UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU (INE)

DEPARTEMENT HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE APPLIQUEE (LHA)

Mémoire de fin de formation

Pour l'obtention du diplôme de la Licence Professionnelle en Hydrologie

Option : HYDROLOGIE QUANTITATIVE

THEME :

ANALYSE DES IMPACTS DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE SUR LES DEBITS D'ECOULEMENT SUR LE SOUS BASSIN DE LA DONGA

Réalisé par :

Toundé Pierre KOBA

Maître de Stage : **Dr Jean HOUNKPE**

Maître de Mémoire: **Dr Eric ALAMOU**

Maître Assistant des Universités CAMES

Année académique : 2015-2016

IN MEMORIUM

En mémoire de :

Ma mère biologique Suzanne GBADAGO que l'éternel a très tôt rappelée à lui. Paix à son âme !

DEDICACE

- A mon père Grégoire KOBA. Aucune parole de ce monde ne saurait combler tous les sacrifices que vous avez consentis à mon éducation et tout l'amour que vous m'avez donné. Vous qui m'avez inculqué l'amour du travail, le dynamisme dans tous projets et les œuvres, le courage et la persévérance quelles que soient les épreuves de la vie. Soyez infiniment remerciés pour toute l'éducation que vous m'avez donnée dans la détermination et l'humilité. Longue vie à vous, pour que vous jouissiez des fruits de vos efforts. Recevez ici toute ma reconnaissance et ma profonde admiration.

RESUME

Cette étude porte sur l'évaluation de l'influence de la variabilité pluviométrique sur les débits d'écoulement dans le sous bassin de la Donga. Nous avons, à cet effet considéré deux stations pluviométriques et deux stations limnimétriques. La principale méthode d'analyse utilisée est celle de la variable centrée réduite encore appelée indice de Lamb. Nous avons dans un premier temps analysés les indices de pluie, dans un second temps les indices de débits et enfin combinés ces deux indices afin d'en déduire une relation à différente échelles temporelles. A l'échelle annuelle, la très forte variabilité des pluies observée (indiquée par une alternance presque régulière des indices positifs et négatifs) ne permet pas de déduire les tendances le long de la période d'étude. A l'échelle décennale, on a constaté au niveau de la station de Djougou, que la décennie 1961-1970 a été une période humide mais les décennies 1971-1980, 1981-1990 et 2001-2010 se caractérisent par une forte baisse de la pluviométrie avec une légère reprise vers les années 1990s. Les mêmes tendances se sont répétées au niveau de la station de Partago. L'ampleur du déficit ou de l'excédent pluviométrique sur le débit d'écoulement varie suivant la période considérée. Se basant sur la période récente de 2008-2012, nous avons remarquée au niveau du sous bassin qu'une petite augmentation de la hauteur de pluie s'amplifie au niveau des débits d'écoulement. Par contre, on remarque en 2003-2007 une période déficitaire en pluviométrie qui a un impact très déficitaire sur les débits de Donga. Ces résultats sont d'une grande importance pour la gestion des ressources en eau dans le bassin d'étude.

Mots clés : Impact, Débit d'écoulement, pluviométrie, variabilité hydroclimatique

ABSTRAT

This work aims at assessing the impact of the rainfall variability on discharge in Donga Basin. Two rainfall stations and two gauges stations were considered. The main method adopted is based on the standardized variable called Lamb index. We firstly analyzed the rainfall index, secondly the discharge index and finally combined the two indexes at different temporal scales. At annual scale, the high variability of observed rainfall did not allow to conclude about the trend during the study period. At 10 years scale, we notice that the decade 1961-1970 was humid while the decades 1970-1980, 1981-1990 and 2001-2010 were characterized by a decrease in rainfall with slight increase by 1990s at Djougou station. Similar results were found for Partago. The impact of increasing or decreasing rainfall on the discharge varies depending on the period considered. Based on the recent period of 2008-2012, we notice for the subbasins that a slight increase in rainfall is amplify on the discharge. In contract, for 2003-2007, a decrease in rainfall is accompanied by decrease in discharge at Donga. These results are useful for the water resources management in the study area.

Keys Words: Impact, Discharge, rainfall, hydroclimatic variability

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons particulièrement à exprimer notre plus profonde et sincère gratitude à toute les personnes qui de près ou de loin ont su nous apporter au moment propice leurs contributions. Nous ne pourrons pas les citer toutes.

Toutefois qu'il nous soit permis de nommer :

- Le Professeur Abel AFOUDA, ancien Directeur du programme WASCAL-UAC et ancien Directeur du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée à la FAST pour toutes ses interventions ;
- Mon maître de mémoire, Dr Eric ALAMOU, Enseignant Chercheur à l'Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route (ESTBR), qui a accepté de me guider dans le processus de réalisation de ce travail. Vous avez cru en mes capacités, ma volonté et n'avez ménagé aucun effort pour m'accompagner sur le chemin de la connaissance en dépit de vos occupations. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude;
- Mon maître de stage, Dr Jean HOUNKPE, qui s'est rendu disponible pendant la période d'exécution du travail. Vous avez permis la réalisation du document avec les apports scientifiques nécessaires pour parfait le document ; vous m'avez permis d'apprendre plusieurs méthodes et techniques importantes dans mon option d'étude. De tout cœur merci ;
- Les Honorables membres du jury ;
- Les professeurs : Moussa BOUKARI, Daouda MAMA, Emmanuel LAWIN, le Dr Abdou Karim ALASSANE et à tous les enseignants de l'Institut National de l'Eau (INE) pour leurs conseils;
- Madame Rita HOUNGUE, Monsieur Salifou OROU PETE et tous les doctorants du programme WASCAL pour tous les apports qu'ils ont effectués pour la réalisation de ce travail pendant notre formation au LHA;
- Tout le personnel de l'IRD en particulier M. Maxime WUBDA, pour les données mises à notre disposition;
- A ma mère Edwige FADO, a tous mes frères Marc, Roberto et mes sœurs Prisca, Olivia ; mes oncles, tantes, cousins, cousines, neveux et nièces pour leur soutien. Puisse l'éternel raffermir notre amour l'un envers l'autre.
- Tous mes camarades de classe de la deuxième (2^{iem}) promotion de l'Institut National de l'Eau (INE) pour l'ambiance et l'entraide qui ont régné entre nous tout au long de notre formation ;

Table des matières

IN MEMORIUM i

DEDICACE ii

RESUME iii

ABSTRAT iv

REMERCIEMENTS v

SIGLES ET ACRONYMES ix

LISTE DES FIGURES x

LISTE DES TABLEAUX xii

INTRODUCTION 1

1-1 Problématique 1

1-2 Hypothèses 2

1-2 Objectifs du travail 2

CHAPITRE 2 : 4

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 4

2-1 Définition des concepts 5

2-2 Revue de littérature 6

2-2-1 Variabilité climatique 6

2-2-2 Méthodes et outils d'évaluation de l'impact de la variabilité climatique sur le régime des cours d'eau 8

CHAPITRE 3 10

PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE 10

3-1 Situation géographique et hydrographie 11

3-2 Pluviométrie 12

3-3 Relief et végétation 13

3-4 Géologie (BRGM/OBM, 1984) 15

3-5 Pédologie 16

3-6 Hydrogéologie 17

CHAPITRE 4 18

MATERIELS ET METHODES 18

4- Approche Méthodologique 19

4-1 Collecte des données 19

4-2 Analyse et critique des données 19

4-3 Méthode de traitement des données 20

4-3-1 Etude de la variabilité climatique et hydrologique 20

4-3-1-1 Paramètres de position 20

4-3-1-2 Ecart type 21

4-3-1-3 Cumul annuel 21

4-3-1-4 Variables centrées réduites 22

4-4 Matériels 23

CHAPITRE 5 : 24

RESULTATS ET DISCUSSIONS 24

5-1 Variabilité de la pluviométrie 25

5-1-1 Variabilité pluviométrique à l'échelle mensuelle 26

5-1-2 Variabilité interannuelle de la pluviométrie 31

5-1-3 Variabilité pluviométrique à l'échelle décennale 32

5-2 Variabilité des débits d'écoulement 34

5-2-2 Variabilité interannuel des débits d'écoulement 35

5-3 Influence des fluctuations pluviométriques sur les débits d'écoulement dans le sous bassin de la Donga 36

5-4 Discussion 38

CONCLUSION 39

Références bibliographiques 40

SIGLES ET ACRONYMES

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

DG-Eau : Direction Générale de l'Eau

DNM : Direction Nationale de Météorologie

ESTBR : Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route

INE : Institut National de l'Eau

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

LHA : Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

OHHVO : Observation Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé

PANA Benin : Programme d'Action National pour l'Adaptation aux effets des changements climatiques

UAC : Université d'Abomey-Calavi

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bassin versant de la Donga à l'exutoire de Affon. 12

Figure 2 : Pluies annuelles au niveau des stations pluviométriques à Djougou et à Partago 13

Figure 3 : Topographie et réseau hydrographique de la Donga à l'exutoire de Donga-Pont (Tossou, 2007) 14

Figure 4 : Carte d'occupation du sol (Zin et al., 2003) 15

Figure 5 : Carte géologique au 1/200000e du bassin de la Donga (BRGM/OBM, 1984) 16

Figure 6 : Pourcentage des données pluviométriques manquantes au niveau de la station de Djougou 25

Figure 7 : Pourcentage des données pluviométriques manquantes au niveau de la station de Partago 26

Figure 8 : Evolution de la pluie moyenne mensuelle (station de Djougou et Partago) 27

Figure 9 : Evolution de la pluviométrie avec les indices centrés réduits des hauteurs de pluie décennale mensuelle (station de Djougou) 28

Figure 10 : Evolution de la pluviométrie avec les indices centrés réduits des hauteurs de pluie décennale mensuelle (station de Partago) 30

Figure 11 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station de Djougou 31

Figure 12 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station de Partago. 32

Figure 13: Pourcentage des données débits d'écoulement manquants au niveau de Donga Affon. 34

Figure 14 : Variabilité interannuelle des débits de la Donga à Donga Affon 35

Figure 15 : Variabilité interannuelle des débits de la Donga à Donga Pont 36

Figure 16 : Influence des fluctuations pluviométriques annuelles sur les débits d'écoulements annuels dans le sous bassin Donga-Pont 37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Identification des stations pluviométriques, périodes et coordonnées 19

Tableau 2 : Identification des stations périodes et coordonnées limnimétriques 19

Tableau 3 : Classification des valeurs de l'indice (McKee et al. (1993)) 23

Tableau 4 : Pluviométrie moyenne décennale station de Djougou en mm pour la période 1921-2014 33

Tableau 5 : Pluviométrie moyenne décennale station de Partago en mm pour la période 1969-2010 33

INTRODUCTION

Les questions sur la variabilité et les changements climatiques ont intéressé la communauté mondiale suite à plusieurs manifestations climatiques de grande ampleur qui résulte du fait de leurs conséquences sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques d'où la mise en place d'un consensus des scientifiques autour des changements du climat ([1]CCNUCC, 1992). Les indicateurs de tels changements climatiques sont l'augmentation et la multiplication d'évènements météorologiques extrêmes : la sécheresse qui a touché plus les pays de l'Afrique de l'Ouest depuis les années 1970 (Sircoulon, 1976) puis les inondations qui sont de plus en plus intenses.

Le Bénin, à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'ouest, connaît des phénomènes intenses d'inondations ces dernières années dus à la variabilité et le changement climatique en général, et en particulier dans le bassin de la Donga.

Une étude du changement climatique prend en compte tous les paramètres climatiques comme la précipitation, l'humidité, la température, l'ensoleillement, la vitesse du vent… qui influence le climat.

Notre étude sera basée sur l'analyse statistique d'un paramètre climatique notamment la précipitation, et d'une variable hydrométrique notamment le débit afin d'en déduire l'influence des fluctuations pluviométriques sur les débits d'écoulement dans le sous bassin de la Donga.

1-1 Problématique

Dans un rapport du Programme d'Action National pour l'Adaptation aux effets des changements climatiques (PANA Benin, 2007), il a été clairement notifié que le système climatique planétaire dans lequel s'inscrit l'Afrique de l'Ouest, en général et le Bénin en particulier, subit des modifications à grande échelle. Ces modifications sont amplifiées par les facteurs naturels et anthropiques tant régionaux, que locaux. Ainsi, les variables climatiques décrivant le climat du Benin subissent de forte variabilité ou des changements selon les échelles de temps et d'analyse avec des conséquences néfastes pour le développement durable. Selon le même rapport, il a été observé ces dernières années une

[1] La CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

perturbation du cycle global de l'eau. En effet, depuis la fin des années 1960, des perturbations climatiques sont intervenues au Benin et se sont manifestées par une réduction d'amplitude annuelle moyenne des hauteurs totales de pluie de 180 mm. On a aussi noté une intensification des sécheresses qui se sont produites pendant la même période, notamment dans les années 1970 et 1980.

Face à ces problèmes, il est nécessaire que le Benin adopte des méthodes d'étude qui permettent d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les débits et d'apprécier la relation entre la variabilité de certains paramètres climatiques et les débits. C'est pour cette raison, et pour une bonne compréhension du comportement hydroclimatique que le thème de recherche intitulé << **Analyse des impacts de la variabilité pluviométrique sur les débits d'écoulements dans le sous bassin de la Donga>> a été choisi.**

L'étude se base sur les interrogations ci-après :

- ✓ Comment se manifeste la variabilité climatique au niveau du bassin de la Donga?
- ✓ Quels sont les implications de cette variabilité sur le régime du bassin de la Donga?

Pour répondre à ces interrogations, des hypothèses ont été émises.

1-2 Hypothèses

- ✓ Le bassin de la Donga est marqué par une forte variabilité des paramètres climatiques;
- ✓ La variabilité climatique a un impact sur l'évolution du régime du bassin de la Donga.

Afin de vérifier ces hypothèses, des objectifs ont été fixés.

1-2 Objectifs du travail

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'influence des fluctuations pluviométriques sur les débits d'écoulement dans le sous bassin de la Donga.

De façon spécifique, il s'agira de:

- Caractériser les séries pluviométriques des stations de Djougou et de Patargo ;
- Analyser les séries de débit des stations hydrométriques Donga-Affon et Donga-Pont ;
- Déduire des analyses l'influence de la pluie sur l'écoulement dans le sous bassin.

L'étude s'articulera autour de cinq chapitres à savoir:

- ✓ Le premier chapitre nommé <<Introduction et Objectifs>> présente la problématique, les hypothèses et les objectifs (général et spécifique),

- ✓ Le deuxième chapitre dénommé << Synthèse bibliographique>> présente quelques définitions pour la compréhension de notre thème et la revue bibliographique ;

- ✓ Le troisième chapitre dénommé <<Présentation du cadre de l'étude>> décrit le milieu d'étude à travers sa pluviométrie, son relief, son hydrographie, sa végétation, sa géologie, sa pédologie, et l'hydrogéologie.

- ✓ Dans le chapitre quatre intitulé <<Matériels et méthodes>> nous avons présenté les données utilisées et leurs sources, les méthodes de traitement ainsi que les matériels utilisés.

- ✓ Et enfin le chapitre cinq nommé <<Résultats et discussions>> qui est destiné à la présentation des résultats et à la discussion de ces résultats avec les travaux antérieurs.

CHAPITRE 2 :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

2-1 Définition des concepts

Pour une bonne compréhension de notre étude, la définition de certains concepts s'avère nécessaire.

Ainsi on entendra par :

Aléas : événements ou risques dommageables (Petit Larousse 2009).

Climat : il est l'ensemble des caractéristiques de l'atmosphère et de leurs variations, en un lieu donné, sur une longue période. Le climat se différencie du temps, qui est l'état du ciel à un moment donné. La détermination d'un climat ne peut donc se faire qu'à l'aide des mesures établies durant une période de référence, assez longue pour ne pas être affectée par d'éventuels changements climatiques. C'est pourquoi on utilise généralement des trentenaires. (Pascal et al. 2003)

Risque climatique : Encarta (2008) définit les risques naturels comme étant des dangers survenant en raison de circonstances naturelles et menaçant le bien-être des hommes et / ou de l'environnement. Alors, un risque climatique est un danger ou un inconvénient lié à la modification de l'état du climat. C'est aussi la probabilité et l'importance de l'occurrence d'un danger d'origine climatique.

Débit d'un cours d'eau : exprimé en m^3/s, il correspond au volume d'eau écoulé par unité de temps en une section d'un cours d'eau. Il dépend du climat et de la configuration du bassin versant. Le débit hydrologique varie aussi, pour un même cours d'eau, de la source à l'embouchure et en fonction des saisons. (Pascal et al., 2003)

Régime hydrologique : on appelle régime hydrologique, les variations dans l'année de l'alimentation en eau des rivières. Il dépend des précipitations reçues et se trouve donc étroitement lié au climat. Les régimes sont marqués par l'existence d'une période de basses eaux, l'étiage, et d'une période ou deux de hautes eaux, la crue. (Pascal et al., 2003).

Variabilité climatique : selon le Petit Larousse 2009, la variabilité est le caractère de ce qui est variable, susceptible de se modifier dans le temps ou l'espace.

Ainsi, la variabilité climatique est la mobilité ou la variation du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales. C'est aussi les variations de l'état moyen et d'autres statistiques

(écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe).

Impact : des diverses définitions proposées par le Petit Larousse 2009, on retient que l'impact est l'influence ou l'effet d'une action ou d'un événement sur une chose ou sur l'environnement. Ainsi, l'impact de la variabilité climatique sur le régime d'un bassin est l'ensemble des répercussions des fluctuations des éléments du climat sur l'écoulement.

On déduit donc qu'une étude d'impact est l'ensemble des méthodes ou outils utilisés pour évaluer les effets négatifs ou positifs d'une donnée, d'une activité ou d'un phénomène sur l'environnement.

2-2 Revue de littérature

Il est nécessaire pour toute étude, de faire une recherche documentaire afin de répertorier les ouvrages antérieurs les plus spécifiques et les plus spécialisés qui ont abordé le thème de recherche. Pendant la recherche documentaire, les thèmes suivants sont privilégiés :

- Variabilité climatique ;
- Méthodes et outils d'évaluation de l'impact de la variabilité climatique sur le régime des cours d'eau.

2-2-1 Variabilité climatique

Largement abordée par la littérature scientifique, la question de la variabilité climatique constitue un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire. En milieu tropical, en particulier en Afrique de l'Ouest, il est à noter que de tous les paramètres climatiques, la pluie est le plus déterminant.

Ainsi, selon Ogouwalé (2006), les recherches effectuées par Olivry et *al.* (1983) et Sircoulon (1990), indiquent que les précipitations en Afrique ont été marquées par une diminution sur la période allant de 1931 à 1980. Dans ce contexte continental, la région ouest africaine a connu une récession pluviométrique qui se caractérise par une augmentation significative du nombre d'années sèches (Sircoulon, 1990). Cette tendance est qualifiée par de "nouvelles phases climatiques'' ou encore de ''ruptures climatiques" par Carbonnel et *al* (1992).

Dans leurs recherches portant sur : " changements climatiques et variations des écoulements en Afrique Occidentale et Centrale, du mensuel à l'interannuel ", Mahé et *al*. (1991) révèlent que, outre les pluies, les débits constituent également de très bons traceurs des variations climatiques car ils intègrent l'ensemble des phénomènes météorologiques et hydrogéologiques de grandes surfaces géographiques, et l'information climatique qu'ils contiennent est généralement plus rapidement accessible que celle des pluies. Leur étude montre une variation décennale des apports :

- Au cours de la décennie 1951-1960 les apports sont excédentaires en Afrique occidentale, passant progressivement de + 20% dans la région Sénégal-Fouta à + 5% dans la Région Adamaoua ;
- La décennie 1961-1970 est marquée par un excédent d'apport généralisé ;
- La décennie 1971-1980 est déficitaire pour toutes les régions (-10% en moyenne) et on note une rupture nette à partir de l'année 1971 ;
- Pendant la décennie 1981-1989, le déficit des apports est très important en Afrique Occidentale.

En revanche, Lawin (2007) met en exergue dans ses études sur la haute vallée de l'Ouémé, l'importance des fluctuations interannuelle du cumul qui se superpose à la variabilité décennale.

Gohoungossou (2010), de part ses études sur trois sous bassins de l'Ouémé, montre à partir d'une comparaison des classes décennales de pluie et de débit, que le déficit pluviométrique est largement amplifié dans les écoulements (trois fois dans les sous bassins de l'Ouémé à Bétérou, l'Ouémé à Bonou et quatre fois dans l'Ouémé à Savè).

Les travaux de Boko (1988) ; Kanohin et al (2009); Amoussou (2010) ; Bauwens et al (2013) ; Amani et al (2010) ; Soro et al (2011) ; Yao et al (2012) nous révèlent que les différents secteurs d'activités sont et seront fortement impactés par la variabilité climatique et les changements climatiques en Afrique de l'Ouest et Centrale.

En somme, de certains des travaux précités, il ressort un impact très marqué des déficits pluviométriques des dernières décennies sur les écoulements. Sur l'ensemble des fleuves de

l'Afrique de l'Ouest, les débits évoluent suivant des tendances globalement identiques mais, les études réalisées sur le fleuve Ouémé révèlent des particularités pluviométriques et hydrométriques.

Notre mémoire tentera de faire l'étude de la variabilité climatique en considérant les précipitations comme paramètre du climat et d'analyser leur impact sur le régime du sous bassin de la Donga. La consistance de l'étude repose sur les méthodes d'étude d'impact à mettre en œuvre.

2-2-2 Méthodes et outils d'évaluation de l'impact de la variabilité climatique sur le régime des cours d'eau

L'aboutissement aux objectifs fixés dans toute étude nécessite au préalable, l'acquisition des technologies, méthodes et outils nécessaires. Pour les études s'effectuant à l'échelle du bassin versant, il est important de calculer la précipitation moyenne sur le bassin ainsi que la valeur de pluie en tout point non instrumenté (non équipé d'un pluviomètre) de ce bassin à partir de valeurs des précipitations observées en un nombre de points répartis de manière irrégulière sur ledit bassin. A cet effet, il existe plusieurs méthodes de détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant.

Bertrand-Krajewski (2007) mentionne huit de ces méthodes à savoir : la moyenne arithmétique, la méthode des isohyètes, la méthode des polygones de Thiessen, la méthode des triangles, la méthode du quadrillage, la méthode des deux axes, la méthode du krigeage et les méthodes mathématiques (fonctions Splines, polynomiales, de Fourrier, des éléments finis,…).

Serhir (2011) expose six de ces méthodes à savoir : l'interpolation spatiale des précipitations, une moyenne arithmétique, la méthode des polygones de Thiessen, la méthode des isohyètes, la méthode mixte et le hyétogramme moyen.

Kanohin et *al*. (2009) dans leur étude ont utilisé la méthode des variables centrées réduites, le filtre passe-bas de hanning d'ordre 2 et le bilan hydrologique afin d'évaluer les impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de la région de Daoukro en Côte D'ivoire. La

méthode filtre passe-bas de hanning d'ordre 2, appelée aussi moyenne mobile pondérée, permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique.

Par contre Vissin (2007) a, pour sa part, utilisé des méthodes essentiellement statistiques et des modèles conceptuels dans son étude portant sur : "Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger".

De ces différents travaux, il ressort que l'approche méthodologique est fonction de l'étude à réaliser et des objectifs fixés. Notre mémoire tentera, à partir des données hydroclimatiques, d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les débits caractéristiques du sous bassin de la Donga.

CHAPITRE 3

PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

3-1 Situation géographique et hydrographie

Situé dans le nord-ouest du Bénin, à 450 km de Cotonou, le bassin de la Donga se trouve entre les longitudes 1°30'0''E et 2°10'0''E et les latitudes 9°25'0''N et 9°55'0''N (Figure 1).

Ce bassin versant est un sous bassin de l'Observation Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO). Il est administrativement présent dans le département de la Donga et a une superficie de 586 km^2 à son exutoire de Donga-Pont et une superficie de 1308 km^2 à son exutoire de Donga Affon.

Le bassin de la Donga est équipé de plusieurs stations pluviométriques, nos travaux ont porté sur deux stations pluviométriques possédant des séries assez longues:

- La station de Djougou
- La station de Partago

Pour les stations limnimétriques; le bassin de la Donga comporte six stations (Tossou, 2007). Nous avons utilisé deux stations pour notre recherche. Il s'agit de :

- Donga Pont, la station est influencée par l'écoulement d'eau qui provient de la station de Djougou.
- Donga Affon, cette station prend en compte tout le bassin. Elle est influencée par l'écoulement d'eau provenant de Donga-Pont et aussi celui de Partago, elle permet d'identifier l'impact sur le bassin de la Donga à l'exutoire de Donga Affon.

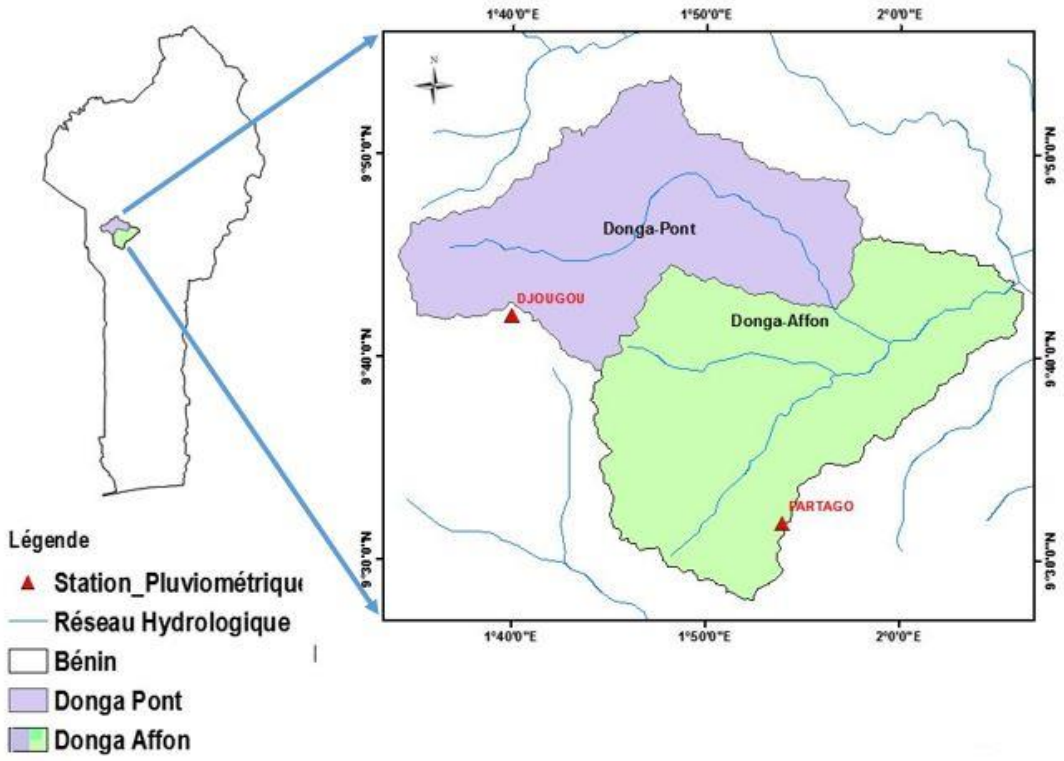


Figure 1 : Bassin versant de la Donga à l'exutoire de Affon.

3-2 Pluviométrie

Avec un cumul annuel de 1300 mm de pluie par an, le bassin de la Donga est situé dans une zone qualifiée par Aubreville (1949) de soudano-guinéenne (1000 à 1400 mm). Cette zone est régie par l'alternance d'une saison pluvieuse ; d'avril à mi-novembre et d'une saison sèche de mi-novembre à mars. Il importe de signaler que peu de stations étaient disponibles avant 1997 pour l'estimation de la pluie moyenne sur le bassin versant, ce qui rend plus délicate l'analyse de la pluviométrie à l'échelle du bassin (Figure 2)

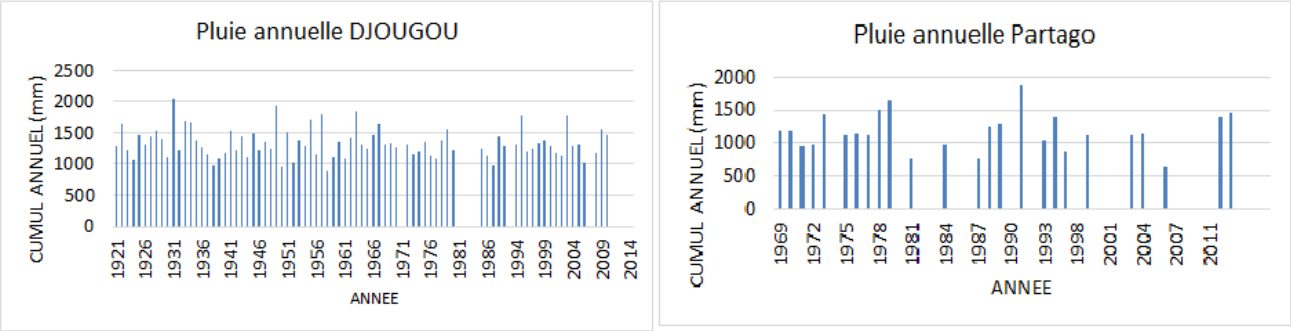


Figure 2 : Pluies annuelles au niveau des stations pluviométriques à Djougou et à Partago

3-3 Relief et végétation

Le bassin de la Donga au niveau de l'exutoire Donga-Pont est développé sur la pénéplaine dahoméenne dont la pente générale orientée NO-SE présente une déclivité de l'ordre de 1,7 m/km. Les altitudes varient entre 480 m (à l'amont) et 330 m (à l'exutoire) et le bassin présente une topographie faiblement vallonnée (Tossou, 2007).

Le réseau hydrographique (Figure 3) en place correspond à la Donga et ses affluents qui drainent le bassin en direction du sud-est. Les rivières sont généralement d'ordres 2 ou 3. Le cours principal (Donga) a une longueur linéaire d'environ 75 km à l'exutoire de Donga-Pont.

La totalité des rivières du bassin présentent un régime d'intermittence caractérisé par un assèchement total en saison sèche (entre novembre et avril) et une reprise des écoulements en saison humide (entre mai et octobre).

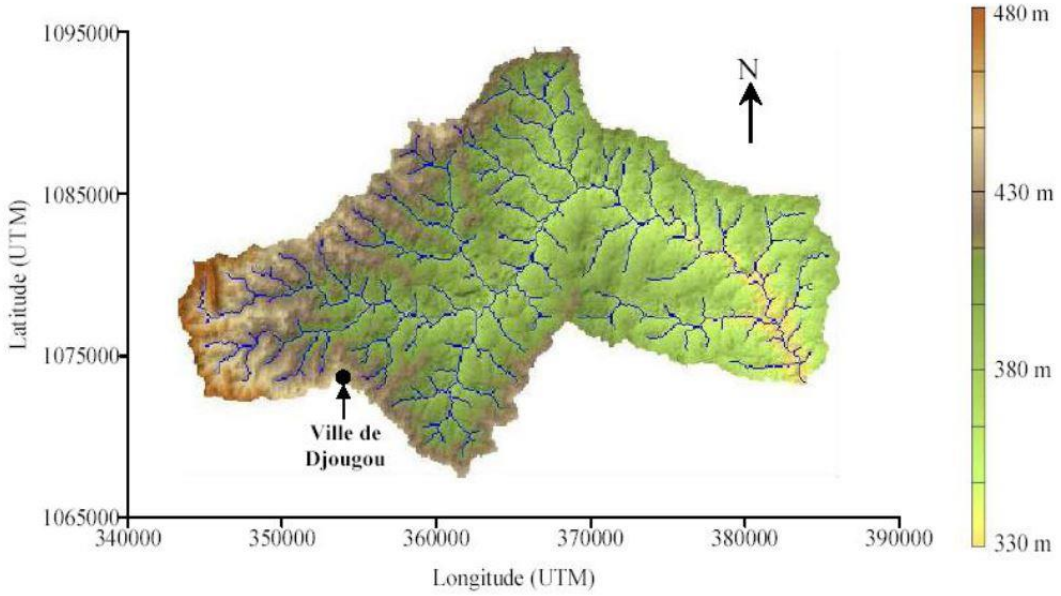


Figure 3 : Topographie et réseau hydrographique de la Donga à l'exutoire de Donga-Pont (Tossou, 2007)

La végétation est majoritairement constituée de savane arborée plus ou moins dense, dominée par les espèces ligneuses telles que le Karité (Vitellaria paradoxa) et le néré (Parkia biglobosa) et des espèces herbacées (Andropogon fastigiatus, Brachiaria sphacelat, pennisetum polystacion) (Harris, 2004) (Figure 4).

La partie nord-ouest du bassin est occupée par la forêt classée de Béléfoungou et les principaux axes de drainage sont bordés d'une étroite forêt-galerie (Elaeis guineensis, Berlinia grandifolia, Mimusop endongensis) (Zin et al, 2003). Cette végétation est aujourd'hui largement dégradée en une mosaïque de champs à vocation vivrière (mil, manioc, maïs, igname) ou de rente (coton, anacarde). Il apparaît également que le développement du couvert végétal, notamment les herbacés, suit étroitement la pluviométrie et l'humidification du sol

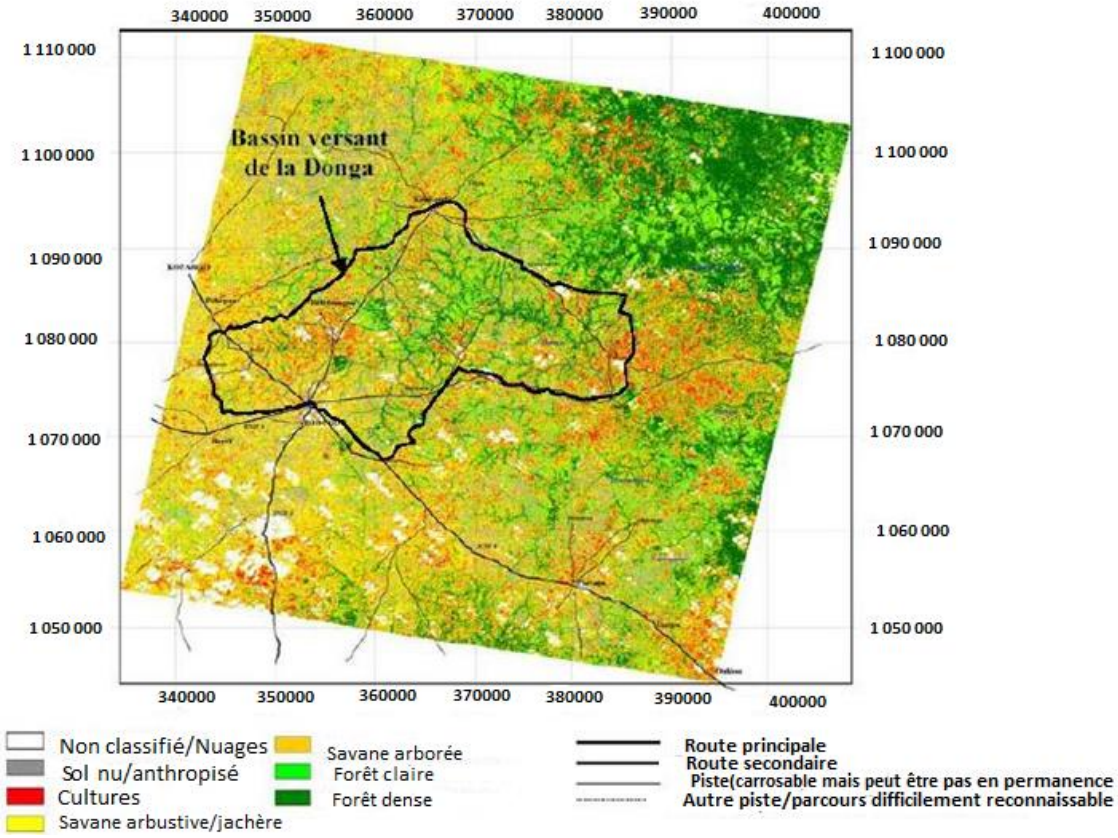


Figure 4 : Carte d'occupation du sol (Zin et al., 2003)

3-4 Géologie (BRGM/OBM, 1984)

Le bassin versant de la Donga repose sur deux unités structurales: unités structurales de la plaine du Bénin et de l'Atacora (figure 5). La majeure partie du bassin est occupée par l'unité structurale de la plaine du Bénin. Cette unité se compose de quatre formations géologiques qui affleurent par endroit. Au Nord-Ouest, des rares formations d'orthogneiss à muscovite, gneiss à amphibole et amphibolites schisteuses sont visibles. A l'ouest, on retrouve la «formation de Djougou » constituée de gneiss fins, de micachistes à muscovite et amphibolites schisteuses. Cette formation centrée sur Djougou, s'étire sensiblement nord-sud sur une bande de 10 km de large depuis la latitude 10°N au nord jusque vers la latitude 9°30 N au Sud. Au sud-ouest et dans toute la partie centrale du bassin (du nord au sud), on rencontre la formation dite « de la zone axiale ». Elle est composée de séquences diversifiées de migmatiques et de gneiss migmatitiques à biotite grenat. La partie orientale du bassin est occupée par « la formation de la Donga ».

A l'affleurement, cette formation laisse apparaître une alternance de gneiss fins et de leptynites à biotites et muscovites. Plusieurs contacts anormaux, probablement des failles ou des linéaments structuraux apparaissent également. L'unité structurale de l'Atacora couvre une petite partie de la pointe ouest du bassin et se compose de deux formations géologiques. La première est une formation linéaire (probablement intrusive) de quartzite à muscovite et la seconde de micachiste quartzeux à muscovite.

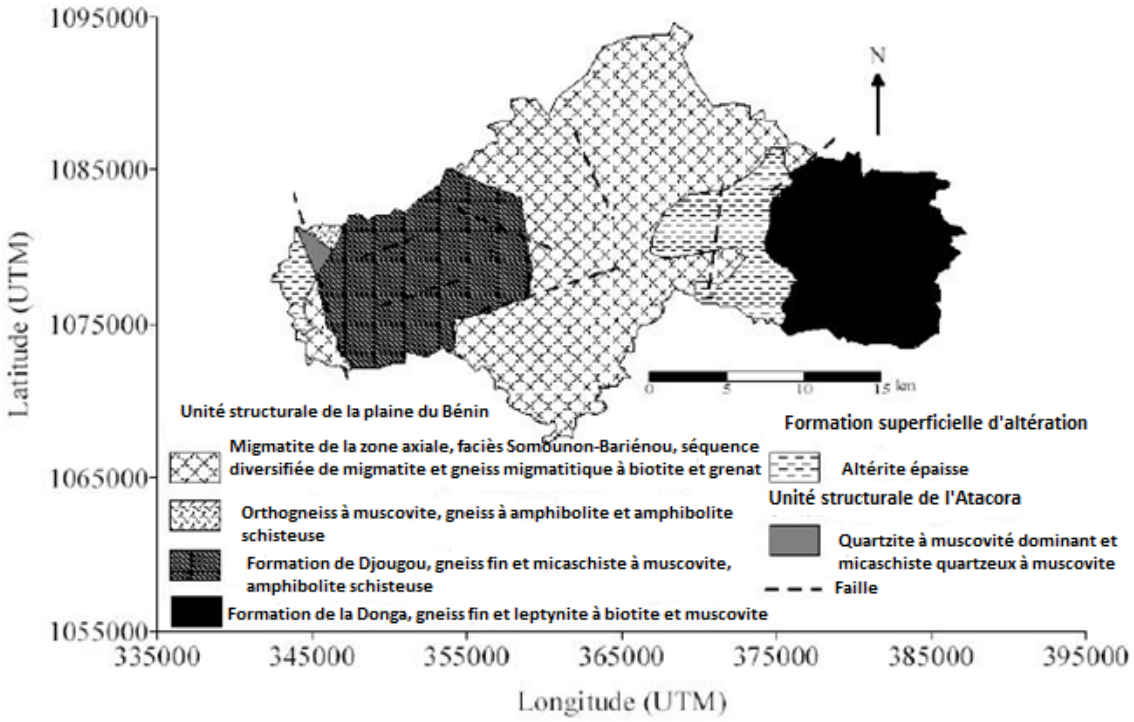


Figure 5 : Carte géologique au 1/200000e du bassin de la Donga (BRGM/OBM, 1984)

3-5 Pédologie

Le manteau pédologique résulte en général de l'action combinée de plusieurs facteurs tels que le climat, les formations végétales, la roche mère, l'altération, l'histoire géomorphologique et les actions anthropiques. Au centre-ouest du Bénin et plus particulièrement dans la zone d'étude, ce manteau est constitué de sols formés à partir des roches sédimentaires, du socle cristallin et des dépôts alluviaux (Faure, 1977 ; Faure et Volkoff, 1998). On distingue deux principaux types de sol ; les sols ferralitiques et les sols ferrugineux régionaux tropicaux.

Les sols ferralitiques (5% de la surface du sol) sont très peu observés dans la zone. Ce sont des sols profonds, caractérisés par une altération complète des minéraux primaires de la roche et une élimination importante des bases aboutissant à la formation de minéraux kaolinitiques et des oxydes métalliques.

Les sols ferrugineux régionaux tropicaux (95 % de la surface du sol) sont constitués de sols peu lessivés en argile, de sols hydromorphes et de sols lessivés.

3-6 Hydrogéologie

L'hydrogéologie de la zone est caractérisée par une coexistence de deux réservoirs. L'un supérieur (réservoir d'altérite) avec un rôle fortement capacitif du fait de sa nature argileuse et l'autre sous-jacent (réservoir de socle), probablement en continuité hydraulique avec le premier et pouvant jouer un rôle transmissif du fait des fractures et diaclases (Kamagaté, 2006). Le réservoir d'altérite étudié par Kamagaté (2006) présente une épaisseur très variable (3 à 20m) du fait de la très forte irrégularité de la limite supérieure du substratum.

Compte tenu de la position toujours haute de la nappe libre par rapport à l'axe de drainage le plus proche, le réservoir d'altérite serait en charge vis-à-vis des rivières qui constituent un potentiel naturel imposé et un drain aux eaux souterraines.

Les rares paramètres hydrodynamiques indiquent une relative faible porosité de l'aquifère (inférieure à 5 %) et une faible transmissivité (de l'ordre de 10^{-5} $m^2.s^{-1}$).

CHAPITRE 4

MATERIELS ET METHODES

4- Approche Méthodologique

4-1 Collecte des données

Pour notre étude nous avons collecté les données de précipitation (Tableau 1) et de débit (Tableau2)

Tableau 1 : Identification des stations pluviométriques, périodes et coordonnées

Stations pluviométriques	Période	coordonnées	
		Longitude	Latitude
Djougou	1921 à 2014	1.6667	9.7
Partago	1969 à 2013	1.9	9.53

Tableau 2 : Identification des stations périodes et coordonnées limnimétriques

Stations limnimétriques	Période	coordonnées	
		Longitude	Latitude
Donga-Pont	1998 à 2014	9.711	1.945
Donga-Affon	1996 à 2011	2.095	9.727

Les données de débit des différentes stations dans le cadre de notre étude sont extraites de la base de données de l'IRD à la DGeau. Celles de précipitations, sont collectées à l'agence nationale de la météorologie (Météo Bénin).

4-2 Analyse et critique des données

Pour les périodes d'étude considérées, nous avons remarqué que les données utilisées (les débits comme les précipitations) dans les différentes stations pluviométriques et hydrométriques présentent des lacunes. Les lacunes varient d'une année à une autre, d'une station à une autre.

4-3 Méthode de traitement des données

La méthodologie utilisée consiste à collecter les données météorologiques et hydrologiques, à faire une revue de littérature nécessaires pour la réalisation de l'étude, à identifier les lacunes des données hydrométéorologiques afin de mieux apprécier nos résultats.

Pour les lacunes, nous avons calculé le pourcentage de donnée manquante pendant la période pluvieuse qui commence d'Avril à Mi-Novembre. Ensuite, nous avons comparé ce pourcentage à un seuil estimé à 10%. Le choix de ce seuil s'est basé sur les travaux de Badou et al (2016).

Si pour une année le pourcentage calculé est inférieure au seuil, nous utilisons la valeur de la pluie annuelle ou du débit annuel. Par contre, si ce pourcentage est supérieur au seuil 10%, nous ne considérons plus la pluie annuelle ou débit annuel dans cette année pour la suite de nos calculs.

4-3-1 Etude de la variabilité climatique et hydrologique

4-3-1-1 Paramètres de position

Le paramètre de position précise l'ordre de grandeur (à peu près) le plus courant de la variable aléatoire. Nous avons calculé ici la moyenne arithmétique.

Moyenne arithmétique

Elle s'exprime de la façon suivante :

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

Avec

$\bar{X}$: La moyenne arithmétique

n: La taille de l'échantillon

x_i: La variable

La moyenne arithmétique est un descripteur simple, robuste (il ne varie pas trop d'un échantillon à un autre) et convergent. C'est-à-dire que si n tend vers l'infini ($+\infty$, valeur très grande) la variable n tend vers la moyenne réelle de la population.

4-3-1-2 Ecart type

Il caractérise les variations de la variable aléatoire en donnant une idée de la fluctuation des observations X_i autour de la valeur moyenne$\bar{X}$.

L'écart type est donné par l'équation (2) :

$$\sigma(\mathrm{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{\mathrm{i}=1}^{n}\left(x_i - \overline{X}\right)^2}{n-1}} \qquad (2)$$

Avec $\bar{X}$ la moyenne calculée sur l'échantillon.

x_i Les variables observées (i=1, 2, 3,…... n)

4-3-1-3 Cumul annuel

C'est la somme cumulée des valeurs mensuelles prises par la variable.

Sa formule est la suivante :

$$C = \sum_{n=1}^{n=12} x_i \qquad (3)$$

Avec

x_i : La valeur prise par la variable au mois i ; i=1,2,…..,12

C : Le cumul pluviométrique annuel.

4-3-1-4 Variables centrées réduites

Elles renseignent sur les anomalies pluviométriques ou hydrométriques interannuelles qui ressortent une situation de déficit ou d'excédent par rapport à la moyenne considérée comme situation pluviométrique ou hydrologique normale.

On utilise la méthode des indices de NICHOLSON.

Cette méthode permet de suivre les fluctuations des régimes pluviométrique et hydrologique. L'indice apparaît comme une variable centrée et réduite.

Ces valeurs centrées réduites peuvent être positives ou négatives.

Elle est donnée par l'équation (4) :

$$\mu = \frac{x_i - \bar{X}}{\sigma(x)} \quad (4)$$

Avec

x_i : Hauteur de pluie en mm (ou débit en m^3/s) de l'année i ;

$\bar{X}$: Hauteur de pluie en mm (ou débit en m^3/s) moyenne sur 30ans;

σ=écart type de la hauteur de pluie (ou débit) sur 30ans.

Nous avons ensuite utilisé la classification des valeurs de l'indice ci-après (tableau 3) pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice.

Tableau 3 : Classification des valeurs de l'indice (McKee et al. (1993))

2.0 et plus	Extrêmement humide
De 1.5 à 1.99	Très humide
De 1,0 à 1.49	Modérément humide
De -0.99 à 0.99	Proche de la moyenne
De -1,0 à -1.49	Modérément sec
De -1.5 à 1.99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

- Les valeurs positives de l'indice indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane.
- L'indice indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive, on parle de période humide.

4-4 Matériels

Nous avons utilisés la feuille de calcul Excel 2013 (marque déposée de Microsoft Corporation) qui est un tableur intégrant graphique, tableau et base de données. Excel nous a permis de faire les différents calculs statistiques mais aussi pour sortir les différentes courbes obtenues.

Le logiciel ArcView qui est un logiciel de réalisation des cartes topographique, géologique, pédologique, de l'occupation des sols… pour la réalisation des cartes. Nous essayerons de réaliser cette étude sur le sous bassin de la Donga en adoptant les diverses méthodes d'évaluation d'impact recensées dans la littérature.

CHAPITRE 5 :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

5-1 Variabilité de la pluviométrie

Les données considérées au niveau de cette étude renferment des données manquantes dont le pourcentage pour chaque année a été calculé. Nous avons eu à déterminer le nombre de donnée manquante dans la période pluvieuse en utilisant les formules mathématiques Excel.

Ensuite, nous avons multiplié le nombre de donnée manquante par 100, puis divisé par le total de donnée dans l'année correspondant à la saison pluvieuse.

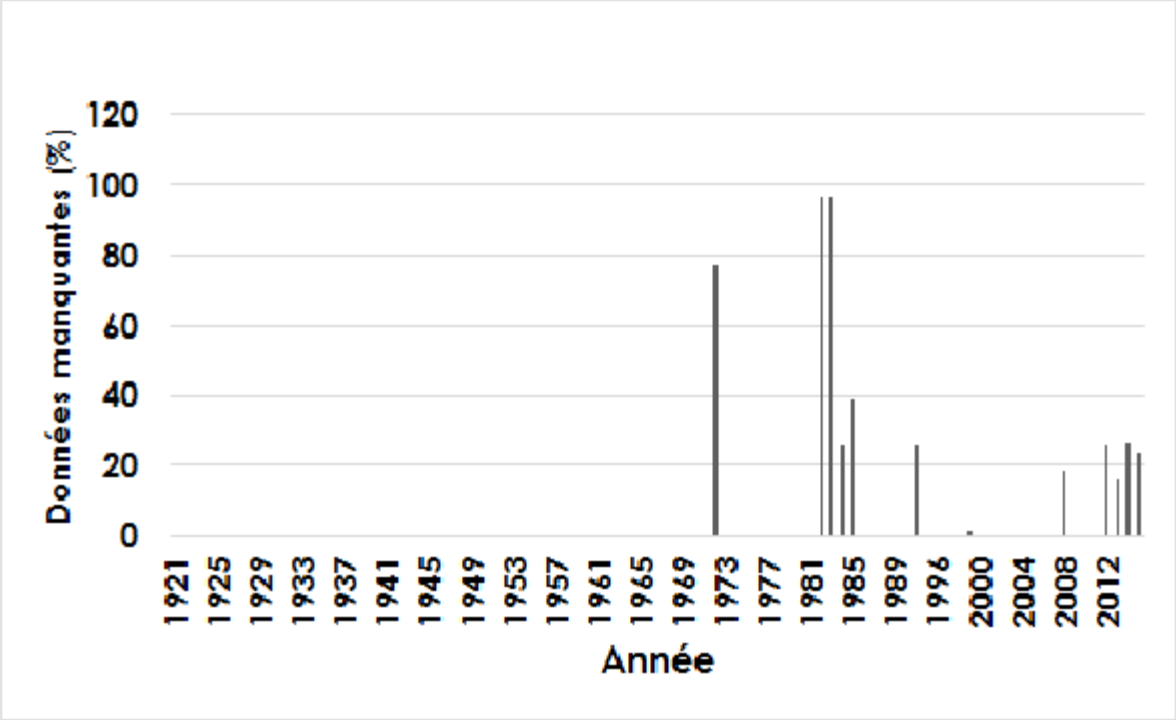


Figure 6 : Pourcentage des données pluviométriques manquantes au niveau de la station de Djougou

Nous constatons, au niveau de la station de Djougou qu'il y a 11 années où le pourcentage de donnée manquante est supérieur au seuil 10% et 80 années où le pourcentage est inférieure à 10% pendant la saison pluvieuse. Les années 1981 et 1982 ont les taux plus élevés de données manquante avoisinant 96% (Figure 6).

Au niveau de la station de Partago, on remarque plus d'années ayant un pourcentage de données manquantes (>10%) par rapport à la station de Djougou. La station présente 17 années avec un taux de pourcentage de données manquantes supérieure à 10% et 25 années ayant un taux inférieure à 10% .Le plus grand taux de données manquantes (>50%) a été observé en 2010 (Figure 7).

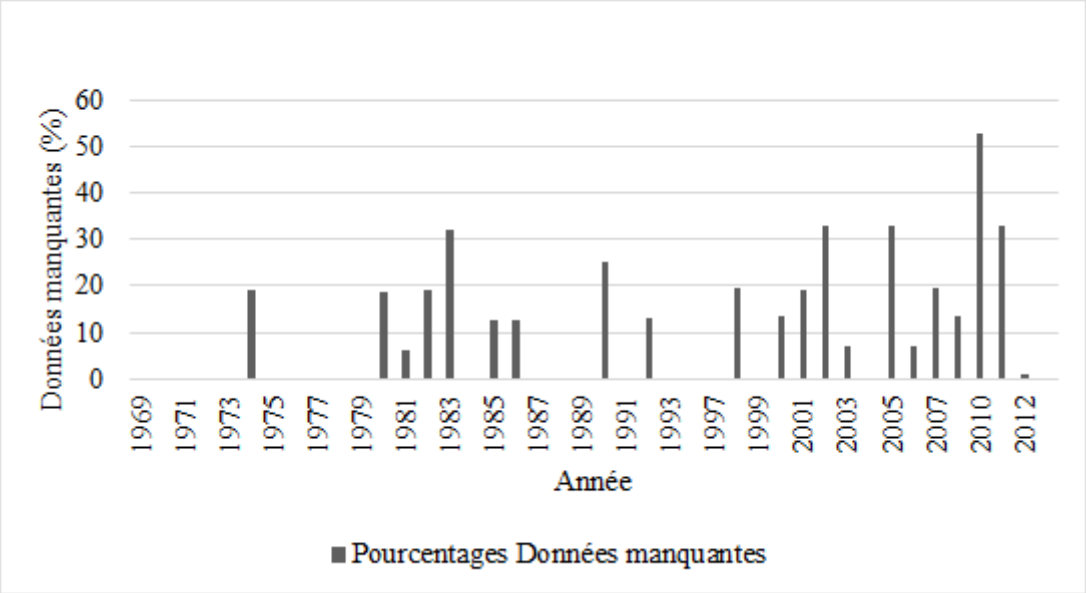


Figure 7 : Pourcentage des données pluviométriques manquantes au niveau de la station de Partago

Il est à remarquer que dans la suite de notre travail, on aura à considérer les pluies annuelles des années où le taux de pourcentage est inférieur au seuil 10%.

Aucun comblement des données manquantes n'a été fait ici à cause de ce que l'étude se concentre dans sa globalité sur les moyennes par période de cinq ans, de dix ans

5-1-1 Variabilité pluviométrique à l'échelle mensuelle

La figure 8 présente l'évolution des pluies moyennes mensuelles au niveau des stations de Djougou et Partago. Nous pouvons déduire de ce graphe que le régime pluviométrique au niveau du bassin de la Donga est uni-modal.

Nous remarquons au niveau de ces stations que les pluies s'installent à partir du mois d'avril et se retire à partir de fin octobre. Le mois d'août est le mois le plus humide suivi des mois de juillet et septembre.

Nous déduisons de ce qui précède qu'au niveau de la Donga, la période sèche évolue de novembre à mars. La période pluvieuse s'étend d'avril à octobre.

En comparant l'évolution des deux histogrammes, nous pouvons dire que la pluie évolue de la même manière au niveau des deux stations : Djougou et Patargo.

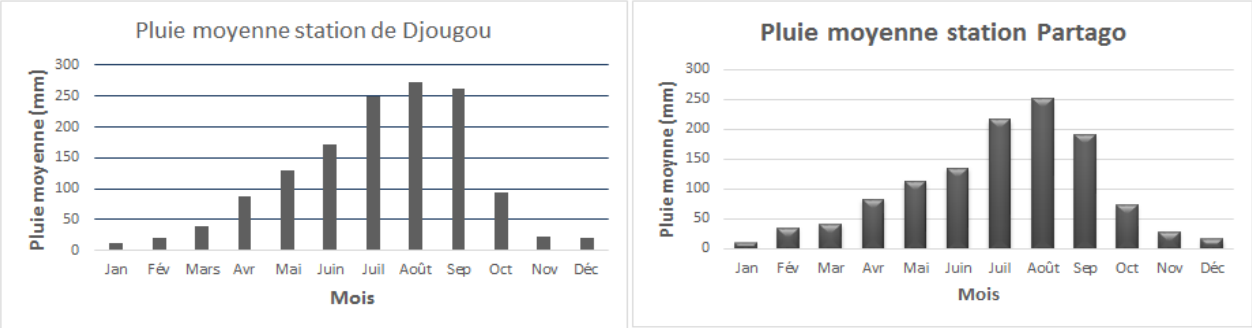


Figure 8 : Evolution de la pluie moyenne mensuelle (station de Djougou et Partago)

La figure 9 ci-après présente les indices pluviométriques mensuels pour les mois.

Nous remarquons que les mois d'avril et mai sont déficitaires au niveau de la station de Djougou de 1921 à 1960.

Au niveau de la décennie 2011-2014, tous les mois ont connu une baisse de leur pluviométrie avec des indices de Lamb fortement négatifs dépassant plus d'une fois l'écart type pour les mois d'avril, mai et octobre. Seul le mois de juin a connu au niveau de cette période une forte (=1) augmentation de ses précipitations. Nous observons au niveau des mois de Juillet – Aout et octobre une très forte variabilité des pluies mensuelles décennales caractérisées par une alternance presque régulière des indices centrées positifs et négatifs.

Par contre au niveau du mois de septembre, nous remarquons une période humide (proche de la normal) pendant la décennie 1960, caractérisées par un indice positif. La période 1971 à 2014 est une période qui a connu une baisse pluviométrie ce qui se caractérise par des indices négatifs.

Nous remarquons, que les mois d'Avril, Mai et Octobre présente une forte baisse des indices comparativement aux autres mois. Seul, le mois d'Août, présente aussi une forte baisse des indices (-1) qui avoisine le niveau du mois de Mai.

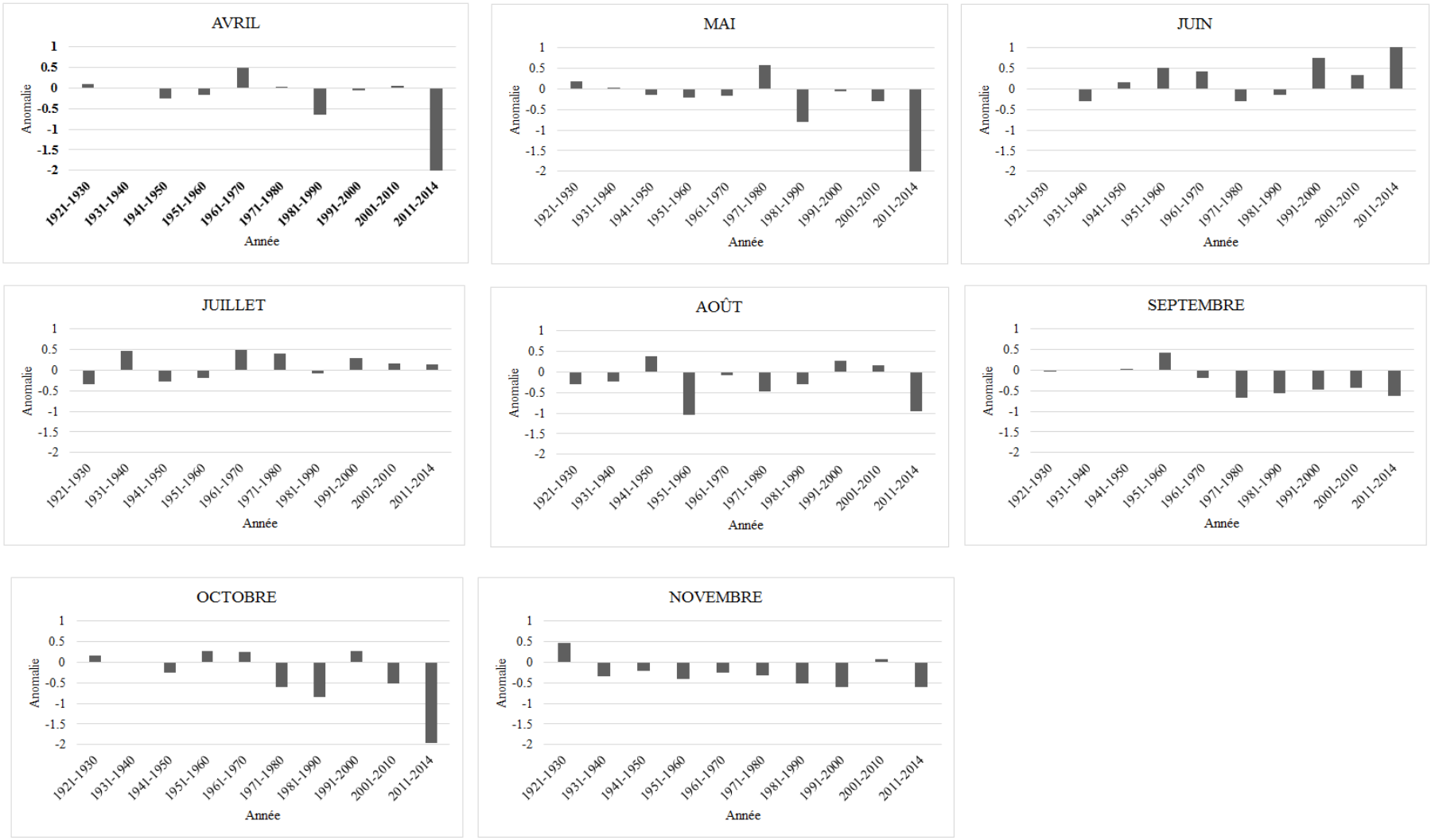


Figure 9 : Evolution de la pluviométrie avec les indices centrés réduits des hauteurs de pluie décennale mensuelle (station de Djougou)

Au niveau de la station de Partago, nous avons aussi considéré la période pluvieuse.

Au niveau de la décennie 2001-2010, tous les mois ont connu une baisse de leur pluviométrie avec les indices fortement négatifs. Seul, le mois de novembre à connu une forte augmentation de ses précipitations.

Nous observons au niveau des mois de juillet, août et septembre une très forte variabilité des pluies mensuelles décennales caractérisées par une alternance presque régulière des indices centrées positifs et négatifs.

Par contre, on constate au niveau des mois, que le mois d'avril présente la plus forte baisse des indices de Lamb (Figure 10).

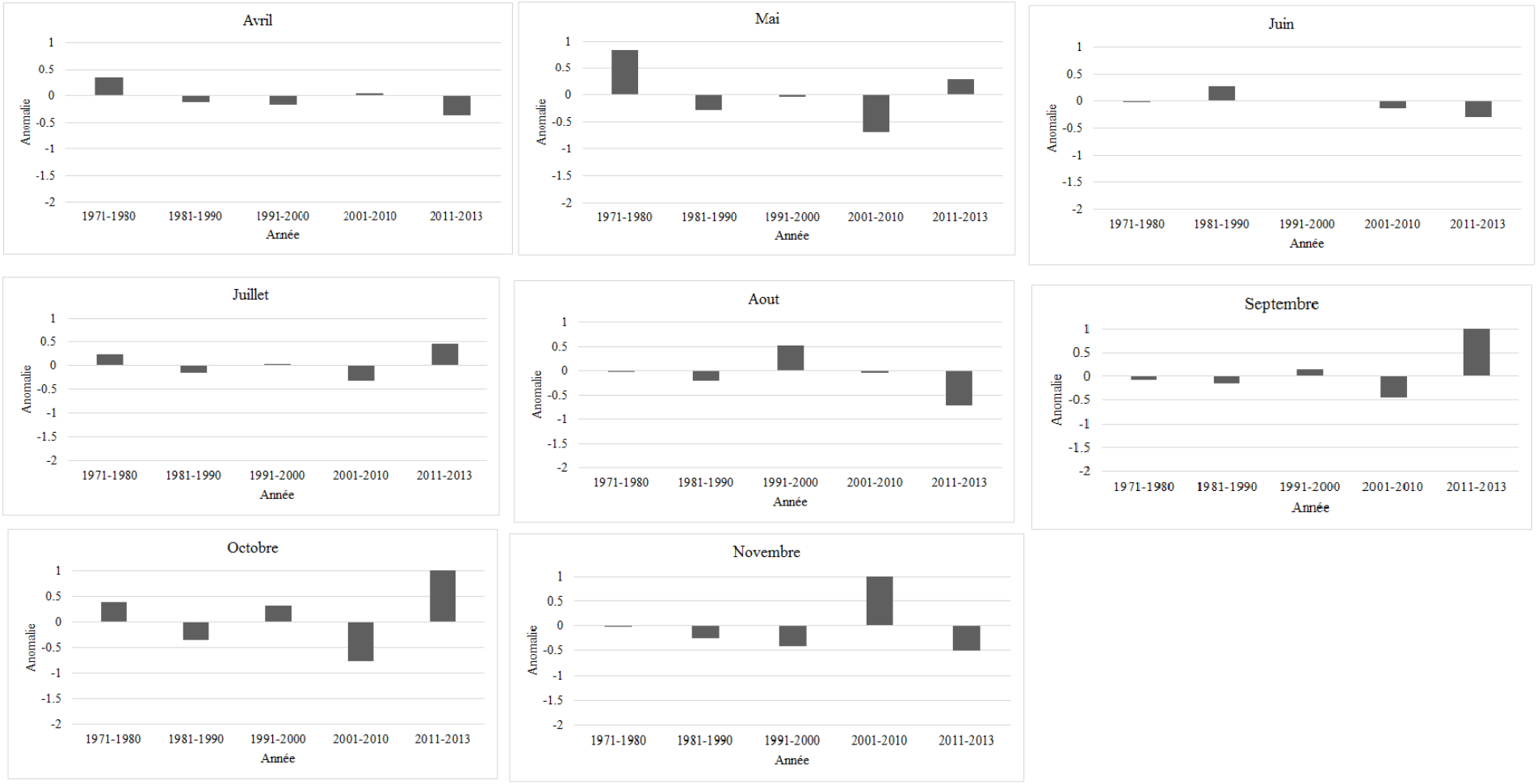


Figure 10 : Evolution de la pluviométrie avec les indices centrés réduits des hauteurs de pluie décennale mensuelle (station de Partago)

5-1-2 Variabilité interannuelle de la pluviométrie

L'analyse de l'évolution interannuelle des pluies dans le sous bassin de la Donga pour la station de Djougou a porté sur la période 1921-2014 et pour la station de Partago sur la période 1969-2013.

Au niveau de la station de Djougou, la période 1921 à 1965 généralement reconnue comme une période humide montre une alternance irrégulière des indices pluviométriques positifs et négatifs. La période 1966 à 2012 semble être une période majoritairement déficitaire. Par contre, l'année 1931 a été plus humide et l'année 1958 a connu le déficit pluviométrique plus élevé (Figure 11). Cette grande variabilité des pluies annuelle ne permet pas de cerner les tendances au niveau de cette variable. Nous pensons que l'évolution des précipitations serait mieux appréhendée à l'échelle décennale.

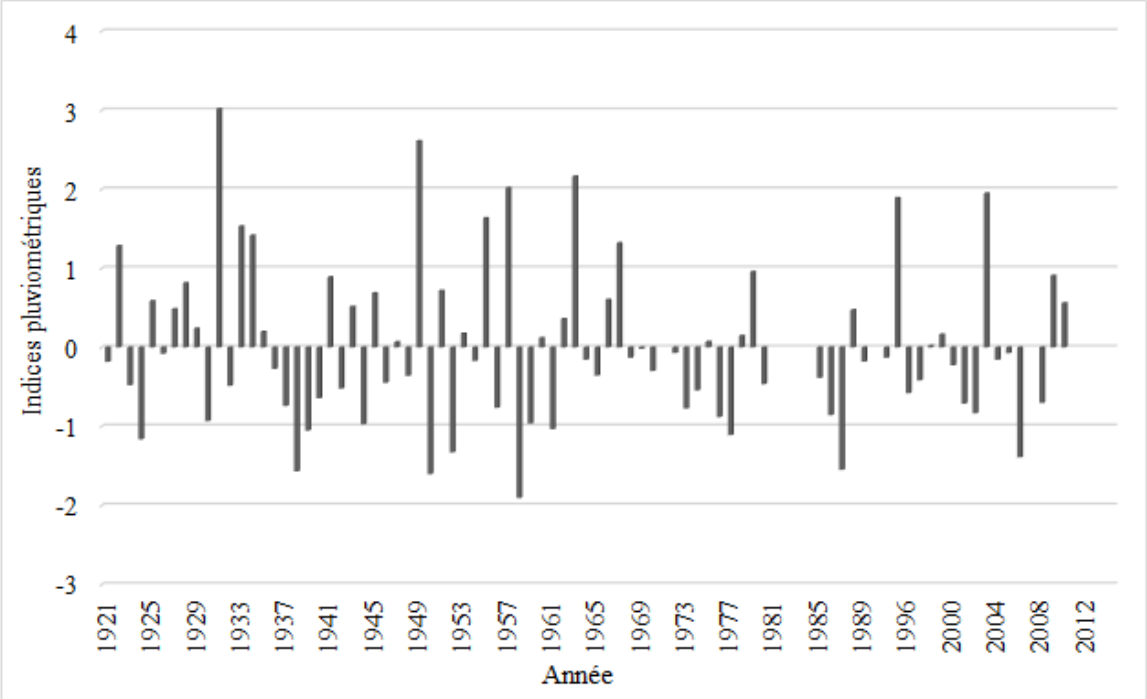


Figure 11 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station de Djougou

Au niveau de la station de Partago, nous constatons un grand nombre d'année (1974, 1980, 1982, 1983, 1985, 1986,1990, 1992, 1998, 2000, 2001, 2002, 2005, 2007, 2008, 2010 et 2011) sans indices due au fait que le pourcentage de données manquantes pendant ces années était supérieur à 10% ou qu'il n'y a pas d'enregistrement de données ces années-là (1994, 1996 et 2009).

On remarque sur toute la période d'étude une alternance des indices pluviométriques positifs et négatifs ne permettant pas de déduire une tendance à la baisse ou à la hausse des précipitations au niveau de cette station. Cependant, l'année 1991 a été extrêmement humide et l'année 2006 a été la plus déficitaire (Figure 12).

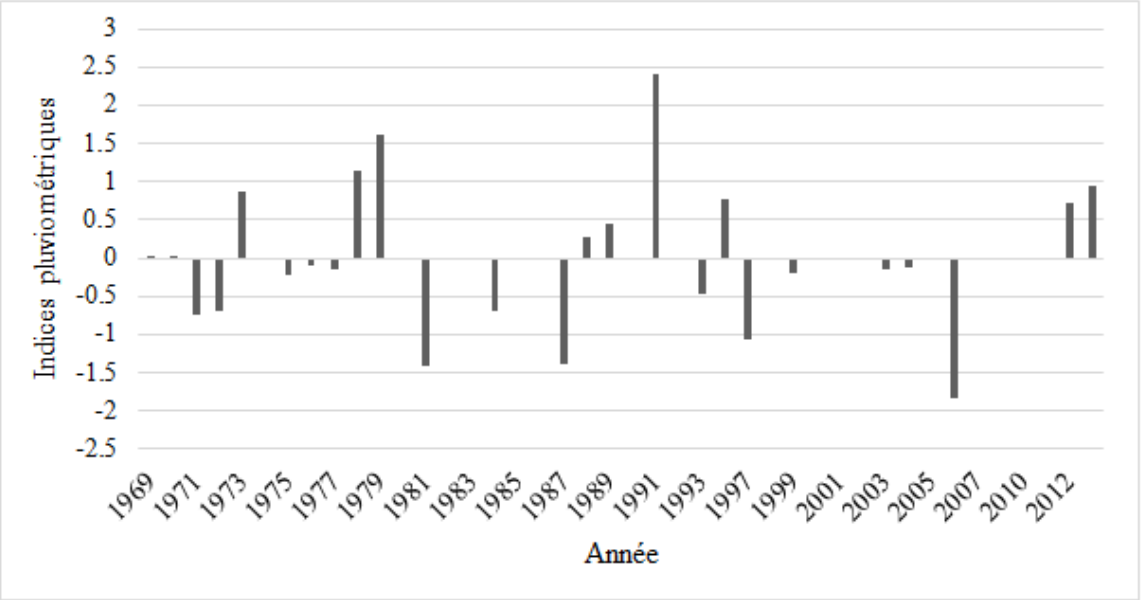


Figure 12 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station de Partago.

5-1-3 Variabilité pluviométrique à l'échelle décennale

Afin de mieux apprécier l'évolution pluviométrique dans le sous bassin de la Donga pour la station de Djougou et Partago, nous avons analysé les hauteurs de pluie pour la période 1921-2014 pour la station de Djougou (Tableau 4) et pour la période 1969-2010 pour la station de Partago (Tableau 5) en comparant chaque décennie. La pluie annuelle décennale est la moyenne des pluies annuelles sur une échelle de 10ans.

On constate au niveau de la station de Djougou, que la décennie 1960 a été une période très humide dans le sous bassin, mais les décennies 1970 et 1980 se caractérisent par une forte baisse de la pluviométrie. Au cours de la décennie 1990, on remarque une reprise légère de la pluviométrie.

Tableau 4 : Pluviométrie moyenne décennale station de Djougou en mm pour la période 1921-2014

Station de Djougou	1921-1930	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Pluie moyenne (mm)	1348.51	1367.56	1355.28	1324.5	1392.11	1266.52	1219.5	1359.26	1323.71
Indice de LAMB	-0.03	0.04	-0.01	-0.13	0.14	-0.35	-0.53	0.01	-0.13

Au niveau de la station de Partago, on remarque que la décennie 1981 a été une période déficitaire tandis que la décennie 1991 a été une période très humide avec une reprise de pluie assez remarquable. Par contre la décennie 2001 a été déficitaire et se caractérise par une baisse de la pluviométrie.

Nous avons observé, à cette station une reprise de pluie qui se caractérise par une hauteur très élevée pendant la décennie 1991. Au niveau de la station de Partago, la période 1971 à 2010 est une période où il y a une alternance des indices, avec une période humide de 1971 à 1980 et une période déficitaire au niveau de la décennie 1981-1990. (Tableau 5).

Tableau 5 : Pluviométrie moyenne décennale station de Partago en mm pour la période 1969-2010

Station de Partago	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Pluie moyenne (mm)	1233.025	1008.5	1255.64	961.63
Indice de LAMB	0.29	-0.45	0.36	-0.61

5-2 Variabilité des débits d'écoulement

Les données considérées au niveau de cette étude présente des données manquantes dont le pourcentage pour chaque année a été calculé. Nous avons déterminé le nombre de donnée manquante dans la période pluvieuse en utilisant les formules mathématique Excel. Nous avons, ensuite multiplié le nombre de donnée manquante par 100, puis divisé par le total de donnée dans l'année correspondant à la saison pluvieuse.

Nous constatons, au niveau de Donga Pont qu'il y a une année où le pourcentage de donnée manquante est supérieur au seuil 10% et 16 années où le pourcentage est inférieure à 10% pendant la saison pluvieuse. L'année 1998 a un taux élevés de données manquantes avoisinant 30%.

Au niveau de Donga Affon, on remarque plus d'années ayant un pourcentage de données manquantes (>10%) par rapport à Donga Pont. La station présente 4 années ayant un taux de pourcentage de données manquantes supérieures à 10% et 9 années ayant un taux inférieur à 10%. Le plus grand taux de données manquantes (>70%) a été observé en 2003 (Figure 13).

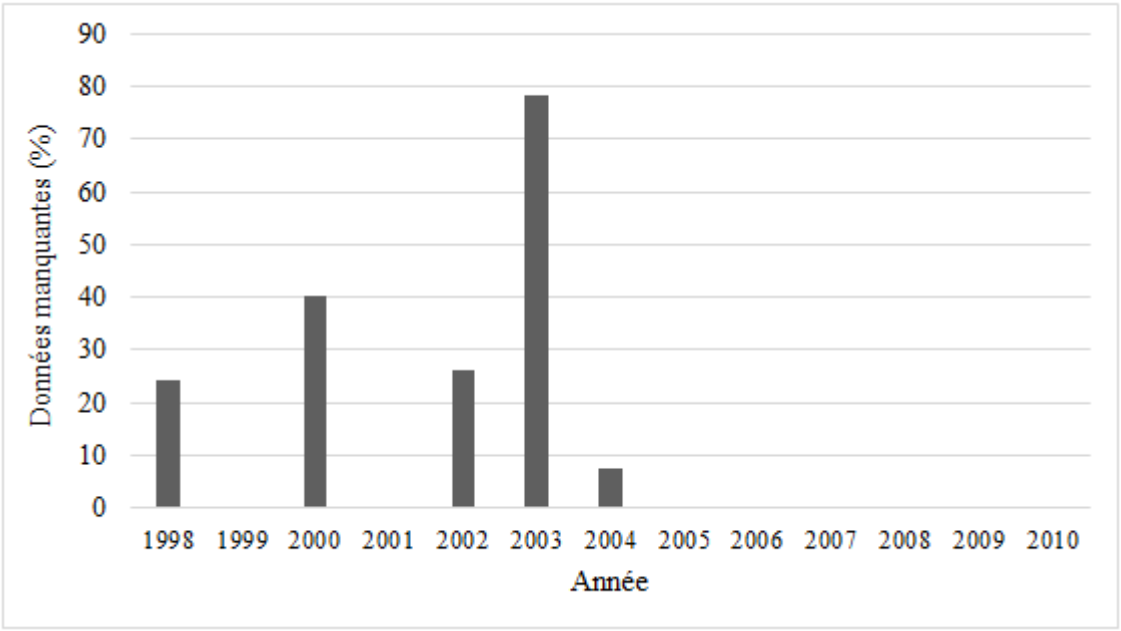


Figure 13: Pourcentage des données débits d'écoulement manquants au niveau de Donga Affon.

5-2-2 Variabilité interannuel des débits d'écoulement

L'analyse de l'évolution interannuelle des débits dans le sous bassin de la Donga pour la station de Donga Affon a porté sur la période 1998-2010 et la station de Donga Pont de la période 1998-2014.

Au niveau de la station de Donga Affon, la période 2001-2007 montre un taux très faible d'écoulement des débits qui présente des indices négatifs. Par contre, les années 2009 et 2010 présente une augmentation des débits avec des indices élevés. L'année 2005 a connu le déficit plus élevé (Figure 14). Cette grande variabilité des débits annuels ne permet pas de cerner les tendances au niveau de cette variable. Nous pensons que l'évolution des débits serait mieux appréhendée à l'échelle de 5 ans.

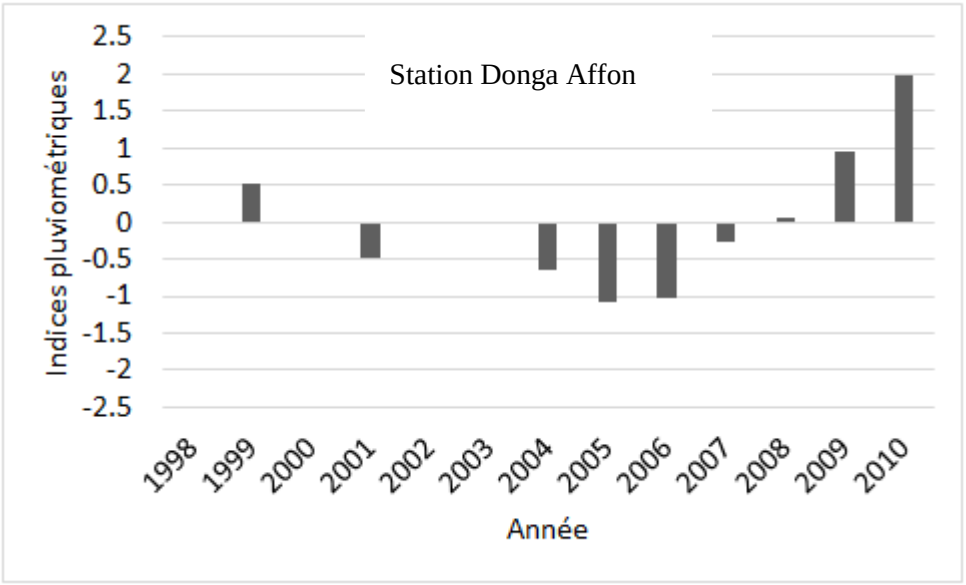


Figure 14 : Variabilité interannuelle des débits de la Donga à Donga Affon

Au niveau de la station de Donga Pont, la période 2001-2007 montre un taux très faible d'écoulement des débits qui présente des indices négatifs sauf pendant l'année 2003. Par contre, l'année 2010 présente une augmentation des débits avec d'indice élevé. L'année 2013 a connu le déficit plus élevé (Figure 15)

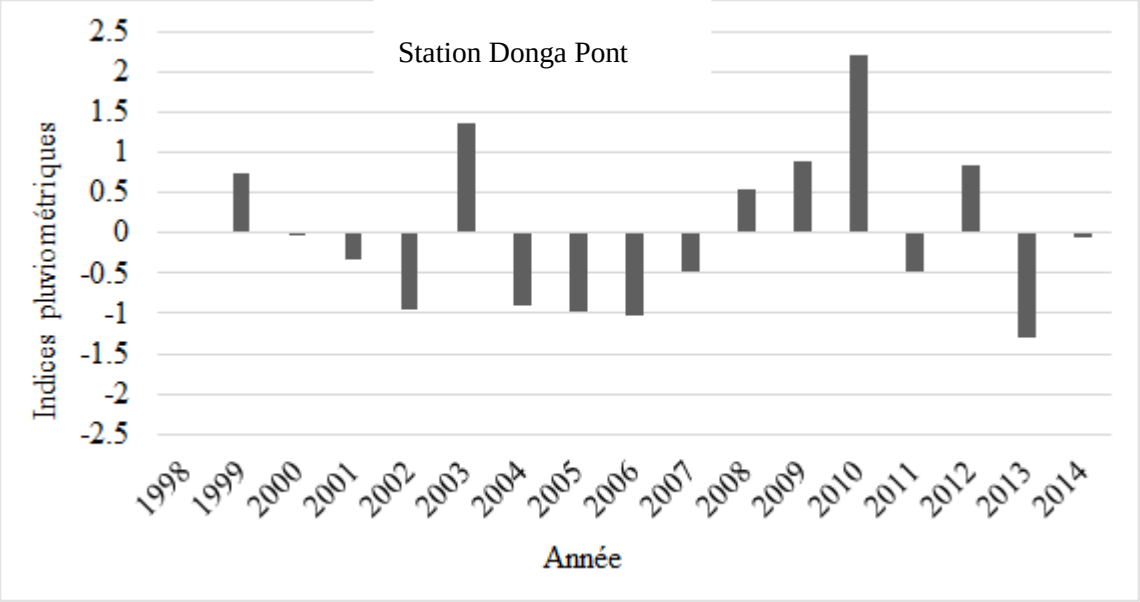


Figure 15 : Variabilité interannuelle des débits de la Donga à Donga Pont

5-3 Influence des fluctuations pluviométriques sur les débits d'écoulement dans le sous bassin de la Donga

Les données de débit d'écoulement au niveau des stations ne sont disponibles que pour la période 1998-2014 pour la station de Donga-Pont et 1996-2010 pour Donga Affon. Pour comparer l'évolution pluviométrique avec les débits d'écoulement, nous avons travaillé sur une échelle annuelle.

Nous avons comparé, la moyenne des indices de pluie annuelle des stations de Djougou avec l'indice des débits annuels de Donga Pont.

Au niveau de la période 1998 à 2002, la baisse de hauteur de pluie correspond à une baisse des débits d'écoulement, on en déduit que le régime pluviométrique a une influence sur les écoulements au niveau de cette station. Par contre, on remarque de 2003 à 2007 une période déficitaire qui a un impact sur les débits.

Au cours de l'année 2009, à l'indice pluviométrique inférieur à 1 correspond un débit d'écoulement dont l'indice est 1. L'augmentation pluviométrique s'accentue sur les débits d'écoulement. Ainsi, on constate qu'une augmentation de la hauteur de pluie s'amplifie sur le débit d'écoulement. Etant donnée le nombre limité de points considéré dans cette étude, ces

résultats restent à vérifier et doivent être consolidés par des études se basant sur de longue série de données.

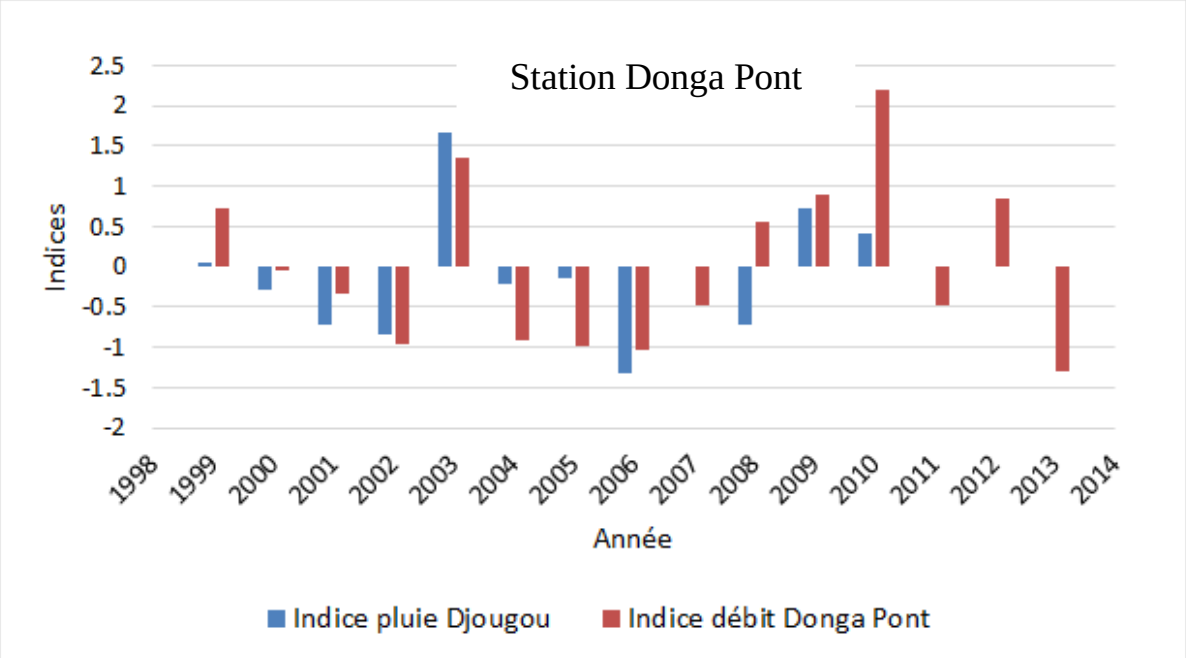


Figure 16 : Influence des fluctuations pluviométriques annuelles sur les débits d'écoulements annuels dans le sous bassin Donga-Pont

Nous pouvons conclure que l'ampleur du déficit ou de l'excédent pluviométrique sur le débit d'écoulement varie suivant la période considérée. Se basant sur la période récente de 2008-2012, nous remarquons au niveau du sous bassin qu'une petite augmentation de la hauteur de pluie s'amplifie au niveau des débits d'écoulement.

5-4 Discussion

Amoussou et al (2012) ont montré qu'au cours de la période 1961–2000, l'Afrique de l'Ouest et le bassin versant de l'hydrosystème Mono-Couffo en particulier ont connu une succession de décennies déficitaires de pluie (1970 et 1980), avec une légère reprise dans les années 1990.

Les résultats obtenus au niveau de notre étude sont en accord avec ceux obtenus par Amoussou et al. (2012). En effet, nous avons eu comme résultat une succession de décennies déficitaires de pluie (1970 et 1980) au niveau de la station de Djougou. Par contre, au niveau de la station de Partago, on a une période humide au niveau de la décennie 1990 mais déficitaire pour les années 1980.

Gohoungossou (2012), a montré que les déficits pluviométriques des décennies 1970 et 1980 ont été largement amplifiés la baisse des écoulements dans les sous bassins du fleuve Ouémé.

Dans notre étude, au niveau de la période 1998-2002, la baisse de hauteur de pluie dans cette période affecte les débits d'écoulement qui sont très déficitaire.

CONCLUSION

La présente étude portant sur l'analyse des impacts de la variabilité climatique sur les débits d'écoulement sur le sous bassin de la Donga, réalisée en vue de l'obtention du diplôme de Licence Professionnelle en Hydrologie, nous a permis de confirmer que le régime pluviométrique de la zone d'étude est uni modal.

De ce qui précède, il est à retenir que la variabilité climatique sur le bassin de la Donga se manifeste par la diminution (augmentation) des précipitations dont l'impact direct sur les débits d'écoulement est la diminution de l'écoulement (augmentation des débits d'écoulement). Tous ces effets se ressentent sur les activités dépendantes des ressources en eau superficielles du bassin de la Donga. Il serait intéressant dans la poursuite de la recherche de l'impact de la variabilité pluviométrique sur l'évolution du régime au niveau du bassin de la Donga, de mettre en place un système de suivi de l'évolution du régime du bassin de la Donga.

Etant donnée le nombre limité de points considéré dans cette étude, ces résultats restent à vérifier et doivent être consolidés par des études se basant sur de longue série de données.

Pour atténuer les effets d'impact de la variabilité climatique constaté, on peut procéder à des études de construction de barrage pour tenter de régulariser le régime au niveau de la Donga, et pour anticiper les afflues dus aux inondations, élaborer un système de prévision et d'alerte aux crues sur le bassin du fleuve. Ces actions, contribueront à une meilleure répartition des ressources en eau du bassin et à la prévention des risques liés aux inondations, dans un contexte de gestion intégrée.

Références bibliographiques

Adam K. S et Boko M. (1993), Le Bénin. Les Editions du Flamboyant, Cotonou, Document scientifique, 91p.

Adéjuwon J. (2003), Food security, Climate variability and Climate change in Sub-Saharan West Africa, AIACC project – AF 23, 137 p.

Aho N. (2007), Les mesures endogènes ou locales d'adaptation aux changements climatiques en République du Bénin : communication à la conférence régionale sur les changements climatiques et les phénomènes extrêmes en Afrique subsaharienne, 33p.

Akindès F. (2005), La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles, in revue Cahier d'études et de recherches francophones/Agricultures, Volume 14, Numéro 6, pp 533-540.

Amani M. K., Koffi F. K., Yao B. K., Kouakou B. D., Jean E. P. et Sekouba O., «Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire ».

Amoussou E. (2012), Impact de la variabilité climatique et du barrage Nangbéto sur l'hydrologie du système Mono-Couffo (Afriqe de l'Ouest),

Badou et al. (2016), Evaluation of recent hydro-climatic changes in four tributaries of the Niger river basin (West Africa), Hydrological science Journal, Volume issue

Bauwens T. (2013), Le citoyen face au changement climatique, Article, 2p.

Bertrand-Krajewski J. L. (2007), Cours d'Hydrologie Urbaine, partie 2 : la pluie, 38p.

Boko M. (1988), Climat et communautés rurales du Bénin rythmes climatiques et rythmes de développement, thèse d'Etat ès-lettres 2volumes, Didjon 607p

Bokonon-Ganta E. B. (1987), Les climats de la région du Golf du Bénin, Afrique Occidentale. Thèse de doctorat du 3ème cycle. Paris IV, Sorbonne. 248p + annexes.

BRGM/OBM, 1984. Carte géologique au 1/200 000è, feuille de Djougou-Parakou-Nikki, Office Béninoise des Mines, Cotonou, République du Bénin.

Cantat O. (1995), Variabilité et variation climatiques en Normandie. L'évolution récente des températures à Caen-Carpiquet. Sécheresse, vol. 6, n° 3, p. 273-279.

Carbonnel J. P. & Hubert P. (1992), Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudanosahélienne : Remise en cause de la stationnarité des séries, In l'aridité : une contrainte pour le développement, édition ORSTOM, pp 37-51.

Cuccia C. (2008), Changements climatiques observés en Bourgogne depuis 1961 : étude des variations de températures et de précipitations, 52p.

Dione O. (1992), Ajustement statistique à des échantillons de pluies et débits : application aux données du bassin versant de la Falémé, Rapport de stage de D.E.A, Laboratoire d'hydrologie, Dakar – Hann, 31p.

Dubreuil P. (1974), Initiation à l'analyse hydrologique, Masson & Cle, Paris, 215p.

FAO (2007), L'adaptation aux changements climatiques centrée sur les personnes : intégration des questions de parité, Rome, Italie, Article, 2p.

Faure P., and Volkoff, B. 1998. Some factors affecting regional differentiation of the soils in the Republic of Benin (West Africa). Catena, pp 281-306.

Faure P., 1977. Carte pédologique de reconnaissance au 1/200 000, feuille de Djougou. ORSTOM, Paris, France.

Gohoungossou S. B. (2010), Influence de la variabilité pluviométrique sur le régime hydrologique du fleuve Ouémé, Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, 107p.

Gohoungossou S. B. (2012), Etude de l'impact de la variabilité climatique sur l'évolution du régime du fleuve Ouémé, Laboratoire d'Hydrologie Appliquée.

Goula Bi Tie A., Issiaka S., Brou K., Vamoryha F., Gnamien B. K. (2006), Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'ZO et N'ZI

Harris, J., 2004. Contribution à l'étude du fonctionnement de la végétation au nord Bénin, suivie phénologique de trois couverts végétaux et mesures de LAI des espèces ligneuses dominantes. DESS, Université de Créteil, France, 84p.

Kamagaté, B., 2006. Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin : Bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé). Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France, 257p.

Kanohin (2009), Etude des variabilités climatiques sur les ressources en eau.

Lawin E. (2007), Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la Haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin, Thèse de Doctorat ; Institue Nationale Polytechnique de Grenoble, 211p.

Mahé G. et Olivry C. J. (1991), Changements climatiques et variations des écoulements en Afrique Occidentale et Centrale, du mensuel a l'interannuel, Hydrology for the Water Management of Large River Basins (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991). IAHS Publ. no. 201, p.163-171.

Marteau R. (2009), Changements climatiques contemporains et futurs, 141p.

McKee, T.B., N.J. Doesken et J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, du 17 au 22 janvier 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.

MEPN (2008), Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin (PANA-Bénin), Cotonou, 81p.

Ogouwalé E. (2006), Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire, Thèse de Doctorat unique, LECREDE/FLASH/EDP/UAC, 302p.

Olivry J. C, Bricquet J. P., Bamba F. et Diarra M. (1995), Le régime hydrologique du Niger supérieur et le déficit des deux dernières décennies. In: *Actes du colloque PEGI-GBF* (novembre 1993), 251-266. Coll. Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

PANA-BENIN (2008), Cotonou, 81p.

Pascal B., Serge B., Catherine B. (2003), Dictionnaire de géographie, 3e édition, Hatier, Paris, 544p.

Serhir N. (2011), Contrôle et régionalisation des données de pluie, 16p.

Sircoulon J. (1990), Impact possible des changements climatiques à venir sur les ressources en eau des régions arides et semi-arides, WMO/TD n°380, 87p.

Soro T., Soro N., Yei O., Théophile L., Gbombélé S., Kouassi E., et Jean B. (2011), La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le dégré carré de Grand-Lahou (Sud- Ouest de la Côte d'Ivoire), p. 55-73.

Tossou J. (2007), Caractérisation géochimique des écoulements de surface sur le Bassin Versant de la Donga

Vissin W. E. (2007), Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger, Université de Bourgogne, France, 310p.

Zin I., Braud I., Chen T., Gandola F., Haverkamp R., Vachaud G., and Varado N., (2003). A multi-level discretisation in the POWER hydrologica model, EGS-AGU-EUG joint assembly, Nice, France, 6-11 April 2003.

Site web: (http://mediawikirfrc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr).