention des risques et catastrophes ont besoin d'un renforcement de capacités pour mieux s'imprégner des questions de risques hydroclimatiques en vue d'une meilleure prise en compte dans les projets et programmes.

Par ailleurs, Il est essentiel de travailler à augmenter la capacité de la société béninoise à s'adapter pour mieux faire face aux risques hydroclimatiques (inondation et sécheresse) déjà amorcés. En effet, malgré les efforts des Béninois et ceux de la communauté mondiale pour réduire ces risques, ces dernières seront à la hausse pendant une bonne partie du 21ème siècle, ce qui donnera lieu à une intensification des changements climatiques. Il faut donc prévoir des mesures qui permettront de réduire les vulnérabilités sociales, écologiques, économiques et environnementales en vue de favoriser l'adaptation des secteurs qui y sont sensibles. Ces mesures se présentent ainsi qu'il suit :

- Renforcer les synergies entre la gestion des risques hydroclimatiques et leur stratégies d'adaptation;
- Intégrer l'adaptation aux changements climatiques dans les stratégies et les plans mis en œuvre par l'Etat pour préserver la biodiversité ;
- Inventorier les risques hydroclimatiques existants et leur plan de gestion ;
- Réduire la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le secteur de l'agriculture et des ressources en eau ;

- Améliorer les connaissances sur le fonctionnement hydrométéorologique des bas-fonds et sur les techniques culturales, en vue de leur mise en valeur, l'évaluation du bilan hydrique des cultures et leur exploitation agricole au Bénin ;
- Se doter d'outils efficaces de suivi des phénomènes de déséquilibre structurel, de rareté de la ressource et de sécheresse dans un contexte de changement climatique ;
- Accompagner le développement d'activités et une occupation des sols compatibles avec les ressources en eau disponibles localement ;
- Assurer la disponibilité permanente de données climatologiques pour répondre aux besoins des divers utilisateurs et faciliter la prise de décisions.

6.3.5 Programme décentralisé pour la gestion des inondations à l'horizon 2021

L'inondation constitue l'aléa le plus important, de par son occurrence et l'ampleur des impacts. Les lois sur la décentralisation au Bénin confèrent aux collectivités locales des compétences pour la gestion des inondations et des catastrophes qui touchent les communautés. Pour renforcer les capacités les plus vulnérables, un plan d'actions a été élaboré dans une approche préventive, tant socio-économico-environnementales que techniques. L'objectif global visé est de renforcer au terme des cinq prochaines années (2016- 2021) la résilience et la capacité d'adaptation aux inondations des communautés rurales urbaines et périurbaines.

Tableau 31 : Capacité d'adaptation aux inondations des communautés rurales urbaines et périurbaines

OBJECTIFS	RESULTATS
OS1 : ASSURER LE RENFORCEMENT DES INFRASTRUCTURES DE GESTION DES INONDATIONS	**R1.1 :** Les ouvrages primaires et secondaires de drainage dans les principales villes à risque d'inondation du Bénin sont conçus et réalisés **R1.2 :** Les mairies et autres structures compétentes sont formées et dotées d'équipements appropriés pour l'entretien régulier des ouvrages de drainage et d'assainissement **R1.3 :** Des projets pilotes sont conçus pour adapter l'habitat au milieu face aux risques d'inondations
OS2 : ASSURER UNE GESTION PREVENTIVE DES RISQUES D'INONDATION	**R2.1 :** Un cadre de concertation entre les acteurs de gestion de crises au sein de la Plateforme Nationale est mis en place pour une meilleure coordination des actions de réduction des risques d'inondation **R2.2** : Un système de prévention et d'alerte précoce est mis en place **R2.3** : Les outils de planification et de gestion rurale et urbaine sont conçus pour la prévention des risques d'inondation **R2.4 :** Les communautés rurales et les centres urbains et périurbains à risque sont informés et sensibilisés pour des changements de comportement et de résilience
OS3 : ENTREPRENDRE LE RENFORCEMENT DU CADRE INSTITUTIONNEL ET REGLEMENTAIRE	**R3.1 :** Le cadre institutionnel et réglementaire de gestion des inondations est clarifié, rationnalisé et opérationnalisé **R3.2 :** Les ressources pérennes pour couvrir les charges liées à la réponse aux inondations sont définies et recherchées.
OS4 : ENTREPRENDRE LE RENFORCEMENT DES CAPACITES DES ACTEURS	**R4.1 :** Les capacités de l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion des inondations sont renforcées
OS5 : VALORISER LES ZONES INONDABLES	**R5.1 :** Les zones inondables ont accueillie des aménagements

Source : PUGEMU, 2016

Par ailleurs, la mobilisation des ressources pour la mise en œuvre des actions identifiées passe par l'évaluation de tous les canaux de financement. Les stratégies de mobilisation des ressources seront axées sur les ressources intérieures et extérieures.

Les sources de financement de ces actions sont les contributions de l'Etat du secteur privé, des partenaires bilatéraux et multilatéraux. Des arrangements de cofinancement dans les domaines connexes tels que le suivi des conflits, le changement climatique, la désertification, l'agriculture peuvent également s'effectuer. Aussi les appels à proposition de projets des partenaires au développement sont à saisir pour financer les actions.

6.4 Perception paysanne pour une meilleure adaptation aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé

Les perceptions météorologiques paysannes du risque hydroclimatique actuel dans le bassin de l'Ouémé constituent des savoirs locaux basés sur les expériences vécues pour expliquer et comprendre l'évolution récente du climat. Le but sera d'assurer une documentation et des supports actualisés et pertinents au bénéfice de la population en général et de celle des secteurs prioritaires retenus en particulier. À partir des enquêtes de terrain, les conclusions montrent que les paysans perçoivent clairement les effets des risques hydroclimatiques qui se traduisent par une modification de l'environnement biophysique et écologique. Les faits évocateurs de ces changements se manifestent par des orages violents, l'irrégularité des pluies, les sécheresses récurrentes, la perturbation dans la durée des différentes saisons de l'année et des périodes de semis, la disparition des points d'eau temporaires, la dégradation des ressources végétales, la disparition progressive de la biodiversité, la baisse des rendements, les changements sensibles de la physionomie du paysage et la disparition de la faune.

Le tableau suivant présente des stratégies d'adaptation au développement par secteurs.

Tableau 32 : Option d'adaptation par secteur prioritaire dans le bassin du fleuve Ouémé

Secteurs prioritaires	Objectifs	Mesures d'adaptation
Agriculture, pêche et sécurité alimentaire	Atteindre et préserver la sécurité alimentaire	• Changement des dates d'ensemencement • Diversification de la production agricole par laculture de plantes plus résistantes (à la sécheresse dans les zones affectées par la sécheresse ; • Subventions pour les engrais, les semences et/ou des prix garantis pour les agriculteurs • réensemencement des pâturages • Techniques d'irrigation économes en eau • Aménagement du territoire, mesures de préservation des sols • Diversification des sources de poisson pour les conserveries • Introduction de mécanismes de concentration de poisson
Ressources en eau	Atteindre et préserver la sécurité de l'eau et l'assainissement	• Collecter l'eau de pluie • Réhabiliter les zones humides • Intégrer la gestion des bassins hydrographiques à l'utilisation des terres et aux avantages de la protection des zones côtières • Réhabiliter les forages/puits • Concevoir des réservoirs, des canaux d'irrigation, des bassins et des digues résilients • Utiliser l'eau de manière efficiente • L'assainir de manière écologique (« éco-assainissement »)
Ecosystèmes	Protéger et améliorer la structure et le fonctionnement de l'écosystème en vue de la fourniture durable de biens et services écosystémiques.	•Reboisement, réhabilitation et gestion des zones côtières • Optimisation de la gestion et du drainage de l'eau douce • Gestion des sols et de la végétation • Gestion intégrée des bassins hydrographiques • Réensemencement des pâturages • Plantation d'arbres et d'herbe dans les ravines • Réhabilitation des bassins envasés et reconstitution des bassins versants

santé	Soutenir et améliorer la santé et la sécurité des personnes	• Distribution de moustiquaires traitées • Production de bio-pesticides • Création et réhabilitation de centres de santé • Mesures visant à garantir l'accès à l'eau potable • Systèmes de traitement des eaux usées
Culture	Protéger et préserver les valeurs et systèmes culturels	• Protection et conservation des espèces indigènes ; • Préservation des sites d'héritage culturel et promotion des jardins botaniques.

Source : travaux de recherche, mars 2016.

Il ressort de ce tableau que les perceptions paysannes, n'étant pas uniformes, indiquent une multitude de mesures d'adaptation liées aux risques hydroclimatiques. La mise en œuvre des objectifs énumérés ci haut nécessitera la mise en place d'un mécanisme pour une assistance technique avérée. Cette assistance technique consistera à mettre en œuvre un dispositif d'expertise pour accompagner les initiatives allant dans le sens de la protection du climat. Il s'agira de créer des mécanismes pour un appui logistique et le renforcement des moyens institutionnels à la gouvernance de l'environnement hydro-climatique.

Cette assistance technique laisse à promouvoir le renforcement des capacités en:

- créant des services d'appui et de vulgarisation et/ou en les renforçant, pour une diffusion plus efficace des méthodes pertinentes, et en formant des animateurs et des membres des organisations rurales aux méthodes d'informations actives sur les risques hydroclimatiques ;
- dotant les structures de recherche et institutionnelle sur l'hydro-climatologie des moyens techniques et financiers en appuyant les décideurs, les gestionnaires ainsi que le personnel chargé de la collecte et de l'analyse des données, de la diffusion et de l'utilisation des informations sur les risques hydroclimatiques ;

- soutenant les actions d'élaboration d'outils didactiques centrés sur les questions des risques hydro-climatiques à insérer dans les programmes scolaires et universitaires appropriés ;
- appuyant les initiatives allant dans le sens du renforcement des capacités aux échelles locale et nationale.

CONCLUSION GENERALE

La problématique des changements climatiques s'exprime en termes de variabilité, de surabondance en un temps très court (inondation) ou de déficit en eau (sécheresse) puis de la qualité de l'eau. Il s'agit entre autre de l'amenuisement de la disponibilité et de la dégradation de la qualité de l'eau.

Dans le même sens, Totin (2003 et 2005) et Boko (1988) ont mis en évidence les stratégies inspirées des us et coutumes face à l'ampleur des changements climatiques, les baisses des rendements agricoles et de pêche, des relations établies entre les éléments physiques de l'environnement dans le Sud-Bénin.

Les risques hydroclimatiques sont de plus en plus fréquents dans le bassin versant de l'Ouémé. A cet effet, les ressortissants du fleuve Ouémé possèdent une large connaissance (endogène et exogène) des phénomènes hydroclimatiques. Plusieurs indicateurs tant biologiques qu'écologiques permettent de caractériser ou de prévoir le climat (Serle et Morel, 1979).

La vulnérabilité du milieu est fonction des unités de paysage. Les parcelles en haut des pentes s'assèchent très rapidement durant les périodes de sécheresse, réduisant ainsi la disponibilité en eau des plantes, les soumettant à un stress hydrique et aboutissant à une baisse drastique des rendements. Les excès de pluie par contre entraînent des processus de lessivage des éléments nutritifs et d'érosion des sols occasionnant des pertes substantielles de récoltes, la dégradation des pistes de desserte rurales et l'effondrement des habitations. Les producteurs expriment par ailleurs les conséquences des risques hydroclimatiques à travers les effets néfastes ressentis sur leurs activités agricoles, leur santé et leurs milieux de vie. Les cultures telles que le maïs, le niébé, l'arachide, le manioc et la patate douce sont sujettes à des pertes substantielles de récoltes qui menacent l'autosuffisance alimentaire des

populations qui vivent dans le cercle vicieux de la pauvreté. La recrudescence des maladies fragilise la santé des populations aussi bien que celle des animaux d'élevage qui paient de lourds tributs aux bouleversements hydroclimatiques.

Les connaissances endogènes relatives aux phénomènes hydroclimatiques dont sont détentrices les populations se trouvent confrontées à d'énormes difficultés dues à la non-réactualisation de ces connaissances et surtout de son mode de conservation ; ce que mettent en évidence Bokonon-Ganta (1987), Ogouwalé (2013) et Allé et *al*. (2013). Ce qui entraine une baisse de rendement chez les producteurs agricoles, suite à l'adoption de nouvelles variétés culturales.

Cette étude a permis de montrer que les écosystèmes sont d'une part fragilisés sous l'effet du facteur anthropozoïque, et d'autre part vulnérables aux risques hydroclimatiques. Actuellement surexploités, ils seraient plus dégradés sous la même pression et sous des conditions d'aridité plus fortes. Les conséquences directes se traduiront par une réduction des biens et services fournis par ces écosystèmes (accentuation du déficit du bilan fourrager, appauvrissement en espèces les plus prisées par les populations locales ou par les animaux, amplification du phénomène de la désertification…). Une telle situation se traduirait par l'accroissement de l'insécurité alimentaire, l'augmentation de la pression sur les ressources en eau qui souffrent déjà de pénurie chroniques pouvant entraver la croissance économique ce qui augmenterait la probabilité de conflits, les mouvements des populations, les migrations non contrôlées, la pauvreté et l'inégalité sociale. L'analyse synthétique des approches de la vulnérabilité de ces écosystèmes montre qu'en dépit de la sévérité des conditions climatiques, ceux-ci restent caractérisés par des capacités adaptatives et productives très élevées si cette sévérité est compensée par une meilleure gestion et un écosystème plus sain, plus équilibré et plus efficace.

La bonne capacité de résilience qui caractérise les écosystèmes de la zone d'étude est assurée à la fois par les particularités des régulations morphologiques et physiologiques des plantes qui s'y développent et par la diversité de l'origine biogéographique de leurs cortèges floristiques.

Le système adaptatif primaire des populations du bassin versant de l'Ouémé est inspiré des us et coutumes et des liaisons établies entre les facteurs physiques (climatiques et hydrologiques) et la culture. Les savoirs endogènes sont généralement utilisés pour répondre à la modification périodique ou permanente de l'environnement et aux menaces qui pèsent sur la vie des populations.

Les risques hydroclimatiques posent un problème de survie au sein des communautés rurales du milieu d'étude. La présente étude a permis de montrer la perception des paysans face aux risques hydroclimatiques. Le démarrage tardif des saisons, l'augmentation de la température, le raccourcissement des saisons et la sècheresse sont, entre autres, des risques climatiques bien perçus par les paysans. Les impacts de ces risques sur la disponibilité en eau, sur l'agriculture, la végétation, le sol et les cultures, sont bien perçus par la plupart des populations enquêtées. Ainsi, certains paysans ont abandonné les variétés à cycle long au profit de celles à cycle court pour allier le cycle des spéculations au régime pluviométrique. D'autres ont diversifié les cultures ou dispersé les champs pour multiplier les chances de réussite. Mais les options d'adaptation développées par ces paysans qui pratiquent une agriculture pluviale dans un contexte de variabilité et de changements climatiques où les pluies sont très aléatoires, ne suffisent plus pour faire face aux incertitudes climatiques et à la vitesse avec laquelle ces changements se produisent. La variabilité et les changements climatiques combinés avec la conjoncture économique difficile continuent d'avoir un impact négatif sur la durabilité de leurs moyens d'existence.

La présente étude, a montré la vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou. Face à cette étude, des options d'adaptations ont été proposées en vue de faire face aux effets néfastes des changements climatiques qui surgissent dans le milieu. Au nombre de ces options, on peut citer : l'utilisation des variétés précoces et résistantes à la sècheresse, le développement de nouvelles techniques culturales, l'agroforesterie, le développement des techniques d'irrigation, la régénérescence naturelle assistée.

PERSPECTIVES DE L'ETUDE

Les risques sont des phénomènes complexes qui nécessitent une analyse approfondie en intégrant les différentes variables pouvant les caractériser. De ce point de vue, plusieurs autres perspectives s'offrent à nous. Il s'agit entre autre d'aborder d'autres variables climatiques pour parfaire les différentes méthodes d'analyse des risques hydroclimatiques présents et à venir. Il est donc possible d'envisager des cartes de risques hydroclimatiques tout en précisant les différentes régions pouvant connaitre avec précision les types d'inondations et de sécheresses. Ainsi d'autres champs de recherche se dégagent pour la poursuite des travaux. Il s'agit de :

- Les modèles globaux et les scenarios climatiques futurs ;
- La modélisation du climat actuel dans le bassin du fleuve Ouémé ;
- Analyse des indices agroclimatiques futurs et leur impact sur les risques hydroclimatiques.

BIBLIOGRAPHIE

1. ACDI (1985) : une solution à long terme pour le Sahel : l'assistance bilatérale canadienne. Quebec, 28 p.

2. AGOSSOU D. et al (2012) : perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois, article, African Crop Science Journal, Vol. 20, 24p.

3. AHOUANGAN M.B.D. (2012) – Vulnérabilité et résilience des populations rurales en Afrique subsaharienne : cas des inondations dans la commune de Zagnanado au Bénin. Mémoire inédit. Master complémentaire en Gestion des risques naturels. Université de Liège. 18 p.

4. Akakpo E., 2015**:** Vulnérabilité des écosystèmes de la forêt classée d'Agoua aux changements climatiques. Mémoire de DEA/UAC/EDP/FLASH, 99 p.

5. AKINDELE (A. A.), 2009. *Interprétation socio-anthropologiques des indicateurs environnementaux de la dynamique du climat dans le Département du Plateau*. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/ FLAHS/DGAT, 65 p.

6. AKINDELE (A. A.), 2011. *Savoirs ethno-climatologiques et organisation de la vie socio-économique et culturelle en pays wemɛ*. Mémoire de DEA EDP/FLASH/UAC, 80 p.

7. Alain Tossounon, (2010) : Variabilité Climatique : Le Benin face aux difficiles heures de l'adaptation ;

8. Ali A, Lebel T, Amani A. Invariance in the spatial structure of sahelian rain fields at climatological scales. *J Hydrometeor* 2003; 4: 996 -1011.

9. ALILA, Y. (1999): A hierarchical approach for the regionalization of precipitation annual maxima in Canada. J. Geophys. Res. 104(D24) 31645–31655.

10. AMANI, A. & LEBEL, T. (1998): Relationships between point rainfall, average sampled rainfall and ground truth at the event scale in the Sahel. Stochastic Hydrol. Hydraul. 12, 141–154.

11. AMOUSSOU E., 2010: Variabilité pluviométrique et dynamique hydro sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat Unique, Université de Bourgogne, centre de Recherches de Climatologie (CRC) CNRS UMR 5210, 315 p.

12. AMOUSSOU E., 2014 : Péjoration climatique et dynamique hydroécologique dans le bassin-versant du fleuve Ouémé à Bonou au Bénin, 32 pages.

13. ATCHADE A. A. G., 2014. Impacts de la dynamique du climat et de l'occupation des terres sur les ressources en eau du bassin-versant de la rivière zou dans le Bénin méridional, Thèse de Doctorat, EDP/FLASH, 235p

14. BADOLO M., (2007): Indications sur les incidences potentielles des changements climatiques sur la sécurité alimentaire au Sahel, Cahier des changements climatiques, IAVS, 9 p.

15. Beucher, 2005 : Schéma conceptuel de la Zone de Convergence Intertropicale sur le Pacifique Est en juillet-Août pendant une année normale. Atmosphérique n° 26, avril 2005, disponible sur http://intramet.meteo.fr, rubrique institutionnel /publication. Illustration de F. Poulain.

16. Bodian, A. 2014. Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). Physio-Géo. Géographie physique et environnement, (Volume 8), 297-312.

17. Bodian, A., Dezetter, A., Diop, L., Deme, A., Djaman, K., & Diop, A. 2018. Future Climate Change Impacts on Streamflows of Two Main West Africa River Basins: Senegal and Gambia. Hydrology, 5(1), 21

18. Boissier L., Vinet F., 2009. Paramètres hydroclimatiques et mortalités due aux crues torrentielles. Études dans le sud de la France. Geographica Technica, Numéro spécial, pp79 84 pages.

19. BOKO M., 1988 : Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat d'Etat ès L. S. H. CRC, URA 909 du CNRS, Université de Bourgogne, Dijon. Volume 2, 601p.

20. BOKO M., ADJOVI L.C., 1994. Recherche des tendances dans les séries pluviométriques du Bénin méridional. Implications agroclimatiques. *In Publications de l'Association Internationale de Climatologie*. Volume 7.Thessaloniki, pp 294-304.

21. BOKO M., 1987. Etude sur la variabilité pluviométrique au Bénin. In. Climat et Climatologie. Volume d'Hommage offert au Professeur Pierre PAGNEY,. Centre de Recherches de Climatologie, URA 909 du CNRS, Dijon, pp. 41-50 ;

22. BOKO (M.), 1988. *Climats et communautés rurales aux Benin : Rythmes climatiques et rythmes de développement*. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Lettres et Sciences Humaines. CRC, URA 909 du CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 2 volumes, 601 p.

23. Boko, M., 1992. Saisons et types de temps au Bénin : analyse objective et perceptions populaires. Espace géographique. 21(4): 321-324.

24. BOKO M., ADJOVI L.C., (1994) : Recherche des tendances dans les séries pluviométriques du Bénin méridional : Implications agroclimatiques. In Publications de l'Association Internationale de Climatologie. Volume 7. Thessaloniki. Pp 294-304.

25. BOKONON-GANTA (E. B.), 1987. *Les climats de la région du Golfe du Bénin. (Afrique Occidentale)*. Thèse de doctorat du 3ème cycle, Paris IV, Sorbonne, 248 p + Annexes.

26. BOKONON-GANTA (E. B.), Ogouwale E. et Fakorede N., 2003 : vulnérabilité de l'Agriculture aux changements climatiques dans la région (centre du Benin), p.188-204.

27. Bricquet, J. P., Bamba, F., Mahé, G., Touré, M. & Olivry, J. C. (1997) : Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Rev. Sci. Eau* 3, 321–337.

28. Chaléard, J.-L. (1996) Temps des villes, temps des vivres. L'essor du vivrier marchand en Côte d'Ivoire. Karthala: Coll. Hommes et Sociétés.

29. Dedieu B., Ingrand S., 2010, « Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage », Inra Productions Animales, 23 (1), pp. 81-90.

30. DELHOMME, J. P. (1978) : Application de la théorie des variables régionalisées dans le domaine des sciences de l'eau. Bull. du BRGM (2ème série) Session III, 4, 341–375.

31. DIOP (2010) : Rapport spécial IPCC sur la gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique, 16 p 216

32. DIRECTION GENERALE DE L'EAU (2008) : Atlas hydrographique de Bénin ; 22p

33. DOUKPOLO Bertrand, 2007 : Variabilité et tendances pluviométriques dans le nord-ouest de la Centrafrique: enjeux environnementaux

34. DOUKPOLO Bertrand (2014) : « changements climatiques et productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine, 338 p

35. ENDA et CIAT., (2005) : Renforcement des capacités en matière d'évaluation de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation aux changements climatiques. Modules I, II, III du Manuel Winograd (Colombie). ENGEES-ULP: 101.

36. FAO, 2007. Situation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation dans le monde, enseignements des 50 dernières années, Rome, Chap. II - 312 p.

37. FARES B., (2012): Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi-aride « cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 ». Diplôme de Magister en Hydraulique 181p.

38. FEM, (2006): Managing Climate Risk, Integrating Adaptation into World Bank Group Operation, Banque Mondiale, Fonds pour l'Environnement Mondial, 2006-09-20.

39. FIDA., (2008) : Le changement climatique : un enjeu pour le développement. et la désertification.

40. GACHON P., N. GAUTHIER, A. BOKOYE, D. PAUISHKURA, A. COTNOIR, Y. TREMBLEY ET G. VIGEANT. (2007) : Variabilité, extrême et changement climatique au Sahel: de l'observation à la modélisation. Rapport de projet Entente de coopération entre le Centre AGRHYMET et Environnement Canada. Version mars 2007. p. 10-64.

41. Gilard O., et Gendreau N: « Inondabilité : Une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants », Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 11, n° 3, 1998, p. 429-444.

42. GIEC, (1995) : Seconde évaluation du GIEC: changement de climat 1995 (Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 64p.

43. GIEC, 2001**.** Climate change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group 2 to the Third Assessment Report: 100 p.

44. GIEC, (2007) : Changements climatiques 2007 (Rapport de synthèse), 103 p.

45. Henry J.B., Matgen P., Tholey N., Pfister L., Hoffmann L., De Fraipont P:Vers une intégration des techniques spatiales pour la gestion des inondations, Bulletin SFPT n° 172 (2003-4).

46. HOUESSOU S., 2016. Barrages hydroélectriques et risques d'inondation dans la basse vallée du fleuve Mono (Afrique de l'Ouest), Thèse de Doctorat, EDP/UAC, 197p

47. HOUNDENOU, C. **&**HERNANDEZ, K., 1998.Modification de la saison pluvieuse dans l'Atakora (1961-1990) : un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique Occidentale). Science et changements planétaires

48. HOUNDENOU C., (1999) : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide, diagnostic et modélisation. Th. de doct. De l'Univ. de Bourgogne.UMR 50 80 du CNRS, climatologie de l'espace tropicale, 341 p.

49. HOUNDENOU C., 1992. Variabilité pluviométrique et conséquences socio-économiques dans les plateaux du bas-Bénin (Afrique de l'Ouest). Mémoire de DEA "Climats et contraintes climatiques". URA 909 du CNRS "Climatologie Tropicale". Université de Bourgogne. 2 volumes, Dijon, 90 pages.

50. HOUNDENOU C., 1999. Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide. l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. *Thèse de Doctorat* de l'Université de Bourgogne Dijon. 390 pages.

51. HOUNDENOU C., HOUSSOU C. S., VISSIN E.W., BOKO M., PERARD J., 2004. Recherches de tendance dans les séries pluviométriques du bassin béninois du fleuve Niger, (Afrique de l'Ouest) : *Actes du XVIIème Colloque International de Climatologie,* Caen. pp. 171-175.

52. HUFTY A., 1976. Introduction à la climatologie. P.U.F. Collection Magellan, Paris. 264 pages.

53. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE)., 2002 : Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH3). Direction des Etudes Démographiques, 490 pages.

54. INSAE-RGPH III, 2002. Troisième Recensement General de la Population et de 1'Habitation (2002). Cotonou, Benin.

55. JANICOT S., FONTAINE B., (1993) : L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. La Météorologie, 8, pp. 28-53.

56. JAUFFRET, S., (2000) : Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides, application au suivi de la désertification dans le sud tunisien, Thèse d'écologie, Université d'Aix-Marseille, 328 p.

57. JEAN, B. (1985) : Sécheresse et désertification au Mali : situation actuelle et perspectives. *Revue Forestière Française*, 2 : 77-92 et 4 : 315-331.

58. Vodounou **J.,** Doubogan Y., (2016) : Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin 38 pages.

59. Klassou S. D., 1996. Évolution climato-hydrologique récente et conséquences sur l'environnement : l'exemple du bassin versant du fleuve Mono (Togo-Bénin). Thèse de Doctorat,Université de Bordeaux III, 472 p.

60. KOUDAMILORO Olivier 2014 : Etudes des risques hydroclimatiques dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bétérou au Bénin (Afrique de l'Ouest) 13 pages

61. LE BARBE L., ALE G., MILLET B., TEXIER H., BOREL Y., 1993. Monographie des ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Paris, ORSTOM, 540 pages.

62. Liebmann, B. & Marengo, J., 2001.Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. J.Clim. *14*(22): 4308–4318.

63. Mahe, G. et Olivry, J.C., 1995. Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 a 1989. *Sécheresse*, 6 (1),109–117.

64. Mama D., 2010. *Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin)*. Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges, France, 157 p.

65. MEHU (2011). Deuxième Communication Nationale de la République du Bénin sur les Changements climatiques. 165p.

66. MEPN (2006) : Evaluation concertée de la vulnérabilité aux variations actuelles du climat et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Rapport de synthèse.

67. Mohammed Layelmam, (2008) : Projet de Mise en place d'un Système d'Alerte précoce à la Sécheresse dans trois pays de la rive Sud de la Méditerranée: Algérie, Maroc, et Tunisie, LIFE05 TCY/TN/000150

68. N'DA L. et AL (2005) : Inventaire de la forêt classée de Tanaka pour un aménagement participatif dans la commune de Copargo. Rapport 37p.

69. NDONG J.B., 2003. Caractérisation de la saison des pluies dans le centre-Ouest du Sénégal., Publication de l'Association Internationale de Climatologie, vol 15, pp. 326-332.

70. NICHOLSON S.E., 1994. Recent rainfall fluctuation in Africa and their relationships to past condition over the continent. *The Holocene*, pp. 121-131.

71. Moniod, F. (1973). Régime hydrologique de l'Ouémé (Dahomey). Cah. ORSTOM, sbr.Hydrol., 171-183

72. Mosnier C., Agabriel J., Lherm M., Reynaud A., 2009, « Résilience des élevages de bovins allaitants en présence d'aléas climatiques : un modèle bioéconomique dynamique », Rencontres Recherches Ruminants, 16, p. 124.

73. OGOUWALE, E. (2004) : Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridion*al.* Mémoire de DEA, UAC/EDP/FLASH, 119p.

74. OGOUWALE (E.), 2006. Changements climatiques dans le bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 302 p.

75. Ogouwalé R., 2013. Changements climatiques dynamique des états de surfaces et prospectives sur les ressources en eau dans le bassin-versant de l'Opkara a l'exutoire de Kaboua thèse de Doctorat unique, Université d'Abomey-calavi, Bénin 203p.

76. OGOUWALE (R.), OGOUWALE (E.), HOUSSOU (C.) et BOKO (M.), 2010. « Impacts de la péjoration climatique observée sur les ressources en eau dans le haut bassin de l'Okpara au Bénin (Afrique de l'Ouest) » in *Actes du XXIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC)*, pp. 475-480.

77. OLIVRY J. C., 1993. Evolution récente des régimes hydrologiques en Afrique intertropicale. In *l'eau, la terre et les hommes*, hommage à René Frécaut Ed. Presses Universitaires de Nancy, pp 181-190.

78. OLIVRY, J.C., BRICQUET, J.P., MAHE, G., 1998. Variabilité de la puissance des crues des grands cours d'eau d'Afrique intertropicale et incidence de la baisse des écoulements de base au cours des deux dernières décennies.- Abidjan, nov. 1998 ,*IAHS Pub*. n° 252, pp. 189-198.

79. OLIVRY, F., (2012) : Exploration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité des systèmes essentiels d'une région face aux extrêmes météorologiques dans un contexte de changements climatiques ; 144p

80. OMM, (1999) : Guide des pratiques hydrologiques.

81. OMM 2006. Gestion intégrée des crues: aspects sociaux et participation des parties prenantes. APFM, politiques de gestion des crues. 106 P.

82. OMM, 2006 : Prévention de catastrophes naturelles et atténuation de leurs effets. Bulletin OMM, N°993. www.wmo.int.

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

84. OMM., 1992. Guide des pratiques hydrologiques, Organisation météorologique mondiale, Publication n° 168, Genève, 793 pages.

85. ONU. (1992). Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 25 pages.

86. ONU, 2002. Rapport de la mission inter-agences du système des nations unies dans le cadre de la catastrophe survenue dans les régions de Saint-Louis et Louga, 15 pages.

87. OSS, (2006): West Africa's vulnerability to climate impacts on water resources, and désertification, 19 p.

88. OSS, (2007) : Adaptation aux changements climatiques et Lutte contre la désertification (Note introductive), 34 p.

89. OSS, (2007) : Vulnérabilité et Adaptation aux changements climatiques dans la zone circum-saharienne : Importance de l'information environnementale et de la coopération régionale, 52p.

90. Ouédraogo M., 2001. Contribution a l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat, Université de Monpellier II, 257 p

91. Ouédraogo M., Paturel J. E., Mahé G. et Servat E., 2002. Conséquences des déficits pluviométriques observés depuis le début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale : normes hydrologiques, gestion et planification des ressources en eau. IAHS Pub. n° 274, pp 149-156.

92. OYENIRAN (R.), 2011. Contribution à l'étude des approches endogènes d'adaptation des producteurs agricoles à la variabilité climatique dans le bassin supérieur de l'Ouémé à Bétérou. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLAH/DGAT, 83 p.

93. Ozer P., 2007. Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie) Geo-Eco-Trop 31

94. Ozer P., Erpicum M., 1995. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. Science et changements planétaires /

93. Sécheresse. Volume 6, Numéro 1, pp. 103-128.

94. PAETH H AND HENSE A (2004): SST versus climate change signals in West African rainfall: 20th-century variations and future projections, *Climatic Change* 65 (1), 179–208.

95. PANA, (2008) : Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Bénin (Pana-Benin) Cotonou, janvier.

96. PATUREL JE., SERVAT E., KOUAME B. et BOYER JF., (1995) : Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. *Bulletin. Sécheresse.*, vol. 6, n°1, pp. 95-102.

97. PATUREL, J.E., KOUKPONOU, P., OUATTARA, F. LAOUR, A. MAHE, G. & CRES, F. N. (2002) : Variabilité du climat du Burkina Faso au cours de la seconde moitié du XXème siècle. *Sud Sciences et Technologies* **8**, 41–49.

98. PAGNEY P., (1973) : La climatologie. *Que sais-je*, n°171, PUF, 127 pages.

99. Perard J., Boko M. et Bokonon-Ganta B. E., 1991.Contraintes climatiques et croyances en Afrique Tropicale : Essai d'éthnoclimatologie. In Actes du 3ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lannion, 163-171 pp.

100. PHILIPPON N., (2002) : Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : Méthodes et diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001). Thèse de Doctorat, CRC, Université de Bourgogne, 242 pages.

101. Projet SAP-BENIN (2014), Modélisation des impacts économiques des changements climatiques par secteur de développement du secteur de ressource en eau ;

102. Projet SAP-Bénin, 2014. Modélisation des impacts économiques des changements climatiques

103. par secteur de développement : prise en compte du genre dans la modelisation, rapport d'etude, 85p

104. ROUSSEAU, S. (2006) : Capabilités, risques et vulnérabilité, C3ED, Université de Versailles-St-Quentin-en-Yvelines, 10 p.

105. Sare A. B., Houessou L. G., Teka O., Houssou C., Sinsin B. 2013. Analyse de l'impact des variabilités climatiques sur les systèmes agrofesteries : Perception, stratégie d'adaptation et de mitigation des communautés locales dans la réserve de biosphère transfrontalière w au Bénin, 26ème colloque de l'AIC, Cotonou, pp 458-463.

106. Sarr B., 2006**.** Les changements climatiques et la vulnérabilité des ressources en eau et de l'agriculture, Centre Régional AGRHYMET, DFR, Niamey. Communication scientifique, 22p.

107. Sarr B., 2006**.** INSTAT+ en bref Manuel d'utilisation destiné aux Ingénieurs en agrométéorologie et en météorologie aéronautique, CILSS, Centre régional Agrhymet, 74 p.

108. Sarr B., Lona I., 2009**.** Les fortes pluies et les inondations enregistrées au Sahel au cours de l'hivernage 2007 : variabilité et / ou changement climatique. 14ème Colloque International, SIFEE « *Changement climatique et évaluation Environnementale*» Outils et enjeux pour l'évaluation des impacts et l'élaboration des plans d'adaptation, Niamey 26-29 mai. 29 p.

109. SERLE (W.) et MOREL (G. J.), 1979. Les oiseaux de l'Ouest africain. Edition DELACHAUX et NIESTLE, 331 p.

110. SUTCLIFFE V.J., PIPER B.S., 1986. Bilan hydrologique en Guinée et au Togo - Bénin. In hydrol. Continent. Vol I, n° 1, pp. 51 - 61.

111. Saar B. 2009 b. Recrudescence des fortes pluies et des inondations dans un contexte de changement climatique. Le Sahel face aux changements climatiques : Enjeux pour un développement durable. Centre Régional Agrhymet, CILSS, Niamey., Spécial : 9-10.

112. SALEY, M. B., B. KOUAME, K. F., PENVEN, M. J., BIEMI, J. & KOUADIO, B. H. (2005) : Variabilité climatique et analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest non sahélienne. C. R. Acad. Sci., Paris 325, Série IIa, 779-782.

113. Schipper F., Lisa E., Cigarán Paz M., Hedger McKenzie M., 2008.L'adaptation aux changements climatiques : le nouveau défi pour le développement dans le monde en développement. An Environment & Energy Group Publication, PNUD, 21p.

114. Sultan B., Baron C., Dingkuhn M., Janicot S., 2004.La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière, 2ème partie : Applications à la sensibilité des rendements agricoles au Sahel. Sécheresse, in Press.

115. THUILLER W, LAFOUCARDE B, ENGLER R, 2009. BIOMOD, a plateform for ensemble forecasting of species distributions. Ecography, 32, pp 369-373.

116. TOTIN (V. S. H.), 2003. Changements climatiques et vulnérabilité des ressources en eau sur le Plateau d'Allada. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLAH/DGAT, 106 p.

117. Totin, V. S. H., Amoussou, E., & Boko, M., 2007. Dynamique de la mousson ouest-africaine, régime hydrologique et gestion de l'eau dans le bassin supérieur de l'Ouémé. LECREDE/FLASH/UAC,(4), 46-56;

118. Totin V.S. 2009. Simulation de l'évolution récente et future du climat du Bassin Sédimentaire Côtier du Bénin par le modèle PRECIS/ECHAM4-A2 et B2, Rapport de stage, ACMAD, 20p.

119. TOTIN (V. S. H.), 2010. Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : Stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 272 p.

120. TOTIN V. S. H., 2012 : Analyse de l'existant en matière de systèmes d'alerte et de produits de vigilance face aux risques climatiques en Afrique subsaharienne, 221 pages.

121. Totin V. S. H., Amoussou E, Odoulami L., Boko M., Blivi B., 2016. Seuils pluviométriques des niveaux de risque d'inondation dans le bassin de l'Oueme au Benin (Afrique de l'Ouest), XXIXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lausanne – Besançon, pp 369-374

122. TOMSON H.R., 1985. Hydroelectric resource studies in Togo and Bénin. Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 1, 78. 1403-1420.

123. UNESCO (2009) : Proposition d'un nouveau thème dans le contexte du Programme MAB : Les agroécosystèmes. SC-09/CONF.207/INF.7 Paris. 7 p.

124. UNESCO, (2004) : Les changements climatiques, Edition Unesco, COI Forum Océans, ISBN 923-203938-9.

125. UNFCCC, 1992, Convention Cadre des Nations unies sur les changements climatiques, 33p.

126. UNFCCC, (2002) : Lignes directrices pour l'établissement des programmes d'action nationaux aux fins de l'adaptation, Groupe d'experts pour les PMA, juillet 2002

127. UNICEF, Cotonou, Benin (2009).] Analyse Globale De La Vulnérabilité, De La Sécurité Alimentaire Et De La Nutrition *(*AGVSAN).

128. Tchotsoua M., Fotsing J.-M., Moussa A., 2007 : Evaluation des risques d'inondation dans la vallée de la Bénoué en aval du barrage de Lagdo (Cameroun). Actes de JSIRAUF, Hanoï Vietnam 1-9.

129. Villeneuve C. et Richard, F., 2007**.** Vivre les changements climatiques en Afrique : Quoi de neuf ? Éditions Multi Mondes. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, 329-386 pp.

130. VISSIN E. W., (2001) : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger. Mémoire de DEA 53p. Université de Bourgogne, Dijon, France.

131. VISSIN E. W., BOKO, M., PERARD J., et HOUNDENOU C., (2003) : Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest). In : Publications de l'Association Internationale de Climatologie p 368-376. Volume 15, Besançon, France.

132. VISSIN E. W., (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, Université de Bourgogne, 284p.

133. YABI I., Afouda F. et Boko M., 2004. Quelques particularités de la variabilité pluviométrique dans un climat de transition : Cas du département du Zou au Bénin (Afrique de l'Ouest). Actes du XVIIème colloque de l'association Internationale de climatologie, université de Caen Basse-Normandie en France, pp 237-240.

134. YABI I. 2008. Etude de l'Agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques liées à son développement dans le centre du Bénin. Thèse de Doctorat nouveau régime, EDP/FLASH, 234 p.

135. YAÏ (A. O.), 2008. Climat, colonat agricole et impacts socio-économique et environnemental dans la commune de Ouèssè. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLASH/DGAT, 94 p.

136. YAMASAKI, H, LOUVEL, J, (2012) : Première étude en vue de développer une méthodologie pour évaluer les vulnérabilités socio-économiques des communautés forestières du Québec aux changements climatiques; 70p.

https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/.../adaptation-ecosystemes.php

https://www.researchgate.net/publication/265013972

ANNEXES

Liste des figures

Figure 1: Situation du bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou 13
Figure 2 : Géologie du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou. 15
Figure 3 : Pédologie du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou. 17
Figure 4 : Couvert végétal du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou 21
Figure 5 : Relief du bassin versant de l'Ouémé a Bonou 23
Figure 6 : Régime pluviométrique mensuel dans le bassin versant de l'Ouémé (1960-2014). 25
Figure 7 : Synthèse climatique méridienne le long du méridien de Greenwich pour les mois de juillet-août 27
Figure 8 : Evolution de la population par Commune (1979- 2013) 29
Figure 9 : Culture de manioc en pleine saison sèche dans la commune de Sakété 31
Figure 10 : Schéma conceptuel des risques hydroclimatiques à Bonou 45
Figure 11 : Répartition des stations dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou 49
Figure 12 : Découpage de bassin versant de l'Ouémé par la polygonation de THIESSEN..... 55
Figure 13 : Principales étapes de l'analyse fréquentielle 80
Figure 14 : Organigramme de la détermination de l'aléa à l'inondation 82
Figure 15: Organigramme d'élaboration de la carte de vulnérabilité à l'inondation par la remontée de nappe 83
Figure 16 : Organigramme des étapes de cartographie du risque d'inondation 85
Figure 17 : Etapes d'évaluation de la vulnérabilité socio-économique..... 86
Figure 18: Variabilité interannuelle des pluies dans le bassin versant de l'Ouémé (1960-2014) 92
Figure 19: Indice pluviométrique dans les sous bassins versants de l'Ouémé..... 93
Figure 20: Rupture de stationnarité par le test de Pettitt et Buishand dans les séries pluviométriques du bassin versant de l'Ouémé..... 94
Figure 21: Rupture de la stationnarité par le test de Pettitt dans les sous bassins versants de l'Ouémé 95
Figure 22: Bilan climatique mensuel dans les sous bassins versants 96
Figure 23: Variation du bilan climatique mensuel sur les sous-périodes 1965-1981 et 1981-2014 97
Figure 24: Régime pluviométrique des sous périodes 1965-1981 et 1981-2014 dans l'Ouémé 98
Figure 25: Evolution des températures maximales et minimales dans l'Ouémé (1960-2014) 101
Figure 26 : Evolution saisonnière des températures moyennes maximales et minimales..... 102
Figure 27: Régime hydrologique moyen dans les différents sous bassin de l'Ouémé..... 104
Figure 28: Variabilité interannuelle des débits annuels dans les différents sous bassins 105
Figure 29: Rupture de stationnarité des débits annuels dans les différents sous bassins 106
Figure 30: Variation du régime hydrologique dans les différents sous bassins versant de l'Ouémé 108
Figure 31: Indice de sécheresse météorologique et hydrologique 110
Figure 32: Variation des thèmes du bilan hydrologique dans le bassin de l'Ouémé à Bonou de 1971 à 2012 112
Figure 33: Evolution des débits maximaux dans les sous bassins de l'Ouémé 1960-2010 .. 113
Figure 34: Ajustement de la loi GEV dans les différentes stations du bassin versant de l'Ouémé 115
Figure 35: Intensité de pluie maximale dans les différentes stations 117
Figure 36: Ajustement de la loi GEV au débit maximal dans les différents sous bassins de l'Ouémé 122

Figure 37: Nombre de jours de pluie dans les sous bassins versant de l'Ouémé de 1960-2014 125
Figure 38: Date de début et date de fin de la saison pluvieuse dans le bassin versant de l'Ouémé 126
Figure 39: séquences sèches dans le bassin versant de l'Ouémé 127
Figure 40: Débits d'étiage à Bonou et à Atchakpa 130
Figure 41: Relations entre les types de sécheresses 131
Figure 42: Occupation des sols dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou (1990, 2005 et 2014) 132
Figure 43: Écarts entre les unités paysagiques dans le bassin-versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en 1986, 2000, 2015 134
Figure 44: Différentes cartes thématiques pour l'établissement de la carte de vulnérabilité à l'inondation a)zone de drainage b) zone de pentes c) densité écoulement d) géologie 137
Figure 45: Vulnérabilité à l'inondation dans le bassin versant de l'Ouémé 138
Figure 46: (a) Distribution de l'intensité pluviométrique;(b) Couverture du sol 140
Figure 47: Aléa d'inondation 141
Figure 48: Zones à risques d'inondation 143
Figure 49: Zone agro-écologique dans le bassin versant de l'Ouémé 145
Figure 50 : Perceptions paysannes (%) de l'évolution des précipitations dans le bassin de l'Ouémé 173
Figure 51: Perceptions paysannes (%) des perturbations climatiques par domaine agroclimatique dans la zone d'étude, 1960-2014 174
Figure 52 : Perception des conséquences écologiques des risques hydroclimatiques 179

Liste des tableaux

Tableau 1 : Station météorologique du bassin du fleuve Ouémé entre Bonou et Savê 48
Tableau 2 : Coordonnées des stations hydrométriques de l'Ouémé et leurs superficies..... 50
Tableau 3 : Répartition de l'échantillon par commune dans le bassin versant de l'Ouémé..... 57
Tableau 4 : Classification des valeurs du PSDI..... 71
Tableau 5 : Classification des valeurs du SPI..... 75
Tableau 6 : Les hypothèses des tests 78
Tableau 7: Cadre conceptuel de la matrice de sensibilité..... 87
Tableau 8 : Présentation formelle d'une matrice de sensibilité..... 88
Tableau 9 : Excédent pluviométrique des mois les plus humides entre les sous périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans les sous bassins versants du fleuve Ouémé à Bonou 99
Tableau 10 : Déficit pluviométrique des mois les plus humides entre les sous périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans le sous bassins versants du fleuve Ouémé à Savè..... 99
Tableau 11 : Récapitulation de l'impact du déficit/ excédent des mois humides les sous-périodes 1964-1971 et 1972-2014 dans les sous bassins versants de l'Ouémé..... 100
Tableau 12 : Segmentation d'Hubert dans les différents sous bassins de l'Ouémé 107
Tableau 13 : Résultats des tests statistiques appliqués aux hauteurs de pluie maximaux dans l'Ouémé..... 116
Tableau 14 : Estimation des caractéristiques de hauteurs de pluies et leurs intervalles de confiance par la loi GEV dans le bassin de l'Ouémé. 116
Tableau 15 : Résultats des tests statistiques appliqués aux débits maximaux dans l'Ouémé 123
Tableau 16 : Estimation des débits caractéristiques et les intervalles de confiance par la loi GEV..... 123
Tableau 17 : Fréquence des années sèches 1960-2014..... 128
Tableau 18 : Fréquence de différentes classes de la sécheresse au cours de la période1960-2014..... 129
Tableau 19 : Evolution de la superficie des différentes unités d'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ouémé de 1960-2014. 132
Tableau 20 : Mode de répartition des zones agro écologiques et leurs caractéristiques de base. 146
Tableau 21 : Matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques dans la zone agroécologique I et II..... 148
Tableau 22 : Matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques dans la Zone agroécologique III et IV..... 149
Tableau 23 : Matrice de sensibilité aux risques hydroclimatiques dans la zone agroécologique V et VI..... 150
Tableau 24 : Principales maladies liées aux risques hydroclimatiques..... 162
Tableau 25 : Perceptions paysannes et quelques manifestations de la modification du climat dans le bassin versant de l'Ouémé. 172
Tableau 26 : Caractérisation de la sécheresse et de l'inondation 175
Tableau 27 : Les paramètres socio-écologiques des conséquences des risques hydroclimatiques 178
Tableau 28 : Stratégie endogènes et mesures d'adaptation des risques hydroclimatiques dans le bassin de l'Ouémé à Bonou..... 192
Tableau 29 : Quelques variétés de cultures produites dans le bassin versant de l'Ouémé..... 195
Tableau 30 : Synthèse des besoins en renforcements de capacités dans différents secteurs.. 198
Tableau 31 : Capacité d'adaptation aux inondations des communautés rurales urbaines et périurbaines 201
Tableau 32 : Option d'adaptation par secteur prioritaire dans le bassin du fleuve Ouémé.... 203

Liste des photos

Photo 1 : Champs de maïs en pleine saison sèche..... 153
Photo 2 : Rétention d'eau sur l'axe Save-Gobé 154
Photo 3 : Débordement du fleuve Ouémé dans la Commune Zagnanado..... 154
Photo 4 : Impact des précipitations intenses à la descente du pont de Savalou 156
Photo 5 : Culture maraichères inondées par la crue à Bonou..... 157
Photo 6 : Séchage du riz sur les bâches à Zagnanado 190
Photo 7 : Billonnage à l'aide de la traction animale à Kétou..... 191
Photo 8 : Champs de maïs dans un bas-fond totalement aménagé à Zagnanado 193

Liste de planche

Planche 1: Espèces indicatrices de l'avènement des risques hydroclimatiquesCiconia nigra (1); Hirondo rustica (2); Spathodea campanulata (3); CentropusSenegalensis (4) 169

Table des matières

DEDICACE ..... **iv**

SIGLES ET ACRONYMES ..... **v**

INTRODUCTION GENERALE **1**

PREMIERE PARTIE : **11**

CHAPITRE I: CADRE CONCEPTUEL ET MILIEU D'ETUDE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEMEA L'EXUTOIRE DE BONOU **12**

1.1 Fondements physiques et humains de l'étude **12**

1.1.1Situation géographique du bassin versant de l'Ouémé **12**

1.1.2 Fondements physiques du bassin versant du fleuve Ouémé à Bonou **14**

1.1.2.1 Réseau hydrogéologique 14

1.1.2.2 Réseau pédologiques **16**

1.1.2.3 Couvert végétal 20

1.1.2.4 Le relief 22

1.1.2.5 Contexte climatique du Bassin versant de l'Ouémé à Bonou 24

1.1.2.6 Mécanismes de la zone de convergence intertropicale 25

1.1.3 Fondements humains de la vulnérabilité du bassin versant de l'Ouémé **28**

1.1.3.1 Caractéristiques démographiques 29

1.1.3.2 Activités économiques dans le bassin versant 30

1.2 Clarification des concepts **32**

1.3 Point des connaissances **38**

1.3.1 Perception des risques hydroclimatiques **38**

1.4 Cadre conceptuel de la vulnérabilité aux risques hydroclimatiques **45**

SYNTHESE **46**

CHAPITRE II: APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA VULNERABILITE DES ECOSYSTEMES AUX RISQUES HYDRO CLIMATIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A BONOU **47**

2.1 Données utilisées **47**

2.1.1 Critique des données **51**

2.1.3 Comblement des données manquantes 52

2.1.4 Nature et estimation des champs de pluie 53

2.2 Technique et méthodes de collecte de données **56**

2.2.1 Détermination de la taille optimale de l'échantillon 56
2.3 Méthodes de traitement des données **59**
2.3.1 Bilan climatique : un indicateur des disponibilités en eau 59
2.3.3 Analyse de la variabilité des pluies mensuelles et saisonnières **61**
2.3.3.1 Analyse de la variation climatique 62
2.3.3.2 Méthodes de détection des ruptures dans les séries pluviométriques 62
2.3.4 Méthode d'interpolation spatiale des précipitations **64**
2.3.5 Comparaison de deux échantillons temporels **64**
2.3.6 Etude du Bilan hydrologique **65**
2.3.6.1 Détermination de l'écoulement 66
2.3.6.2 Estimation de l'infiltration 67
2.3.6.3 Estimation de l'évaporation réelle 67
2.3.7 Méthode d'analyse des risques hydroclimatiques **68**
2.3.7.1 Méthode d'analyse de la sécheresse 68
2.3.7.2 Méthode d'analyse des températures extrêmes 72
2.3.7.3 Méthode d'analyse du démarrage de la saison des pluies 72
2.3.7.4 Méthode d'analyse de la longueur des saisons 73
2.3.7.5 Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale) 73
2.3.7.6 Indice du nombre de jours consécutifs secs 74
2.3.7.7 Indice standardisé de précipitation 74
2.3.8 Méthode d'analyse de risque d'inondation **76**
2.3.8.1 Analyse fréquentielle des événements hydroclimatiques 76
Distribution des Valeurs Extrêmes Généralisées (GEV) 77
Tests d'adéquation 78
2.4 Evaluation du risque d'inondation **80**
2.4.1 Méthode de détermination de l'aléa d'inondation **81**
2.4.2 Méthode de détermination de la vulnérabilité à l'inondation **82**
2.4.3 Evaluations du risque potentiel d'inondation **84**
2.4.4 Méthode de détermination des zones à risque d'inondation **84**
2.4.5 Méthode de détermination de la vulnérabilité socio-économique **85**
DEUXIEME PARTIE : CARACTERISATION DE LA VARIABILITE HYDROCLIMATIQUE ET IMPACT DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES SUR LES ECOSYSTEMES DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A BONOU **90**

CHAPITRE III: CARACTERISATION DE LA VARIABILITE HYDROCLIMATIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE OUEME A L'EXUTOIRE DE BONOU **91**
3.1 Variabilité climatique dans le bassin versant de l'Ouémé **91**
3.1.1 Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le bassin versant de l'Ouémé **92**
3.1.2 Variation pluviométrique dans les sous bassins versants de l'Ouémé **93**
3.1.3 Rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques.....**94**
3.1.4 Détection de rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques des différents sous bassins versants **95**
3.2 Bilan climatique **95**
3.2.1 Bilan climatique mensuel dans les sous bassins versants **96**
3.3 Evolution intra-saisonnière comparée des précipitations dans le bassin de l'Ouémé à Bonou et Savè allant des périodes de 1965-1981 et de 1981-2014..... **98**
3.3.1 Répartition inter-saisonnière du bassin versant de l'Ouémé à Bonou et à Savè.....**98**
3.4 Etude de la variabilité des températures dans le bassin versant de l'Ouémé **101**
3.4.1 Variabilité interannuelle de la température **101**
3.4.2 Variabilité inter mensuelle de la température **102**
3.5 Variabilité hydrologique dans les sous bassins versants de l'Ouémé **103**
3.5.1 Régime hydrologique moyen dans les sous bassins versants de l'Ouémé.....**103**
3.5.2 Variation interannuelle des débits dans les sous bassins versants de l'Ouémé.....**105**
3.5.3 Evolution intra-saisonnière des régimes hydrologiques dans les sous bassins versants de l'Ouémé.....**108**
3.5.3 Analyse hydrométéorologique de la sécheresse dans le bassin de l'Ouémé à Bonou....**109**
3.6 Bilan hydrologique du bassin versant de l'Ouémé **112**
3.7 Evolution des débits maximaux dans les sous bassins versant de l'Ouémé **113**
3.8 Analyse fréquentielle et intensité des pluies maximales.....**114**
3.8.1 Analyse fréquentielle des précipitations dans les différentes stations **114**
3.8.2 Intensité des pluies maximales dans le bassin versant **117**
3.9 DISCUSSION **118**
CHAPITRE IV : ANALYSE DE L'INFLUENCE DES RISQUES HYDROCLIMATIQUES SUR LES ECOSYSTEMES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUEME A BONOU... **120**
4.1 Analyse des risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé à Bonou **120**
4.1.1 Analyse de risque d'inondation **121**
4.1.1.1 Caractérisation de l'aléa hydrologique..... 121
4.1.1.2 Paramètres agroclimatiques 126
4.1.2 Caractérisation de la sécheresse.....**127**

4.1.2.1 Les sécheresses météorologiques 128
4.1.2.2 Les sécheresses hydrologiques 129
4.1.2.3 Les sécheresses agricoles 130
4.1.2.3 Les sécheresses socio-économiques 131
4.2 Facteurs de vulnérabilité du bassin versant aux risques hydroclimatiques **131**
4.3 Vulnérabilité du bassin versant de l'Ouémé **135**
4.3.1 Vulnérabilité biophysique dans le bassin versant de l'Ouémé **135**
4.3.1.1 Vulnérabilité à l'inondation 136
4.3.1.2 Aléa d'inondation 139
4.3.2 Vulnérabilité socio-économique du bassin versant de l'Ouémé à Bonou **144**
4.3.2.2 Sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques 147
4.3.2.3 Sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques 148
4.3.2.4 Sensibilité des secteurs d'activités aux risques hydroclimatiques 150
4.4 Vulnérabilité des écosystèmes aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé **151**
4.4.1 Impact des risques climatiques sur les ressources en eaux **151**
4.4.1.1 Chaleurs excessives 151
4.4.1.2 Pluies tardives 151
4.4.1.3 Mauvaise répartition des pluies 152
4.4.1.4 Inondations 153
4.4.2 Incidences des risques hydroclimatiques sur les infrastructures socio-économiques **155**
4.4.3 Influence des risques hydroclimatiques sur le secteur agricole et sécurité alimentaire **158**
4.4.4 Influence des risques hydroclimatiques sur l'élevage **159**
4.4.5 Influence des risques hydroclimatiques sur les établissements humains et la santé **160**
4.5 Vulnérabilité et résilience des ménages aux écosystèmes dans le bassin versant de l'Ouémé **163**
4.5.1 Vulnérabilité et résilience socio-environnementale des populations **163**
4.6 Discussion **164**
TROISIEME PARTIE **166**
CHAPITRE V: PERCEPTIONS PAYSANNES DES MANIFESTATIONS DES RISQUESHYDROCLIMATIQUES DANS LE BASSIN DE L'OUEME A BONOU **167**
5.1 Indicateurs de l'avènement des risques hydroclimatiques **167**
5.2 Perceptions paysannes de l'évolution du climat dans la région d'étude **170**
5.2.1 Perception d'une mauvaise répartition du nombre de jours de pluie **170**

5.2.2 Perception paysanne de la hausse de la chaleur **171**
5.3 Perception endogène des risques hydroclimatiques dans le bassin de l'ouémé **174**
5.4 Limite et gestion endogène des dynamiques hydroclimatiques **176**
5.5 Effets socio-économiques et environnementaux des aléas hydroclimatiques **176**
5.6 Paramètres socio-écologiques des conséquences néfastes des changements climatiques **178**
5.7 DISCUSSION **179**
CHAPITRE VI: STRATEGIES D'ADAPTATION AUX RISQUES HYDROCLIMATIQUESDANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUEME A BONOU **182**
6.1 Stratégies institutionnelle, juridique et organisationnelle de gestion des risques dans l'Ouémé **183**
6.1.1 Cadre institutionnel, juridique et organisationnel de gestion des risques et catastrophes au Bénin **183**
6.1.2 Stratégies d'adaptation alternatives **188**
6.1.3 Stockage de récolte **189**
6.2 Stratégies endogènes **190**
6.3 Stratégies exogènes **192**
6.3.2 Recours aux nouvelles espèces et variétés des cultures **194**
6.3.3 Stratégie d'adaptation de la production agricole **196**
6.3.4 Actions pour le renforcement des capacités pour la réduction des risques hydroclimatiques **197**
6.3.5 Programme décentralisé pour la gestion des inondations à l'horizon 2021 ..... **200**
6.4 Perception paysanne pour une meilleure adaptation aux risques hydroclimatiques dans le bassin versant de l'Ouémé **202**
CONCLUSION GENERALE **206**
PERSPECTIVES DE L'ETUDE **210**
BIBLIOGRAPHIE **211**
Liste des figures **224**
Liste des tableaux **226**
Liste des photos **227**
Liste de planche **228**
Table des matières **229**