



Université de Parakou

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines



Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT)

Master II

Option : géoscience et développement

Spécialité : SIG et Dynamique environnementale

Protocole de recherche sur :

Variabilité hydroclimatique et gestion des ressources en eau de surface et des berges par les populations riveraines de la rivière Beffa dans la Commune de Ouèssè (Bénin)

Présenté par :

Codjo Serge ALOMASSO

Sous la direction de :

Dr Eustache BOKONON-GANTA

Maître de conférences des Universités de CAMES

Année scolaire 2020-2021

Introduction

Les États africains, spécifiquement ceux de l'Afrique de l'Ouest et Centrale présentent une sensibilité accrue aux situations extrêmes (inondations, sécheresses) en raison de leur structure économique, sociale et démographique. Ces extrêmes entraînent fréquemment des déplacements massifs de population, une paralysie économique, et dans les situations les plus graves, famines et pertes de nombreuses vies humaines (à l'exemple de la sécheresse de 1983-1984). L'évolution des ressources en eau est par conséquent au cœur des préoccupations des États africains, mais également de la communauté scientifique (ARDOIN-BARDIN, 2004, p11)

Les effets des changements et variabilités climatiques sur les ressources en eau et les divers secteurs d'activités socio-économiques des populations se font de plus en plus sentir. Ils ont des conséquences immédiates et durables sur l'environnement biophysique et économique (DJOHY et EDJA, 2018, p. 84). L'eau est aujourd'hui un enjeu majeur et une exigence de développement pour l'Afrique, continent le plus touché par la pénurie économique d'eau, surtout en raison de sa demande croissante pour les décennies à venir. Ceci implique de faire un état des changements enregistrés par les systèmes aquatiques sous forme d'excès et de pénuries aussi bien en milieu rural (baisse pluviométrique, assèchement des cours d'eau, augmentation de l'occurrence d'événements climatiques exceptionnels) qu'urbain (inondations par ruissellement pluvial ou fluvial, pollution des ressources, etc.) (NGUIMALET *et al.*, 2016, p. 319). En effet, les décennies 90 et 2000 sont caractérisées par une variabilité accrues des pluies avec une brusque alternance d'années sèches et humides parfois associées à des fortes pluies occasionnant des inondations (IDDRISSA, 2018).

Le pays reçoit annuellement en moyenne entre 700 et 1 300 mm de hauteur de pluie du Nord au Sud. Cette hauteur peut atteindre 1 400 mm dans sa partie Sud-Est. Le Bénin est drainé par un dense réseau hydrographique constitué de cours d'eau à régime d'écoulement saisonnier. Les ressources en eau renouvelables du pays sont estimées à une quinzaine de milliards de m³ d'eau par an dont environ 2 milliards et 13 milliards de m³ respectivement d'eaux souterraines et d'eaux de surface inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. (**MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES RECHERCHES PÉTROLIÈRES, ET MINIÈRES, DE L'EAU ET DU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES**, 2011, p. 11).

La commune de Ouèssè dispose d'une quantité importante de ressources en eau de surface jusqu'à présent non maîtrisé et faiblement exploité pour son développement endogène. Ainsi il est nécessaire d'évaluer les ressources en eau ainsi que sa gestion. C'est dans cet objectif que le sujet d'étude « Variabilité hydroclimatique et gestion des ressources en eau de surface et des berges par les populations riveraines de la rivière Beffa dans la Commune de Ouèssè (Bénin) » est proposé. Cette étude s'articule en quatre chapitres :

- le premier chapitre présentera les cadres théoriques et les fondements géographiques, physiques et humains, **du milieu** , la Commune de Ouèssè et particulièrement les arrondissements de Vossa et d'Idadjo ;
- le deuxième chapitre sera consacré aux méthodes utilisées ;
- le troisième chapitre exposera la variabilité hydroclimatique et son influence sur les ressources en eau de surface dans la commune ;
- le quatrième chapitre abordera la gestion des ressources en eau de surface et les impacts sur la santé des populations riveraines dans la commune afin de proposer de solutions pour une meilleure gouvernance.

CHAPITRE I : Cadre théorique, fondements physiques et humains du milieu d'étude

Ce chapitre est consacré à la présentation du cadre théorique utilisé pour cette étude ainsi que les fondements physiques et humains de la Commune d'Ouèssè.

1.1. Cadre Théorique

1.1.1. Problématique

L'Afrique de l'Ouest est l'une des régions du monde les plus vulnérables aux variabilités climatiques et aux extrêmes. L'impact souvent désastreux des extrêmes climatiques au cours des trente dernières années est une bonne illustration et un des signes avant-coureurs de cette vulnérabilité. En effet, l'espace climatique tropical connaît depuis quelques décennies une augmentation de l'occurrence des phénomènes extrêmes (**KOUMASSI, 2014**, p. 11). Les pluies de mousson ouest-africaine constituent les plus importantes perturbations qui conditionnent la disponibilité en eaux pluviales, superficielles et souterraines et par conséquent le développement des activités socio-économiques (**AKOGNONGBÉ, 2014**, p. 78)

En fait, parmi les principaux défis de l'eau en Afrique, nous avons le faible accès à l'eau potable, la très faible mobilisation des ressources en eau et la faible capacité de stockage, la protection de la ressource hydrique etc., lesquels sont en cours d'exacerbation dans de nombreux pays sous l'effet combiné du contexte hydro-climatique déficitaire. Ainsi, en ces défis répertoriés, semble être cernée la sécurité de l'eau comme une option majeure en vue de les juguler. Les pressions exercées sur les ressources en eau mettent en lumière l'interdépendance hydrologique, sociale, économique et écologique dans les bassins de fleuves, des lacs et dans les aquifères. L'eau constitue une ressource rare et indispensable à la vie et au développement socio-économique d'un pays. L'alimentation, la santé et toutes les activités humaines dépendent de sa disponibilité en quantité et qualité suffisantes (**RIOB, 2009**, p. 46).

Au Bénin, le potentiel en eau des cours d'eau excepté les eaux du fleuve Niger, est globalement estimé en moyenne à 13 milliards de mètres cubes par an. L'utilisation actuelle de ces eaux de surface est très peu significative et ne concerne que l'alimentation en eau potable de quelques villes, l'abreuvement du bétail et l'irrigation d'environ 9 000 hectares de cultures diverses (CIPCRE,

2013, p1). Depuis quelques années, la protection et la conservation des milieux naturels, en particulier la qualité des eaux, est devenue une préoccupation majeure et un objectif principal dans les programmes de développement (ATCHADÉ, 2014, p. 140)

La gestion conjointe des eaux souterraines et des eaux de surface est également un principe directeur de la GIRE. Cependant, la gestion intégrée des eaux de surface et souterraines a pris du retard dans de nombreux organismes de bassin pour diverses raisons. Il s'agit notamment de la séparation (traditionnelle) institutionnelle de la gestion des eaux souterraines et de surface, de la différence de systèmes de connaissances et de compétences nécessaires aux eaux de surface et eaux souterraines, et le fait que les systèmes aquifères peuvent ne pas coïncider avec les frontières des bassins hydrographiques. (AGW-Net, 2015, p. 4)

Dans un contexte de réchauffement climatique global de la terre, l'étude de l'évolution des ressources en eau (atmosphérique, superficielle et souterraine) constitue un enjeu majeur pour les populations, la biodiversité et l'évolution des écosystèmes environnementaux et aquatique. En effet, devant l'accroissement de la demande en eau liée à la croissance démographique et à la multiplication des usages (consommation domestique, industrie, agriculture, loisir,...); les gestionnaires de l'eau doivent faire face aux problèmes de pollution, de mauvaise gestion et de pénurie (VISSIN, 2007).

Cette étude se fonde sur les interrogations ci-après :

- Quelle est l'évolution des paramètres hydroclimatiques dans la Commune de Ouèssè ?
- Quel est l'influence des eaux de surfaces sur la santé des populations riveraines ?
- Quelles sont les modes de gestion des ressources en eau de surface dans la commune ?

Hypothèses :

- les eaux de surface du Commune de Ouèssè ont une dynamique liée aux variations climatiques ;
- la qualité des eaux de surfaces dans le bassin de la rivière Beffa a d'influence sur la santé des populations riveraines ;
- Les populations ont des stratégies de gestion des berges de la rivière Beffa.

Objectif général

L'objectif général de cette recherche est de contribuer à l'étude de la variabilité hydroclimatique et la gestion des ressources en eau de surface dans le Commune de Ouèssè

Objectifs spécifiques

De façon spécifique il s'agira de :

- caractériser la variabilité hydroclimatique dans le Commune de Ouèssè ;
- analyser l'influence de la qualité de l'eau sur la santé des populations riveraines dans la Commune de Ouèssè ;
- examiner les modes de gestion des berges de la rivière Beffa à Ouèssè

1.1.2. Point des connaissances

Le Bénin ces dernières années est sujet à la variabilité climatique et hydrologique qui attire l'attention de plusieurs auteurs qui se sont penchés sur la question. Les résultats issus de leurs travaux seront importants pour mener à bien cette recherche

L'eau manque quantitativement ou qualitativement partout en Afrique du fait non seulement des conditions climatiques moyennes, mais aussi de pressions sur les ressources (croissance démographique, pollution) et du manque d'infrastructures hydrauliques, de collecte et d'exploitation dans de nombreux pays, y compris ceux où l'eau existe en abondance, comme en Afrique centrale (NGUIMALET et al., 2016, p. 319). A ce contexte se superposent dans plusieurs régions des modifications climatiques qui se remarquent par la violence des pluies, le stress hydrique, l'érosion, le tarissement des cours d'eau (rivières, lacs, marais ou sources) et des nappes phréatiques, les inondations éclair, et la précarité des activités agricoles, extra-agricoles, voire industrielles ou urbaines.

Le Sud et le Centre du Bénin sont classés dans la diagonale de la sécheresse du Golf de Guinée, l'un des facteurs qui expliquent la baisse relativement brutale de la pluviométrie au cours des décennies 70 (**BOKONON-GANTA, 1987**). Les déficits pluviométriques ont été évalués à environ 40 % de la normale. Ce qui a sans doute entraîné une diminution sensible des productions agricoles qui en dépendent. La dégradation du couvert végétal due aux activités humaines dans le sous-bassin du Couffo et par la porosité qu'elle génère aurait entraîné une réduction de l'infiltration, facilitant un drainage rapide de l'eau, une forte érosion et une réduction des réserves en eau du sol (AMOUSSOU, 2010, p. 217).

Durant les épisodes d'inondations, de larges dommages peuvent survenir, alors que durant les épisodes de faibles débits ou d'étiages, des conséquences sur l'approvisionnement en eau et sa qualité peuvent apparaître (BAUWENS et al., 2012, p. 77). Les bas débits ont des incidences sur différents secteurs tels que la navigation intérieure, l'agriculture, la production d'eau potable et l'économie.

Les eaux destinées à la consommation des populations du Bassin du Mono sont impropres à cause de leur caractère vulnérable (BABADJIDE *et al.*, 2009, p. 93). Les pollutions sont dues aux activités agricoles surtout la culture du coton qui nécessite l'utilisation d'intrants toxiques, l'insalubrité, le manque des lieux d'aisance et le manque d'hygiène, les activités menées aux abords des eaux de surface et la mauvaise gestion des ordures ménagères. Ceci explique la présence des coliformes et streptocoques fécaux due à la contamination des eaux.

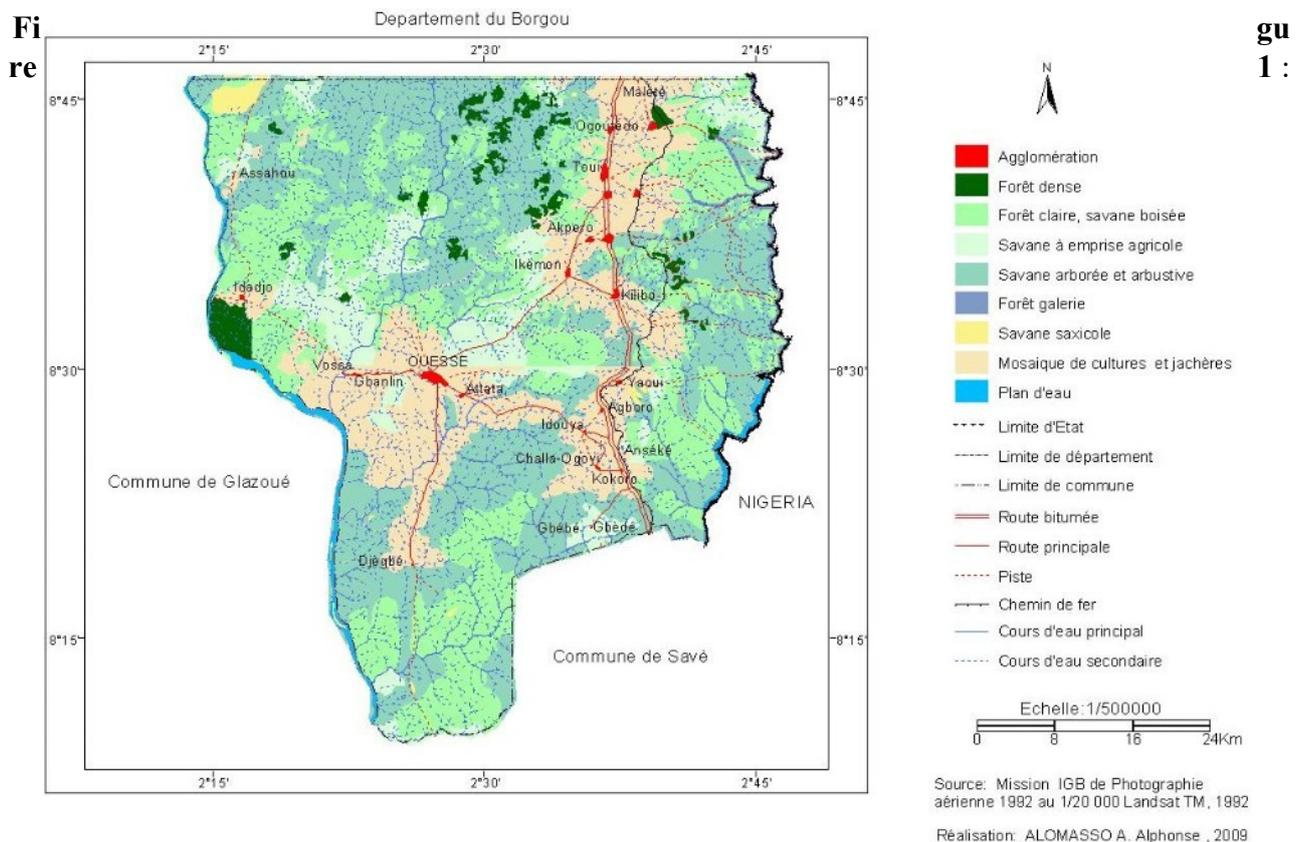
Ces différents auteurs ont montré que les différentes variations hydroclimatiques ont d'importantes conséquences sur les écosystèmes. Ainsi cette étude vise à étudier la variabilité hydroclimatique,

son influence sur les ressources en eau de surface, la gestion qui est faite de ces ressources afin de proposer des mesures correctives.

1.2. Cadre d'étude du bassin versant de la rivière Beffa à Vossa, Commune d'Ouèssè

➤ Présentation du secteur d'étude

La Commune d'Ouèssè est située dans le département des Collines, entre 8° 10' et 8° 45' de latitude Nord, 2° 10' et 2° 45' de longitude Est. Elle est limitée au Nord par la commune de Tchaourou (Borgou), au Sud par les communes de Savè et de Glazoué à l'Est par la République fédérale du Nigeria et à l'ouest par les communes de Bantè et de Bassila (figure 1).



Situation géographique de la commune de Ouèssè

➤ Réseau hydrographique

Classée dans la 5ème zone agro-écologique du Bénin et se situant dans la zone tropicale humide, le bassin versant de la Beffa jouit d'un climat tropical intermédiaire entre le climat guinéen et le climat soudanien, avec la tendance ces dernières années vers une saison de culture au lieu de deux par an. Surnommée le « Pays des Sept rivières », pour ses sept principaux cours d'eau qui traversent son territoire et la structurent sur 292 km (Ouémé, Okpara, Beffa, Kilibo, Liga, Nonomi et Toumi). Toutes ces rivières se jettent dans le fleuve Ouémé Moyen (figure 2). Leur débordement en période de saison pluvieuse obstrue le passage sur les pistes traversant leur lit et isole les paysans de leurs champs.

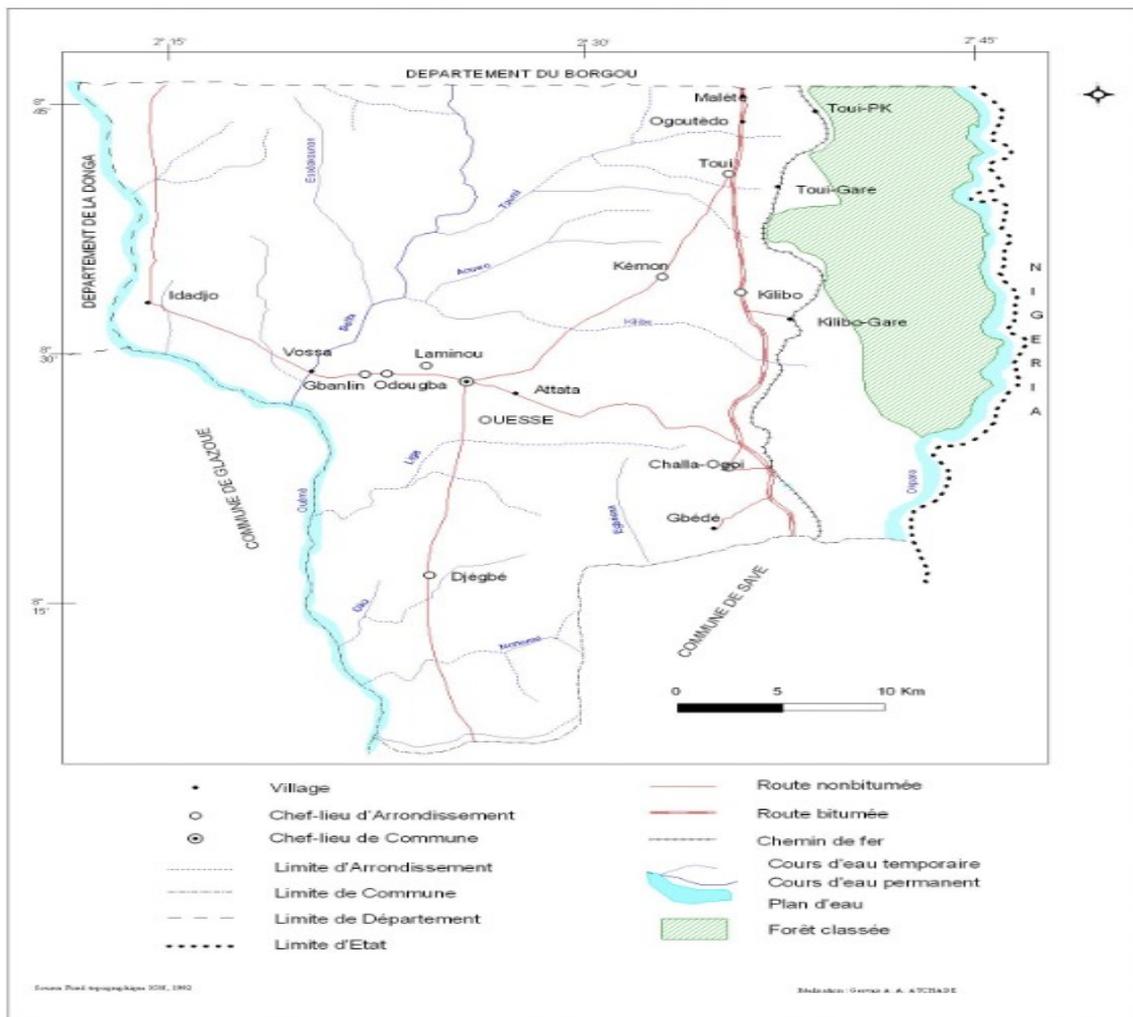


Figure 2 : carte hydrologique de la commune de Ouèssè

Ce réseau constitue, une véritable source d’approvisionnement en eau aux populations et aux gros bétails. Il favorise également la production agricole. Tous ces cours d’eau s’écoulent vers le sud du département des collines avec un régime essentiellement tropical, la seule période de crue s’observe le plus souvent entre août et octobre. (OGOUWALÉ, 2001). Mais depuis quelques décennies ces cours d’eau connaissent un début d’étiage précoce à cause du climat local qui de nos jours subit des modifications (ATCHADÉ, 2007).

Relief et nature des sols

Le bassin versant de la Beffa a un relief peu accidenté et des sols ferrugineux tropicaux sur socle cristallin et des sols colluviaux (figure 3). Sur l’ensemble des types de sols, environ 72 % sont favorables à la production des céréales. Au-delà des céréales, les sols ferralitiques sont aptes à la production du coton et des tubercules (ATCHADÉ, 2007). On note par ailleurs, l’existence de bas-

fonds aux sols hydromorphes propices à la riziculture et au maraîchage (ville d'Ouessè par exemple).

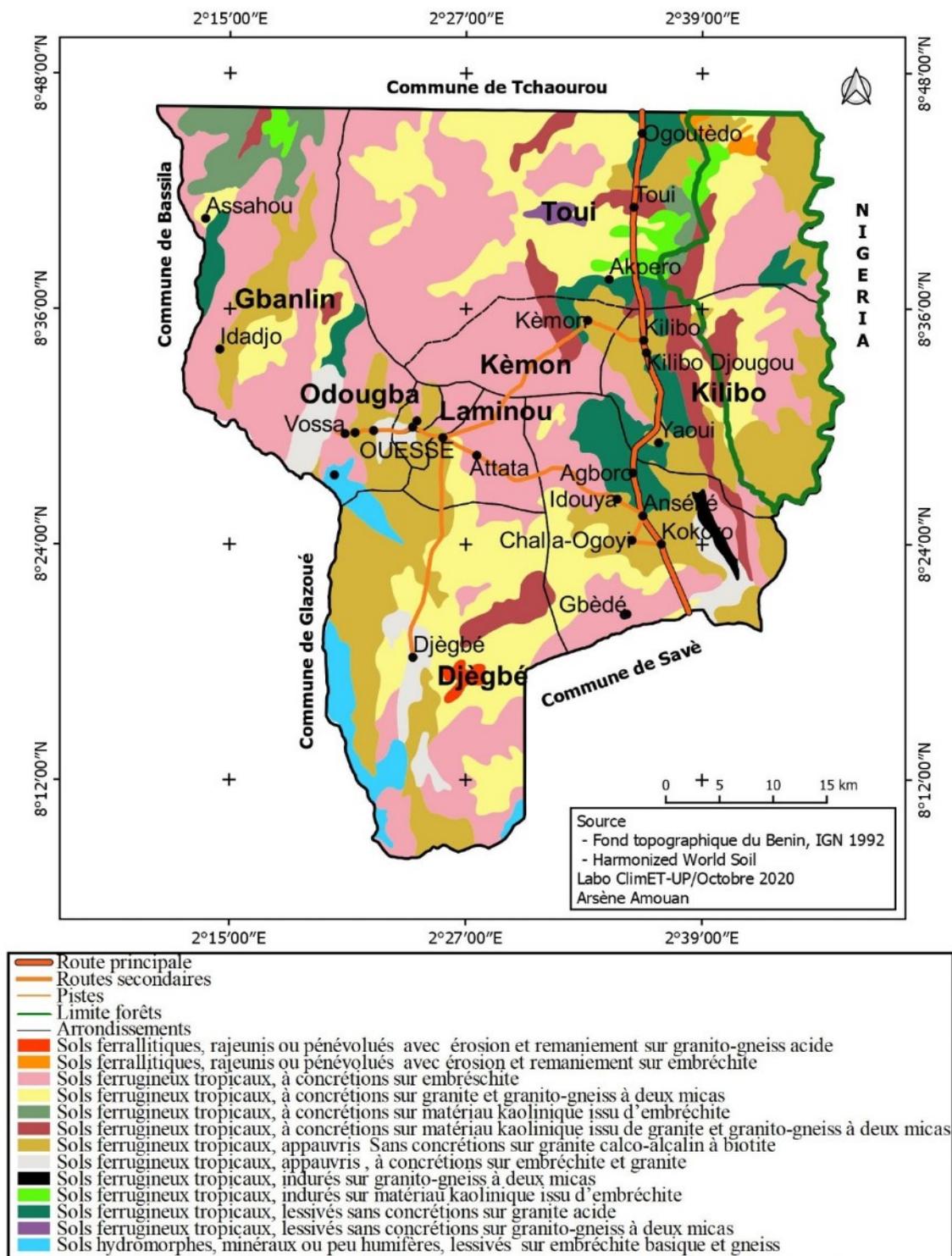


Figure 3 : Aspect pédologique du bassin versant de la Beffa aVossa

1.2.1- présentation du cadre humain

➤ Activités économiques

L'agriculture est l'activité économique la plus importante. La population s'adonne à l'élevage, la chasse, la pêche, l'exploitation des produits forestiers et des ressources naturelles en dehors de l'agriculture (CeCPA Ouessè, 2008).

Deux types de spéculations caractérisent l'agriculture dans ce bassin. La spéculation "igname" et "arachide". La première est une culture itinérante axée sur la rotation igname-maïs-arachide tandis que la seconde spéculation "arachide" est basé sur des jachères relativement courtes avec les rotations suivantes: maïs-arachide-maïs-manioc. En dehors de ces cultures, la population cultive le haricot, le voandzou, le soja, etc. Les cultures de rente demeurent le coton (*Gossypium hirsutum*), l'arachide (*Arachis hypogea*) et le manioc (*Manihot esculenta*).

L'élevage occupe une place socioéconomique prépondérante dans le bassin versant. Il s'agit de l'élevage de bovin et du petit élevage. L'élevage bovin est majoritairement l'activité des Peuhls, tantôt transhumants, tantôt sédentarisés. L'existence des pâturages dans les formations savaniques et les points d'abreuvement le long des cours d'eau sont les facteurs qui favorisent cette activité (CeCPA OUESSÈ, 2008).

Ce chapitre a permis de mieux comprendre le sujet à travers la problématique, et la revue de littérature. Il a également permis de cerner les réalités de cadre géographique et de fixer quelques objectifs. Ainsi pour atteindre les objectifs, la démarche méthodologique présentée par le chapitre II a été adoptée.

CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE

Ce chapitre permet d'exposer d'une part, la nature et la qualité des données utilisées, les techniques et outils de traitement, d'analyse et d'interprétation des résultats et d'autre part de mettre en exergue la fréquence des aléas hydroclimatiques dans le bassin de la rivière Beffa à Ouèssè et leurs impacts sur le développement local.

2.1. Natures et sources des données

Elles concerneront les données hydrométriques, climatologiques, socio-économiques et démographiques :

- ✓ **les statistiques climatologiques** : pluviométries (journalières, mensuelles et annuelles) à Ouèssè et à proximité sur la période de 40 ans au moins et l'évapotranspiration potentielle. Les températures maximales et minimales (mensuelles) de la station synoptique de Savè seront collectées à la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) à l'ASECNA.
- ✓ **les données hydrométriques** (**position des stations**, débits journaliers et mensuels) de l'Ouémé et de la Beffa à Vossa **et Idadjo si possible** sur une période de 40 ans seront recueillies au Service Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau à Cotonou ;
- ✓ Les **données démographiques** seront collectées dans les bases de l'INSAE en considérant les données du RGPH₃ de 2002, RGPH₄ de 2013 et les estimations réalisées pour 2020. Ces données

seront complétées par les informations qualitatives d'investigations socio-anthropologiques dans la Commune d'Ouèssè.

Des **enquêtes socio-anthropologiques** permettront d'appréhender les perceptions des populations sur la dynamique hydroclimatique et leurs influences sur les ressources en eau de surface ainsi que leurs modes de gestion de ces ressources.

2.1.1. Qualité des données utilisées

Lorsque les données collectées présenteront des lacunes, elles seront reconstituées pour d'éviter des résultats tronqués. La fiabilité des données manquantes de pluies dépend de la qualité des données existantes et des unités géographiques choisies pour l'homogénéisation entre stations (MAHÉ, 1992).

Tableau I : Stations météorologiques utilisées

	Stations	Type	Altitude (m)	Latitude	Longitude
1	Ouèssè	Pluviométrique			
2	Bassila	Pluviométrique			
3	Savè	Synoptique			
4	Bétérou	Pluviométrique			

Les données hydrologiques utilisées concernent la station hydrométrique de Vossa à Ouèssè.

La station synoptique de Savè est la seule qui fournira les autres données climatiques (températures, humidité et d'évapotranspiration)

2.2. Outils et techniques de collecte de données

2.2.1. Outils de collecte de données

Comme outils, il s'agira du **questionnaire, du guide d'entretien**. Ces outils permettront de collecter les informations sur la perception des populations sur la dynamique hydroclimatique et leurs influences sur les ressources en eau de surface ainsi que leurs modes de gestion de ces ressources.

Un **appareil photo numérique** sera utilisé pour les prises de vue sur le terrain.

En plus des outils de collecte, cette étude nécessitera l'utilisation des techniques de collecte appropriées suivantes

2.2.2. Techniques de Collecte de données

Les techniques de collecte utilisées concernent essentiellement la recherche documentaire et les investigations en milieu réel afin de recueillir toutes les données et informations nécessaires à la réalisation de cette étude.

2.2.2.1. Recherche documentaire

Elle est une étape essentielle qui permet de faire l'état des connaissances sur les risques hydroclimatiques en général et à l'échelle du secteur d'étude en particulier.

Une recherche documentaire a été réalisée dans les centres, services et institutions de recherche dont les activités ont un rapport avec l'objet de cette recherche. Il s'agit entre autres du Le Laboratoire de Climatologie et Ethnoclimatologie tropicales (Labo ClimET) de l'université de Parakou, de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau), plus précisément du service de l'hydrologie, de l'Agence de Sécurité pour la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA), dans les centres de documentation de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) et de la Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines (FLASH), Direction nationale de la protection Civile (DNPC), etc.

2.2.2.2 Collecte de données

- *Utilisation de pluviomètres et de thermomètres.*
- *Utilisation d'un GPS pour cartographier la Beffa du pont sur la piste Ouèssè-Idadjo jusqu'à Wokpa (noter tous les repères possibles, ruisseaux affluents, les passages, les blocs rocheux, les types de végétation et la densité de la végétation avec les noms vernaculaires, le parcours du bétail, etc.) avec les riverains.*

Ces données et informations recueillies seront complétées par des enquêtes de terrain.

2.2.2.3 Enquêtes de terrain

Elles visent à compléter les informations collectées afin de mieux cerner non seulement les réalités du terrain mais aussi de recueillir la perception endogène des populations relative à la manifestation des événements hydrométéorologiques et les stratégies endogènes d'atténuation ou d'adaptation au cours des dernières décennies pour impulser le développement.

Sur la base d'un échantillonnage prédéfini, les investigations en milieu réel seront prises en compte les populations installées le long ou aux environs immédiats de la Beffa à Ouèssè de **Vossa à Wokpa** et ayant au moins une ancienneté de trente ans pour avoir vécu ou observé la variation des phénomènes hydrométéorologiques. Pour cela, les investigations seront réalisées par la MARP (Méthode Accélérée de Recherche Participative) et comporteront des entretiens semi-directifs, des interviews et des *focus-groups*.

Utilisation du Référentiel climatique du Laboratoire de Climatologie et Ethnoclimatologie Tropicales de Parakou qui collecte des données sur l'adaptation aux rythmes hydroclimatiques des communautés locales. Les investigations socio-anthropologiques porteront sur les perceptions des extrêmes hydroclimatiques, les modes de gestion des eaux de surface dans le bassin, ainsi que les stratégies élaborées par les différents acteurs aux fins de s'adapter aux effets des variations hydroclimatiques dans le bassin.

Un échantillon a été élaboré. ??

2.2.2.3. Échantillonnage

Le choix des enquêtés sera fait sur la base des critères définis suivants :

- être paysan et avoir au moins quarante ans et au plus soixante ans pour avoir vécu les phénomènes hydroclimatiques ;
- avoir vécu e permanence dans le milieu ces trente dernières années ;
- avoir une bonne connaissance sur les eaux de surfaces du bassin.

La taille de l'échantillon se déterminera suivant la formule de SCHWARTZ (2002) avec un degré de confiance de 95 % soit une marge d'erreur de plus ou moins 5 %.

$$N = \frac{Z^2 \alpha^2 PQ}{d^2} \text{ Avec :}$$

N= taille de l'échantillon par arrondissement

Z α = écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95 %

P = nombre de ménages de l'arrondissement / nombre ménages de la commune.

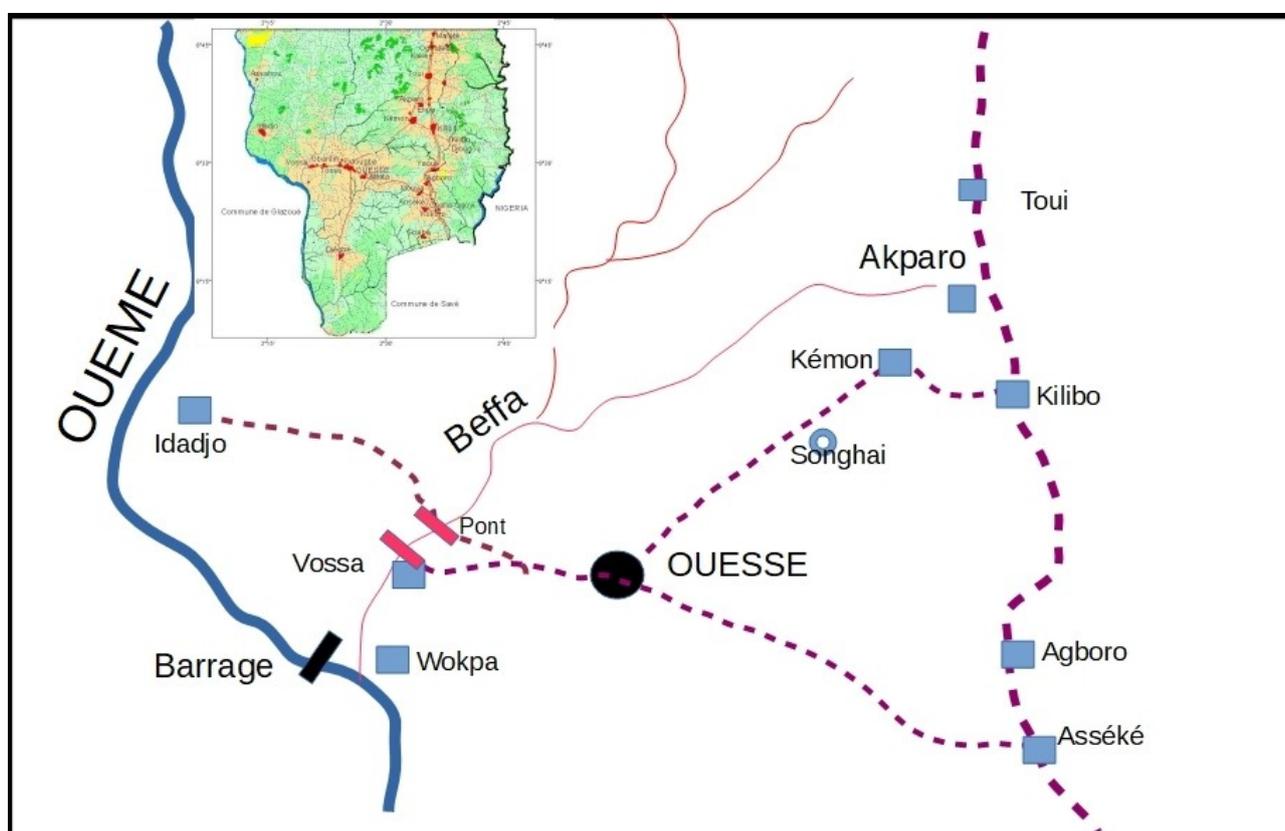
d = marge d'erreur qui est égale à 5 %

$$Q = 1 - P$$

À la suite de ce processus, un taux d'échantillonnage de 30 % est appliqué au résultat pour déterminer le nombre de ménages à enquêter par arrondissement.

Tableau : Nombre de ménages par arrondissements de la Commune d'Ouèssé

Arrondissements	Nombre de ménages		
	Effectif des Ménages	Effectif des Ménages Enquêtés	Pourcentages (%)
Challa- Ogoï	2 360	44	10,8
Gbanlin	2 265	42	10,3
Ouèssé	2 386	44	10,9
Wokpa			
Laminou	3 165	58	14,47
Odougba	1 945	36	8,89
Djègbé	1 594	30	7,3
Kémon	1 564	29	7,1
Akpao			
Kilibo	2 967	55	13,6
Toui	3 621	67	16,5
Total	21 867	405	



Carte approximative (google earth)

Au total 405 ménages seront enquêtés dans la commune.

2.3. Méthodes de traitement des données

Les méthodes utilisées pour l'étude de la variabilité pluviométrique en rapport avec la dynamique hydrologique dans le cadre de ce travail seront essentiellement statistiques.

Elles concerneront le dépouillement des fiches d'enquêtes et guides d'entretien et le traitement des données. Le dépouillement consistera à saisir les réponses recueillies des questionnaires et guides

d'entretien suivant un canevas de tableau conçu dans le logiciel Excel et pouvant permettre de faire des graphiques ou des analyses nécessaires.

Le traitement des données harmonisera les réponses et élaborera de tableaux et graphiques pour les analyses et interprétations.

2.3.1. Évaluation des hauteurs de pluie dans le bassin versant de la Beffa

2.3.1.1. Étude des tendances pluviométriques et hydrologiques

Il s'agira de déterminer par la méthode de régression les tendances thermométriques, pluviométriques de 1970 à 2020 et hydrologiques. Elle consistera en une représentation graphique de droite de régression de type affine qui présente l'évolution linéaire et permet de déceler la tendance.

L'équation de la droite de tendance est sous la forme $y = ax + b$ avec :

- Si $a > 0$, on a une tendance à la hausse ;
- Si $a < 0$, on a une tendance à la baisse

La mise en évidence de l'indice pluviométrique permettra de caractériser les anomalies et d'identifier les périodes de crues et d'étiages dans le bassin.

2.3.1.2. Indice pluviométrique

Cette étude statistique permettra d'identifier les séquences sèches ou déficitaires, les séquences humides ou excédentaires et les séquences moyennes ou normales sur la période (1970-2020).

L'indice pluviométrique est déterminé à partir de la formule :

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

Où X_i est la pluviométrie de l'année i ,

\bar{X} la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence et

σ ; L'Ecart type de la série.

Si $I_p < 0$: l'année est sèche ou déficitaire.

Si $I_p = 0$: l'année est dit moyenne ou normale.

Si $I_p > 0$: l'année est humide ou excédentaire.

La mise en évidence des tendances pluviométriques faite à partir des courbes de tendances des hauteurs de pluies annuelles et des indices pluviométriques permet de caractériser les aléas hydroclimatiques.

2.3.1.3. Caractérisation des aléas hydroclimatiques

Les données utilisées sont relatives aux champs de précipitations. Une étude de corrélation des précipitations / débits suivant la période de 1970 à 2020 permettra de mettre en évidence les impacts des écoulements dans le bassin.

2.3.1.4. Bilan Climatique

Il traduit la succession d'excédents et de déficits en eau dans le complexe. Ainsi, le climat devient sec quand les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible (HUFTY, 1976, repris par VISSIN, 2007). Le bilan climatique (P_u) exprime donc la différence entre la somme des abats pluviométriques (P) et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) : $P_u = P - ETP$ quand il est supérieur à 0. Il correspond à la partie de l'averse ayant pu raisonnablement donner lieu au ruissellement. Son utilité dans cette étude contribue à identifier les éventuelles périodes au cours desquelles les risques hydrométéorologiques peuvent être observés. Ainsi :

- le bilan climatique est excédentaire, si $P > ETP$;
- le bilan est déficitaire, si $P < ETP$;
- le bilan est équilibré quand $P = ETP$.

Lorsqu'il est positif, le surplus disponible participe à la recharge en eau du sol et à l'écoulement (SUTCLIFFE et PIPER, 1985 ; VISSIN 2007).

2.3.2. Détermination de l'écoulement et variation du déficit et du coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement et la variation du déficit seront étudiés.

✓ **L'écoulement (L) :** Le terme d'écoulement se rapporte toujours à la circulation gravitaire de l'eau ; il prend plusieurs aspects selon la profondeur. En hydrologie de surface, le terme d'écoulement concerne exclusivement la circulation de l'eau dans le réseau hydrographique. Il s'agit d'un phénomène qui peut se quantifier par des mesures directes de débits. Sa formule est :

$$L = \frac{Q}{S} \times t \times 10^3 \text{ Avec } L = \text{écoulement (mm)} ; Q = \text{débit (m}^3/\text{s)} ; t = \text{le temps} ; S = \text{superficie du bassin (km}^2\text{)}$$

✓ **Le déficit d'écoulement (DE) :** Le déficit d'écoulement représente la différence entre les précipitations (P) tombées sur le bassin-versant et le volume d'eau ($\int Q_{dt}$) écoulé à l'exutoire :

$DE = P - \int Q_{dt}$ Il se traduit aussi comme la quantité d'eau de pluie ayant échappé à l'écoulement de surface. Cette valeur, caractéristique du milieu d'étude, varie assez peu dans le temps. Elle est théoriquement égale à l'évaporation à la surface cours d'eau. Sa détermination dans le cadre de

cette étude a permettra d'apprécier l'influence des variations hydroclimatiques par rapport à la lame d'eau écoulée eau dans le bassin.

✓ **Coefficient d'écoulement** : déterminé à partir de la formule ci-après

$$C = \frac{L}{P} \times 100 \text{ avec } L = \text{écoulement (mm)} \text{ et } P = \text{hauteur de pluie (mm)}.$$

Ce coefficient qui traduit le ruissellement est étroitement lié aux variations climatiques et traduit également la relation entre les pluies et les écoulements (MAHÉ et OLIVRY, 1995). Il permet aussi d'analyser le rôle joué par le substratum géologique du bassin considéré.

2.3.3. Comparaison des déficits entre deux sous-périodes différentes

Cette méthode vise à évaluer et comparer le déficit entre deux sous-périodes pluvio-hydrologique dans le bassin-versant de la Beffa. Il s'exprime à partir de la formule suivante :

$$\text{Def} = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\bar{X}} \times 100 \text{ Avec : } \bar{X}_1, \text{ la moyenne de la première sous-période en un temps } t_1 ; \bar{X}_2, \text{ la}$$

moyenne de la seconde sous-période en un temps t_2 .

2.3.4. Recherche de liaison ou de dépendance statistique entre pluie et lame d'eau écoulée

Le coefficient de corrélation linéaire sera utilisé pour mesurer le degré de liaison ou de dépendance qui existe entre les lames précipitées et les lames écoulées dans le bassin. Il est défini par :

Avec : N est le nombre total d'individus ; x_i et y_i sont les valeurs des séries ; et \bar{y} sont les

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

moyennes des variables ; $\sigma(x)$ et $\sigma(y)$ représentent leurs écart-types respectifs.

✓ **Le coefficient de détermination R** est calculé de la manière suivante, avec r : $R = r^2$

2.3.5. Récurrence des évènements pluviohydrologiques

L'étude de la variabilité hydroclimatique nécessite une analyse fréquentielle des débits et des précipitations en vue de la détermination des probabilités d'occurrence et les périodes de retour (prévision) à l'échelle des stations du bassin versant.

Ainsi, l'analyse fréquentielle permettra de caractériser l'évolution des pluies et des débits extrêmes enregistrés afin d'en définir les probabilités d'occurrence (MEYLAN et MUSY, 1999). Cette méthode repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'une série de pluies et de débits extrêmes.

✓ **Détermination des évènements moyens et extrêmes**

Elle consiste à extraire les hauteurs de pluies maximales et celles des débits maximaux avec le logiciel **Hydraces** mis au point par le laboratoire d'HydroSciences de Montpellier en France.

✓ *Justification de la loi utilisée et leurs caractéristiques*

- *Loi de Gumbel*

La loi statistique qui ajuste les différentes séries de pluie et la fonction de répartition est la loi de Gumbel (GABRIELE, 1984 ; SLIMANI, 1985 ; MASSON et LUBÈS, 1991 ; HUBERT et BENDJOUDI, 1998 ; BOIS *et al.*, 2007 ; GOULA *et al.*, 2007). Il s'agit d'une loi d'ajustement fréquentielle très souvent utilisée pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes. Elle sert dans l'analyse fréquentielle des valeurs extrêmes (OMM, 1983) et s'exprime de la manière suivante :

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

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

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

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes $x-u$, il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi. L'estimation des paramètres a et b de l'ajustement peut se faire graphiquement ou selon une méthode mathématique (non développée dans cette étude).

Il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur x_i . Les formules d'estimation de la fonction de répartition à l'aide de la fréquence empirique $F(x)$ reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen :

$$F(x_{(r)}) = \frac{r-0,5}{n}$$

où r est le rang dans la série de données classées par valeurs croissantes, n est la taille de l'échantillon, $x_{[r]}$ la valeur de rang r . Le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement et est donné par la formule :

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

Il a permis d'estimer le temps de retour, en termes de probabilité d'apparition, des événements climatiques et hydrologiques extrêmes et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi. L'estimation des paramètres a et b de l'ajustement peut se faire graphiquement, ou selon une méthode mathématique comme celle des moments non développée dans cette étude.

Selon le Glossaire International d'Hydrologie (1992) la période de retour, synonyme de période de récurrence, est la moyenne à long terme du temps ou du nombre d'années séparant un événement de grandeur donnée d'un second événement d'une grandeur égale ou supérieure.

En plus de la loi de Gumbel, la loi de Pearson sert à mieux ajuster certaines séries à l'échelle de quelques stations, surtout les débits.

- **Loi de Pearson:**

La loi de Pearson ou du Gamma incomplet est une loi statistique qui fixe, a priori, la valeur du paramètre de position x_0 à zéro. En retenant toujours Q comme variable débit, et $u=a.Q$ comme variable réduite, avec $a=1/s$, avec le paramètre d'échelle. Dans ces conditions, la fonction de répartition s'écrit :

$$F(Q) = a \lambda / T(\lambda) \int_0^Q e^{-aQ} \cdot Q^{\lambda-1} \cdot dQ \text{ Avec } F \text{ la limite supérieure de } Q \text{ et celle inférieure } 0.$$

Avec λ calculé à partir d'une fonction complexe : $g(\lambda) = \log Q_m - \sum \log Q_i / N$

2.3.6 Analyse de la dynamique de la qualité des eaux de surface dans la commune de Ouèssè

2.3.6.1. Sites et prélèvements d'échantillons d'eaux de surface

Avant l'échantillonnage, il sera procédé à la planification et la préparation du matériel. Cette préparation consiste à obtenir auprès des laboratoires spécialisés les bouteilles d'échantillonnages nécessaires et s'assurer du bon fonctionnement des appareils de mesure à utiliser sur le terrain.

Les échantillons d'eau seront prélevés, en saison pluvieuse et en saison sèche. Les points de prélèvements seront géoréférencés à l'aide du Global Positioning System (GPS) et projetés sur une carte de la commune.

2.3.6.1.1. Méthode de traitement des données physico-chimiques

• Qualité physico-chimique

Les données physico-chimiques seront interprétées à partir de la méthode d'ACP dans le bus de connaître leur origine. Elle permettra de connaître le mécanisme d'acquisition des ions par l'eau dans le sol, l'origine spatiale de ces ions.

- Analyse de la pollution de l'eau

Les paramètres à prendre en compte pour l'analyse de la pollution de l'eau sont :

- les paramètres physico-chimiques (température, conductivité, nitrates, nitrites sels dissous, oxygène dissous, phosphates, sulfates, ammonium et chlorure) ;

L'analyse de ces paramètres permettra d'apprécier le degré de pollution de l'eau et la qualité de l'eau de surface dans la commune

• Analyse des paramètres physiques

L'analyse des paramètres physiques se fera directement faite sur le terrain. La température et le potentiel d'hydrogène seront déterminés à l'aide d'un pH-mètre. La conductivité électrique

sera mesurée à l'aide d'un conductimètre portatif servira à mesurer aussi le total des sels dissous.

2.3.6.1.2. Méthode d'analyse des paramètres physico-chimiques

Dans le but d'apprécier la qualité des eaux de surface du secteur d'étude, il sera procédé à une analyse des paramètres physico-chimiques. L'analyse spatiale et interprétation se fera par la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP).

2.3.6.1.2.1 Recherche de relation causale : méthode de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse des données qui a pour but de comprendre et de visualiser comment les effets de phénomènes *a priori* isolés se combinent. Elle consiste à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs rendant compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données. En d'autres termes, elle est utilisée usuellement comme outil de compression linéaire et son principe est de ne retenir que les n premiers vecteurs propres issus de la diagonalisation de la matrice de corrélation, lorsque l'inertie du nuage projeté sur ces n vecteurs représente qn % de l'inertie du nuage original. On dit qu'on a un taux de compression de $1-qn$ % ou que l'on a compressé à qn %. Cette méthode permet de représenter les données originelles (individus et variables) dans un espace de dimension inférieure à l'espace originel, tout en limitant au maximum la perte d'information.

1.2.4.3.3. Détermination des différentes classes de pollution d'une eau

Depuis 1971, la qualité des cours d'eau est évaluée à partir d'une grille qui associe pour une série de paramètres physico-chimiques et hydrobiologiques, des valeurs seuils à 5 classes de qualité (1A, 1B, 2, 3, HC). Cette grille dite "multi-usage" permettra une évaluation de l'aptitude de l'eau aux principaux usages et à la santé des riverains. La détermination des classes sera élaborée à partir d'une grille de lecture fondée sur l'altération de la qualité par les matières organiques et oxydables.

✓ Analyse bactériologique

Elle permettra l'identification des différentes bactéries sources des maladies hydriques telles que bilharziose, diarrhée et choléra.

2.3.7 La technique d'évaluation de la dynamique des états de surface

La dégradation de l'environnement évolue au gré des conditions bioclimatiques et de l'action anthropique. Cette dégradation est d'autant plus inquiétante qu'elle ne laisse indifférents ni acteurs de développement, ni chercheurs (Heymans et *al.*, 2000 ; Boko, 2001). Au Bénin, et particulièrement dans la vallée de l'Ouémé, la détérioration des écosystèmes constitue une préoccupation pour la survie des populations dont le nombre augmente sensiblement depuis plusieurs années (Paskoff, 1998). La vallée de l'Ouémé fait partie des zones humides du Bénin ; une région où l'eau est le principal élément qui contrôle le milieu naturel et la vie animale

et végétale associée (Convention de Ramsar, 1998). Les zones humides sont parmi les milieux naturels les plus productifs du monde. Ecosystèmes privilégiés de la diversité biologique, elles fournissent l'eau et les produits primaires dont dépendent pour leur survie, des espèces innombrables de plantes et d'animaux.

Elles rendent des services économiques très importants, telles l'alimentation en eau, les pêcheries, l'agriculture, la production de bois d'œuvres, les ressources énergétiques, la flore et la faune sauvage, la navigation, les activités touristiques, etc.

Les états de surface sont décrits à partir des observations de terrain, de la procédure cartographique et de l'analyse diachronique de l'occupation et de l'utilisation des terres dans la zone d'étude. Les unités d'occupation du sol sont supposées connaître une évolution de leur superficie entre 1980 et 2000 d'une part et entre 2000 et 2018 d'autre part. Les états de l'occupation du sol sur ces trois années permettront d'apprécier la variation de la pression humaine sur les hydrosystèmes dans la commune de Ouèssè.

Ainsi, trois cartes d'occupation (1980, 2000 et 2018) du sol seront réalisées à partir de l'interprétation des photographies aériennes et l'analyse des images satellitales LANDSAT TM de 1980, 2000 et 2018.

2.3.7.1 Analyse diachronique des unités paysagiques

L'analyse diachronique de la dynamique des composantes paysagiques dans la commune de Ouèssè sera faite à partir des photographies aériennes, des images satellitales et des données de vérification collectées sur le terrain.

ÿ Analyse des états d'occupation du sol

Le but est de comparer les modifications intervenues dans les types d'occupation du sol entre 1980 et 2000 d'une part et entre 2000 et 2018 d'autre part. La télédétection utilisée pour la cartographie des états de surface permettra par exemple d'envisager une spatialisation de l'aptitude des sols à l'infiltration et au ruissellement. A partir des observations de terrain décrivant les états de surface, la procédure cartographique proposée (Lamachère et Puech, 1995) consiste à réaliser deux décodages à trois dates différentes d'images satellitales (LANDSAT-TM) et de photographies aériennes. Le choix de cette méthode se justifie par le fait que c'est la seule qui puisse nous permettre d'identifier les types d'occupation du sol, mais aussi de déterminer l'évolution de leur superficie.

La dynamique de l'occupation du sol et de l'utilisation des terres permettra de caractériser son influence sur la réalimentation des réservoirs souterrains et les modes de gestion de ces ressources ainsi que leur effet combiné sur la qualité des eaux de surface dans la commune.

Références bibliographiques

AGW-Net. 2015. L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique. Manuel de formation produit par BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC». 240 p.

AKOIGNONGBÉ, 2014

AMOISSOU E. 2010. Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'ouest). Thèse Université de Bourgogne. 313 p.

ARDOIN-BARDIN S. 2004 : Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de doctorat unique ; Université Montpellier II ; 392 p.

ATCHADÉ, 2007

ATCHADÉ, 2014

BABADJIDE C.L., FANGNON B., HOUSSOU Ch.S. 2009. Gestion endogène de l'eau et état de santé des populations du bassin du Mono. In Ben Géo, Cotonou, vol 6. Pp. 80-96.

BAUWENS A., SOHIER C., DEGRÉ A. 2012 : Impacts du changement climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin de la Meuse. In *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2013 :76-86.

BOKONON-GANTA, 1987

CIPCRE 2013: gestion intégrée des ressources en eau. http://cipcrebenin.org/index.php?option=com_content&view=article&id=101&Itemid=133

DJOHYG.L., EDJA A.H. 2018. Effet de la variabilité climatique sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation des éleveurs et maraîchers au Nord Bénin, *in annales de l'université de parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie »* ISSN : 1840-8494, eISSN : 1840-8508 Parakou, Bénin

IDRISSA M. 2018 : impact du climat sur et des activités anthropiques sur les écosystèmes dans le Nord-ouest de la région de Tillabéri, thèse de doctorat unique, Université Abdou Moumouni, Niamey, 133 p.

KOUMASSI, 2014

MAHÉ, 1992

MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES RECHERCHES PÉTROLIÈRES, ET MINIÈRES, DE L'EAU ET DU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES. 2011. Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau du Bénin (PANGIRE). 74 p.

NGUIMALET C.R., MAHE G., LARAQUE A., ORANGE D., YAKOUBOU B.M. 2016. Note sur le changement climatique et la gestion des ressources en eau en Afrique : Repenser l'usage et l'amélioration des services éco-systémiques d'eau. In *Geo-Eco-Trop.* 40 (4) : 317-326.

OGOUALÉ, 2001

RIOB, 2009

TADÉGLA E.S.O. 2016. Qualité des eaux et santé des populations dans la commune de Dangbo : cas des arrondissements de Houédomey et de Kessounou. Mémoire de Master, Université d'Abomey-Calavi, 127 p.

VISSIN, 2007