



**ZiE**  
Fondation ZiE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement  
International Institute for Water and Environmental Engineering

**ANALYSE DE LA VARIABILITE HYDRO-CLIMATIQUE PASSEE  
DANS LE HAUT BASSIN DE L'OUEME A BETEROU AU BENIN**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE  
DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**

**OPTION : EAU**

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juin 2010 par

**Adamou WOROU WARA BOURAIMA**

**Travaux dirigés par :**

**Dr. Harouna KARAMBIRI**

Laboratoire Hydrologique et ressources en eau UTER/GVEA au ZiE Ouagadougou

**Pr. Abel AFOUDA**

Laboratoire d'Analyse et de Modélisation Hydrodynamique Appliquée à  
L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI AU BENIN

***Jury***

Président : Dr. Harouna KARAMBIRI

Membres : Dr. Bruno BARBIER

Dr. Diall NIANG

***Promotion 2009-2010***

## REMERCIEMENT

Au cours de ce travail, j'ai été accueilli dans l'équipe du Laboratoire de Modélisation et d'Hydrodynamique appliquée (LAMHyA) à l'université d'Abomey-Calavi (UAC), je voudrais témoigner de toute ma gratitude à toute cette équipe du LAMHyA en particulier au Professeur Abel AFOUDA pour sa disponibilité et ses conseils dont il a fait preuve pour encadrer ce travail, au Docteur Emmanuel LAWIN, à Monsieur Eric ALAMOU.

Je voudrais remercier mon encadreur interne, le Docteur Harouna KARAMBIRI enseignant d'hydrologie au 2iE pour avoir accepté accompagner mon mémoire.

Je remercie aussi l'ensemble du corps enseignant du 2iE pour m'avoir permis d'avoir les outils nécessaires à la réalisation de ce travail,

Mes sincères remerciements vont également à :

Mon oncle BANI Samari pour tout son soutien et ses différents conseils utiles à mon endroit,

Mes parents OROU ZIME Bio, Dr BAH-TASSOU Bagnan, SARE NABABE Orou, KESSE KOSSI Arouna, ALASANE Amissou, SETEYI Idrissou pour tout ce qui ont consenti à l'endroit de ma petite famille durant mon absence,

Mes amis BAKARI Hadi, ASSOUMA Kassim, CHABI I. Aziz, DOUGBE Wassiou, KORA Rachida pour leurs efforts louables,

Mes fils Fadoul et Rayan qui ont tant souffert de mon absence durant la période d'Etude.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**2IE** : Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement

**ACMAD**: African Centre of Meteorological Applications for Development

**AMMA** : Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine

**CATCH** : Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique

**CCNUCC**: Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**GES**: Gaz à Effet de Serre

**GIEC** : Groupe Intergouvernemental d'Etude du climat

**GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

**IRD** : Institut de Recherche pour le Développement

**LAMHYA** : Laboratoire de Modélisation d'Hydrodynamique appliqué.

**UAC** : Université d'Abomey-Calavi

**OHHVO** : Observatoire du Haut bassin de l'Ouémé

## RESUME

Ce travail vise à ressortir les indicateurs d'une variabilité hydro-climatique sur le haut bassin de l'Ouémé à Bétérou au Bénin à partir des données pluies et débits allant de 1954 à 2006. Dans un premier temps les analyses sur la pluviométrie, le cycle saisonnier, les indices pluviométriques avant et après 1970 ont permis de façon générale d'observer une variation des phénomènes pluies et débits. Ensuite à travers les séquences de dix et vingt ans, des comparaisons des moyennes des pluies et des débits par rapport à une période humide sont faites. Ceci a permis de comprendre l'évolution temporaire de ces paramètres pluies et débits. Enfin un ajustement a été fait sur l'ensemble des données maxima de pluie et débits mais aussi sur des séquences de vingt ans afin de déterminer les pluies et débits pour les périodes de retour de cinq, dix, vingt et cinquante ans. L'analyse de ce résultat a permis de dégager un rapport d'évolution des pluies et débits pour une séquence de vingt ans puis la différence entre l'évolution des pluies par rapport aux débits. Il en ressort que la période 1954 à 1963 est prouvée très humides et cette situation s'est dégradée jusqu'en 1974-1993 avec une tendance de retour à la situation plus humide à partir de 1994 tant pour la pluviométrie que les écoulements.

Mots clés utilisés : *Pluviométrie-Hydrographie-Précipitation-Déficitaire-Excédentaire*

## SUMMARY

This work aims to take out again the indicators of a climatic hydro variability on the high basin of the Ouémé in Bétérou in Benin from data rains and active debits of 1954 to 2006. In a first time the analyses on the rainfall, the seasonal cycle, and the rain indicators before and after 1970 will permit general way to observe a variation of phenomena rains and debits. Then through the sequences of ten and twenty years, of the comparisons of the averages of rains and debits in relation to one humid period are made. It permitted to understand the temporary evolution of these parameters rains and debits. Finally an adjustment has been made on the set of the rain data maxima and debits but also on sequences of twenty years in order to rains and debits for the periods back from five, ten, twenty and fifty years. The analysis of this result permitted to clear a report of evolution of rains and debits then for one period of twenty years to another the difference between the evolutions of rains in relation to the debits. It comes out again from it in fact the period 1954 to 1963 is proven very humid and this situation deteriorated back so much until 1974-1993 with a tendency to the more humid situation from 1994 for rainfall.

Key words used: *Indicatory-hydrography-Precipitation-deficit-excess*

## SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENT</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	<b>III</b>
<b>SOMMAIRE</b>	<b>1</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>1</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>2</b>
<b>I. Introduction</b>	<b>3</b>
<i>I-1. Objectif général de l’étude</i>	4
<i>I-2. Objectifs spécifiques</i>	4
<b>II- Revue bibliographique et situation des changements climatiques en Afrique de l’Ouest</b>	<b>5</b>
<i>II-1. Définitions</i>	5
<i>II-2. Cause des changements climatiques</i>	5
<i>II-3. Effet sur la température</i>	7
<i>II-4. Effet sur la pluviométrie</i>	8
<i>II-5. Effet sur les ressources en eau</i>	8
<i>II-6. Situation des changements climatiques en Afrique de l’Ouest</i>	10
<b>III- Matériel et méthodes</b>	<b>13</b>
<i>III-1. Présentation de la zone d’étude</i>	13
<i>III-2. Données</i>	16
<i>III-3. Etats des données et leur éventuelle correction</i>	17
<i>III-4. Méthodes utilisées</i>	18
<b>IV- Résultats</b>	<b>20</b>
<i>IV-1. Pluie moyenne annuelle (pan)</i>	20
IV-1.1. Pluie moyenne annuelle avant et après 1970	20
IV-1.2. Années plus humide et années plus sèche	21

IV-1.3. Etude par décade des pluies	22
IV-1.4. Evolution de l'indice pluviométrique et de l'hydraulicité par séquence de 1954 à 2003	22
<i>IV-2. Etude fréquentielle des pluies et débits</i>	24
IV-2.1. Pluies	24
IV-2.2. Débits	29
<b>V-Analyse et discussions</b>	<b>35</b>
<i>V-1. Diminution constatée de la hauteur de pluie</i>	35
<i>V-2. Phénomène de la dynamique saisonnière</i>	36
<i>V-3. Evolution des paramètres statistiques de pluies et débits</i>	36
<b>Conclusion et Perspectives</b>	<b>38</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>39</b>
<b>Annexes</b>	<b>41</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Caractéristiques des affluents de Bétérou .....	14
Tableau II: Liste des 12 stations sur le réseau pluviométrique national (RPN).....	17
Tableau III: Résultats de corrélation entre stations proches en vue de reconstitution de données.....	18
Tableau IV: Paramètres des lois d'ajustement utilisées .....	19
Tableau V: Récapitulatif des relations entre Pluie et Débit .....	24
Tableau VI: Fréquence sur l'échantillon de pluie (1954-2003) .....	26
Tableau VII: Fréquence sur l'échantillon de pluie (1954-1973).....	27
Tableau VIII: Fréquence sur l'échantillon de pluie (1974-1993).....	28
Tableau IX: Fréquence sur l'échantillon de débit (1954-2003) .....	29
Tableau X: Fréquence sur l'échantillon de débit (1954-1973).....	30
Tableau XI: Fréquence sur l'échantillon de débit (1974-1993) .....	31
Tableau XII: Récapitulatif des paramètres statistiques sur chaque séquence pour les pluies (mm).....	32
Tableau XIII: Pourcentage par rapport à la séquence de référence 1954-1963 des pluies et débits .....	33
Tableau XIV: Pourcentage par rapport à la séquence de référence 1954-1963 des pluies maxi .....	33
Tableau XV: Pourcentage par rapport à la séquence de référence 1954-1963 des pluies et débits.....	34



## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution mondiale de la Température de 1860 en 2000 (GIEC).....	7
Figure 2 : Evolution en Afrique de la Température de 1900 en 2000 (GIEC) .....	8
Figure 3: Observatoire hydrométéorologique de haute vallée de l'Ouémé .....	15
Figure 4: Hydrographie sur le Bassin Versant de Bétérou .....	16
Figure 5: Pluviométrie sur Bétérou de 1954 à 2006. ....	20
Figure 6: Cycle saisonnier moyen des pluies observées sur Bétérou avant et après 1970 sur une fenêtre glissante de 5 jours (P <sub>1</sub> : avant 1970; P <sub>2</sub> : après 1970).....	21
Figure 7: Indice pluviométrique réduit sur Bétérou de 1954 à 2006 .....	22
Figure 11: Indice pluviométrique et d'hydraulicité sur les séquences de 10 ans de 1954 à 2003 .....	23
Figure 12: Indice pluviométrique et d'hydraulicité sur les séquences de 20 ans de 1954 à 2003 .....	24
Figure 13: Analyse pluviométrique de Bétérou 1954 à 2006.....	25
Figure 14: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1954-2003) .....	26
Figure 15: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1954-1973) .....	27
Figure 16: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1974-1993) .....	28
Figure 17: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit 1954-2003 .....	29
Figure 18: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1954-1973) .....	30
Figure 19: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1974-1993) .....	31

## I. Introduction

La modification du climat est devenue l'une des préoccupations majeures actuelles des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde. Les changements climatiques sont donc considérés comme l'une des menaces les plus graves posées au développement durable, avec des effets défavorables attendus sur entre autres: la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'activité économique, les ressources en eau et les autres ressources naturelles. Certes, le climat de la planète a des variations naturelles, mais les scientifiques s'accordent pour dire que les concentrations accrues de rejets anthropiques de gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont en train de causer des changements dans le climat. L'importance de l'eau sur l'environnement et la vie de notre planète a été soulignée par de nombreux auteurs. Dans un pays comme le Bénin l'eau est un élément stratégique pour le développement durable, de sécurité alimentaire et de lutte contre la pauvreté. Aussi, sa mobilisation, sa gestion et son utilisation doivent-elles faire l'objet d'un cadre réglementaire rationnel et rigoureux.

Le Bénin, à l'instar des autres pays Ouest Africains, connaît depuis les années 1970 une phase de sécheresse prolongée qui s'est surtout traduite sur le plan climatique par une baisse de la pluviométrie annuelle avec une descente en latitude des isohyètes interannuelles et une diminution du nombre de jours de pluie (Lawin , 2007). Cette phase de sécheresse due à une péjoration climatique s'est accompagnée d'une péjoration édaphique liée à la dégradation du milieu naturel béninois (dégradation des sols, perte de biodiversité, disparition de la végétation, désertification), accélérée par de fortes pressions anthropiques sur les ressources naturelles (extension des surfaces cultivées, techniques culturales inappropriées, durées de mise en jachère de plus en plus courtes, surpâturage, etc.).(Lay, 2006)

Selon le *rapport de la conférence internationale sur la réduction de la vulnérabilité des systèmes naturels, économiques et sociaux en Afrique de l'ouest, face aux changements climatiques tenus à Ouagadougou, Burkina Faso du 24 au 27 janvier 2007*, le Bénin s'inscrit dans un contexte de diminution de la ressource en eau et de croissance de la population depuis les années 1950. Par exemple la baisse de la pluviométrie entre les périodes 1954-1973 et 1974-2006 varie entre 15 et 30% ; ce qui conduit à une diminution de la ressource en eau de 30 à 60%. Les projections de changement climatique indiquent potentiellement une baisse

supplémentaire de 20 % de la ressource en eau, avec pour 2025 et 2050 des chutes de 8 à 10% des cumuls mais aussi du nombre de jours pluvieux.

Pour envisager des stratégies d'adaptation appropriées, il faut évaluer et analyser les impacts du changement climatique sur la ressource en eau du pays et de la sous-région. En particulier, il faut faire une analyse synthétique de la situation du secteur des ressources en eau et établir les indicateurs d'un changement climatique, puis enfin évaluer les effets de ces changements climatiques sur les ressources en eau au niveau du Bénin et à l'échelle des bassins versants.

### **I-1. Objectif général de l'étude**

Dans la stratégie nationale de réduction de la pauvreté au Bénin où la mobilisation des ressources en eau demeure un des secteurs clé, cette étude vise principalement à contribuer à la production de d'informations pouvant faciliter la bonne gouvernance de l'Eau au niveau bassin à Bétérou dans les départements du Borgou et de la Donga en particulier et du Bénin en général.

### **I-2. Objectifs spécifiques**

La présente étude vise les objectifs spécifiques suivants :

- ✓ Etablir les indicateurs d'un changement climatique au Bénin
- ✓ Analyser la variabilité hydro-climatique passée dans le haut bassin de l'Ouémé à Bétérou

## **II- Revue bibliographique et situation des changements climatiques en Afrique de l'Ouest**

### **II-1. Définitions**

Selon la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), **le changement climatique** est un changement du climat attribué directement ou indirectement à toute activité humaine qui modifie la composition de l'atmosphère de la Terre et qui s'ajoute à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes de temps comparables.

Selon, le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC), **le changement climatique** se réfère à une variation statistiquement significative dans l'état moyen du climat ou dans sa variabilité, variation persistant sur une longue période de temps (décades ou plus). Le changement climatique peut être dû aux processus naturels internes ou à des forçages exogènes ou à des changements anthropogéniques persistants dans l'atmosphère ou dans les usages du sol.

### **II-2. Cause des changements climatiques**

La plupart des membres de la communauté scientifique s'accordent à dire que la majeure partie du réchauffement observé au cours de la seconde moitié du XXe siècle serait imputable aux activités humaines (GIEC, 1990). Nos habitudes de consommation seraient donc parmi les responsables de ces changements. On sait que l'atmosphère de la Terre laisse passer la lumière du soleil qui réchauffe la surface du globe. La chaleur qui s'élève de la surface de la terre est en partie absorbée par les gaz et la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère, ce processus qui conduit à élever la température est appelé «effet de serre». En l'absence de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>), oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O)), etc..., la plus grande partie de la chaleur pénétrant dans l'atmosphère terrestre serait directement réémise dans l'espace, et la température moyenne de la Terre serait de -18 °C au lieu de 15° C (Figure 1).

Au cours des 10 000 dernières années, la quantité de ces gaz à effet de serre présents dans notre atmosphère est demeurée relativement constante et a permis à la Terre de conserver un climat relativement stable. La concentration de ces gaz a commencé à croître avec l'avènement de l'industrialisation, la hausse de la demande en énergie, la croissance démographique et les changements dans l'utilisation du territoire.

Au Bénin, les différents méfaits environnementaux (pollution par les déchets domestiques, les fertilisants, toxiques, déchets industriels et biomédicaux, pollution atmosphérique, etc.) causés par l'action anthropique souvent peu respectueuse de l'environnement, visibles et parfois mesurables à des échelles spatiales et/ou temporelles plus ou moins maîtrisables, contribuent directement ou indirectement au phénomène global du réchauffement de la planète ; les conséquences de cette évolution du climat souvent qualifiées de dramatiques sont, entre autre, les pénuries d'eau, les rendements agricoles aléatoires, le développement de germes pathogènes, la récurrence des sécheresses par endroit et les inondations ailleurs etc.(GIEC,2007 ). Des études ont été réalisées dans le cadre de la mise en œuvre de la Convention-Cadre sur les Changements Climatiques en vue de dresser l'état et d'identifier les sources de pollution contribuant à l'effet de serre et les puits de séquestration de carbone pour l'année 1994. Bien que les quantités émises demeurent faibles, l'étude a permis d'identifier les secteurs de l'agriculture, de l'énergie et des déchets comme sources d'émission (GIEC, 2001). C'est ainsi que l'utilisation intense des hydrocarbures dans le transport, la gestion peu rationnelle du cheptel, la conversion des forêts et des savanes la décomposition des déchets solides et liquides sont des activités humaines responsables des rejets gazeux. Ces constats ont été confirmés par le rapport du GIEC 1990.

Par ailleurs, les activités de foresterie et celles entraînant certains changements d'affectation des terres (différentes techniques d'aménagement entraînant la reconstitution du couvert végétal par exemple) possèdent un potentiel en matière de séquestration de carbone (GIEC, 1990).

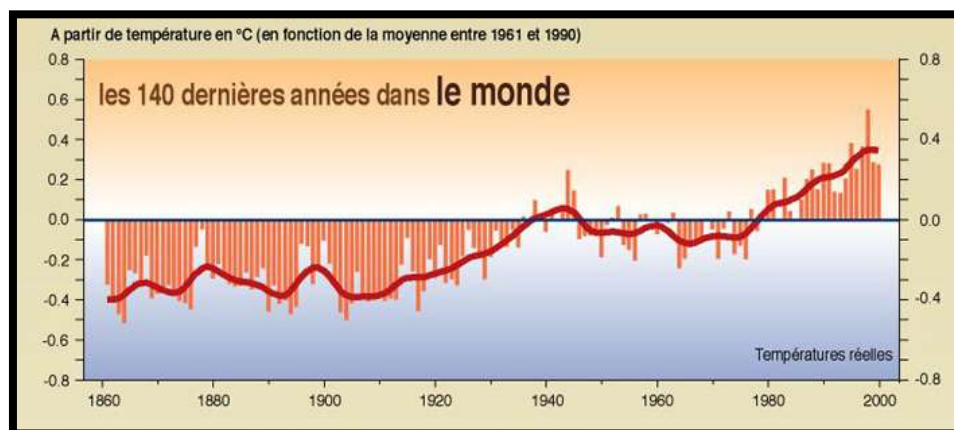
Les émissions de gaz à effet de serre dans le monde rapportées par équivalent CO<sub>2</sub> donnent les résultats dont l'analyse révèle :

- une Prédominance de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre ; la qualité totale rejetée de 4 804 équivalents CO<sub>2</sub> semble énorme et traduit l'importance de ce secteur prioritaire mais peu développé pour l'économie du pays ;
- Il est suivi de loin par le secteur de l'énergie (902 équivalent CO<sub>2</sub>), surtout dominé par les émissions de gaz carbonique dues au sous secteur des transports (routier, ferroviaire) ;
- le secteur des déchets occupe la troisième place des sources d'émissions

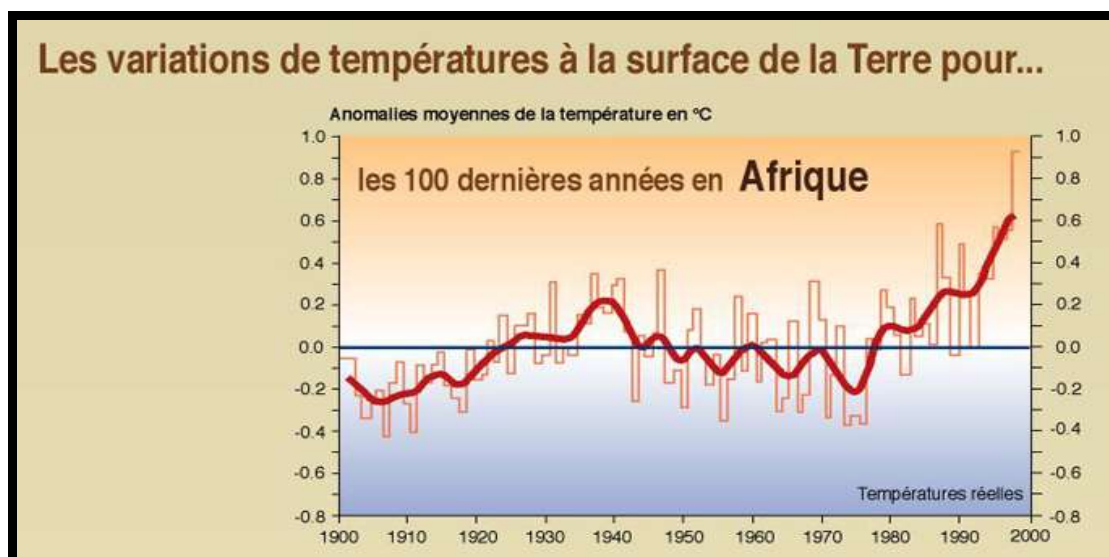
L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre accentue l'effet de serre naturel et fait monter la température moyenne de la surface du globe. Ce réchauffement de la planète cause des changements climatiques pour l'ensemble des paramètres du climat car il déclenche une modification des circulations atmosphériques et des autres sous-systèmes du système climatique (GIEC 2007).

### II-3. Effet sur la température

Les mesures indiquent une hausse de la température moyenne mondiale de l'ordre de 0,2 à 0,6°C depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Figure 2). Cela correspond aux projections modélisées de l'ampleur du réchauffement à ce jour, surtout si l'on tient compte de l'effet refroidissant des aérosols. Le réchauffement a eu lieu essentiellement de 1910 à 1940 et de 1976 jusqu'à maintenant. (GIEC 2007)



**Figure 1:** Evolution mondiale de la Température de 1860 en 2000 (GIEC)



**Figure 2 :** Evolution en Afrique de la Température de 1900 en 2000 (GIEC)

#### **II-4. Effet sur la pluviométrie**

Les précipitations augmentent dans plusieurs régions de la planète. Une augmentation de 0,5-1% par décennie a été mesurée dans la plupart des régions de latitude moyenne et haute, sur les continents de l'hémisphère Nord. Elle s'accompagne d'une expansion de 2% de la couverture nuageuse. Les précipitations sur les terres tropicales (10°N-10°S) semblent s'être accrues de 0,2-0,3% par décennie. Par contre, on a observé une baisse des précipitations sur les terres des régions subtropicales de ce même hémisphère (10-30°N) d'à peu près 0,3% par décennie au cours du XXe siècle. Dans certaines parties de l'Afrique et de l'Asie, la fréquence et l'intensité des sécheresses semblent avoir augmenté. L'évolution du climat au cours du XXe siècle correspond à ce à quoi il faut s'attendre en présence d'une augmentation des gaz à effet de serre et des aérosols.

#### **II-5. Effet sur les ressources en eau**

Les eaux superficielles et souterraines, les neiges et les glaces sont les seules ressources d'eau douce disponibles sur la planète et sont donc essentielles à l'humanité. En même temps, elles font partie intégrante du cycle de l'eau et réagissent directement aux modifications du climat. Tandis que les effets du réchauffement climatique sur les aspects quantitatifs de l'hydrosphère occupent le devant de la scène (importance des précipitations, niveau des eaux dans les lacs et les nappes, régime d'écoulement des rivières), leur incidence sur la qualité des systèmes aquatiques et donc sur celle de l'eau potable qui en est issue est encore largement

inconnue. Sous l'effet des changements climatiques, les couches supérieures des lacs se réchaufferont sensiblement au cours des années qui viennent.

Divers modèles prédisent un réchauffement de l'air mais aussi des eaux suite à une augmentation des teneurs atmosphériques en gaz à effet de serre. Pour les lacs, cette prévision semble se confirmer si on en juge par les séries de données aujourd'hui disponibles sur l'évolution de la température des eaux au cours des dernières décennies.

La question de la ressource en eau est l'une des priorités en termes d'impacts et d'adaptation liés au changement climatique. Il est crucial d'avoir un accès fiable à l'eau propre pour l'usage domestique, la production alimentaire et énergétique, le transport, les loisirs et le maintien des écosystèmes naturels. Bien que la plupart des régions du monde aient éprouvé à un moment ou à un autre des difficultés telles que des sécheresses, des inondations ou des problèmes de qualité de l'eau en raison de la répartition inégale de cette ressource et de la variation de leur disponibilité d'une année à l'autre, ces problèmes deviennent plus fréquents en raison du changement climatique.

Si l'adéquation de l'offre et de la demande à l'échelle de la population mondiale est un critère important, il faut garder à l'esprit que l'eau est répartie de manière très inégale à la surface du globe et le coût de sa mise en service diffère d'une région à une autre. L'analyse de la réponse spatio-temporelle du bilan hydrique continental, et notamment des précipitations, au renforcement de l'effet de serre est donc un élément crucial à prendre en compte pour aborder la question des ressources en eau à l'horizon 2100. Cette analyse peut s'appuyer d'une part sur les tendances discernables dans les séries observées, mais aussi et surtout sur les scénarios climatiques réalisés à l'aide de modèles couplés océan-atmosphère dans le cadre du 4ème rapport d'évaluation du GIEC. Au delà des inconnues liées aux différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, qui jouent principalement sur l'amplitude des anomalies simulées, les projections hydrologiques globales demeurent très variables d'un modèle à l'autre. Ces incertitudes sont cependant réparties de manière très hétérogène. Elles sont importantes en ce qui concerne les précipitations tropicales, notamment sur l'Afrique de l'Ouest (Hervé Douville 2002).

L'évolution du climat va conduire à une intensification du cycle hydrologique global et peut avoir d'importantes répercussions sur les ressources régionales en eau. Les variations de la



hauteur totale, de la fréquence et de l'intensité des précipitations se répercutent directement sur l'ampleur et la répartition dans le temps du ruissellement ainsi que sur l'importance des inondations et des sécheresses. Cependant, on connaît mal actuellement les effets de ces variations à l'échelle régionale. Des variations relativement faibles des températures et des précipitations, associées à leurs effets non linéaires sur l'évapotranspiration et l'humidité du sol, peuvent entraîner une altération assez sensible du ruissellement, surtout dans les régions arides et semi-arides. La quantité et la qualité des eaux de distribution posent déjà de sérieux problèmes dans de nombreuses régions, et notamment dans certaines zones côtières, dans certains deltas et sur certaines petites îles, ce qui rend les pays concernés particulièrement vulnérables en cas de nouvelles réductions de la quantité d'eau disponible (GIEC, 1995).

## **II-6. Situation des changements climatiques en Afrique de l'Ouest**

En Afrique de l'ouest la variation de la pluviométrie moyenne avant et après 1970 est en fonction de la zone climatique. La baisse de la pluviosité résulte de la diminution du nombre d'évènements pluvieux, mais les causes d'anomalie restent à éclaircir (Lebel et al., 1999). Tout comme les pluies, les écoulements ont aussi baissé et à une ampleur plus grande depuis le début des années 1970 (Servat et al., 1997 et Paturel et al., 1997). Les anomalies climatiques de ces dernières décennies ont donc une influence plus prononcée sur les écoulements que sur la pluviométrie. Le changement climatique devrait se traduire par une pénurie et la dégradation de la qualité des ressources en eau du fait de la baisse des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation liée aux élévations des températures.

Aujourd'hui, un consensus mondial s'est dégagé sur la réalité des changements climatiques et du réchauffement global liés à l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère du fait de l'action de l'homme (GIEC, 2007). Ces changements climatiques induiront une augmentation en fréquence et en intensité de certains phénomènes climatiques extrêmes comme la sécheresse, les inondations, l'augmentation du niveau de la mer et l'accroissement continu de la température de la surface de la terre.

Selon le dernier rapport du GIEC, au cours du XXème siècle, l'Afrique s'est réchauffé de 0,7 degré Celsius, les plus hautes températures ayant été atteintes à la fin du siècle. Les années 1995 et 1998 étaient les plus chaudes. Dans le Sahel, ces 30 dernières années, les précipitations ont en moyenne baissées de 25 pour cent. Dans les régions des forêts tropicales humides, elles ont baissé de moins de 2,4 pour cent chaque décennie depuis le milieu des

années 1970. C'est l'Afrique de l'Ouest et le Nord du Congo qui ont connu les taux de déclin les plus rapides

Les prévisions en matière de régimes pluviométriques restent complexes, mais on estime qu'au cours des 50 prochaines années, les précipitations chuteront de 10 à 25 pour cent dans les régions septentrionales d'Afrique durant les mois de juin, juillet et août et de 10 à 60 pour cent durant les mois de mars, avril et mai. En revanche, en Afrique occidentale, les précipitations augmenteront de 10 à 35 pour cent durant les mois de décembre, janvier et février, qui constituent normalement la saison sèche, et augmenteront également de 7 à 28 pour cent en septembre, octobre et novembre. D'ici 2025, environ 480 millions de personnes en Afrique habiteront des régions où l'eau est soit en manque ou sévèrement limitée (GIEC, 2007).

En général, les experts prédisent que les phénomènes extrêmes comme les sécheresses et les inondations deviendront de plus en plus fréquents. Cependant, de nombreux points restent encore à éclaircir concernant la nature exacte et la répartition régionale des impacts, montrant la nécessité de mieux contraindre la réponse hydrologique des modèles.

Des tests récents ont montré les limites des Modèles de Circulation Générale (MCG) dans leur capacité à retranscrire le climat ouest-africain. Les travaux de L'African Centre of Meteorological Applications for Development (ACMAD) sur l'Afrique de l'Ouest montrent que les périodes de démarrage de la saison des pluies dans les modèles apparaissent un à deux mois avant les dates observées. Selon le Centre Régional Agrhymet (CRA/CILSS), la comparaison du climat sahélien observé (normale 1961-1990) avec les climats simulés par six Modèles de Circulation Générale recommandés par le GIEC illustre également ces faiblesses : démarrage avancé de la saison des pluies et sous-estimation importante des cumuls pluviométrique annuel par rapport aux données observées (OCDE / CSAO, 2008).

Au Bénin plusieurs études ont été faites sur le climat. Les unes pour comprendre les relations entre le climat et les communautés (Houndénou, 1998), les autres mettent en exergue les tendances climatiques et leurs conséquences sur les ressources en eau (LE Barbe et al., 1993 ; Vissin, 2001 ; Lawin 2007). Les travaux effectués sur les changements climatiques sont en rapport avec les conséquences sur l'agriculture et la sécurité alimentaire (Issa, 1995 ; Ogouwalé, 2000 ; 2006) et peu sur les ressources en eau dans le sens de leur évolution.

Selon la prospective climatique et les modèles de circulation générale et de prévision saisonnière de la PRESAO1, les pays en développement comme le Bénin seront les plus vulnérables aux changements climatiques. Le changement du climat doit s'entendre à l'échelle méso climatique où les aléas climatiques constitués par de légers déplacements des périodes de pluie prennent une très grande importance dans tout le pays. Dans la région septentrionale du pays, les données climatologiques enregistrées sur 40 ans et l'application des modèles pertinents d'analyse des changements climatiques montrent une tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle. De plus, le mode de répartition des pluies évolue vers le retard des événements pluvieux et le raccourcissement de l'unique saison pluvieuse qui caractérise normalement la région, comme l'ont souligné les représentants des populations au cours des ateliers d'évaluation de la vulnérabilité. Ce qui détermine l'allongement de la période sèche et la violence des pluies.

Il faut ajouter que dans le sud du pays, excepté la zone côtière où la tendance est l'accroissement de la pluviométrie, l'on assiste également à un déficit et un raccourcissement de la seconde saison pluvieuse; ce qui provoque une réduction des rendements agricoles et une diminution du taux de renouvellement de la couverture végétale.

En ce qui concerne l'eau potable, d'après les statistiques validées disponibles, le taux de desserte en milieu rural n'était que de 42% en 2003. Autrement dit, près de 60% de la population en milieu rural n'ont pas accès à l'eau potable, malgré les grands progrès observés depuis 2002. On observe d'énormes disparités au niveau de cet indicateur d'un département à un autre. Les départements de l'Atacora, du Borgou et de l'Alibori se situent au dessus de la moyenne nationale (respectivement 61%, 50% et 47%) alors que l'Ouémé et le Plateau notamment, affichent des niveaux en dessous de la moyenne nationale (respectivement 31% et 32%). Les autres départements sont très proches de la moyenne nationale. Le Bénin compte 10.150 points d'eau (tous types confondus) en 2003.

Le taux de fonctionnement des points d'eau est de 90,6%, soit environ 10 ouvrages en panne sur 100. En 2003, moins du tiers des ménages (31,3%) ont accès à l'eau potable provenant de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB).

Ce travail se veut être une contribution à la connaissance de la variabilité hydro-climatique sur une période passée au Bénin.

### **III- Matériel et méthodes**

#### **III-1. Présentation de la zone d'étude**

A la dimension de l'Afrique de l'Ouest, l'Ouémé est un petit fleuve côtier qui couvre à Bonou, station la plus avancée avant le delta, une superficie de 46 990 km<sup>2</sup>. Mais au niveau de la République du Bénin, l'Ouémé constitue le plus grand cours d'eau, drainant à lui seul plus du tiers du territoire béninois. Bétérou est l'un de ses sous-bassins.

Le bassin versant de Bétérou qui fait objet de ce présent travail est au Nord Bénin situé entre 09° 12'N et 02°16'E. La superficie qu'elle couvre est de 10475 Km<sup>2</sup> (Figure 3). Ce bassin a été très équipé au cours de ces dernières années dense dans le cadre du projet CATCH (Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du cycle Hydrologique) et du programme AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine). C'est ainsi une région de référence connue sur le plan international sous l'appellation « Observatoire Hydrométéorologique de la haute vallée de l'Ouémé » (OHHVO) ou simplement site AMMA-CATCH-Bénin.

Sur le plan socio-économique et selon le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH3) de 2002, 45% de la population totale du Bénin vit sur le Bassin de l'Ouémé dont Bétérou est son sous-bassin. Le territoire délimité par le bassin de l'Ouémé abrite huit (08) départements sur les douze (12) et quarante sept (47) communes sur les soixante dix sept (77) que compte le Bénin.

Le climat de la zone d'étude est tropical humide de type soudanien entre le régime humide du Sud et le régime désertique du Nord. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 1200 mm en moyenne de 1954 à 2002 (Lawin, 2007). Cette pluviométrie se reparti sur 80 à 110 jours dans l'année.

La végétation est principalement composée de savane arborée et de cultures ;

Le relief est peu marqué avec une altitude comprise entre 200 m et 300 m qui constitue la source du fleuve au pied du mont Tanéka dans la commune de Copargo. Sur cette pénéplaine on rencontre par endroit des collines en forme de dômes et de chaînons.

Les études hydrogéologiques indiquent une structure verticale de sol composée de trois zones (Varado, 2004) : une zone de surface (1-3m d'épaisseur), une zone d'altérite formée par les arènes issues de la décomposition des roches (10-20 m d'épaisseur) et une zone de socle

fracturée dans sa partie supérieure, puis de moins en moins altérée au fur et à mesure que l'on s'enfonce en profondeur.

L'Ouémé à Bétérou reçoit des affluents permanents ou temporaires dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau I :

**Tableau I: Caractéristiques des affluents de Bétérou**

<b>Coté</b>	<b>Nom affluent</b>	<b>Longueur du cours (Km)</b>	<b>Superficie du bassin de l'affluent (Km<sup>2</sup>)</b>
<b>Rive gauche</b>	Alpouro	86	2010
	Yérou Maro	120	2590
	Beffa	78	1990
<b>Rive droite</b>	Afon	152	4320
	Donga	74	1285
	Wèwè	49	617

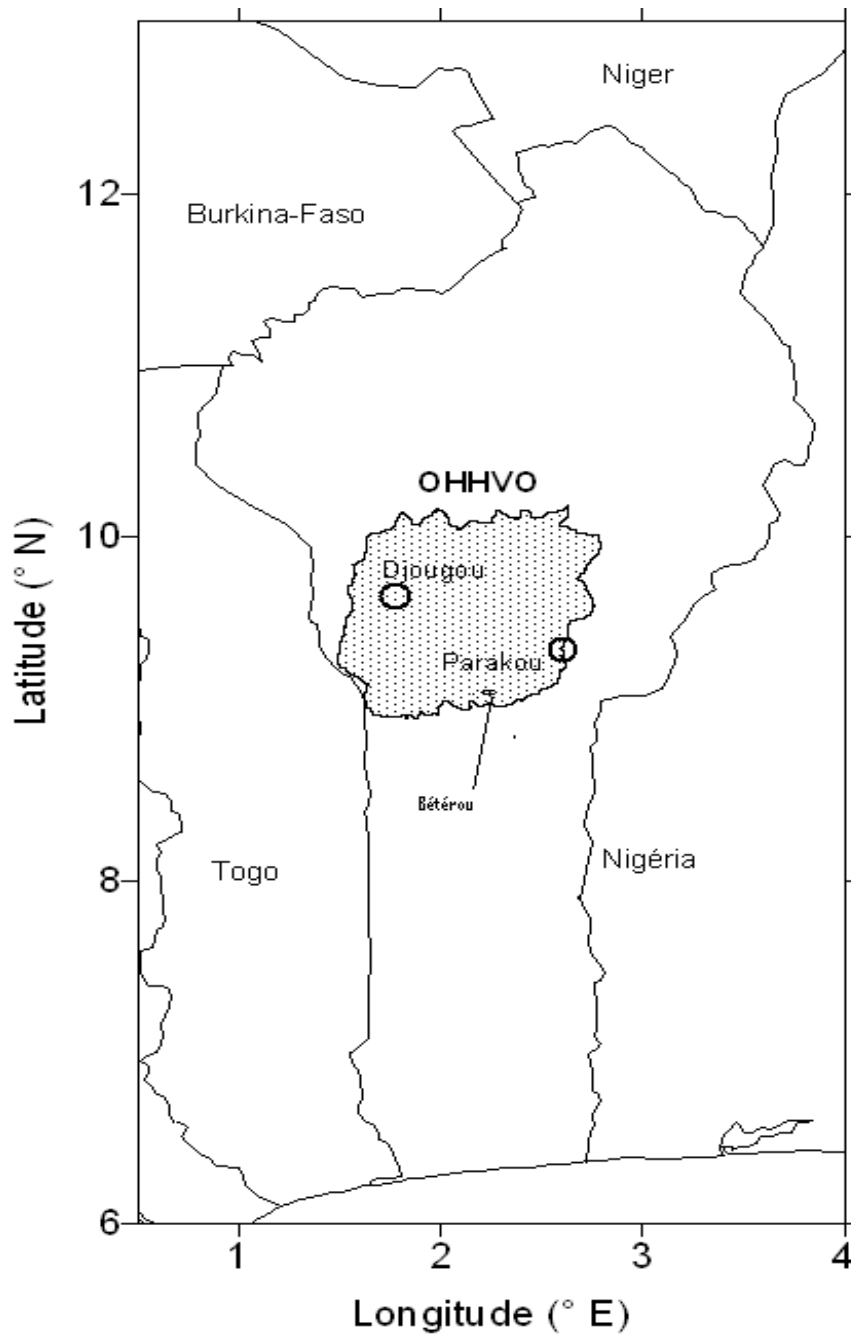
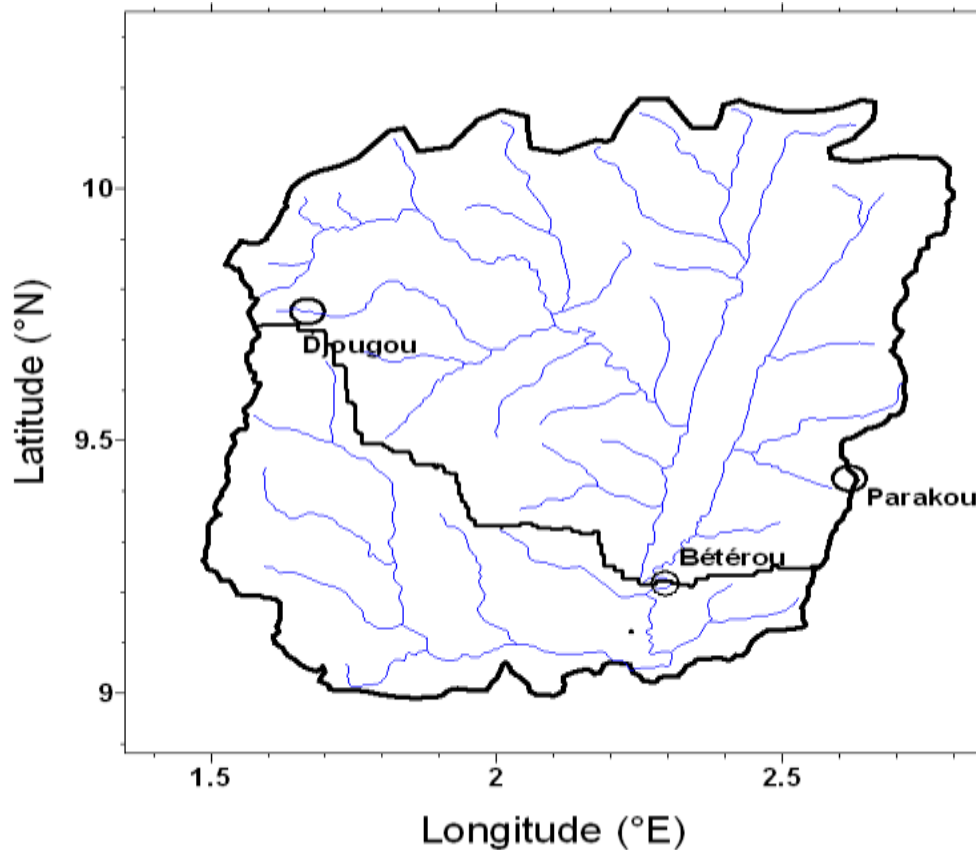


Figure 3: Observatoire hydrométéorologique de haute vallée de l'Ouémé



**Figure 4:** Hydrographie sur le Bassin Versant de Bétérou

### III-2. Données

Les données disponibles dans le cadre de cette étude sont issues de la banque de données de l'IRD et de la banque de données de la Direction Générale de l'Eau (DGEau). Sur AMMA-CATCH Bénin il est installé 17 stations dont les plus anciens (Parakou, Bembèrèkè et djougou) fonctionnent depuis 1921 et les plus récents (Pénéssourou et Patargo) en 1969. En définitif 12 (TABLEAU II) des 17 stations ont été retenues après le test d'homogénéité de Kruskal-wallis (Lawin 2007).

**Tableau II : Liste des 12 stations sur le réseau pluviométrique national (RPN).**

Station	Code DMN	Long. (degré)	Lat. (degré)	Année de début d'installation
Bassila	D037	1.667	9.017	1950
Bembèrèkè	D024	2.662	10.223	1921
Bétérou	D036	2.667	9.200	1953
Birni	D026	1.517	9.983	1953
Djougou	D030	1.662	9.692	1921
Ina	D027	2.727	9.969	1947
Kouandé	D019	1.683	10.333	1931
Okpara	D033	2.733	9.467	1956
Parakou	D034	2.612	9.357	1921
Partago	D032	1.900	9.533	1969
Pénéssoulou	D035	1.550	9.233	1969
Tchaourou	D038	2.600	8.867	1937

### III-3. Etats des données et leur éventuelle correction

En Afrique de l'ouest, les premières données climatologiques (observations pluviométrique) remontent au milieu du XIXe siècle avec un suivi sérieux datant des années après 1920. En fait c'est pratiquement dans les années 1950 que les données ont réellement existées dans le continent africain. A Bétérou, les données les plus fiables commencent véritablement en 1954. Les données les plus récentes (2007, 2008 et 2009) ne sont pas encore bien fournies. La plus récente donnée étant de 2006.

Sur la série de données de 1954 à 2006 que nous avons utilisés, il apparaît en fait des années manquantes pour la raison qu'en ces moments précis moins de 75% des stations ont enregistré des données au cours de la saison. Ainsi sur cette série de 1954 à 2006 les années 1971 ; 1989 ; 1991 et 1993 soit quatre années sont manquantes.

Une série de données plus récente pourrait compléter cette période et l'amener jusqu'à 2008. Mais cette série a besoin de correction du fait que certaines données manquaient en de différents mois. La proximité de ces stations en principe permettrait de reconstituer les



données manquantes à partir des stations ayant des séries les plus longues. Les stations dont les données ont de lacunes sont : Bembèrèkè, Bétérou et Patargo et celles qui sont sans lacunes : Djougou, Ina, Kouandé, Okpara, Parakou, Pénéssourou et Tchaourou. Nous avons ainsi essayé des reconstitutions des données comme présenté dans le tableau qui suit :

**Tableau III: Résultats de corrélation entre stations proches en vue de reconstitution de données**

Stations	Covariance	Coefficient de corrélation	Remarques
Parakou-Bétérou	20,73	24%	Corrélation faible
Ina- Bembèrèkè	14,40	13%	Corrélation très faible
Djougou-Partago	61,6	29%	Corrélation faible
Djougou- Pénéssoulou	10,79	7%	Corrélation très faible

Au vue des résultats il ressort que bien que les stations ne soient pas distantes l'une de l'autre, aucune des stations n'est fortement corrélée afin qu'il soit possible de reconstituer les données manquantes. Les coefficients de corrélation se situant entre 65 et 80% pourraient nous indiquer une meilleure corrélation afin de passer à la reconstitution. Nous avons ainsi la série allant de 1954 à 2006.

#### III-4. Méthodes utilisées

Pour les méthodes techniques et les outils d'analyse sur pluie et débit :

La méthode des moyennes mobiles (sur 5, 11 et 25 ans) a été utilisée pour s'assurer de la qualité des données disponibles.

La variabilité des processus climatique est analysée à partir des écarts centrés réduits qui caractérisent l'excès ou le déficit du paramètre considéré indépendamment de la variabilité interannuelle.

$$r = (X_i - \text{Moy}) / \sigma$$

Avec  $P_i$  le cumul annuel de l'année  $i$ ,  $P_{moy}$  et  $\sigma$  respectivement la moyenne et l'écart type des précipitations annuelles sur la période considérée)

Pour établir les indicateurs de changement climatiques, nous nous sommes servis des méthodes statistiques et du logiciel Hydracess. Les lois utilisées sont : Galton, Goodrich et Pearson 3 dont les paramètres sont :

**Tableau IV: Paramètres des lois d'ajustement utilisées**

<b>Paramètres</b>	
<b>Echelle</b>	Moyenne
<b>Position</b>	Médiane
<b>Forme 1</b>	Mode
<b>Taille</b>	Variance
<b>Borne inf.</b>	Coef. variation
<b>Seuil troncature</b>	Coef. asymétrie
	Coef. aplatissement

## IV- Résultats

### IV-1. Pluie moyenne annuelle (pan)

Pour la période de 1954 à 2006 considérée (Figure 5), le minimum des extrêmes du cumul moyen annuel observé est de 739 mm (en 1983) et le maximum de 1585 mm (en 1957). Le régime pluvial est caractérisé par une saison sèche de novembre à mars et une saison pluvieuse d'avril à octobre avec un maximum en août (Figure 5). L'année 1964 est la moins pluvieuse avant 1970 avec 972 mm de pluie et après 1970 ce fut l'année 1983 la moins pluvieuse avec 739 mm (Figure 5). La moyenne interannuelle de la période considérée est de 1199 mm de pluie. Cette valeur avoisine celle indiquée dans les travaux de (Lawin, 2007) qui indiquent 1200 mm comme moyenne interannuelle.

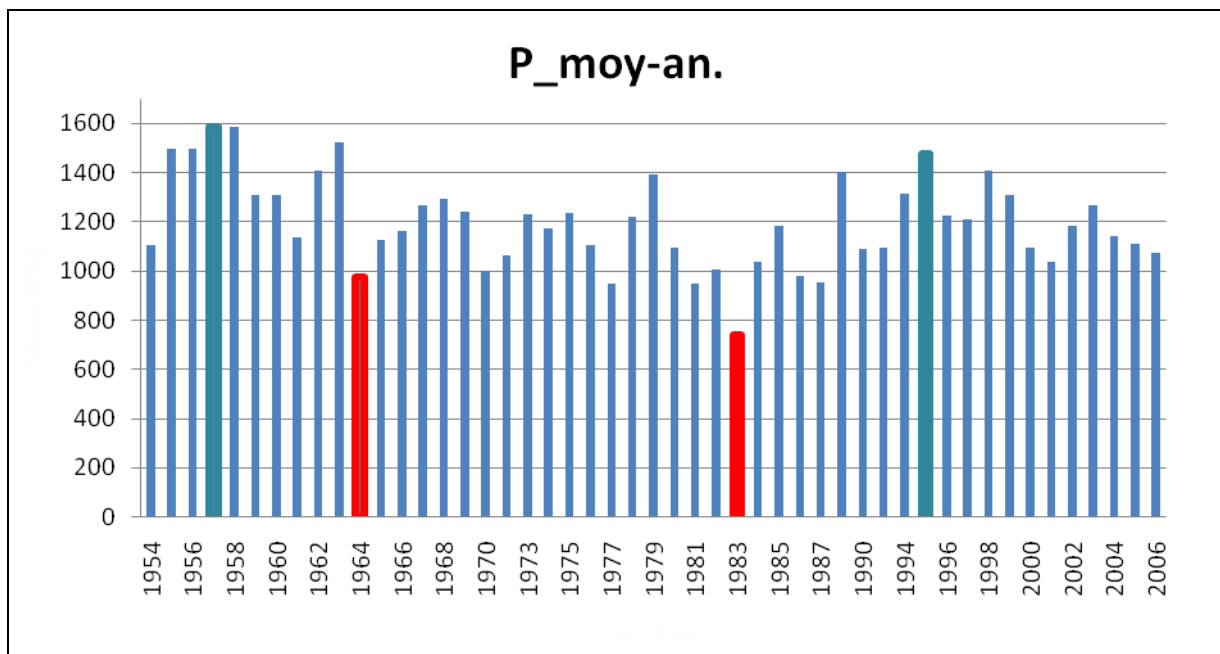
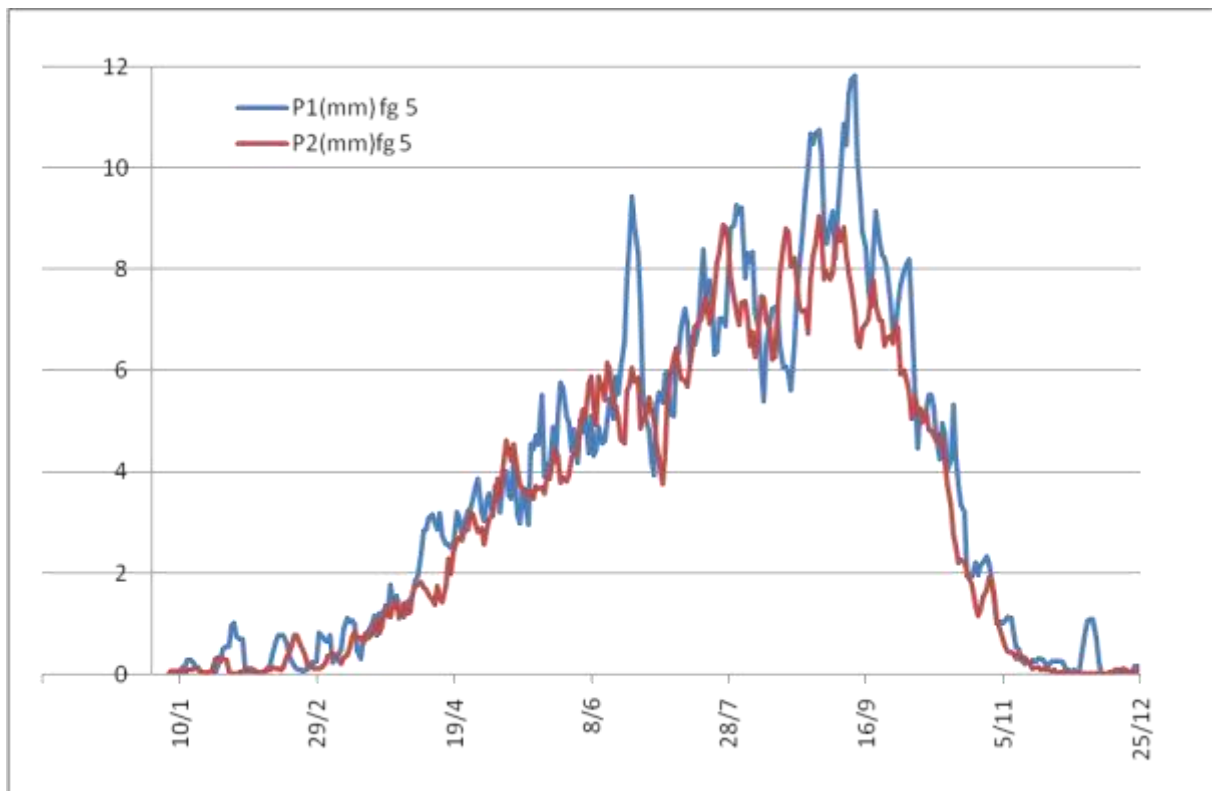


Figure 5: Pluviométrie sur Bétérou de 1954 à 2006.

#### IV-1.1. Pluie moyenne annuelle avant et après 1970

Le découpage de la période d'étude (1954-2006) s'appuie sur l'année 1970 que plusieurs auteurs (Paturel *et al.*, 1997; Servat *et al.*, 1999; Mahé *et al.*, 2001; Lawin 2007) ont établi comme une rupture statistique dans les séries pluviométriques. On définit ainsi les périodes 1954-1970 (P1) et 1971-2006 (P2) dans la suite des calculs statistiques. Les analyses se feront sur chacune de ces deux périodes en vue de confirmer ou d'infirmer cette différence de phénomène pluvieux constatée au Bénin.

Pour chacune des deux périodes (P1 et P2) considérées, le cycle saisonnier (périodes de l'année où on observe la pluie ou non) du cumul moyen journalier montre un régime unimodal avec une valeur maximale atteinte en mois d'août. De façon générale, on observe une diminution de la pluviométrie après les années 1970. Plus concrètement les valeurs maximales observées avant 1970 soit 69 mm de pluie ne sont plus atteintes sur la période de 1971 à 2006 soit 55 mm de pluie ; donc une diminution de 20,45% en terme de pluies maximales.



**Figure 6:** Cycle saisonnier moyen des pluies observées sur Bétérou avant et après 1970 sur une fenêtre glissante de 5 jours (P1: avant 1970; P2: après 1970).

#### ***IV-1.2. Années plus humide et années plus sèche***

Afin de mieux identifier et apprécier les différentes modifications du cycle saisonnier sur Bétérou, nous distinguons deux types d'années dont une sèche et l'autre humide.

A travers la comparaison des indices pluviométriques réduits sur Bétérou (Figure 7), on observe également une alternance de longues périodes humides et sèches bien que des fluctuations interannuelles existent. La période de 1955 à 1960 soit cinq années est

systématiquement excédentaire pendant que les années 1980 à 1988 sont systématiquement déficitaires. Il faut remarquer que ces deux tranches qui sont des séries caractéristiques car ayant successivement les mêmes tendances chacune se situent l'une avant les années 1970 et l'autre après 1970. Les années 1988 semblent voir le retour des conditions plus humides sur Bétérou interrompues dès 1999 à 2006 car en dehors de 2002 qui est excédentaire cette période est restée déficitaire.

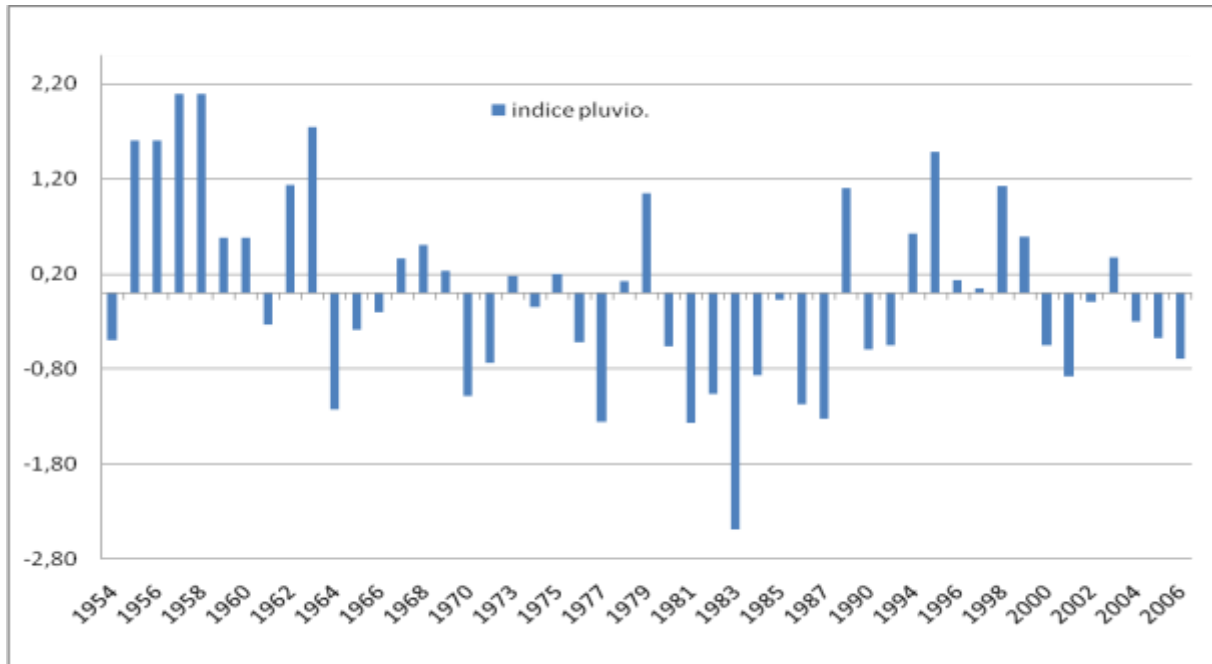


Figure 7: Indice pluviométrique réduit sur Bétérou de 1954 à 2006

#### IV-1.3. Etude par décade des pluies

L'intérêt de cette étude réside dans le fait qu'à chaque 10 jour de l'année on a un renseignement statistique sur les pluies. C'est pour répartir les différentes quantités de pluies tombées de chaque période de 10 jours sur chaque jour.

#### IV-1.4. Evolution de l'indice pluviométrique et de l'hydraulicité par séquence de 1954 à 2003

Se situant autour de la rupture hydrologique observée vers les années 1970, nos observations se feront par des séquences de 10 ans dans un premier temps sur cinq périodes : 1954-1963 ; 1964-1973 ; 1974-1983 ; 1984-1993 ; 1994-2003 puis des séquences de 20 ans sur deux périodes : 1954-1973 ; 1974-1993. La séquence de 1954-1963 sera considérée comme

référence du fait qu'il s'agit d'une période humide avant 1970 et donc des comparaisons seront faites à cette séquence.

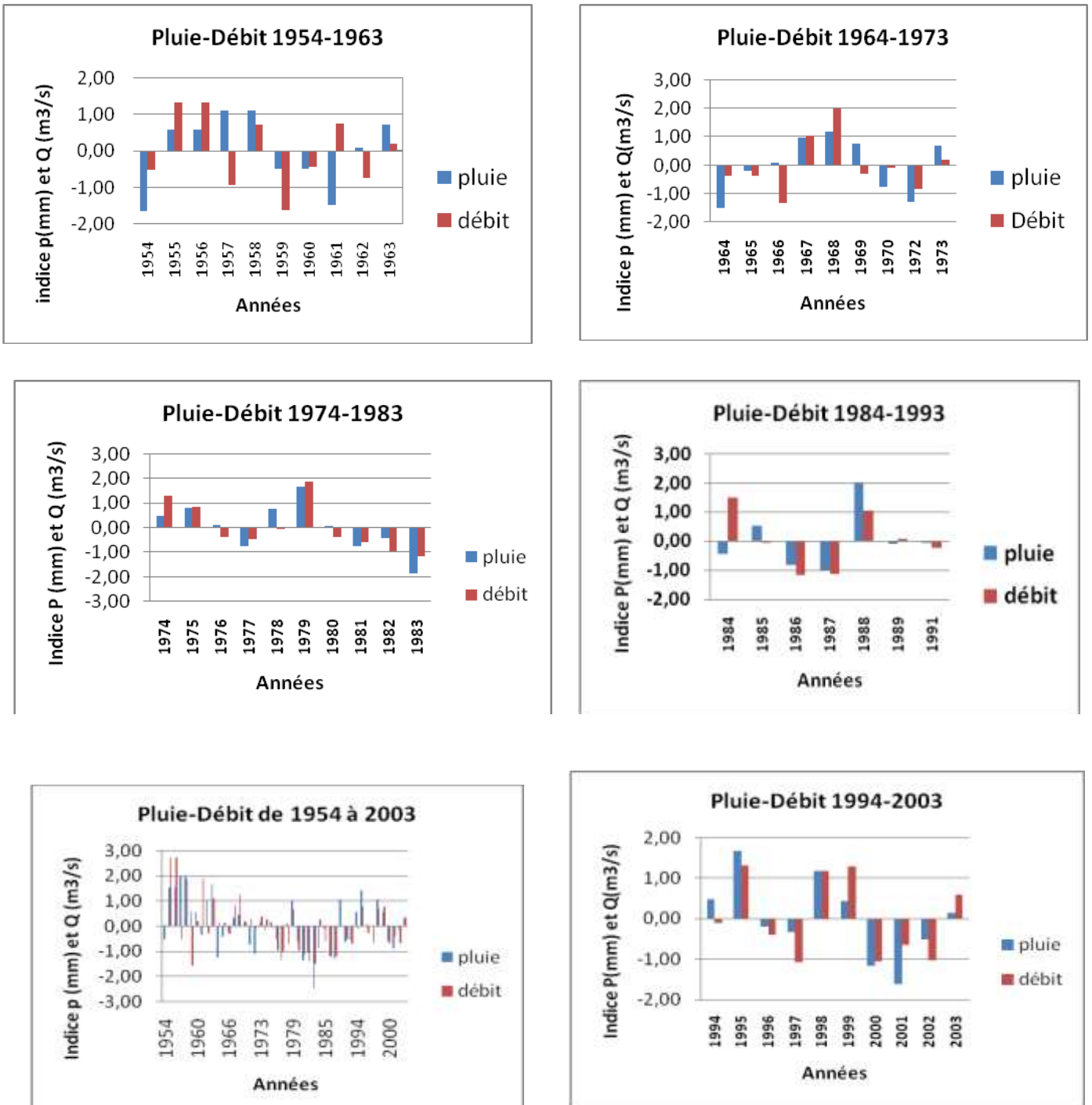


Figure 8: Indice pluviométrique et d'hydraulicité sur les séquences de 10 ans de 1954 à 2003

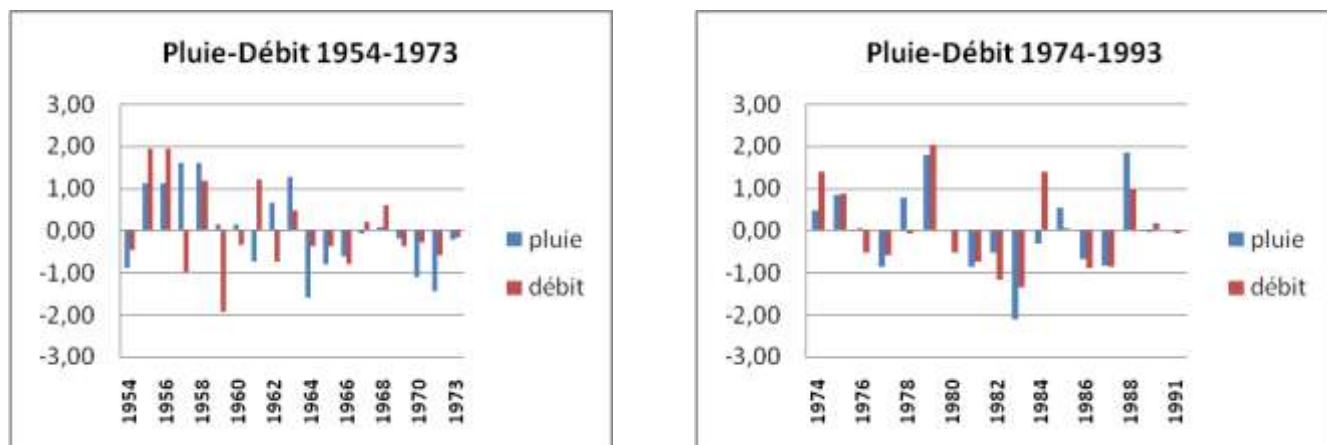


Figure 9: Indice pluviométrique et d'hydraulicité sur les séquences de 20 ans de 1954 à 2003

Tableau V: Récapitulatif des relations entre Pluie et Débit

Séquence	Relations
1954-1963	$Q = 139,259 P - 181\,099,949$
1964-1973	$Q = 3,323 P + 17\,278,24$
1974-1983	$Q = 36,358 P - 28\,629,89$
1984-1993	$Q = 17,647 P - 6000$
1994-2003	$Q = 42,105 P - 34\,631,578$
1954-1973	$Q = 23,992 P - 5791,4$
1974-1993	$Q = 33,33 P - 25\,300$
1954-2003	$Q = 37,226 P - 26\,160,24$

## IV-2. Etude fréquentielle des pluies et débits

### IV-2.1. Pluies

Pour cette étude fréquentielle, nous avons d'abord utilisé la méthode de la moyenne mobile comparée à la moyenne arithmétique afin d'apprécier l'état des données de la série considérée dont les résultats se présentent comme suit :

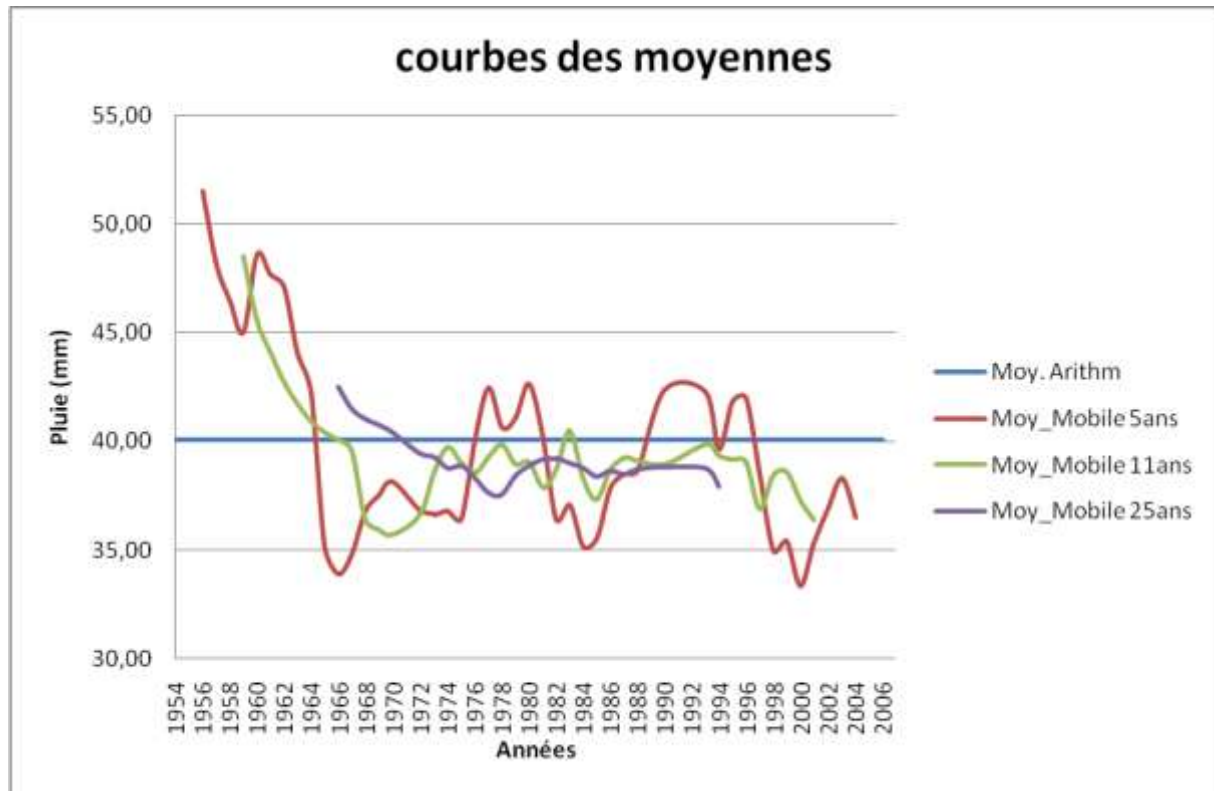


Figure 10: Analyse pluviométrique de Bétérou 1954 à 2006

Les moyennes mobiles sur 5, 11 et 25 ans réalisés sur les données pluviométriques de Bétérou ne s'écartent pas trop de la moyenne arithmétique. Ces données ne sont donc pas entachées d'erreurs importantes et on peut réaliser sur cet échantillon un ajustement.



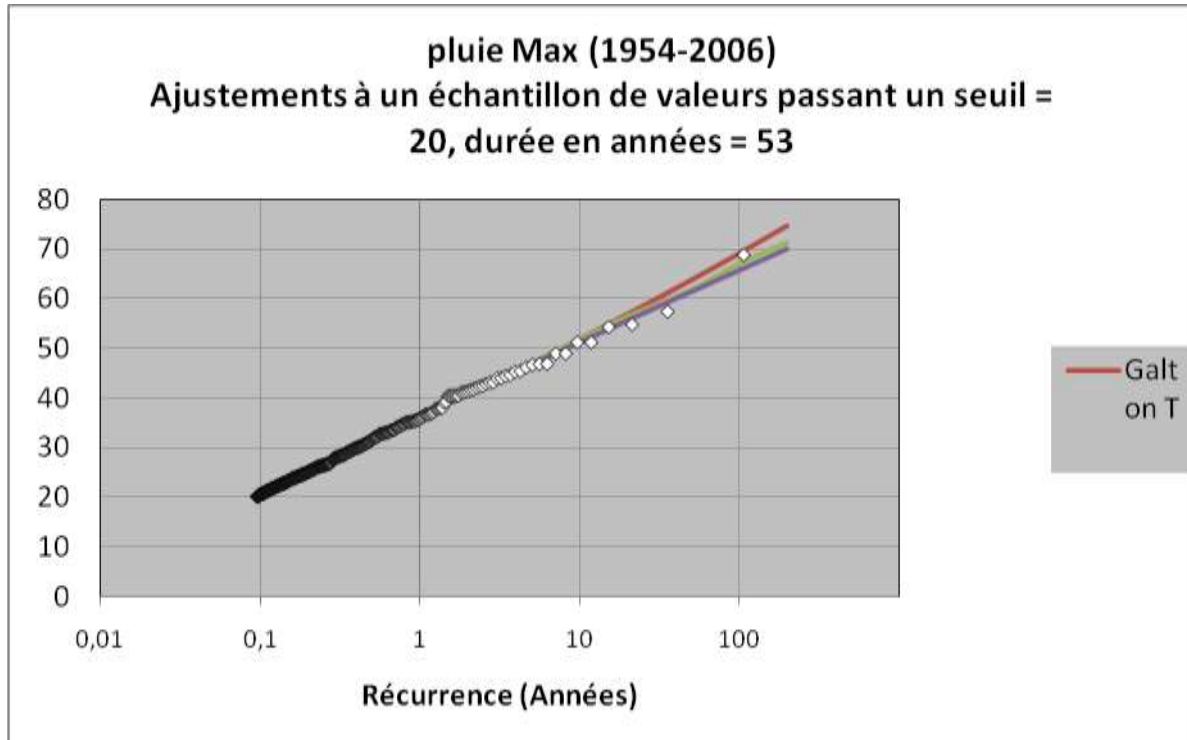


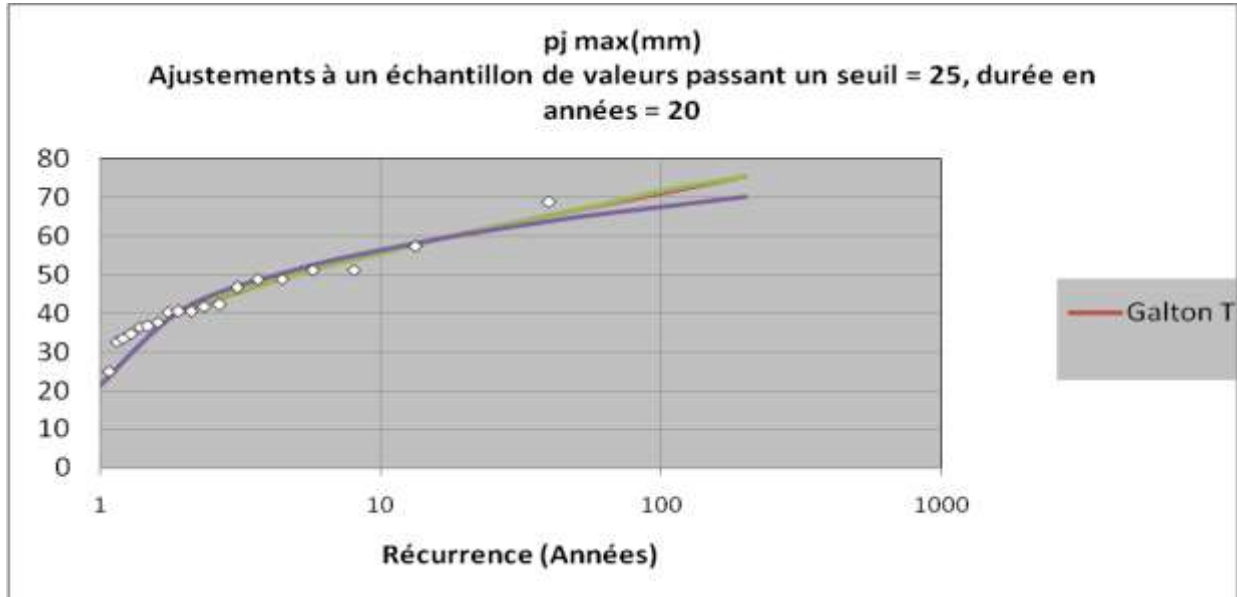
Figure 11: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1954-2003)

Des trois lois Pearson3 T ajuste le mieux les points de la série.

Tableau VI: Fréquence sur l'échantillon de pluie (1954-2003)

Retour (an)	Galton T (mm)	Pearson3 T (mm)	Goodrich T (mm)
5	46,87	47,05	46,68
10	51,76	51,74	51,14
20	56,79	56,32	55,57
50	63,66	61,75	61,37

Les valeurs trouvées après l'ajustement restent pratiquement dans un même ordre de grandeur, l'une ou l'autre peut être utilisée pour la suite des calculs et comme la loi de Pearson3 T ajuste le mieux, ces valeurs seront utilisées pour la suite des calculs.



**Figure 12:** Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1954-1973)

Des trois lois celle de Goodrich T ajuste le mieux les points de la série.

**Tableau VII: Fréquence sur l'échantillon de pluie (1954-1973)**

Retour (an)	Galton T(mm)	Pearson3 T(mm)	Goodrich T (mm)
5	50,21	50,30	51,30
10	55,71	55,55	56,33
20	60,68	60,67	60,37
50	66,81	66,81	64,80

Les valeurs trouvées après l'ajustement restent pratiquement dans un même ordre de grandeur, l'une ou l'autre peut être utilisée pour la suite des calculs et comme la loi de Goodrich T ajuste le mieux, ces valeurs seront utilisées pour la suite des calculs

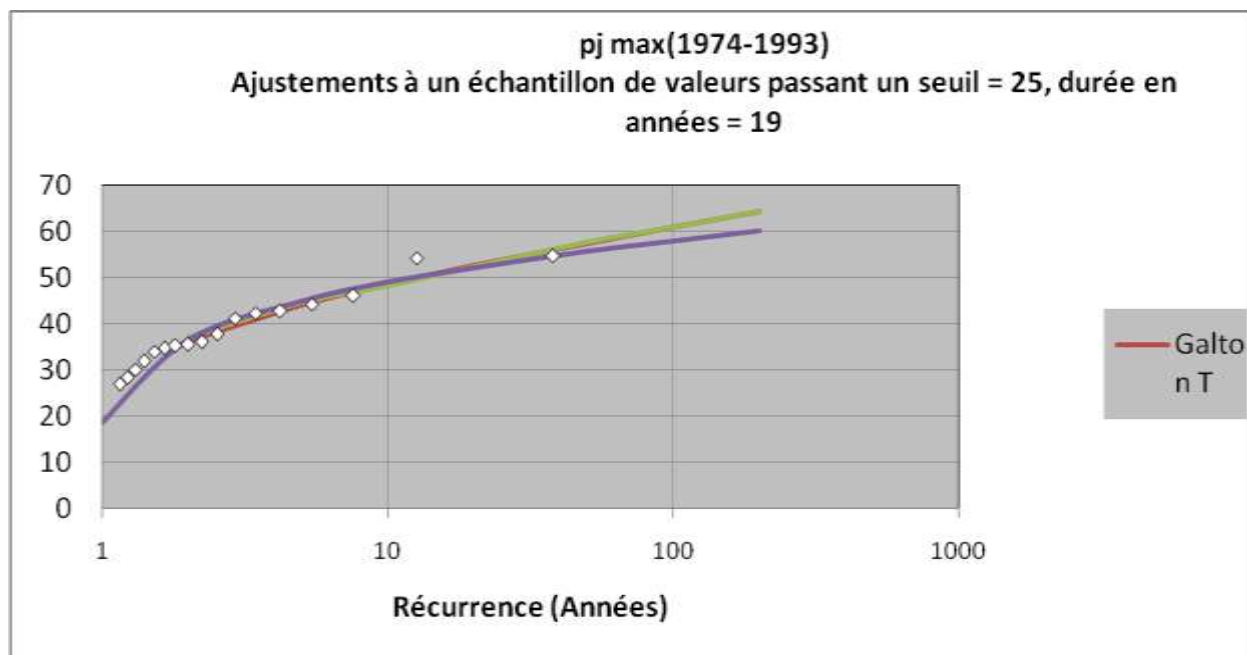


Figure 13: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1974-1993)

Des trois lois celle de Goodrich T ajuste le mieux les points de la série.

Tableau VIII: Fréquence sur l'échantillon de pluie (1974-1993)

Retour (an)	Galton T (mm)	Pearson3 T (mm)	Goodrich T (mm)
5	44,14	44,67	44,91
10	48,65	48,36	49,02
20	52,68	52,62	52,30
50	57,59	57,88	55,86

Les valeurs trouvées après l'ajustement restent pratiquement dans un même ordre de grandeur, l'une ou l'autre peut être utilisée pour la suite des calculs et comme la loi de Goodrich T ajuste le mieux, ce sont ces valeurs seront utilisées pour la suite des calculs.

**IV-2.2. Débits**

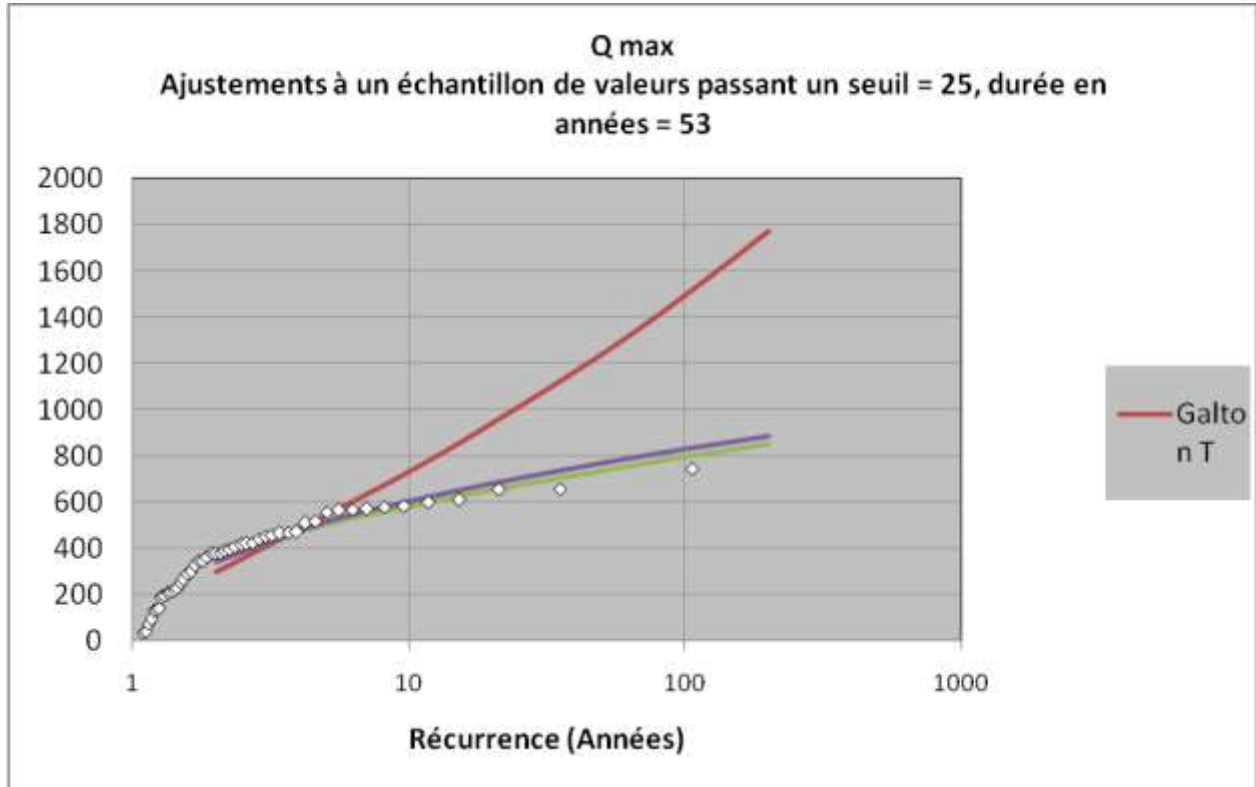


Figure 14: **Graphe d’ajustement sur l’échantillon du débit 1954-2003**

Des trois lois Pearson3 T ajuste le mieux les points de la série.

Tableau IX: **Fréquence sur l’échantillon de débit (1954-2003)**

<b>Retour (an)</b>	<b>Galton T(m3/s)</b>	<b>Pearson3 T (m3/s)</b>	<b>Goodrich T (m3/s)</b>
<b>5,0</b>	541,4	504,1	512,3
<b>10,0</b>	733,5	582,7	605,4
<b>20,0</b>	940,7	652,9	683,4
<b>50,0</b>	1243,2	736,1	772,2

Les valeurs trouvées après l'ajustement restent pratiquement dans un même ordre de grandeur, l'une ou l'autre peut être utilisée pour la suite des calculs et comme la lois de pearson3 T ajuste le mieux, ces valeurs seront utilisées pour la suite des calculs.

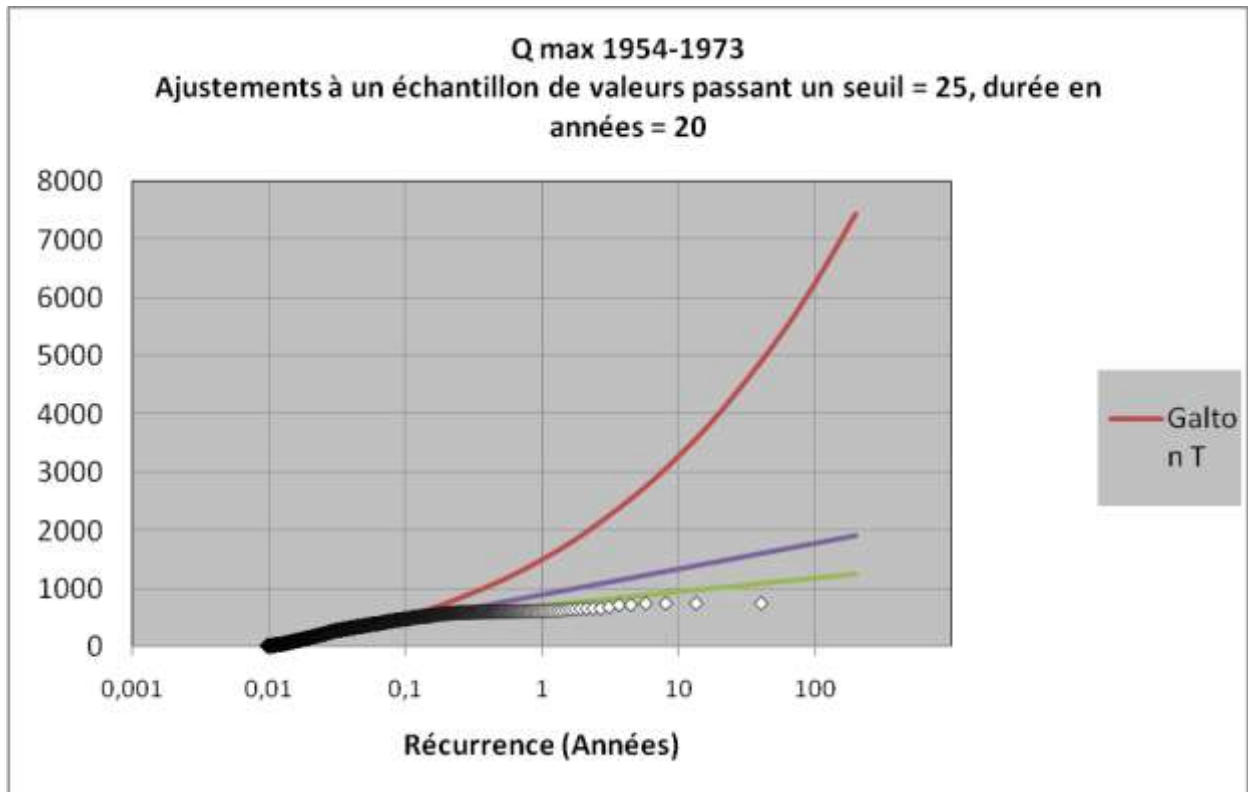


Figure 15: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1954-1973)

Tableau X: Fréquence sur l'échantillon de débit (1954-1973)

Retour (an)	Galton T(m <sup>3</sup> /s)	Pearson3 T(m <sup>3</sup> /s)	Goodrich T (m <sup>3</sup> /s)
5,0	2632,5	884,8	1209,4
10,0	3271,8	956,0	1341,2
20,0	4018,3	1026,0	1473,0
50,0	5192,0	1118,2	1647,4

Les valeurs de débits avec l'ajustement selon Galton sont trop élevées par rapport à Pearson 3T et Goodrich T. Une moyenne entre les trois nous servira pour la suite.

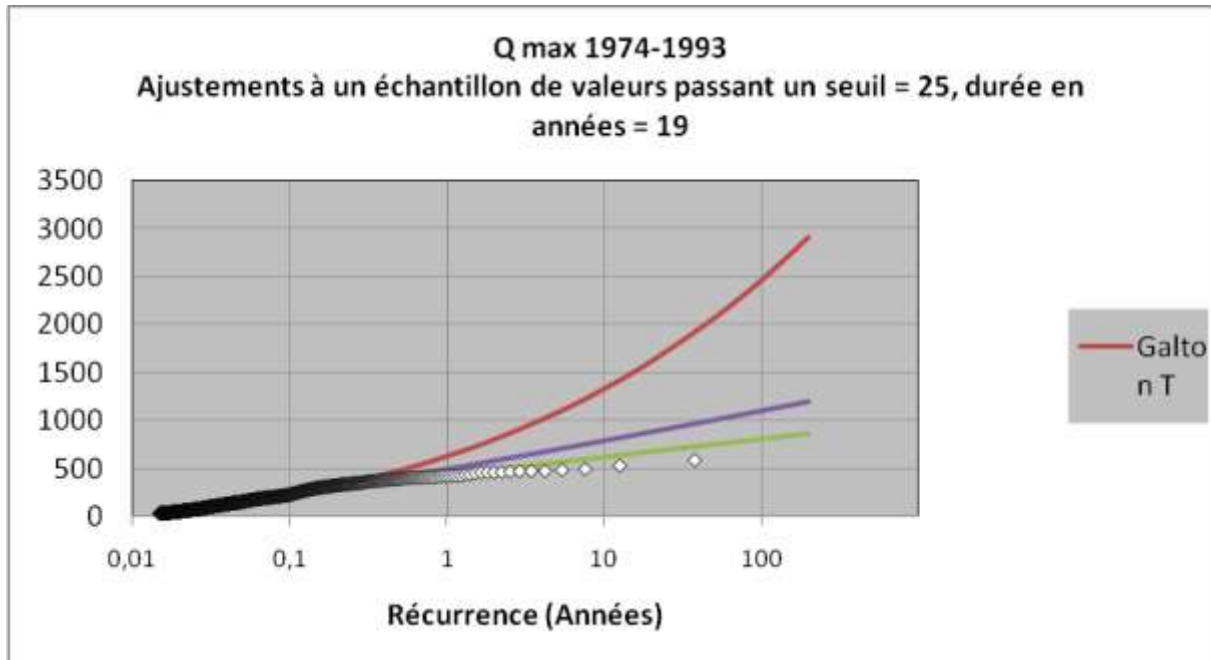


Figure 16: Graphe d'ajustement sur l'échantillon du débit (1974-1993)

Des trois lois Pearson 3 T ajuste le mieux les points de la série.

Tableau XI: Fréquence sur l'échantillon de débit (1974-1993)

Retour (an)	Galton T (m <sup>3</sup> /s)	Pearson 3 T (m <sup>3</sup> /s)	Goodrich T (m <sup>3</sup> /s)
5	1078,1	565,2	699,0
10	1329,0	622,2	790,5
20	1618,6	678,3	883,5
50	2068,1	751,4	1008,3

Les valeurs trouvées après l'ajustement restent pratiquement dans un même ordre de grandeur, l'une ou l'autre peut être utilisée pour la suite des calculs et comme la loi de Pearson 3 ajuste le mieux la série, ce sont ses valeurs qui seront utilisées pour la suite des calculs.

#### 4.3 –Etablissement des indicateurs de changement climatique

##### 4.3.1- Indicateurs relatifs aux paramètres des pluies et débits

**Tableau XII: Récapitulatif des paramètres statistiques sur chaque séquence pour les pluies (mm)**

Pluies (mm)								
paramètres \ séquences	1954-1963	1964-1973	1974-1983	1984-1993	1994-2003	1954-1973	1974-1993	1954-2003
<b>Moyenne</b>	1394,682	1154,758	1085,78	1107,163	1251,716	1279,139	1094,585	1251,716
<b>Ecartype</b>	174,282	118,051	185,009	151,08	132,525	192,457	167,125	132,525
<b>CV</b>	0,125	0,102	0,170	0,136	0,106	0,150	0,153	0,106

**TABLEAU XII** Récapitulatif des paramètres sur chaque séquence pour les débits (m<sup>3</sup>/s)

Débits (m <sup>3</sup> /s)								
paramètres \ séquences	1954-1963	1964-1973	1974-1983	1984-1993	1994-2003	1954-1973	1974-1993	1954-2003
<b>Moyenne</b>	27696,22	21935,41	10766,9	12047,96	18208,97	24967,42	11294,39	18208,974
<b>Ecartype</b>	16466,75	5266,617	8189,561	8284,655	6861,099	12515,51	7277,358	6861,09
<b>CV</b>	0,595	0,240	0,761	0,688	0,377	0,501	0,644	0,377

**Tableau XIII: Pourcentage par rapport à la séquence de référence 1954-1963 des pluies et débits**

<b>Pourcentages par rapport à 1954-1963</b>								
séquence	1954-1963	1964-1973	1974-1983	1984-1993	1994-2003	1954-1973	1974-1993	1954-2003
<b>Pluie</b>	100,00%	82,80%	77,85%	79,38%	89,75%	91,72%	78,48%	89,75%
<b>Débit</b>	100,00%	79,20%	38,87%	43,50%	65,75%	90,15%	40,78%	65,75%

Pour les périodes de dix ans la diminution des pluies et débit respectivement 12% et 61% est plus remarquable pour la séquence 1964-1973. Cette situation s'améliore pour la séquence 1994-2003. Pour les périodes de 20 ans la séquence 1974-1993 est celle qui connaît plus la situation de baisse des pluies et débits.

**Tableau XIV: Pourcentage par rapport à la séquence de référence 1954-1963 des pluies maxi**

<b>Pluies (mm)</b>					
Séquences	1954-1963	1964-1973	1974-1983	1984-1993	1994-2003
<b>Pluies max</b>	1584,72	1292,2	1392,35	1402,05	1473,28
<b>%</b>	100%	81,54%	87,86%	88,47%	92,97%

On constate par rapport à la période 1954-1963 une baisse de 20% pour la période 1963-1974 qui semble revenir à la situation de départ entre 1994-2003 avec une baisse de 7%.

#### **4.3.2- Indicateurs relatifs aux périodes de retour des pluies et débits**

La période 1954-1974 est ici considérée comme référence un rapport est effectué avec la période 1974-1993 puis 1954-2006 qui représente l'ensemble de la période d'étude. Les résultats sont consignés dans le tableau XV.



**Tableau XV: Pourcentage par rapport à la séquence de référence 1954-1963 des pluies et débits**

<b>Retour (an)</b>	<b>Variable</b>	<b>Séquence 1 : 1954-1973</b>	<b>Séquence 2 : 1974-1993</b>	<b>Débit par rapport à Pluie entre séquence 1 et 2</b>	<b>Séquence 3 : 1954-2003</b>
<b>5</b>	PLUIE	100,00%	88,08%	56,26%	92,62%
	DEBIT	100,00%	49,55%		32,96%
<b>10</b>	PLUIE	100,00%	87,14%	56,50%	92,27%
	DEBIT	100,00%	49,23%		34,51%
<b>20</b>	PLUIE	100,00%	86,73%	56,27%	92,82%
	DEBIT	100,00%	48,80%		34,94%
<b>50</b>	PLUIE	100,00%	86,35%	55,71%	94,13%
	DEBIT	100,00%	48,10%		34,58%

Une comparaison entre les séquences 1954-1973 et 1974-1993 montre ici que quelque soit la période de retour considérée, les rapports entre pluies et débits restent constants autour de 56%.

## **V-Analyse et discussions**

### **V-1. Diminution constatée de la hauteur de pluie**

A comparer les années les moins pluvieuses avant et après 1970, on constate une diminution sensible de la pluviométrie de celle se situant après 1970 (année 1983 avec 739 mm) par rapport à celle avant 1970 (année 1964 avec 972 mm). Ce phénomène est de même remarquable pour le maximum l'année 1957 avec 1585 mm et l'année 1985 avec 1473 mm de pluie). Partant du principe qu'un cumul pluviométrique sur une période donnée est égal à la somme des cumuls événementiels s'y produisant, il est possible de décomposer le signal saisonnier en deux composantes distinctes: le nombre d'événements pluvieux et le cumul événementiel moyen. La principale difficulté réside dans la notion d'événement pluvieux, dont la définition à partir de systèmes de mesures à pas de temps fixes (le plus souvent journaliers ou décadaires) est complexe (LAY, 2006). Néanmoins on peut dire que la pluviométrie a sensiblement baissé après les années 1970.

En ce qui concerne les pluies décadaires, on constate que la décade du 18 au 27 août a une prédominance des pluies pour les années avant 1970 sur les années après 1970. Pendant que la période du 06 au 15 novembre est pratiquement la fin des pluies, le début reste difficile à identifier. De façon générale les pluies semblent s'installer plus tôt et se retirer plus tard pour les années avant 1970 par rapport aux années après 1970. Ce qui confirme les observations faites sur le cycle moyen saisonnier de pluies à Bétérou avant et après 1970. Pour ce cycle des précipitations moyennes saisonnières sur Bétérou, il est observée pendant les décades les plus pluvieuses une grande différence de hauteur de pluie quant on se situe de part et d'autre de 1970 pendant que cette différence est moins significatives sur les autres décades.

Les maxima des phénomènes pluviométriques ont baissés d'une séquence à une autre en évoluant vers les années 1970 avec un semblant de retour constaté pour la séquence 1994-2003 avec une amélioration de cette baisse tant la pluviométrie (10%) que sur les écoulements (33%) . Les périodes 1964-1973 et 1974-1983 sont révélées très déficitaires.

Le caractère déficitaire ou excédentaire d'une année est principalement corrélé à l'occurrence des gros systèmes convectifs au sein de cette saison (Le Lay et Galle, 2005)

## **V-2. Phénomène de la dynamique saisonnière**

La dynamique saisonnière des années sèches semble significativement différente entre les périodes P1 et P2. Pendant que les pluies s'installent plus tôt avant 1970 (16 mai pour période avant 1970 contre 3 juin après 1970), on observe un décalage de 6 jours du principal pic de précipitations (datant du 07 sept pour P1 et du 01 septembre pour P2) et 17 jours (25 novembre pour P1 et 8 novembre) en ce qui concerne la date de la fin de la saison des pluies. Cependant les mêmes pics sont bien observables tant avant ou qu'après 1970 outre les décalages sensibles remarqués

Pour la composite sèche, la dynamique saisonnière semble bien différente de celle humide. Pour le principal pic il a un décalage de 3 jours (25 août pour P1 et 23 août pour P2), surtout pour les dates de début et de fin la dynamique existe mais diffère de celle humide. Les pluies s'installent pour les années avant 1970, le 07 avril pour finir le 17 novembre puis du 03 mai au 21 novembre pour les années après 1970, soit un décalage de plus d'un mois pour les dates de début et de 4 jours pour la date de fin des saisons de pluie. La dynamique saisonnière n'est significative que sur la date de début des pluies pour la composite sèche.

Il apparaît dans tous les cas une dynamique saisonnière tant sur les années humides que les années sèches de façon significative pour les périodes après 1970. Pendant que les pluies s'installent plus tôt avant 1970, on observe de décalage de la date du principal pic de précipitations et de la date de la fin de la saison des pluies.

L'étude de la dynamique saisonnière, basée sur la distinction entre les régimes de mousson océanique et continentale, montre que l'essentiel des modifications pluviométriques observées sont liées à la variabilité de la saison continentale (Le Lay et Galle, 2005).

## **V-3. Evolution des paramètres statistiques de pluies et débits**

Pour apprécier l'évolution des paramètres liés aux pluies et débits, nous avons considérées les séquences de dix ans sur cinq périodes: 1954-1963 ; 1964-1973 ; 1974-1983 ; 1984-1993 ; 1994-2003 puis des séquences de vingt ans sur deux périodes : 1954-1973 ; 1974-1993 en considérant 1954-1963 comme référence.

Il ressort de l'analyse que par rapport à la référence, la baisse de la moyenne des pluies est très remarquable pour les périodes 1974-1983 et 1984-1993 pour respectivement 77,85% et 79,38% de baisse. La période 1994-2003 a connu une amélioration du taux de fluctuation de la moyenne 89,75% comme remarqué plus haut pour les maxima où elle semble être le retour à la normale tant indiqué précédemment. En ce qui concerne les débits la même remarque reste valable pour les mêmes périodes avec respectivement un taux de baisse de 38,87% et 43,50% puis une amélioration dans la même période de 1994-2003 avec 65,75%.

Bien qu'évoluant différemment, on note tout de même une baisse du taux des paramètres statistiques pluies et débits et une analyse des paramètres statistiques de ces deux variables (pluie et débit) montre qu'ils sont en fait liés avec de coefficients de corrélation propres à chaque séquence .

Ces taux de corrélation entre Pluie et débit montrent que la forte pluviométrie n'est pas essentiellement la forte crue. Beaucoup d'autres paramètres entre en jeux dans la conversion pluie-débit.

Les statistiques sur pluies et débit en termes de périodes de retour (Tableau XIV) donnent une idée sur la diminution des variables pluie-débits mais en même temps ressortent une différence entre cette baisse de taux pour les deux variables (pluie-débit). Quelque soit la période de retour considérée, il est constaté que cette diminution va du simple au double de la pluie au débit.

Les volumes écoulés sur l'Ouémé à Bétérou ne peuvent uniquement pas être expliqués par la pluviométrie annuelle, et que les distributions intra-saisonniers des précipitations jouent un rôle important dans le fonctionnement du bassin (Lay, 2006).

## **Conclusion et Perspectives**

L'intérêt de cette étude est de chercher à mieux comprendre la variabilité hydro-climatique passée dans le haut Bassin de l'Ouémé à Bétérou au Bénin afin de mieux comprendre son évolution avant et après l'année de rupture (1970). Les diminutions de la hauteur des pluies, la dynamique saisonnière tant constatée, la prolongation des saisons sèches en sont les manifestations constatées sur Bétérou à l'échelle du Sous-bassin.

Le développement durable est devenu un des axes prioritaires des politiques de développement de nos pays Africaines. Cette question ne pourrait connaître un succès sans que le problème de la disponibilité en eau ne soit résolu. Ainsi du fait que le phénomène de changement climatique se pose de façon dramatique sur l'ensemble du globe avec bien, des variances, il revient au monde scientifique d'en faire une priorité dans les axes de recherche. S'il est inquiétant, cette diminution des phénomènes pluvieux, ce qui accentue cette inquiétude est la proportion avec laquelle les débits baissent avec constat de disparitions de certains marigots, mares, lacs autrefois bien remplis.

A Bétérou des projets d'état tels que PANF (Projet National d'Aménagement des Forêts), PGRN (Programme de Gestion des Ressources Naturelles) ont contribué à la création d'airs protégés mais à la fin de chacun des projets ces initiatives se trouvent depuis cette dernière décennie abandonnées. En effet ces airs situés sur une bonne superficie du bassin étaient un atout du fait la déforestation et la dégradation de ses sols était limitée. Il serait souhaitable de reprendre la gestion de ces acquis nationaux pour les aux effets des changements climatiques.

## Bibliographie

Barber et *al.*, (2004). Securing Protected Areas in the Face of Global Change: Issues and Strategies. A Report by the Ecosystems, Protected Areas, and People Project. UICN, Gland et Cambridge.

Bilan GTII du GIEC, (2007). Des changements climatiques Impacts, adaptation et vulnérabilité

Bomhard, Midgley, (2005). Securing Protected Areas in the Face of Global Change: Lessons Learned from the South African Cape Floristic Region. A Report by the Ecosystems, Protected Areas, and People Project. UICN, Bangkok, p34-37

CONAGESE, (2001). Stratégie nationale et Plan d'action du Burkina Faso en matière de diversité biologique. MEE du Burkina Faso, 163p

E.Lawin, (2007) analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la haute vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CACH Bénin, 47-49p

GIEC, (2001). Climate Change 2001, The Scientific Basis, 850 p. Cambridge University Press.

GIEC, (2001). The Scientific Basis, Technical Summary" "Variations

GIEC, (2007). Bilan des changements climatiques : Rapport de synthèse, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

GIEC,(1990) d'après SP /CONAGESE,2002)

H.Duville., (2002), cycle de l'eau et bilans continentaux face aux changements climatiques, revue (P.1)

L.Mathieu.,(2006). Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro-climatique, une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique à méso-échelle au Bénin, P62-69.

Lebel, T., Diedhiou, A. & Laurent, H. (2003) Seasonal cycle and interannual variability of the sahelian rainfall at hydrological scales. *J. Geophys. Res.* **108**(D8), 83.89

Ogouwalé, E. (2006). *Changements climatiques dans le Bénin méridional et central: indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire*. Thèse de doctorat, UAC/DGAT, Abomey-Calavi, P43-51

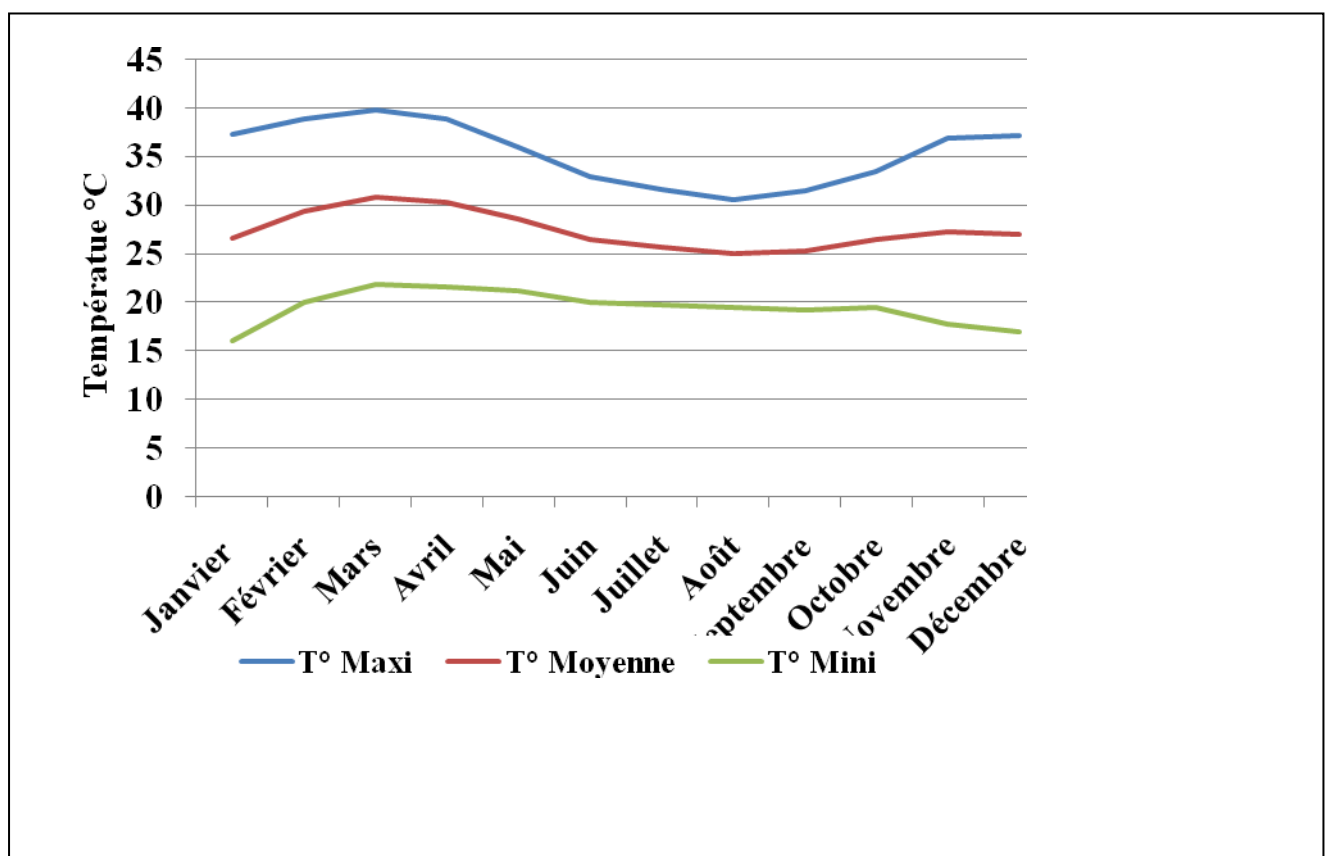
Rousset, N.,(2007).Vulnérabilité des ressources hydriques aux changement climatique: Quelles stratégies d'adaptation dans les plaines céréalières du nord de la chine? *Actes des JSIRAUF*, (p. 2). Hanoi.

Sighomnou, D., Nkamdjou, L. S., Lienou, G., Dezetter, A., Mahé, G., Servat, E., et al. (2007, Novembre). Impacts des fluctuations climatiques sur le régime des écoulements du fleuve Sanaga au Cameroun, perspectives pour le XXIeme siècle. *Documents Techniques en Hydrologie* , 173-181.

UICN, (2000 ); convention cadre des Nations Unis sur le changement climatique

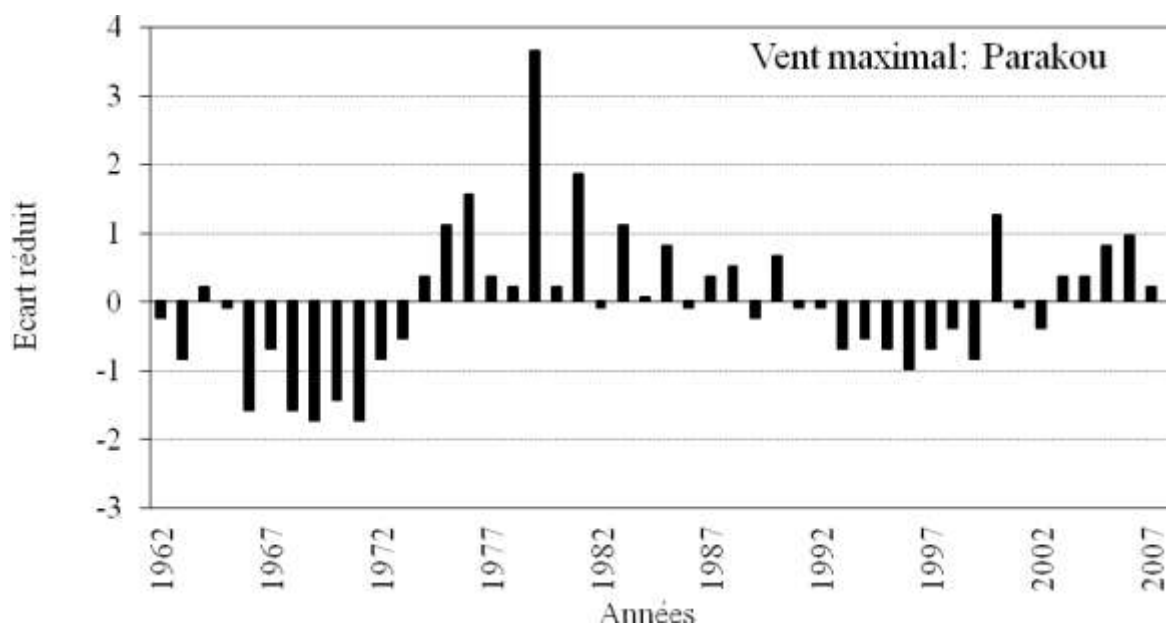
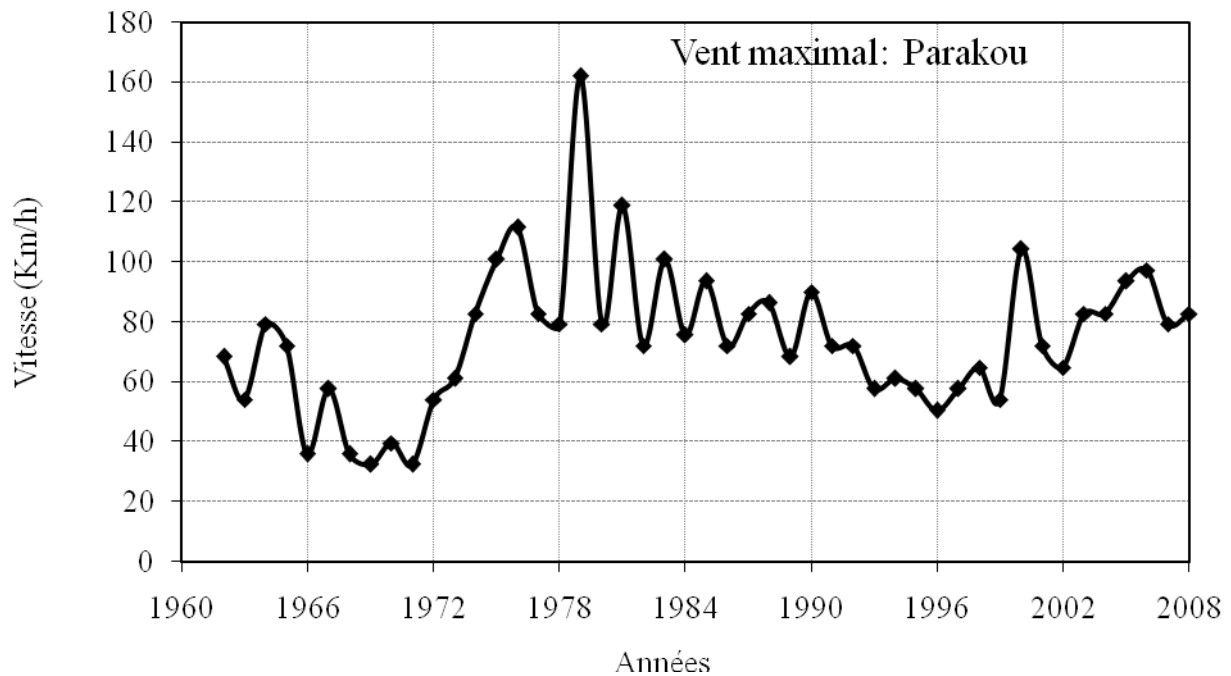
## Annexes

### 1- Températures annuelles à Parakou a proximité de Bétérou de 1960 à 2008

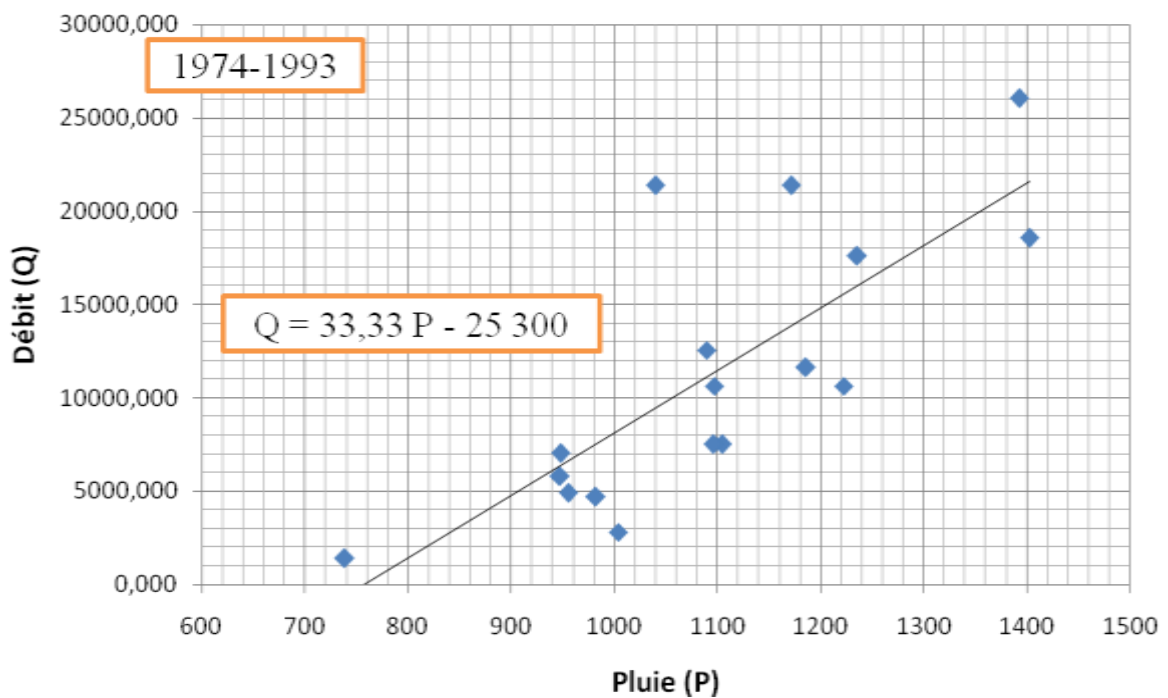
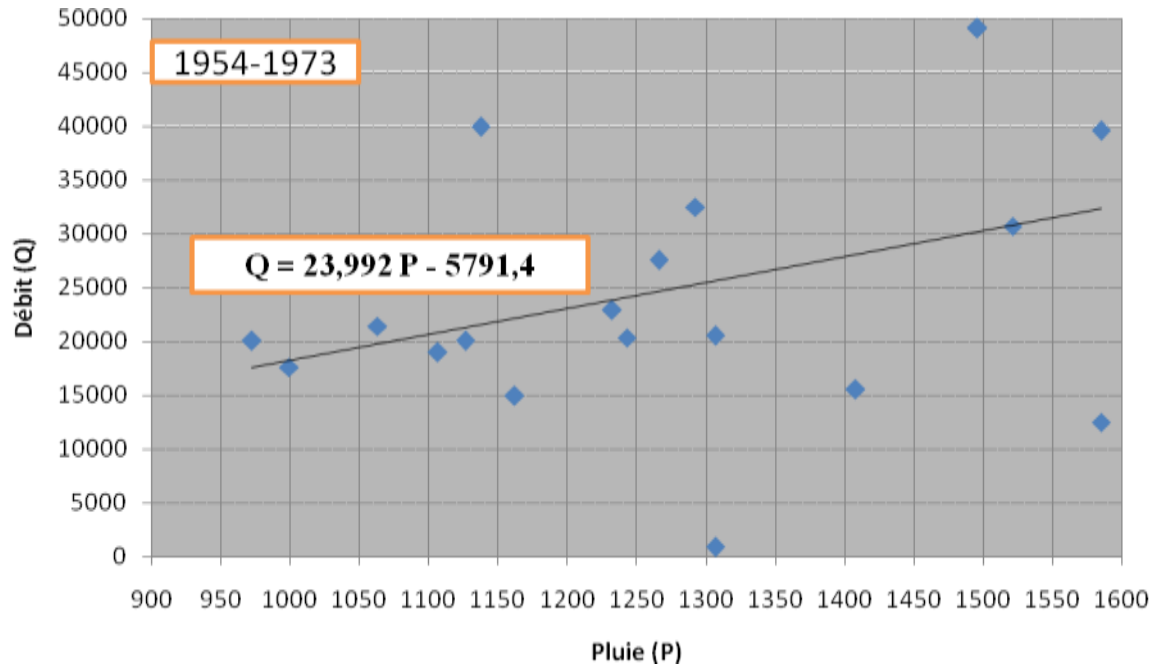


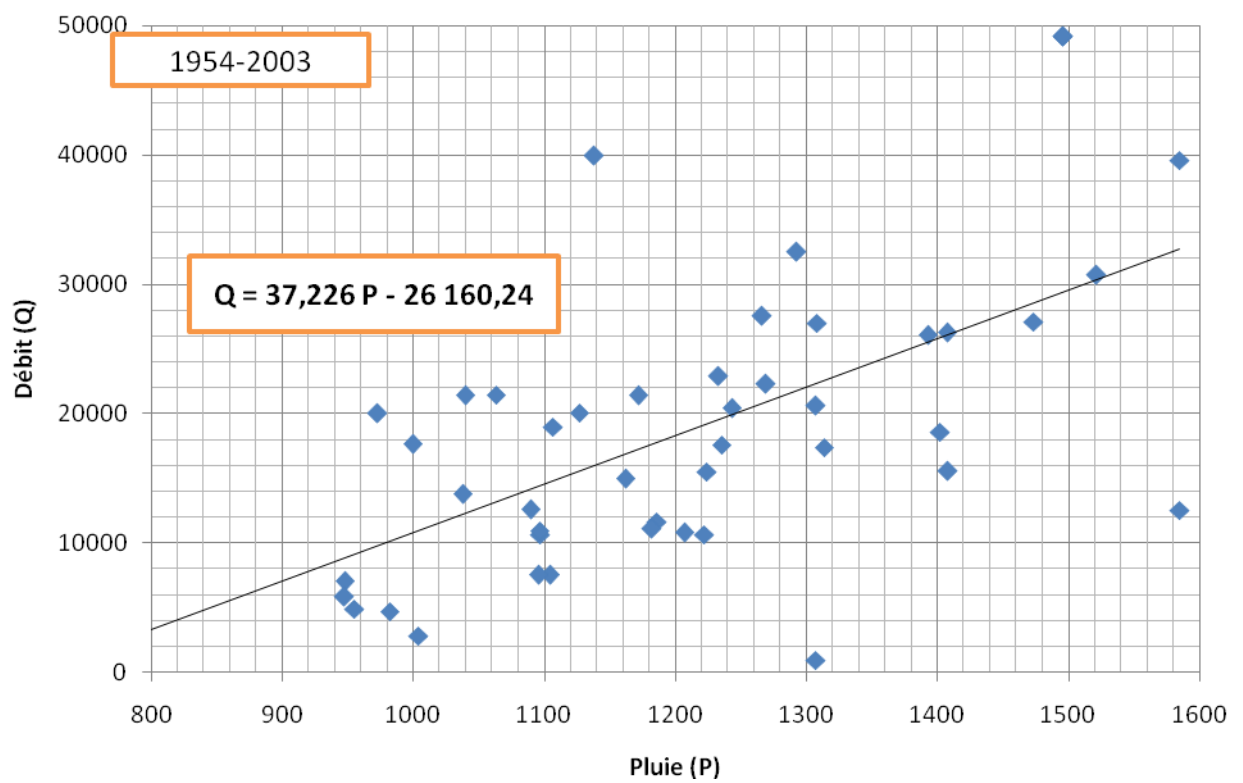
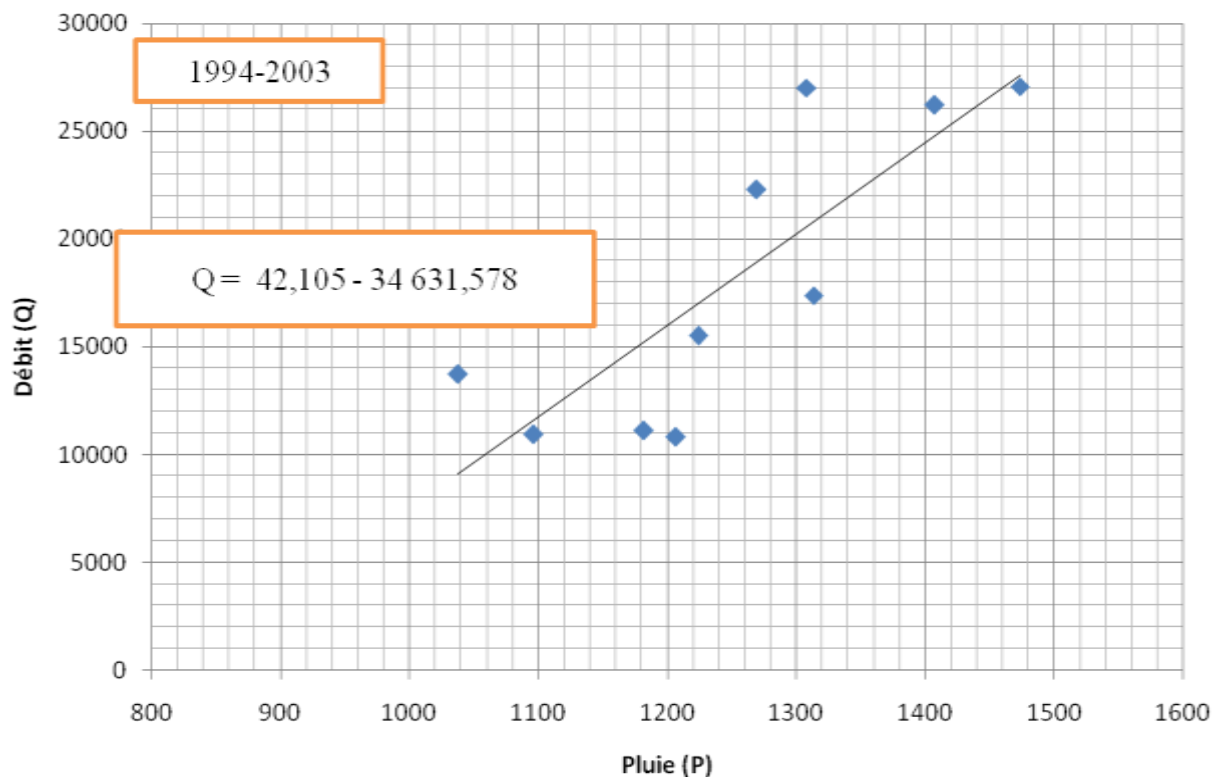


## 2- Vents annuels à Parakou a proximité de Bétérou de 1960 à 2008

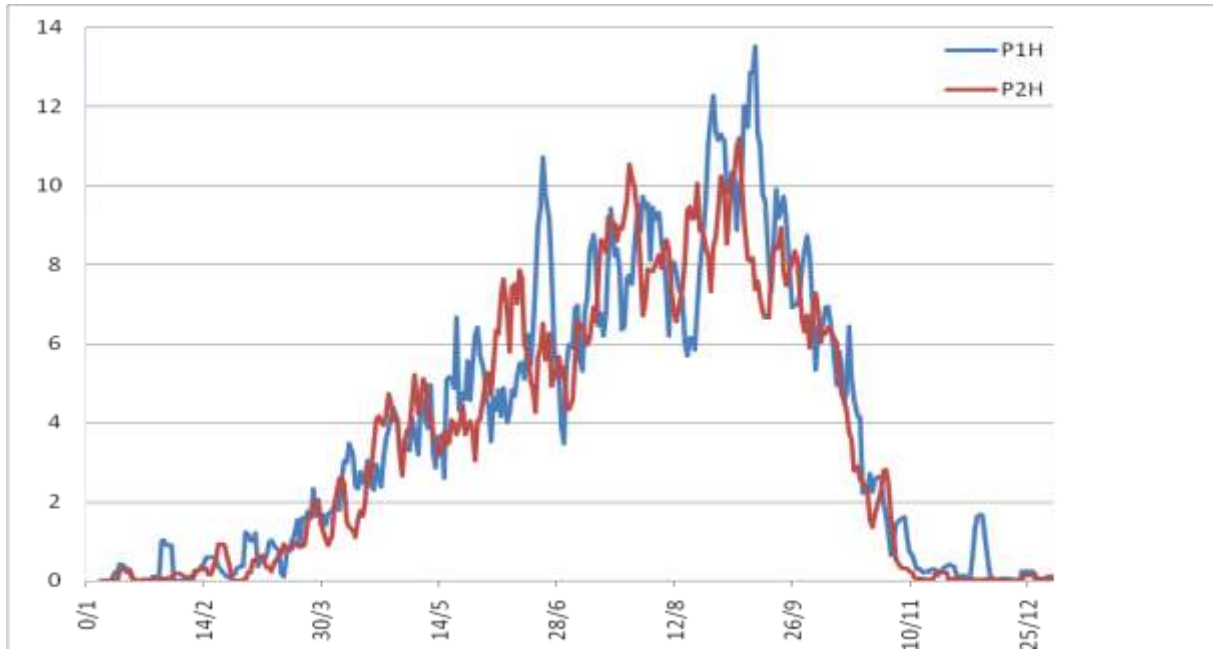


### 3- Rapport pluie-débit en différentes périodes

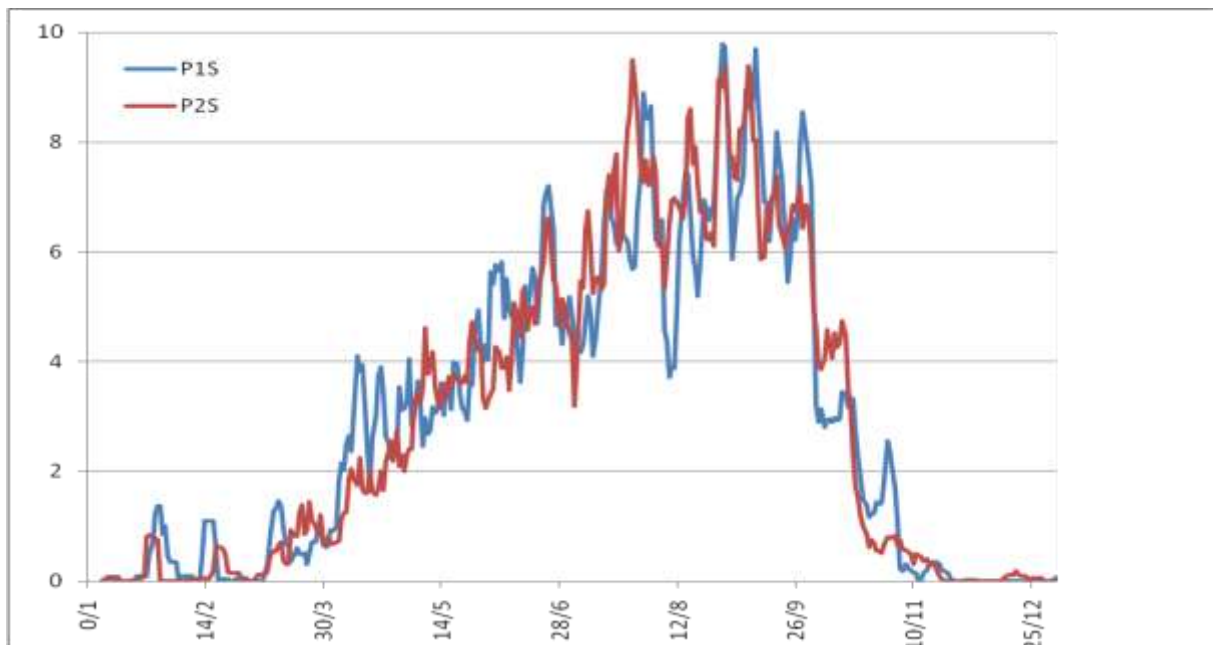




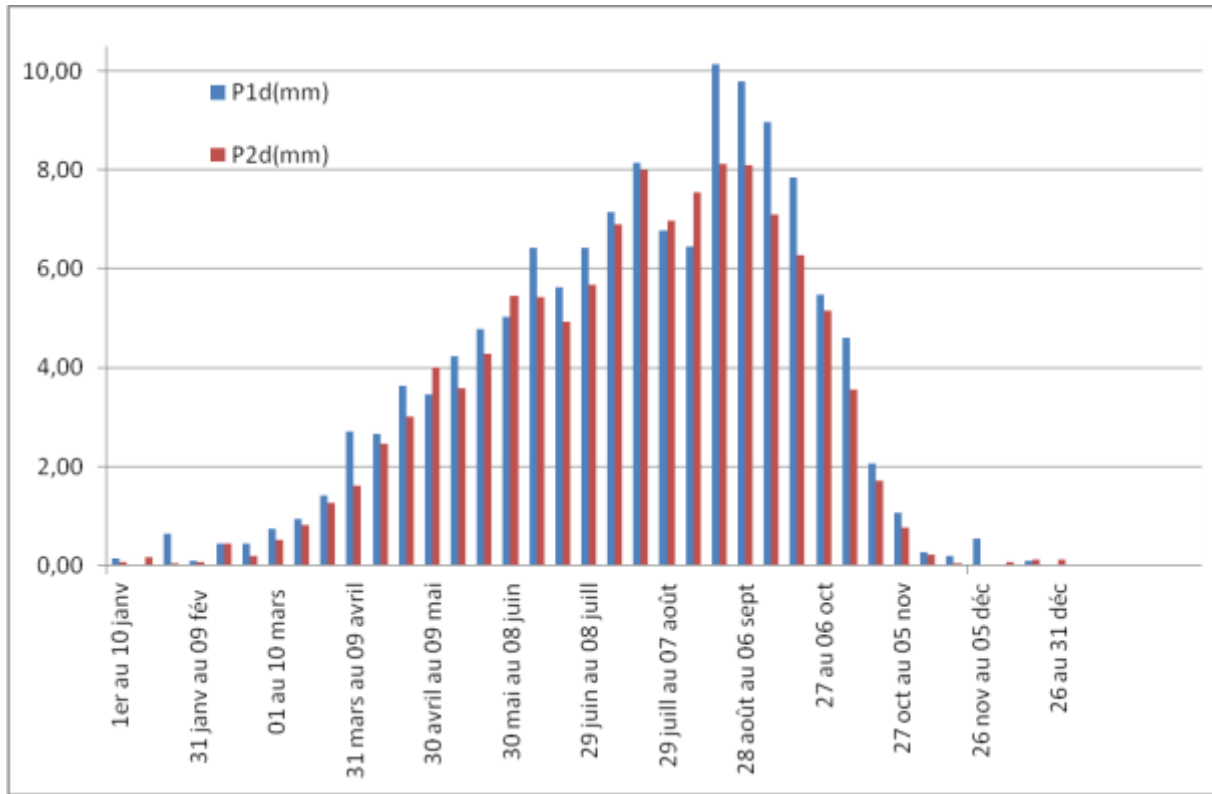
### 3- Cycle saisonnier des précipitation sur Bétérou



Cycle saisonnier des précipitations moyennes sur Bétérou pour les années humides (*P1H*: avant 1970; *P2H*: après 1970)



Cycle saisonnier des précipitations moyennes sur Bétérou pour les années sèches (*P1S*: avant 1970; *P2S*: après 1970)



Cycle saisonnier des précipitations moyennes par décade sur Bétérou de 1954 à 2006 (P1 : avant 1970 et P2 : après 1970)