



**GROUPE DES ÉCOLES  
EIER - ETSHER**

ÉCOLE INTER-ÉTATS D'INGÉNIEURS DE

# L'ÉQUIPEMENT RURAL

03 B.P. 7023 OUAGADOUGOU 03  
BURKINA FASO

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 2003**

Présenté par :

NDIAYE Babacar

## **Impacts du climat et des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun**

MENTION :

**TRES BIEN**

Bénin - Burkina Faso - Cameroun - Centrafrique - Congo - Côte d'Ivoire - Gabon  
Guinée - Mali - Mauritanie - Niger - Sénégal - Tchad - Togo

Encadrement  
F. CRES  
G. MAHE



**ECOLE INTER-ETATS  
D'INGENIEURS  
DE L'EQUIPEMENT RURAL**



**INSTITUT DE RECHERCHE  
POUR LE DEVELOPPEMENT**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 2003**

*Impacts du climat et des  
aménagement  
sur le régime hydrologique  
du Mouhoun*

**Présenté par :**

Ndiaye Babacar

32<sup>ème</sup> promotion EIER

**Encadrement**

F. CRES     EIER  
G. MAHE     IRD

# DEDICACE

A mon affectueuse et combattante mère **MAME SOKHNA NDIAYE**

A mon père qui a tant fait pour moi **DOUDOU NDIAYE**

A tous mes frères et sœurs

A toute ma grande famille

A tous, je dédie ce travail pour m'avoir soutenu moralement et spirituellement.

## REMERCIEMENTS



Au terme de cette étude, je tiens à remercier tout le personnel de l'institut de Recherche pour le Développement (IRD) sise au Burkina Faso.

Je tiens tout particulièrement à exprimer mes sincères remerciements à :

- M Gil MAHE pour son encadrement, sa disponibilité et ses précieux conseils.
- M François CRES
- M Jean Emmanuel PATUREL pour sa disponibilité et sa collaboration.
- Tout le personnel du laboratoire d'hydrologie de l'IRD à l'EIER et particulièrement à M DIARRA gaoussou.
- M Ouattara le Directeur de la Météorologie Nationale du Burkina Faso.
- M Sibiri TRAORE et M Pierre ZOUNGRANA, responsables de la section du Mouhoun à la DGIRH.
- A toute la 32<sup>ème</sup> promotion de l'EIER.



## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>2</b>
<b>PROBLÉMATIQUE</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJECTIFS ET RÉSULTATS ATTENDUS</b> .....	<b>3</b>
Objectifs :.....	3
Résultats attendus :.....	4
<b>MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>4</b>
➤ Collecte des informations et définition des objectifs .....	4
➤ Traitement des données : .....	5
➤ Analyse des résultats : .....	5
<b>CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	<b>7</b>
<b>I.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2 PRÉSENTATION DU BASSIN DU MOUHOUN</b> .....	<b>8</b>
I.2.1 Cadre physique du bassin.....	8
I.2.2 Le réseau hydrographique : .....	9
<i>Le Mouhoun</i> : .....	9
<i>Le Sourou</i> : .....	9
<i>Le Grand Balé</i> : .....	10
<i>La Bougouriba</i> : .....	10
I.2.3 Types de climats :.....	10
I.2.4 La pluviométrie : .....	10
I.2.5 Pédologie et végétation : .....	12
<i>a) Types de sols</i> : .....	12
<i>b) La végétation</i> : .....	14
I.2.6 Aspects sociaux et économiques : .....	16
<i>a) Données démographiques et sociologiques</i> : .....	16
<i>b) Gestion coutumière du foncier</i> : .....	16
<i>c) Gestion coutumière des ressources en eaux</i> : .....	16
I.2.7 Le réseau hydrométéorologique du bassin du Mouhoun.....	17
<i>a) Les stations hydrométriques</i> .....	17
<i>b) les stations météorologiques</i> :.....	17
I.2.8 Les aménagements sur le bassin du Mouhoun.....	18
I.2.9 Fonctionnement hydrologique du cours d'eau Mouhoun avant la construction des aménagements : .....	18

## **CHAPITRE II : PRÉSENTATION DES DONNÉES DE L'ÉTUDE .....23**

### **II.1 DÉFINITION DES DONNÉES DE L'ÉTUDE ..... 23**

### **II.2 ACQUISITION ET PRÉPARATION DES DONNÉES.....23**

II.2.1 Origine des données pluviométriques :..... 23

II.2.2 Origine des données hydrométriques :..... 23

### **II.3 CRITIQUE DES DONNÉES : ..... 24**

### **II.4 CRITÈRES DE CHOIX DES STATIONS : ..... 25**

## **CHAPITRE III : MISE EN ÉVIDENCE DE LA VARIABILITÉ HYDROCLIMATIQUE DANS LA ZONE D'ÉTUDE.....31**

### **III.1 MÉTHODE : ..... 31**

III.1.1 Présentation du logiciel KHRONOSTAT :..... 31

III.1.1.1 *Étude des tendances et de la persistance* : ..... 32

*Test d'autocorrélation* : ..... 32

*Test de corrélation sur le rang* : ..... 32

III.1.1.2 *Détection des ruptures : test de Pettitt* ..... 33

*Principe* : ..... 33

*Formulation* : ..... 34

III.1.1.3 *Détection des ruptures : test de Hubert*..... 34

III.1.2 Autres méthodes utilisées :..... 35

III.1.2.1 *Calcul des déficits* : ..... 35

III.1.2.2 *Utilisation d'indice pluviométrique* : ..... 36

### **III.2 CARACTÉRISATION D'UNE VARIABILITÉ DES PLUIES ANNUELLES.....36**

III.2.1 Évolution de la pluviométrie annuelle :..... 36

III.2.2 Calcul des indices pluviométriques :..... 39

III.2.3 Répartition spatiale :..... 39

III.2.3 Conclusion partielle sur la pluviométrie annuelle :..... 41

### **III.3 ÉTUDE DES PLUIES JOURNALIÈRES MAXIMALES ANNUELLES ..... 42**

III.3.1 Évolution de la pluviométrie journalière maximale :..... 42

### **III.4 CARACTÉRISATION D'UNE VARIABILITÉ DES PLUIES MENSUELLES... 45**

III.4.1 Mois de juillet :..... 45

III.4.2 Mois d'août : ..... 46

III.4.3 Mois de septembre : ..... 47

III.4.4 Conclusion partielle sur la pluie mensuelle :..... 49



<b>III.5 CARACTÉRISATION D'UNE VARIABILITÉ DES MODULES ANNUELS ....</b>	<b>50</b>
III.5.1 Evolution des débits moyens annuels : .....	50
III.5.2 Répartition spatiale pour le module annuel : .....	50
<b>III.6 CARACTERISATION D'UNE VARIABILITE DES DEBITS CARACTERISTIQUES.....</b>	<b>54</b>
III.6.1 Evolution des débits caractéristiques: .....	54
III.6.1.1 Les débits caractéristiques d'étiage DCE : .....	55
III.6.1.2 Les débits caractéristiques de crue DCC : .....	55
III.6.1.3 Autre débit caractéristique d'étiage : le DC11 .....	55
III.6.2 Conclusion partielle sur les débits caractéristiques : .....	57
III.6.3 Prévision des étiages en cours d'année : .....	58
<b>III.7 CONCLUSION : .....</b>	<b>60</b>
<b>CHAPITRE IV : ÉVOLUTION DES NORMES HYDROLOGIQUES : .....</b>	<b>62</b>
<b>IV.1 MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>62</b>
<b>IV.2 TRAITEMENT DES PLUIES ANNUELLES : .....</b>	<b>63</b>
<b>IV.3 TRAITEMENT DES DÉBITS MOYENS ANNUELS : .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.4 TRAITEMENT DES DEBITS CARACTERISTIQUES : .....</b>	<b>71</b>
IV.4.1 Traitement des débits caractéristiques de crue : .....	71
IV.4.2 Traitement des débits caractéristiques d'étiage : .....	71
<b>IV.5 CONCLUSION : .....</b>	<b>75</b>
<b>CHAPITRE V : BILAN HYDROLOGIQUE .....</b>	<b>77</b>
<b>V.1 METHODE : .....</b>	<b>77</b>
<b>V.2 BILAN POUR CHAQUE STATION.....</b>	<b>78</b>
V.2.1 Samandeni .....	78
V.2.2 Nwokuy.....	79
V.2.3 Lery Nord.....	79
V.2.4 Manimenso.....	80
V.2.5 Tenado .....	80
V.2.6 Boromo .....	81
V.2.7 Pont Ouessa.....	81
V.2.8 Dapola.....	81
V.2.9 Noubiel .....	82

V.3 CONCLUSION .....86

**CHAPITRE VI : IMPACTS DES AMÉNAGEMENTS  
SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU MOUHOUN ...88**

VI.1 ÉVOLUTION DES HAUTEURS D'EAU A LERY BARRAGE : .....88

VI.2 VARIATION SAISONNIERE DU NIVEAU D'EAU DANS LE BARRAGE : .....89

VI.3 ÉVALUATION DES LACHÉES DE DEBITS A LERY BARRAGE : .....90

VI.4 CALCUL DE DEFICITS POUR LES DEBITS MENSUELS DE LA SAISON  
SECHE : .....91

➤ Déficit dû à la construction du barrage de Lery en 1976 : .....91

➤ Déficit dû à la construction des ouvrages de dérivation en 1984 : .....93

VI.5 EVALUATION DE L'APPORT DES LACHURES DE LERY BARRAGE SUR  
LES DEBITS DES STATIONS DU MOUHOUN INFERIEUR.....95

VI.6 ESTIMATION DU DEBIT DES STATIONS DU MOUHOUN INFERIEUR S'IL N'  
Y AVAIT PAS LES OUVRAGES : .....96

**CONCLUSION GENERALE .....98**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....100**

**LISTE DES TABLEAUX .....102**

**LISTE DES ILLUSTRATIONS .....103**

**ANNEXES .....104**



## ABRÉVIATIONS

IRD	: Institut de <b>R</b> echerche pour le <b>D</b> éveloppement
SIG	: <b>S</b> ystème d' <b>I</b> nformation <b>G</b> éographique
DGIRH	: <b>D</b> irection <b>G</b> énérale de l' <b>I</b> nventaire des <b>R</b> essources <b>H</b> ydrauliques
DCE	: <b>D</b> ébit <b>C</b> aractéristique d' <b>É</b> tiage
DCC	: <b>D</b> ébit <b>C</b> aractéristique de <b>C</b> ruie
DC 11	: Débit non dépassé pendant 30 jours
A	: <b>A</b> léatoire
NA	: <b>N</b> on <b>A</b> léatoire
Eclt	: <b>E</b> coulement
AV	: <b>A</b> vant rupture
AP	: <b>A</b> près rupture

## **AUTEUR : Ndiaye Babacar**

**Professeur responsable** : François CRES – EIER

**Chef de projet** : Gil MAHE – IRD

**Organisme encadreur** : IRD

**Partenaires associés** : MÉTÉOROLOGIE NATIONALE / DGIRH

### **THÈME :**

**Impacts du climat et des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun**

### **RÉSUMÉ :**

Ce travail s'inscrit dans la problématique de l'identification d'un changement du régime hydrologique du Mouhoun face à deux faits qui sont quelque peu concomitants :

- Le déficit pluviométrique et hydrométrique observé ces 30 dernières années.
- et la construction d'aménagements hydrauliques( barrages et ouvrages de dérivation) sur le cours du Mouhoun qui a priori ont perturbé son régime.

L'application de différentes méthodes statistiques aux séries chronologiques de variables caractéristiques du régime pluviométrique et hydrométrique montre que globalement sur la zone d'étude, ces variables sont en baisses depuis les années 1970. Cependant cette baisse se ressent plus au Nord du bassin et diminue quand on descend vers le sud.

Cette étude s'est intéressée aux limites de notions comme « normes hydrologiques » et « durée de retour » dans une région qui connaît un contexte déficitaire depuis plus de 30 ans.

L'étude de la récurrence des pluies annuelles montre des différences importantes des valeurs fréquentielles calculées selon qu'on considère la période totale, avant ou après la date de rupture.

Les valeurs fréquentielles des séries de débits moyens annuels, de même que les variables caractéristiques des hautes-eaux présentent des résultats similaires à ceux observés sur les pluies annuelles. Les variables caractéristiques des basses eaux sont également touchées avec l'apparition de valeurs nulles pour des fréquences rares. Le calcul du bilan hydrologique au niveau de chaque station nous a permis d'analyser la lame d'eau écoulée et de mener l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau. En effet les effets de la péjoration du climat se manifestent par une réduction des lames d'eau écoulées après la période 1970.

Le calcul des déficits sur le module annuel pour les stations situées juste à l'aval des différents aménagements par rapport à leur date de construction (1976 et 1984) montre que les débits ont remarquablement chutés après ces 2 dates. La hauteur d'eau stockée au barrage de Lery a été multipliée par 5 confirmant ainsi les faibles débits observés en aval après la construction des aménagements. Cependant les lâchures au niveau de Lery barrage permettent au Mouhoun de conserver son caractère de cours d'eau permanent.

**MOTS-CLEFS** : Variabilité climatique, sécheresse, normes hydrologiques, bilan hydrologique, régime hydrologique.

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## INTRODUCTION

Les travaux présentés dans cette étude ont pour ambition d'apporter une contribution hydrologique aux préoccupations des gestionnaires des ressources en eau du Burkina Faso en terme de variabilité hydrologique du Mouhoun qui constitue le plus grand cours d'eau du pays.

Ils s'articulent autour de six grands chapitres :

- ❖ Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude
- ❖ Le second chapitre présente un travail d'acquisition et de reconstitution des données.
- ❖ Le troisième chapitre aborde une mise en évidence de la variabilité hydroclimatique
- ❖ Le quatrième chapitre traite de l'évolution des normes hydrologiques.
- ❖ Le cinquième aborde un bilan hydrologique pour les stations de la zone d'étude.
- ❖ Le sixième et dernier chapitre met en évidence l'impact des aménagements sur le régime du Mouhoun.

A l'issue de tout cela nous donnerons une conclusion générale en dégagant des perspectives.

## PROBLÉMATIQUE

Le Burkina Faso est un pays continental situé en plein cœur de l'Afrique de l'Ouest. Il appartient à l'aire climatique soudanienne. Les principaux cours d'eau rencontrés au Burkina Faso sont le Nakanbé, la Comoé, le Niger, le Mouhoun mais le Mouhoun constitue le plus grand cours d'eau du pays de par sa superficie, sa pérennité et son débit moyen à la sortie du territoire.

La partie supérieure du bassin du Mouhoun est très anthropisée et on y trouve de nombreux aménagements.

On note également la présence de certaines stations de pompage pour l'adduction d'eau potable en différents endroits du Mouhoun notamment à Tenado et à Poura.

Face à l'importance d'un tel cours d'eau, il est nécessaire voire incontournable d'étudier et de bien cerner son régime hydrologique.

Ce thème de mémoire vient s'inscrire dans cette perspective en étudiant le régime hydrologique du Mouhoun sous deux angles :

- Le premier angle est d'étudier l'impact du climat sur le régime du Mouhoun notamment avec les conditions de sécheresse depuis plus de 30 ans.
- Le second angle est d'étudier l'impact des aménagements notamment le barrage de Lery et les ouvrages de dérivation installés à l'amont de la confluence du Mouhoun avec le Sourou sur le régime du Mouhoun.

## OBJECTIFS ET RÉSULTATS ATTENDUS

### Objectifs :

L'IRD dans le cadre de son plan d'action a entrepris des études sur la problématique de la conservation des milieux riverains du Mouhoun. Ces études se dérouleront dans la partie inférieure du bassin du Mouhoun qui, signalons le, est couverte de nombreuses forêts classées.

Elles seront menées par un stagiaire de DEA français encadré par une équipe de l'IRD . C'est dans cette optique que l'IRD a demandé une collaboration sur le thème de l'hydrologie du Mouhoun par le biais d'un sujet de mémoire de fin d'étude à l'EIER .

Cette étude vise :

- A approfondir la connaissance sur la variabilité spatiale et temporelle de la pluviométrie sur le bassin du Mouhoun
- A déterminer l'impact du climat sur le régime du Mouhoun
- A approfondir la connaissance sur la variabilité spatiale et temporelle du régime hydrologique du Mouhoun.
- A spécifier l'impact du barrage du Sourou sur le régime hydrologique du Mouhoun.

**Résultats attendus :**

A l'issue de cette étude, les résultats obtenus devront permettre de donner des précisions sur le régime du fleuve dans la zone d'étude et plus particulièrement dans la zone étudiée par l'autre équipe notamment en terme :

- D'évolution des débits moyens annuels
- D'évolution des valeurs extrêmes des hautes et basses eaux
- D'évolution de la pluviométrie annuelle et mensuelle.
- D'évolution des coefficients d'écoulement
- Répartition spatiale des variabilités observées sur la pluie annuelle et les modules annuels

**MÉTHODOLOGIE**

Pour mener à bien cette étude et atteindre les objectifs et résultats attendus, nous avons adopté la démarche suivante :

➤ **Collecte des informations et définition des objectifs**

*Recherche documentaire :*

Dans un premier temps il a fallu s'imprégner du sujet en consultant tous les documents relatifs au sujet. Il a s'agit en fait de consulter :

- Les rapports et mémoires antérieurs traitant d'un sujet similaire
- Les publications de l'IRD sur l'hydrologie en général et sur le Mouhoun en particulier
- La carte de la zone d'étude.



*Collecte de données :*

La majeure partie des données de l'étude existait déjà dans la base de données de L'IRD ; néanmoins il a fallu compléter ces données pour les années 2000, 2001, 2002 .

Les données collectées sont d'ordre :

- Pluviométrique auprès de la direction générale de la Météorologie basée à Ouagadougou
- Hydrométrique auprès de la DGIRH

*Visite de terrain :*

Nous avons effectué une visite de quelques jours sur le terrain et plus précisément à Boromo avec l'autre équipe.

Ceci nous a permis tout d'abord de nous familiariser avec les lieux ensuite de prendre contact et de discuter avec le responsable des eaux et forêts de Boromo ; de bien discuter avec l'autre équipe afin de bien cerner leurs attentes.

➤ **Traitement des données :**

Après avoir constitué la banque des données qui entreront dans le cadre de l'étude, nous avons dans un premier temps appliqué des tests statistiques à l'aide du logiciel KHRONOSTAT afin de déterminer les ruptures statistiques et scinder les données en sous séries de moyennes statistiquement différentes.

Il s'agit :

- Des tests de vérification du caractère aléatoire ou non de la série,
- Des tests de détection de rupture au sein de la série.

Dans un second temps, nous avons réalisé un ajustement d'une loi de probabilité théorique à la distribution de fréquence de l'échantillon sélectionné à l'étape précédente et on a calculé les variables pour des fréquences de retour choisies, avant et après la rupture.

➤ **Analyse des résultats :**

Dans un premier temps il s'agit d'une analyse statistique des résultats en tenant compte de deux facteurs : le temps et l'espace.

Pour mieux appréhender l'évolution du régime hydrologique du Mouhoun en fonction du climat, un ensemble de représentations cartographiques est utilisé pour visualiser les différents résultats.

CHAPITRE I

**PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

## CHAPITRE I: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### I.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le Burkina Faso est composé de quatre grands bassins versants qui sont :

- Le bassin du Niger
- Le bassin du Nakanbé
- Le bassin du Mouhoun
- Et le bassin de la Comoé

Notre zone d'étude s'intéressera uniquement au bassin du Mouhoun qui s'inscrit entre 5° et 2° de longitude Ouest, et entre 9° et 14° de latitude Nord.

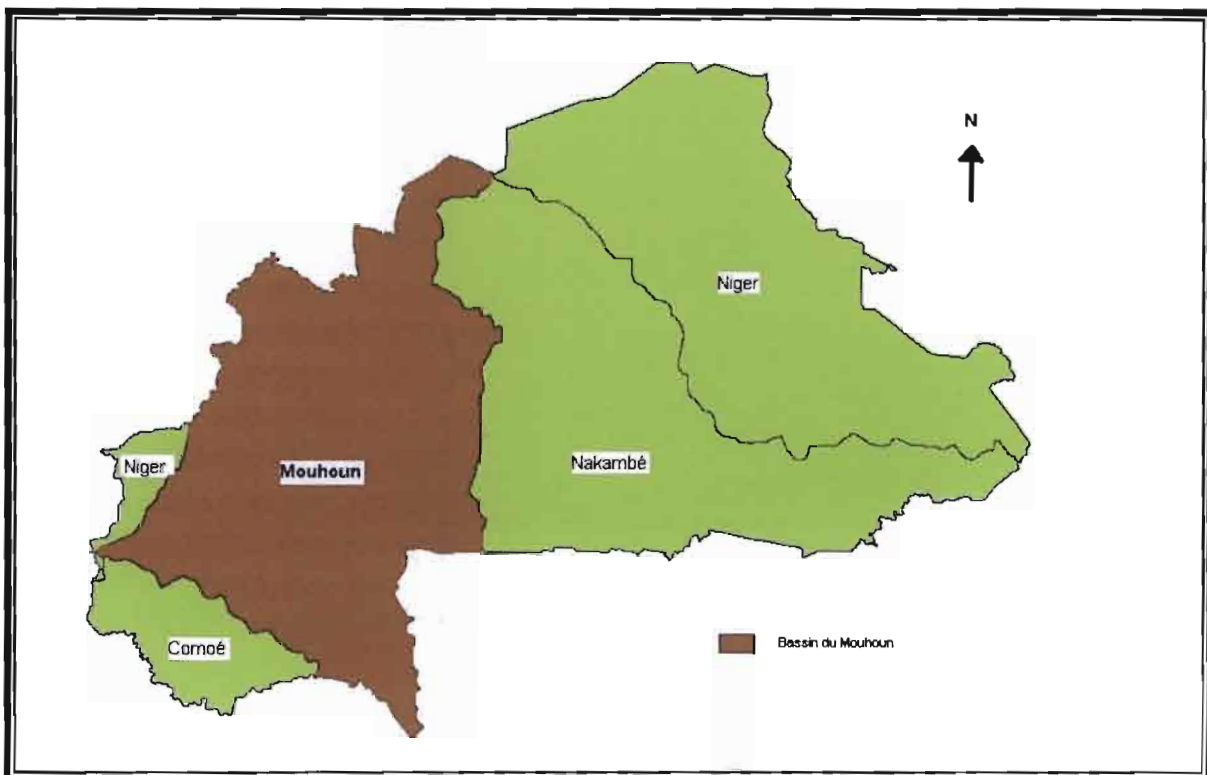


Figure I.1 : Carte de situation du bassin du Mouhoun

## I.2 PRÉSENTATION DU BASSIN DU MOUHOUN

### I.2.1 Cadre physique du bassin

Le bassin du Mouhoun fait partie du grand bassin international de la volta, avec une superficie de 91 036 km<sup>2</sup> dans sa partie au Burkina Faso. L'altitude minimale approximative du bassin est de 60 m et l'altitude maximale de 500 m. Plus de la moitié du bassin et à des altitudes comprises entre 200 et 300 m et 87 % de la superficie correspondent à des altitudes comprises entre 200 et 400 m. c'est également le bassin national qui englobe le plus grand nombre des eaux et forêts classées.

Le bassin du Mouhoun est constitué de 3 sous bassin (figure I.2.1) :

- Le sous bassin du Sourou au Nord avec une superficie de 15 256 km<sup>2</sup>.
- Le sous bassin du Mouhoun inférieur à l'Est avec une superficie de 54 802 km<sup>2</sup>
- Et le sous bassin du Mouhoun supérieur à l'Ouest avec une superficie de 20 978 km<sup>2</sup>.

L'indice global de pente du bassin est de 0,28 m/km.



Figure I.2.1 : Sous bassins versants du bassin du Mouhoun

### **I.2.2 Le réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique du bassin Mouhoun est dense et est constitué de cours d'eau d'importance capitale pour le pays.

#### *Le Mouhoun :*

Le Mouhoun draine au total une superficie de 113038 km<sup>2</sup> et prend sa source à 70 km au sud Ouest de Bobo Dioulasso à l'altitude 500 m. Se dirigeant d'abord vers le Nord, il passe à la station de Guena, puis incline son cours vers le Nord-Ouest. En parcourant les 67 premiers kilomètres de son cours, le Mouhoun perd 180 m d'altitude. La pente moyenne de son lit sur ce secteur est de 2,69 m/km.

Le Mouhoun coule ensuite suivant une direction Nord-est jusqu'à recevoir à sa droite le Kou qui est son premier affluent important de rive droite venant du sud. Sur un tronçon de 106 km le Mouhoun a perdu 40 m d'altitude la pente moyenne de son lit dans ce bief atteint donc 0,376 m/km.

Le Mouhoun va continuer à couler direction Nord-est jusqu'à sa confluence avec le Sourou. De la confluence du Kou à la confluence du Sourou le Mouhoun a perdu 29 m d'altitude ; sa pente moyenne est alors de 0,14 m/ km.

A partir de la confluence du Sourou il coule suivant une direction sud-est. Son cours a donc obliqué de 90° vers la droite. 66 km plus loin il amorce une série de méandres qui vont faire prendre à son cours la direction générale Nord-sud en passant par les stations de tenado, Boromo, Poura, Ouessa, jusqu'au barrage de Noubiel. Au km 893, le Mouhoun quitte le Burkina pour tenir lieu de frontière entre la Côte d'ivoire et le Ghana. De la confluence du Sourou au barrage du Noubiel le Mouhoun a perdu 38 m d'altitude ; sa pente moyenne est alors de 0,077 m/km.

Le long de ce parcours le Mouhoun a reçu tant sur sa droite que sur sa gauche des affluents tels que le Vranso, le Grand Balé, le Bougouriba, le Poni, dont les crues sont violentes mais les débits intermittents.

#### *Le Sourou :*

Le Sourou draine du Nord vers le sud, la plaine du GONDO qui s'étend au Nord de la boucle du Mouhoun. Il est probable que primitivement, le cour supérieur du Mouhoun alimentait une vaste zone située dans la plaine du GONDO. Cette vaste zone a finalement été captée ou a trouvé un exutoire lors d'une très forte crue ancienne et en se vidant, cette zone a crée le Sourou. Il est à noter qu'en remontant le Sourou sur 185 km de son cour actuel depuis le confluent on ne note pas de dénivelée sensible.

*Le Grand Balé :*

C'est un cours d'eau non permanent qui prend sa source à l'est de satiri. Il s'écoule d'abord du Sud-Ouest au Nord est ensuite du Nord-Ouest au sud est jusqu'à sa confluence avec le Mouhoun en rive droite.

*La Bougouriba :*

La Bougouriba prend sa source à plus de 300m d'altitude à une cinquantaine de km au sud de Bobo. Il s'étire sur 406 km en décrivant d'abord une large boucle vers le sud qu'il termine à la station de Dan à une altitude de 247 m, puis une large boucle vers le Nord. A 250 m d'altitude, il passe par la station de Diebougou, puis par un cours très sinueux, il se jette dans le Mouhoun à une altitude de 230 m.

Sa pente est régulière, mais un peu plus forte dans son cours inférieur que dans son cours supérieur (0,369 m/km contre 0,133 m/km).

**1.2.3 Types de climats :**

Le bassin du Mouhoun de par sa situation balaie toutes les trois zones climatiques du Burkina Faso (voir figure 1.2.3, après 1970) qui sont :

- La zone sahélienne : délimitée au Sud par l'isohète 600 mm, elle s'étend jusqu'au Nord du pays. Elle est caractérisée par une pluviométrie annuelle faible pouvant descendre parfois jusqu'à 150 mm et par une saison des pluies parfois inférieure à 2 mois. Les températures sont plus élevées dans cette zone.
- La zone soudano-sahélienne : elle est comprise entre les isohyètes 600 et 900 mm et s'étale sur tout le Nord du bassin. La saison des pluies varie entre 4 et 5 mois.
- La zone soudanienne : limitée au Nord par l'isohyète 900 mm elle couvre tout le sud du bassin. Elle est caractérisée par des pluies relativement abondantes allant jusqu'à 1300 mm avec des températures moyennes relativement basses.

**1.2.4 La pluviométrie :**

Elle est très variable et inégalement répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps. Du point de vue, spatiale elle diminue de la zone soudanienne à la zone sahélienne (figure 1.2.4). Du point de vue temporel, les précipitations sont concentrées sur une partie de l'année avec un raccourcissement des saisons des pluies du Sud au Nord.



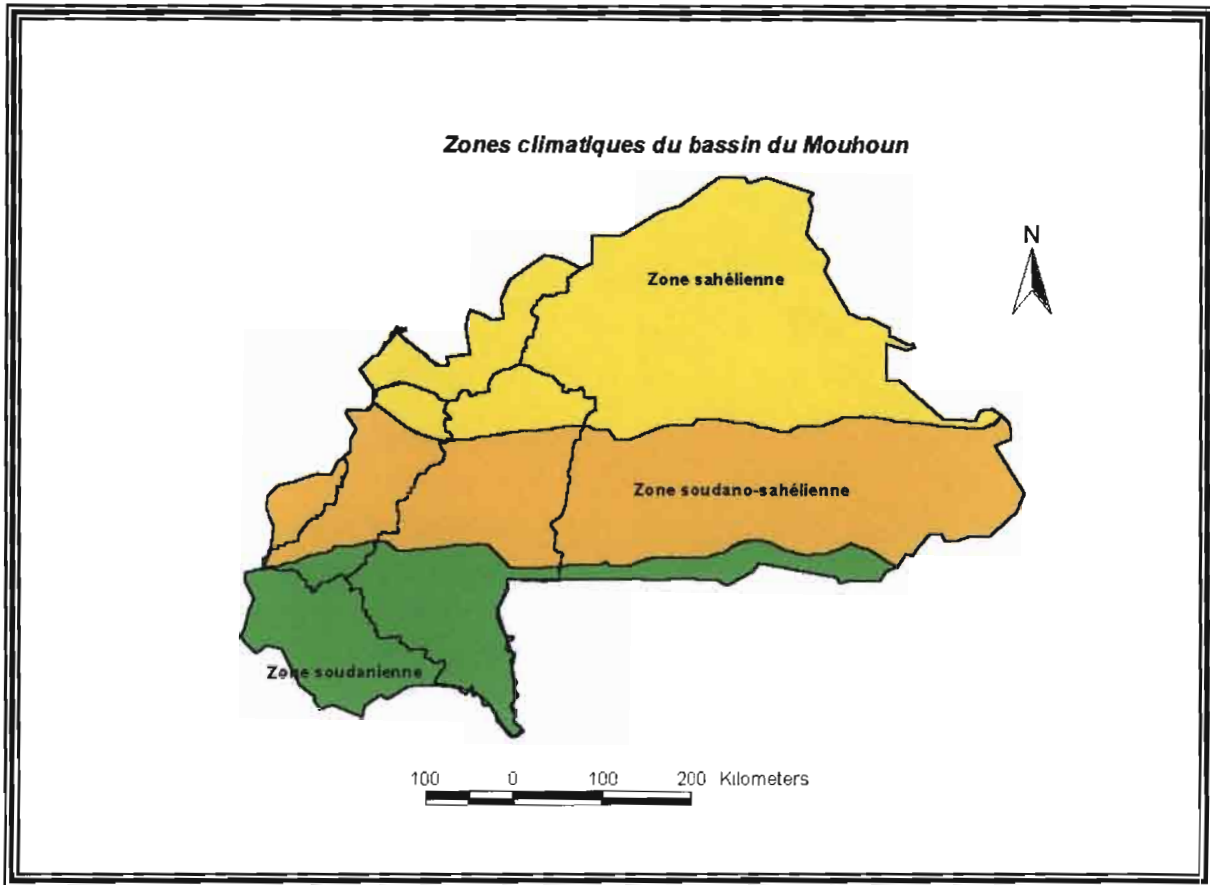


Figure I.2.3 : Type de climat dans la zone d'étude

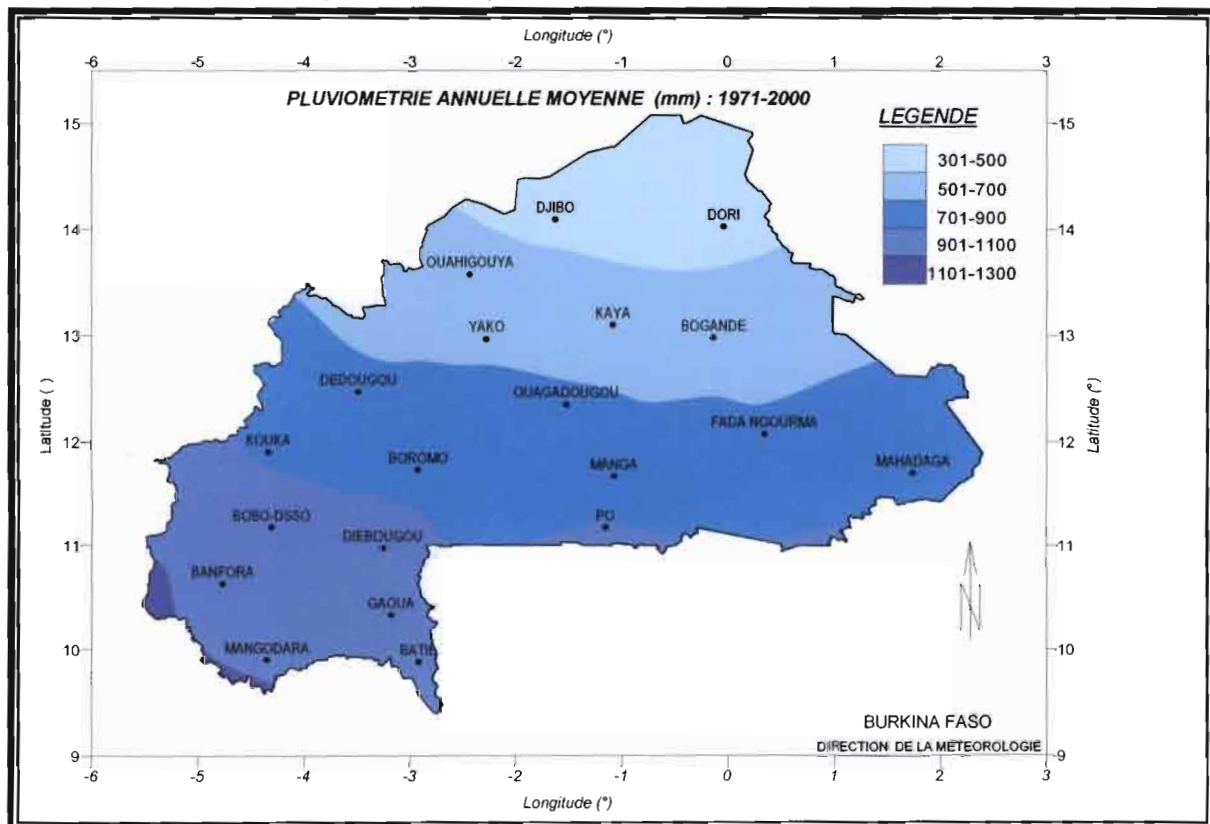


Figure I.2.4 : Pluviométrie annuelle moyenne en mm

### **I.2.5 Pédologie et végétation :**

Les renseignements rangés dans ce paragraphe sont tirés de la monographie hydrologique de l'ORSTOM N° 5, le bassin du fleuve Volta (MONIOD et al.).

#### *a) Types de sols :*

##### *Les sols peu évolués d'érosion d'origine non climatique :*

Ce sont des sols jeunes ou rajeunis, dont le pédoclimat permet cependant l'évolution. Ce sont des sols régiques développés sur un substrat permettant la pénétration des racines. Les sols régiques, sur matériau gravillonnaire, sont abondamment représentés dans le bassin au Nord de la ligne Boromo-Ouagadougou.

##### *Les vertisols :*

Ce sont des sols à teneurs en argile élevées plus de 40% où dominant fréquemment des argiles gonflantes (montmorillonite). Ces caractères joints à ceux du climat déterminent des alternances de gonflement et de retrait provoquant des mouvements internes. On distingue des vertisols topomorphes, à drainage externe nul, qui, formés en zone plane ou déprimée, subissent une hydromorphie d'origine topographique, et les vertisols lithomorphes assainis par un drainage externe suffisant : leur hydromorphie d'engorgement est d'origine pétrographique.

Les vertisols topomorphes se rencontrent dans la vallée de Gondo en rive droite du Sourou. Ils se développent sur alluvions argileuses.

Les vertisols lithomorphes sont essentiellement localisés dans la partie occidentale de la plaine du Gondo, en rive gauche du Mouhoun aux alentours de Ouessa

La richesse minérale de ces sols est élevée : ils ont un haut potentiel de fertilité chimique ; mais leur structure est très souvent le véritable facteur limitant de leur fertilité, en posant le problème du travail du sol. L'eau a un double rôle dans la fertilité de ces sols, le plus souvent par son excès (engorgement), parfois par son manque ; dans les vertisols à faciès solonetzique, c'est le mauvais drainage qui est le facteur limitant de la fertilité. Enfin l'alcalinisation aggrave le problème de l'eau dans les vertisols en les rendant parfois presque totalement imperméables.

*Sols à mull des régions tropicales :*

Ils sont représentés par les sols bruns eutrophes tropicaux ; ils ont un humus doux, bien lié à la matière minérale, à complexe absorbant bien saturé en bases alcalino-terreuses.

Ils se développent assez largement dans le bassin du Bougouriba, du Bambassou et dans la boucle du Mouhoun.

*Sols à sesquioxydes et à matière organique rapidement minéralisée :*

Ce sont les sols ferrugineux tropicaux.

On distingue tout spécialement les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur sables éoliens qui forment une ceinture quasi continue en zone sahélienne et sahélio-soudanienne. A faciès modal, ils sont cultivables lorsque la pluviométrie est suffisante : leur texture sableuse leur confère des propriétés physico-chimiques particulières et limite leur vocation aux cultures adaptées aux sols légers. Les sols ferrugineux peu lessivés et peu différenciés sont généralement réservés au pâturage.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés occupent la partie sud du bassin du Mouhoun vers Dapola. Ils sont très riches en sesquioxydes de fer individualisés, caractérisés par leur couleur rouge.

*Les sols ferrallitiques :*

Qui sont caractérisés par une faible capacité d'échange, la quantité de bases échangeables faible, un degré de saturation généralement faible à très faible et un pH acide. On les retrouve essentiellement à l'ouest de Bobo Dioulasso.

*Les sols hydromorphes minéraux :*

Dont l'engorgement plus ou moins prolongé de l'eau se traduit par diverses manifestations dans le profil de couleur en relation avec la réduction du fer et du manganèse. On retrouve ce type de sol dans la vallée du Mouhoun, en aval du Sourou, dans le nord-ouest du bassin, c'est à dire en rive gauche du Mouhoun en amont de la boucle, dans la région du lac de Bam.

*b) La végétation :*

On peut distinguer dans le bassin du Mouhoun deux grands types de végétation (Voir annexe 3) :

- Les forêts claires de type relativement sec
- Les forêt claires mais de type relativement humide

*Les forêts claires relativement sec :*

On y distingue le secteur soudanien septentrional dans le bassin du Sourou, puis le secteur médio-soudanien qui occupe la boucle du Mouhoun.

C'est le domaine de la forêt savane xérophile, formation où les essences arbustives dominent. Elles sont en générale buissonnantes. La hauteur et la densité de la végétation augmente vers le sud ; à la limite méridionale de la zone on trouve déjà de nombreux arbres. Dans l'ensemble l'aspect de cette végétation est touffu, hérissé sinon armé.

Sous l'action de l'homme, cette savane prend l'aspect d'une garrigue aux buissons bas, formants des fourrés, entre lesquels poussent des graminées en tapis discontinu. Ailleurs c'est un maquis déjà plus élevé, plus dense et plus serré ; il comporte encore cependant des massifs impénétrables d'arbustes et de buissons, mais les espaces intermédiaires sont généralement garnis de buissons isolés et bas. Quand ces bosquets d'arbustes se rejoignent entre eux en une forêt basse, touffue, c'est le hallier. Généralement très fortement dégradé par l'homme et les feux, cette brousse passe, suivant l'intensité de la dégradation, du hallier au maquis, du maquis à la garrigue et , au terme ultime, à une savane secondaire où les graminées ont remplacé les essences ligneuses. Sous ces climats, toute destruction du couvert entraîne bien souvent la destruction du sol lui-même qui, par la suite, devient à peu près totalement impropre à la régénération de la végétation.

Ces formations végétales se rencontrent dans les régions recevant plus de 500 mm de pluie par an et soumises en période sèche à l'effet desséchant de l'harmattan. La saison sèche y dure 7 à 8 mois.

Dans la forêt savane, les espèces principales appartiennent aux Moracées avec de nombreux ficus, aux Mimosacées avec de nombreux Acacias, aux Combretacées très nombreuses, aux Rubiacées, etc....

La flore ligneuse plus ou moins arborescente de la forêt savane xérophile, compte environ 80 espèces. Ce sont surtout des espèces non grégaires dont les plus marquantes sont le Karité, le Kapokier et peut être le Baobab, bien que ce dernier ait une aire très étendue.

*Les forêts claires de type relativement humide :*

Le secteur soudanien méridional est occupé par la forêt-parc savane.

Les formations de la forêt parc savane font suite insensiblement à celles des maquis savanes.

Des maquis et halliers aux formes buissonnantes, on en arrive à des formes de végétation où domine l'arbre de belle venue. La végétation primitive couvre le terrain sous forme de forêt claire. Mais l'action de l'homme se manifeste ici par une dégradation générale qui n'épargne que les seuls coins les plus arides, non utilisables en culture, où la forêt primitive est pauvre et plus xérophile. Dans les régions de culture, il reste donc quelques résidus de forêt sur des sols secs et pauvres, latéralisés ou rocheux. Le sous bois y est à peu près inexistant, car il est plus ou moins ravagé par le passage de feux rapides qui consume une herbe courte et claire.

Lorsque la forêt primitive a pu se maintenir en quelques lambeaux sur des terres riches, le sous bois est plus dense. Les bas fonds, tardivement ressuyés après la saison des pluies, portent des savanes primaires de graminées. Enfin, dans les endroits découverts s'étendent de vastes prairies à graminées. En réalité on rencontre les effets de la dégradation à chacun de ces stades, de la forêt claire à la savane herbeuse.

Lorsque les arbres dominants sont des palmiers (Rôniers ou Elæis) le faciès palmeraie s'établit ; et quand les défrichements font disparaître les taillis, un certain nombre d'arbres utiles sont conservés (palmiers, Kapokiers, Karités, Baobabs) et c'est la forêt claire verger. Dans ces formations, les herbes forment un tapis à peu près continu entre les fourrés.

On passe ensuite progressivement à une forêt claire où les arbres deviennent de plus en plus élevés et développés, c'est la forêt savane. Celle-ci devenant plus serrée en descendant vers le sud, le taillis lui même étouffé disparaît et on passe à la forêt-parc où les herbes ne se rencontrent plus que dans les clairières naturelles.

Mais cette forêt claire, détruite dans sa plus grande partie, est réduite à l'état de boqueteaux isolés dans l'immenses savanes à graminées, parsemées de quelques arbres épars. Par leur action répétée, les feux de brousse ont appauvri la forêt qui disparaît au profil de la savane.

Dans l'ensemble tout un lot de plantes plus xérophiles que les espèces initiales pénètrent ainsi en forêt-parc. C'est dans ces conditions que nombre d'essences des régions de savane armée sahélienne se trouvent dans le maquis-savane et que de nombreuses espèces émigrent de la forêt xérophile-savane à la forêt parc. Comme se sont souvent des espèces grégaires qui émigrent de la sorte, la friche abandonnée est parfois complètement repeuplée par une ou deux espèces seulement.

### **I.2.6 Aspects sociaux et économiques :**

Les informations présentées dans ce paragraphe proviennent de la version finale du rapport de la DGH sur « l'Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion » (Mai 2001).

#### *a) Données démographiques et sociologiques :*

La population du bassin du Mouhoun est de 3 693 607 habitants en 1996, avec une densité de 41 habitants / km<sup>2</sup>. La population présente une très grande diversité, mais les groupes ethniques les plus importants sont les Bobo, les Marka, les Samo, les Dagara, les Gourounsi, les Pougouli, les Lobi, les Birifor et les Sénoufo. Il faut ajouter un grand nombre de Mossi localisés dans les hauts bassins et ensuite un certain nombre de peuls qui sont soit des éleveurs sédentaires, soit des éleveurs transhumants.

#### *b) Gestion coutumière du foncier :*

La stratification de la société conditionne le régime foncier. Il est basé sur le droit d'appropriation collective réparti entre les lignages fondateurs du village et le droit d'usage temporaire ou permanent de la terre attribué à un individu. Le droit d'appropriation des terres du lignage est administré par le chef de lignage sous l'autorité morale du chef de terre. La terre est inaliénable, l'appropriation individuelle n'existe pas et les droits fonciers ne peuvent se perpétuer qu'avec le groupe social.

Les règles foncières coutumières donnant un droit d'usage de la terre à l'autochtone comme à l'étranger et le sens profond perçu par chaque habitant d'appartenir à sa communauté villageoise restent à peu près inaltérés.

#### *c) Gestion coutumière des ressources en eaux :*

Le droit de « possession » de l'eau est similaire à celui de la terre : c'est un droit collectif et d'accès libre. Chaque village a sa « tranche » de fleuve, ses mares, etc.

Les procédures coutumières de contrôle et de pré-partage des ressources halieutiques (réglementations des périodes de pêche par exemple) constituent des stratégies de protection des privilèges coutumiers des autochtones « possesseurs », mais elles n'excluent pas les étrangers.



### **I.2.7 Le réseau hydrométéorologique du bassin du Mouhoun**

#### *a) Les stations hydrométriques*

Le réseau hydrométrique du bassin du Mouhoun est composé de 28 stations de mesure réparties sur l'ensemble du bassin. Les paramètres mesurés au niveau de ces stations sont :

- Le débits des cours d'eau
- Le niveau des lacs et des cours d'eau
- Le niveau piézométrique des nappes souterraines
- Les transports solides et sédiments
- La qualité chimiques des eaux
- La température de l'eau

#### *b) les stations météorologiques :*

Ce sont les réseaux constitués de stations auxquelles on mesure les facteurs climatiques suivantes :

- Les températures
- Les précipitations
- L'humidité
- L'insolation
- La nébulosité
- Le rayonnement
- L'évaporation
- Le vent
- La pression

Il y a quatre types de stations météorologiques :

- Les stations synoptiques
- Les stations agrométéorologiques
- Les stations climatologiques
- Et les stations pluviométriques.

Les listes des stations hydrométriques et météorologiques de la zone d'étude sont présentées en annexe 2.

### **1.2.8 Les aménagements sur le bassin du Mouhoun**

Le bassin du Mouhoun contenant le cours d'eau le plus important du pays a vu naître en son sein différents types d'aménagements hydrauliques. On peut citer :

- La station de pompage de Poura
- La station de pompage de Tenado
- Le barrage de Yaran
- Le barrage de Lery (en 1976)
- Les ouvrages de dérivation juste avant la confluence du Mouhoun avec le Sourou (en 1984)

Dans le cadre de cette étude nous n'analyserons que les impacts du barrage de Lery et des ouvrages de dérivation sur le régime hydrologique du Mouhoun.

### **1.2.9 Fonctionnement hydrologique du cours d'eau Mouhoun avant la construction des aménagements :**

Le principal affluent du Mouhoun est le Sourou, rivière à pente peu accusée, qui draine l'ancienne plaine lacustre du Gondo dont le bassin versant est de 15 256 km<sup>2</sup>. Ce bassin presque totalement sahélien ne produit que de faibles écoulements. A l'état naturel lors des crues, le Mouhoun alimentait le Sourou dont le cours s'inversait en raison de sa pente extrêmement faible ; à la décrue, le Sourou reprenait son sens d'écoulement normal et alimentait le Mouhoun.

#### *Construction du barrage à Lery en 1976 :*

En 1976 pour des besoins d'irrigation dans la vallée du Sourou un barrage a été construit à Lery village situé juste à l'amont de la confluence du Sourou avec le Mouhoun. L'objectif était de stocker les eaux drainées par le Sourou.

Mais il s'est avéré que le volume stocké était insuffisant par rapport au besoin d'irrigation ; en effet la hauteur d'eau dans le barrage se retrouvait en dessous du niveau de référence de l'échelle de lecture ce qui donnait des hauteurs d'eau négatives dans les fichiers de relevés Ceci a amené les aménageurs à construire un second aménagement sur le Mouhoun à l'amont de la confluence du Mouhoun avec le Sourou.

*Construction des ouvrages de dérivation et de contrôle en 1984 :*

En 1984 un canal de dérivation a été aménagé sur le Mouhoun pour dévier toute son eau vers le barrage de Lery. Pour cela un barrage en terre a été réalisé juste avant la confluence du Mouhoun avec le Sourou afin de relever le niveau de l'eau, qui ensuite est acheminée à travers un canal.

Cette déviation a permis de stocker 250 millions de m<sup>3</sup> dans le barrage de Lery. Pour éviter d'inonder les villages environnants et de maintenir un débit à l'aval de la confluence, le surplus est restitué au moyen de quatre vannes de dimensions (4mx2m) qui passe par Lery nord avant de se déverser dans le Mouhoun inférieur.

*Les deux ouvrages sont représentés sur la figure 1.2.8*

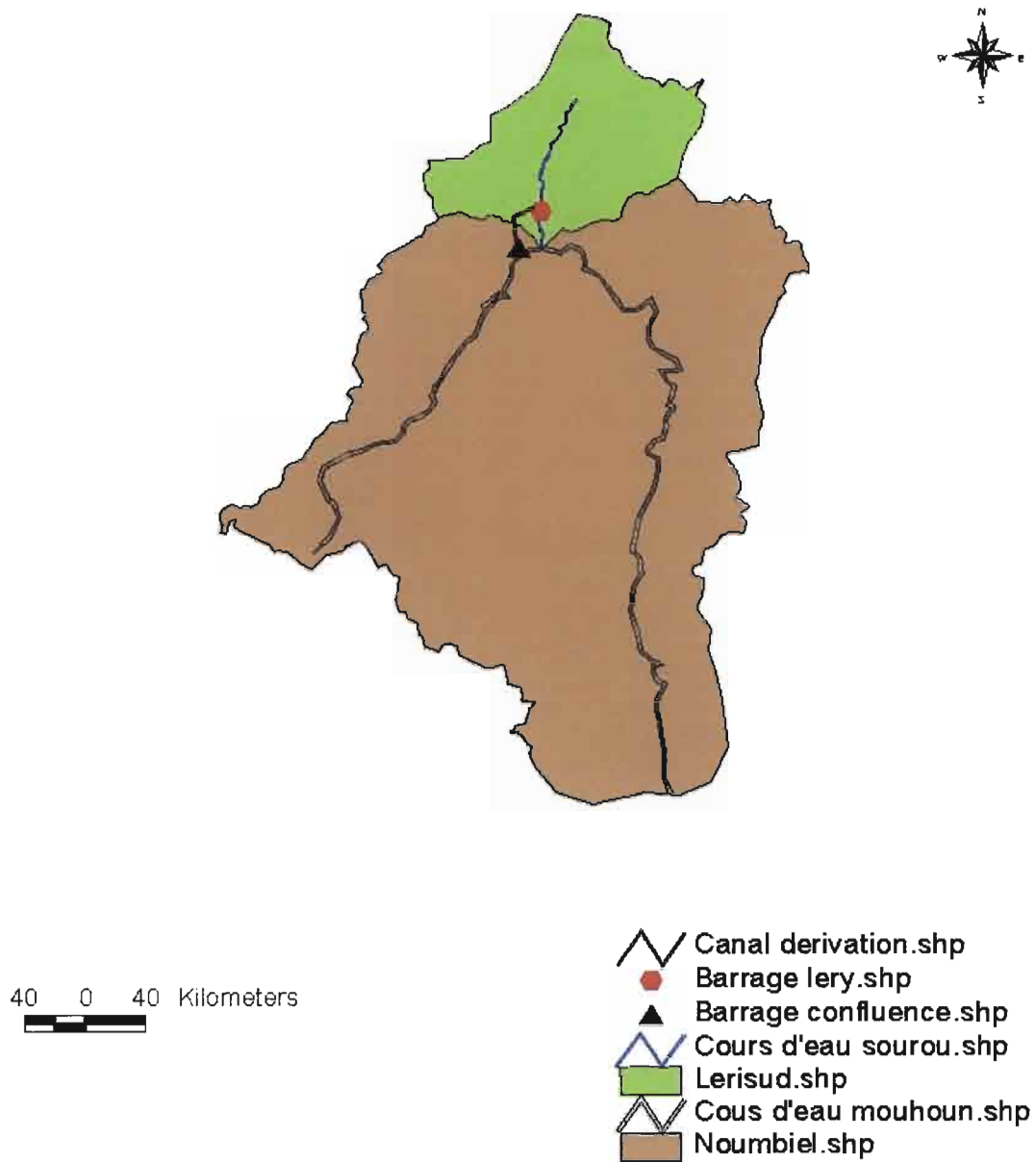


Figure I.2.8 : Représentation des ouvrages de dérivation et du barrage de Lery

CHAPITRE II  
**PRÉSENTATION DES DONNÉES DE  
L'ÉTUDE**

## **CHAPITRE II : PRÉSENTATION DES DONNÉES DE L'ÉTUDE**

### **II.1 DÉFINITION DES DONNÉES DE L'ÉTUDE**

En général les variables de base utilisées pour mettre en évidence l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau sont la pluviométrie et les débits. Aussi avons nous choisi d'utiliser ces 2 variables dans le cadre de cette étude pour dégager d'une part l'impact du climat sur le régime hydrologique du Mouhoun et d'autre part l'impact des aménagements sur ce régime.

### **II.2 ACQUISITION ET PRÉPARATION DES DONNÉES**

#### **II.2.1 Origine des données pluviométriques :**

Dans le cadre de notre étude l'ensemble des données sur la pluviométrie existait déjà dans la base de données de l'IRD pour des années allant de 1902 à 2000 pour certaines stations. Cependant nous avons fait une demande au niveau de la direction nationale de la météorologie nationale pour avoir les données des deux dernières années 2001 et 2002 et nous n'avons pu obtenir à l'issue de cette demande que les données de 4 stations synoptiques (Bobo, Boromo, Dedougou et Gaoua). Les autres données n'étant pas encore traitées.

#### **II.2.2 Origine des données hydrométriques :**

Elles proviennent aussi de la banque de données de l'IRD et comme pour la pluviométrie nous avons fait une demande de mise à jour des données auprès de la DGIRH pour les deux dernières années 2001 et 2002. Nous n'avons obtenu à l'issue de cette demande que la mise à jour pour 4 stations qu'ils jugent être les stations de référence leur permettant de suivre le régime du Mouhoun qui sont : Boromo, Dapola, Samandeni, et le barrage de Sourou yaran.

Nous avons ensuite eu accès aux archives de la DGIRH pour noter les lâchures d'eau au niveau du barrage de Lery.



### II.3 CRITIQUE DES DONNÉES :

Après la réception de la base de données du service de la météorologie, l'IRD a procédé à un premier traitement. Après traitement des données en vue d'éliminer le plus possible les erreurs, il a constitué des fichiers prêts à être utilisés pour les tests statistiques.

De notre côté une fois que nous avons reçu ces fichiers, nous avons procédé tout d'abord à un inventaire des années qui ont des données manquantes aussi bien pour les données de pluie que de débit.

Ensuite nous avons déterminé pour les séries de pluie mensuelle les années complètes et les années incomplètes.

Une année est dite complète lorsque nous avons les données pour les 3 mois suivants : juillet, août et septembre sachant que ce sont les 3 mois principaux de la saison pluvieuse.

Sur les 48 postes pluviométriques de la zone d'étude 8 sont sans lacunes tandis que les 40 autres présentent au moins une lacune dans leurs séries. 9 stations sur les 49 ont une série inférieure à 20 ans.

Pour les 28 stations hydrométriques presque toutes présentent au moins une lacune. 6 stations sur 28 ont une série inférieure à 20 ans.

#### **Reconstitution :**

La démarche que nous avons adoptée pour reconstituer les données est la suivante : lorsque une valeur annuelle manque, nous cherchons s'il existe des données mensuelles ou journalières valides pour cette année. S'il avère que la reconstitution des données à un échelle de temps inférieur est possible, nous choisissons toujours d'utiliser les données réelles existantes, plutôt que de procéder à des corrélations entre valeurs annuelles.

Pour reconstituer quelques valeurs manquantes nous avons été amenés à consulter d'anciennes publications de l'IRD comme la monographie du bassin du fleuve Volta et d'autres documents relatifs au bassin de la Volta.

En dernier lieu nous avons recouru à une corrélation avec d'autres stations plus proches.

## II.4 CRITÈRES DE CHOIX DES STATIONS :

- **Les stations pluviométriques** : les observations précédentes montrent qu'il y a beaucoup de stations qui présentent des lacunes et qui n'ont pas de longues séries chronologiques. Pour avoir des résultats plus représentatifs de la zone d'étude nous avons établis 3 critères de sélection des stations pluviométriques :

- ✓ La série doit avoir une longue durée d'observation : une valeur minimale de 20 ans a été choisie.
- ✓ La série ne doit pas comporter plus de deux années de lacune aussi bien pour les pluies annuelles que les pluies mensuelles.
- ✓ Le choix est fait de manière à permettre la couverture optimale de la zone d'étude.

16 stations météorologiques ont été retenues. Elles sont présentées au tableau II.4.1. La figure II.4.1 nous donne la situation de ces stations dans le bassin.

- **Les stations hydrométriques** : Pour les stations hydrométriques aussi, nous avons fait un choix nous permettant une couverture optimale de la zone d'étude. Nous avons choisi une station à tous les points où le débit varie dans de larges proportions, par exemple en aval du confluent avec un affluent.

Nous avons retenu 9 stations hydrométriques qui sont présentées respectivement dans les tableau et figure II.4.2

Tableau II.4.1 : Stations pluviométriques retenues pour l'étude

Stations	Code Agrhimet	Latitude	Longitude	Altitude	Nature	Date début adoptée	date fin	Nombre d'années de fonct.	Années manquantes
<b>OUARKOYE</b>	200002	12° 05 N	03° 40 W	315	P	1961	1999	39	
<b>TANSILLA</b>	200051	12° 25 N	04° 23 W	430	P	1964	1999	36	77.90
<b>DEDOUGOU</b>	200054	12° 28 N	03° 29 W	308	S	1922	2002	81	24
<b>SOUROU-GASSAN</b>	200055	12° 49 N	03° 13 W	265	P	1965	1999	35	92.98
<b>TIOGO</b>	200058	12° 11 N	02° 41 W	274	P	1965	1998	34	90.92
<b>REO AGRI</b>	200060	12° 19 N	02° 22 W	228	P	1960	1998	39	90.92
<b>SAMOROGOUAN</b>	200094	11° 24 N	04° 56 W	380	P	1964	1999	36	90
<b>BOBO-DIOULASSO</b>	200099	11°10 N	04° 18 W	459	S	1920	2002	83	
<b>KOUMBIA</b>	200101	11° 14 N	03° 42 W	309	P	1964	1999	36	
<b>BEREBA</b>	200102	11° 37 N	03° 41 W	291	P	1964	1999	36	90.93
<b>BOROMO</b>	200107	11° 44 N	02° 55 W	270	S	1924	2002	79	31
<b>SIDERADOUGOU</b>	200136	10° 41 N	04° 15 W	319	P	1956	1998	43	97
<b>GAOUA</b>	200140	10° 20 N	03° 11 N	333	S	1925	2002	78	46
<b>BATIE</b>	200144			298	P	1945	1999	55	
<b>LERI</b>	200145	12° 46 N	03° 23 W	260	P	1974	1997	24	94.96
<b>KOUKA</b>	200148	11° 54 N	04° 20 W	326	P	1973	1999	27	90

Tableau II.4.2 : Stations hydrométriques retenues pour l'étude

Cours d'eau	Stations	Code SIEREM	Surface km <sup>2</sup>	Altitude	Date début	Date fin	Nombre d'année de fonct.
MOUHOUN	SAMANDENI	1202700232	4904	296	1955	2002	46
	NWOKUY	1202700229	17065	249	1955	1999	43
	TENADO	1202700236	50317	-	1976	2000	22
	BOROMO	1202700208	60320	270	1955	2002	42
	OUESSA	1202700230	75955	230	1969	2000	32
	DAPOLA	1202700211	95652	228	1956	2002	41
	NOUMBIEL	1202700228	113038	-	1975	1999	25
	MANIMENSO	1202700226	39902	247	1955	2000	43
SOUROU	LERY NORD	1202702209	13216	248	1955	2000	46

Figure II.4.1 : Situation des stations météorologiques choisies pour l'étude

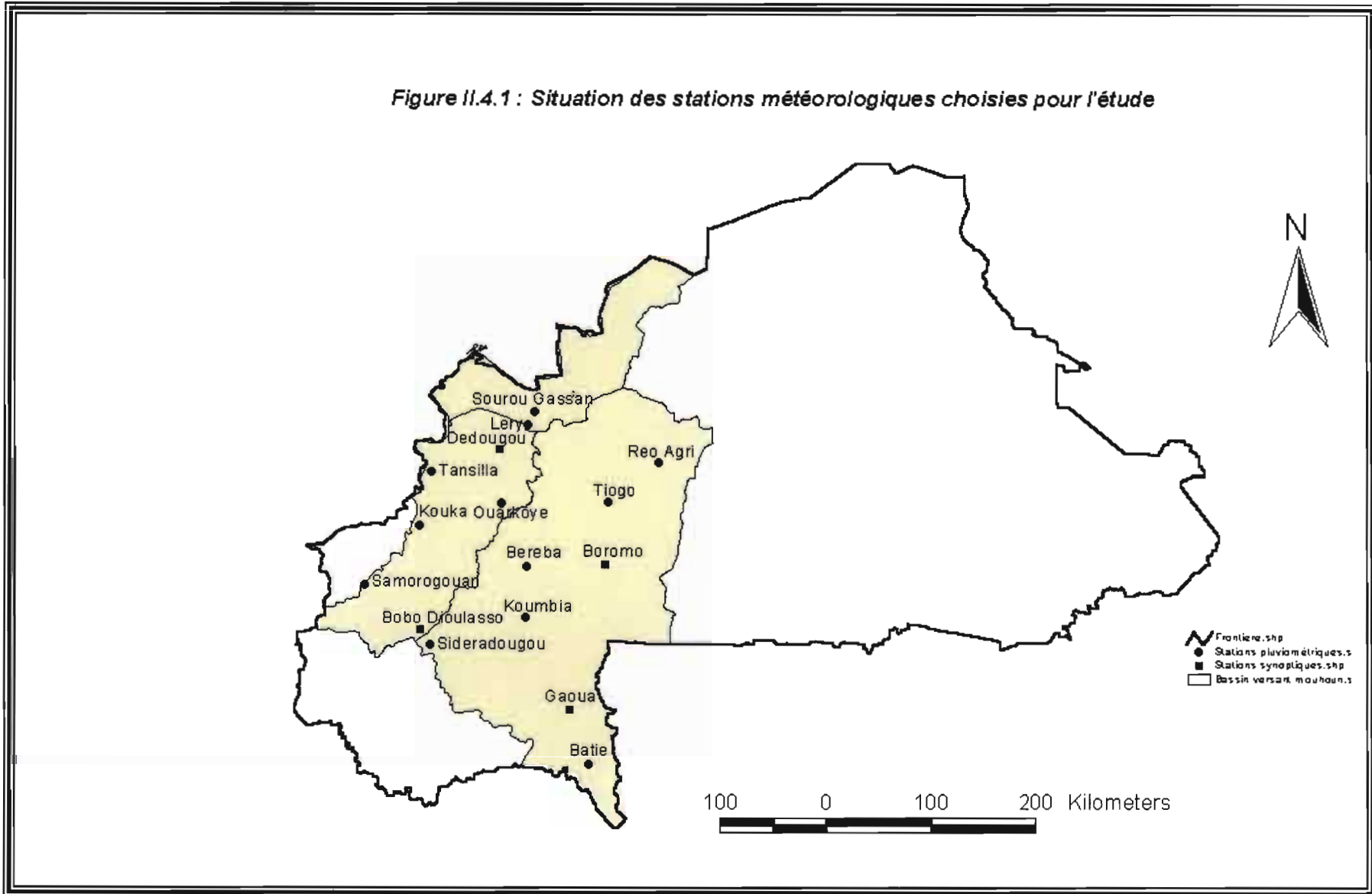
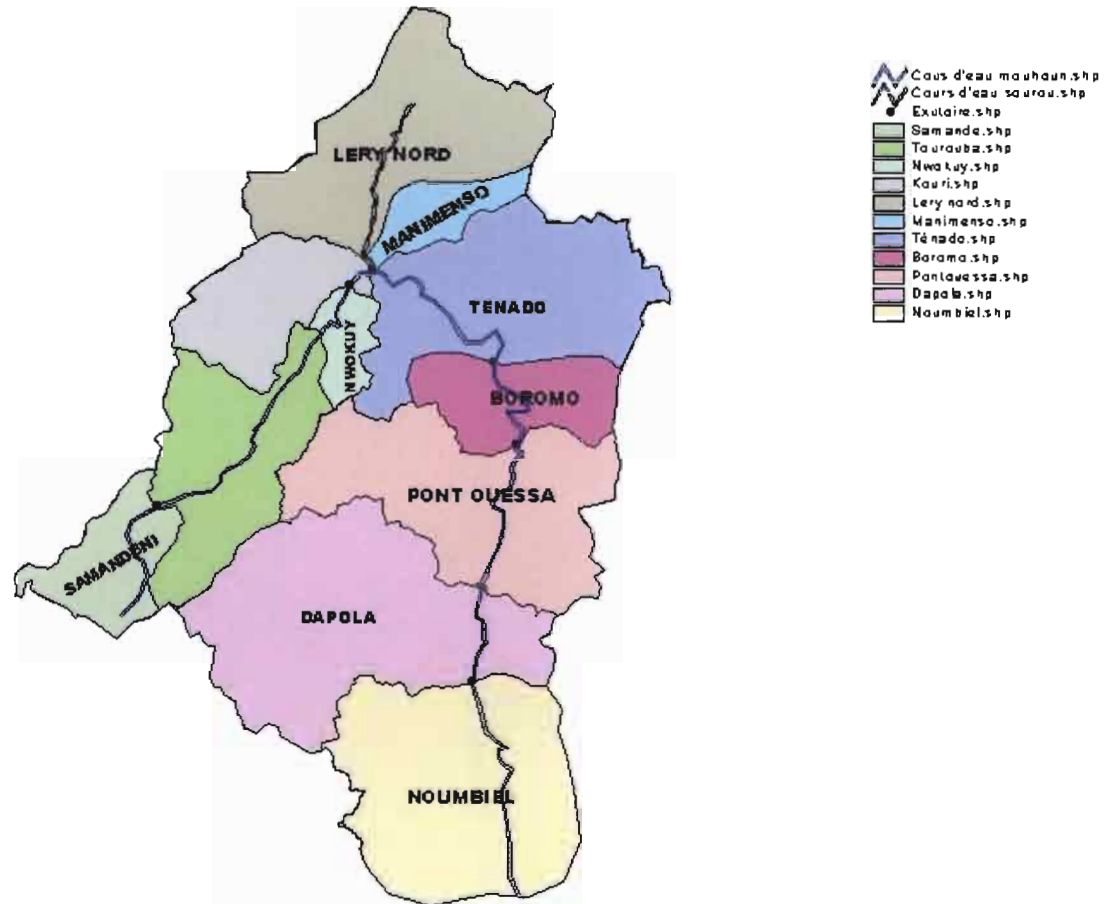


Figure II.4.2 : Contours des bassins choisis pour l'étude



CHAPITRE III

**MISE EN ÉVIDENCE DE LA  
VARIABILITÉ  
HYDROCLIMATIQUE  
DANS LA ZONE D'ÉTUDE**



## **CHAPITRE III : MISE EN ÉVIDENCE DE LA VARIABILITÉ HYDROCLIMATIQUE DANS LA ZONE D'ÉTUDE**

Dans ce chapitre, nous allons caractériser et mesurer d'éventuelles fluctuations au sein des séries chronologiques des différentes variables pluviométriques et hydrologiques sur la zone d'étude que nous avons prédéfinie :

- Le cumul de pluie annuelles sur l'année entière
- Les pluies mensuelles
- Le débit moyen annuel
- Les débits caractéristiques de crue et d'étiage

L'objectif est de préciser la variabilité climatique et hydrologique sur la zone d'étude. Nous avons classé les stations pluviométriques suivant leur appartenance aux différentes zones climatiques (voir annexe 5).

### **III.1 MÉTHODE :**

Les analyses effectuées ont donc consisté en l'application des méthodes statistiques permettant de caractériser d'éventuelles fluctuations (rupture) au sein des séries chronologiques constituées à partir des différentes variables étudiées.

L'analyse statistique de séries chronologiques de données hydrométéorologiques est un des outils d'identification des variations climatiques. Elle a constitué dans un premier temps en l'utilisation du logiciel KHRONOSTAT, qui permet de tester l'homogénéité des séries et de détecter des ruptures. Ensuite nous avons utilisé d'autre méthode non statistique pour compléter l'analyse.

Voici présenté dans ce qui suit une description de cet outil d'analyse.

#### **III.1.1 Présentation du logiciel KHRONOSTAT :**

Développé par une équipe de recherche de l'IRD, le logiciel KHRONOSTAT permet deux principaux types d'analyse :

- La première concerne la détermination du caractère aléatoire de la série, c'est à dire la tendance à la persistance
- Et la seconde concerne la détection du point de rupture dans l'hypothèse où la série est déclarée non aléatoire.

Voici présentés en quelques lignes les tests jugés nécessaires pour notre étude afin de caractériser la variabilité en terme de tendance à la persistance et de changement brusque des variables hydrologiques.

### III.1.1.1 Étude des tendances et de la persistance :

Elle consiste à étudier le caractère purement aléatoire (non-persistance) des séries chronologiques à l'aide de différents tests statistiques comme le test d'autocorrélation et le test de corrélation sur le rang.

#### Test d'autocorrélation :

Le test d'autocorrélation permet d'apprécier la dépendance linéaire successive de la variable étudiée (Hubert & Carbonnel, 1987, Lubès et al., 1992).

Soit la série  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , désignant les réalisations de la variable  $X$  observée au pas de temps successifs égaux  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). Le coefficient d'autocorrélation  $r_k$  est calculé en fonction du retard  $k$  suivant la relation :

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}_1)(x_{t+k} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}_1)^2 \sum_{t=1}^{n-k} (x_{t+k} - \bar{x}_2)^2}}$$

D'après Chatfield (1989), si une série chronologique est aléatoire, alors pour  $n$  grand,  $r_k \approx 0$  pour toute valeur de  $k$  non nulle.

En fait pour une série chronologique aléatoire, et pour  $n$  grand,  $r_k$  suit approximativement une distribution normale de moyenne nulle et de variance égale à  $1/n$ . Il est donc possible de définir une région de confiance contenant pour un seuil de confiance donné, sous l'hypothèse nulle, l'autocorrélogramme.

#### Test de corrélation sur le rang :

Couramment utilisé dans la littérature, ce test a une hypothèse alternative qui est celle d'une tendance ( Kendall et Stuart, 1943 ; WMO, 1996, Lubès et al., 1994). Sa mise en œuvre repose sur un comptage du nombre de paires  $P$  pour lesquelles  $x_j > x_i$  avec  $j > i$  pour  $i = 1, 2, \dots, n-1$ .

La variable  $\iota$  du test se formule comme suit :

$$\iota = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

Pour un grand nombre d'observations  $N$  et sous l'hypothèse nulle la variable  $\iota$  suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance  $\sigma_{\iota}^2$  égale à :

$$\sigma_{\iota}^2 = \frac{2(N+5)}{9N(N-1)}$$

### *III.1.1.2 Détection des ruptures : test de Pettitt*

Une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées à un instant donné le plus souvent inconnu.

Réputé pour sa robustesse (Lubès et al., 1994) à détecter une rupture dans une série chronologique, le test de Pettitt est utilisé pour l'étude des fluctuations de variables hydrométéorologiques.

Ce test est non paramétrique c'est à dire ne formule aucune hypothèse sur la fonction de distribution des événements qui constituent les séries de variables étudiées.

Dérivant du test de Mann-Whitney (Pettitt, 1979 ; CERESTA , 1986), il réalise un comptage afin de tester deux populations de la même série. Si la série appartient à la même population ; ou si au contraire elle se décompose es deux populations alors il y a rupture et la date est localisée.

#### *Principe :*

La série étudiée est divisée en deux sous échantillons respectivement de taille  $m$  et  $n$ . les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillons dans l'échantillon total. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population.

*Formulation :*

En considérant deux échantillon  $x_1, x_2, \dots, x_t$  et  $x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_n$  d'une même série  $x_1, x_2, \dots, x_n$   
 La statistique U compte le nombre de fois où un membre du premier groupe excède un membre du second groupe. La statistique du test s'écrit alors :

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n D_{ij} \text{ où}$$

$$D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j) \text{ avec } \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

Soit  $K_n$  la variable définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,n}$  pour t variant de n à n - 1.

Si  $K_{max}$  désigne la valeur de  $K_n$  prise pour la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $K_{max}$  est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_n > K_{max}) = 2 \exp\left(\frac{-6(K_{max})^2}{n^3 + n^2}\right)$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donnée, si  $\text{Prob}(K_n > K_{max})$  est inférieur à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. Dans ce cas t indique la rupture mais cette date est purement indicatrice.

*III.1.1.3 Détection des ruptures : test de Hubert*

□ But :

A la différence du test de Pettitt, le test de Hubert peut détecter plusieurs dates de rupture dans une série chronologique. Seulement il ne peut être utilisé que dans le cas d'une série qui ne présente aucune lacune.

□ Principe :

Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout le segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne.

□ Formulation :

La segmentation est définie de la façon suivante :

Toute série  $x_i$ ,  $i=i_1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq N$  où ( $i_1 < i_2$ ) constitue un segment de la série initiale des  $(x_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette série. A partir d'une segmentation particulière d'ordre  $m$  pratiquée sur la série initiale, on définit :  $i_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$

$$n_k = i_k - i_{k-1}$$

$\bar{x}_k$  la moyenne du  $k^{\text{ème}}$  segment,  $\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i}{n_k}$  ;

$$DM = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad \text{avec} \quad d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2$$

La segmentation retenue doit être telle que pour un ordre  $m$  de segmentation donné, l'écart quadratique  $D_m$  soit minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre la contrainte suivante selon laquelle les moyennes des deux segments contigus doivent être significativement différentes. Cette contrainte est satisfaite par application du test de Scheffé (Dagnélie, 1970). D'après les auteurs (Hubert et al., 1989), cette procédure de segmentation peut être interprétée comme un test de stationnarité, « la série étudiée est stationnaire » constituant l'hypothèse nulle de ce test. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle est acceptée. Aucun niveau de signification n'est attribué à ce test.

### III.1.2 Autres méthodes utilisées :

#### III.1.2.1. Calcul des déficits :

Pour différentes variables hydrométéorologiques il semble intéressant de calculer le déficit de la période de sécheresse par rapport à la période antérieure en appliquant la formule suivante :

$$\text{Déficit (\%)} = \left( \frac{\text{Moyenne après rupture}}{\text{Moyenne avant rupture}} - 1 \right) \times 100$$

### III.1.2.2. Utilisation d'indice pluviométrique :

Nous avons utilisé des indices qui mesurent un écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période à l'échelle ponctuelle en se référant aux données des stations. L'indice utilisé dans cette étude est un indice centré réduit qui se formule comme suit :

$$I_p = \frac{(X_i - M)}{S}$$

Avec  $X_i$  : pluviométrie de l'année  $i$

$M$  : pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence

$S$  : écart type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence.

## III.2 CARACTÉRISATION D'UNE VARIABILITÉ DES PLUIES ANNUELLES

### III.2.1 Évolution de la pluviométrie annuelle :

La variable analysée est le cumul pluviométrique sur une année civile.

Les résultats des tests statistiques montrent que sur les 16 stations pluviométriques choisies 11 présentent un caractère non aléatoire au seuil de confiance de 90% (soit un seuil d'erreur de 10%) traduisant ainsi une tendance.

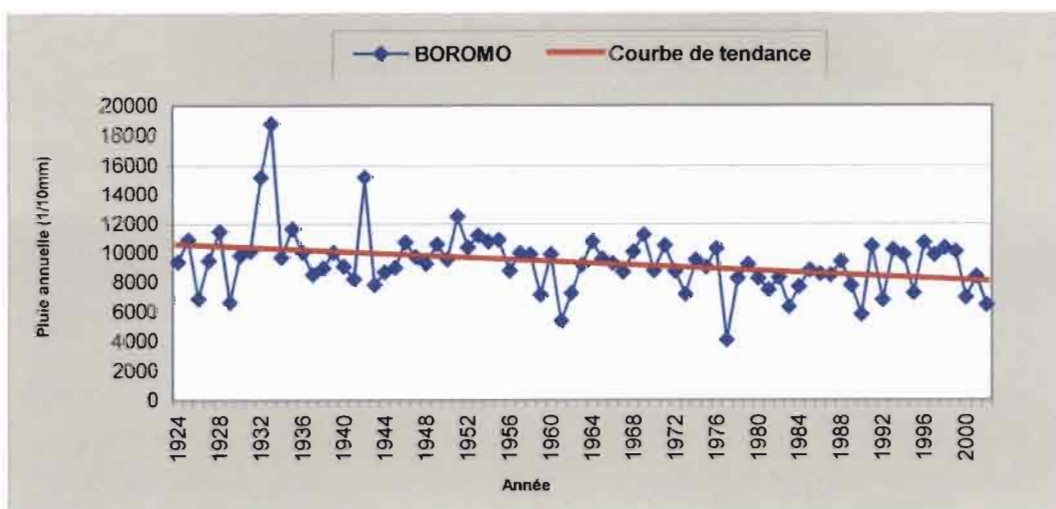
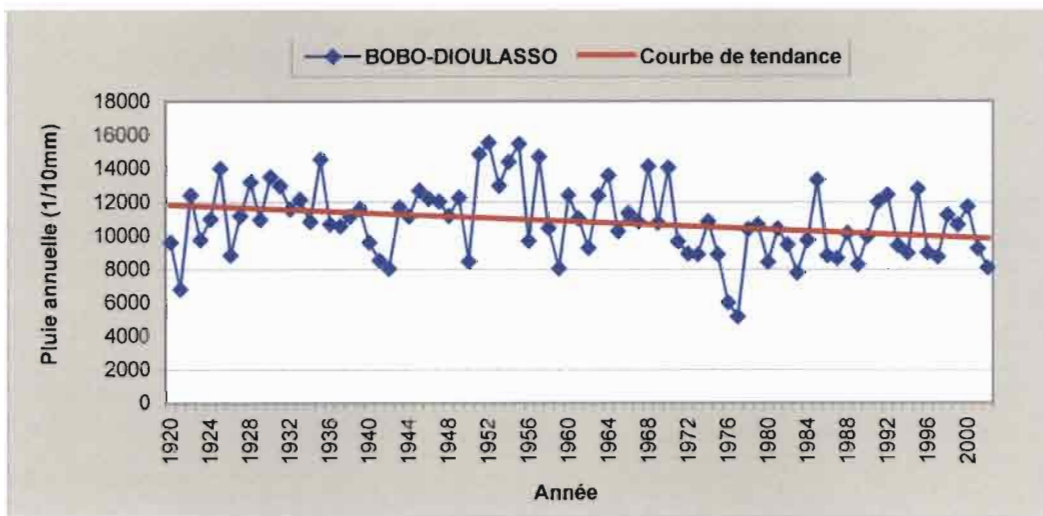
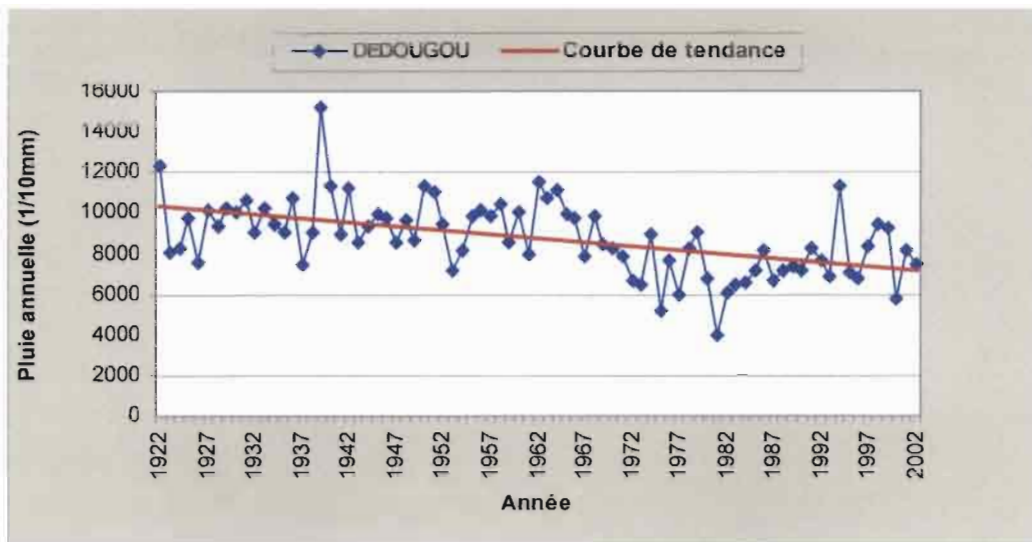
Les résultats des tests de Pettitt confirment les résultats précédents des tests de vérification du caractère aléatoire. 11 stations sur les 16 choisies décelent une rupture au seuil de confiance de 90% avec des dates de rupture comprises majoritairement entre 1968 et 1972. Les ruptures décelées correspondent à une baisse significative de la moyenne des précipitations après cette date (tableau III.2.1).

L'observation des courbes d'évolution des valeurs brutes montre une évolution générale de la pluviométrie annuelle à la baisse (figure III.2.1).

Les ruptures décelées par le test de Hubert se rapproche dans la majorité des cas à celles détectées par le test de Pettitt.

	IDENTIFICATION STATION				RANG	PETTITT		HUBERT	
	Code	Nom Station	Nature	Chronique	Tendance	Rupture	Déficit %	Rupture	Déficit %
SAHELIENNE	200055	SOUROU GASSAN	P	1965 à 1997	NA	1970	-29	1969	-29
	200145	LERY	P	1974 à 1993	A	rien		rien	
	200054	DEDOUGOU	S	1922 à 2002	NA	1968	-24	1968	-24
	200060	REO AGRI	P	1960 à 1989	NA	1969	-11	rien	
SOUDANO-SAHELIENNE	200002	OUARKOYE	P	1961 à 1999	NA	1972	-23	1981	-24
								1993	35
	200051	TANSILLA	P	1964 à 1989	NA	1982	-20	1982	-20
	200058	TIOGO	P	1965 à 1989	A	rien		rien	
	200102	BEREBA	P	1964 à 1989	NA	1972	-24	1971	-24
	200107	BOROMO	S	1924 à 2002	NA	1958	-18	1931	82
								1933	-41
								1958	-14
200148	KOUKA	P	1973 à 1999	NA	1987	-25	1987	-25	
200094	SAMOROGOUAN	P	1964 à 1999	NA	1980	-15	1977	-13	
SOUDANIENNE	200101	KOUMBIA	P	1964 à 1999	A	rien		rien	
	200099	BOBO DIOULASSO	S	1920 à 2002	NA	1970	-15	1950	31
								1955	-30
	200136	SIDERADOUGOU	P	1956 à 1996	A	rien		rien	
	200140	GAOUA	S	1925 à 2002	NA	1943	-15	rien	
200144	BATIE	A	1945 à 1999	A	rien		rien		

Tableau III.2.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie annuelle





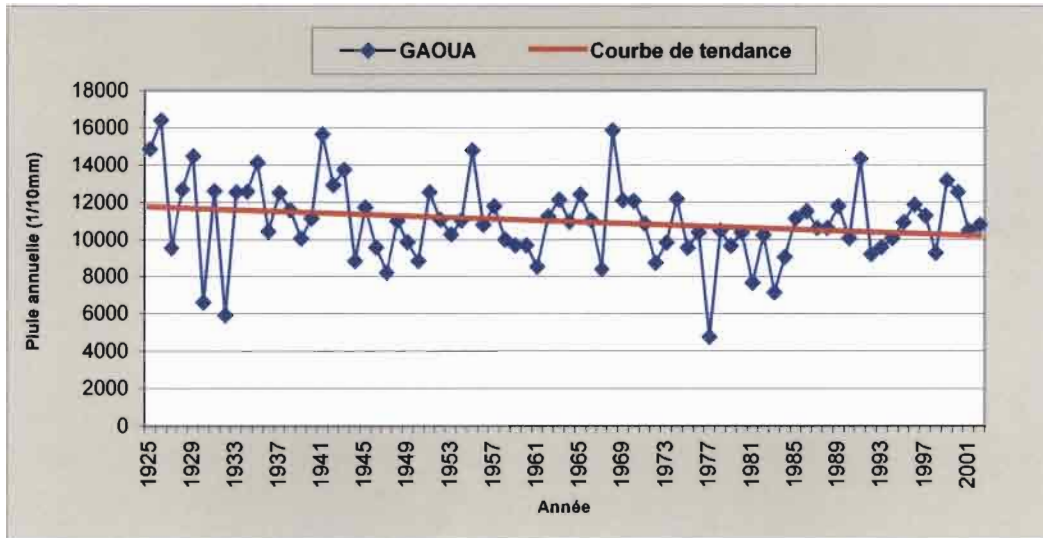


Figure III.2.1 : Courbes d'évolution de la pluviométrie annuelle pour quatre stations

### III.2.2 Calcul des indices pluviométriques :

L'évolution des indices pluviométriques montre que la période globalement humide se situe avant les années 70. Les décennies 70-80 et 80-90 se révèlent les plus sèches avec des conditions déficitaires généralisées.

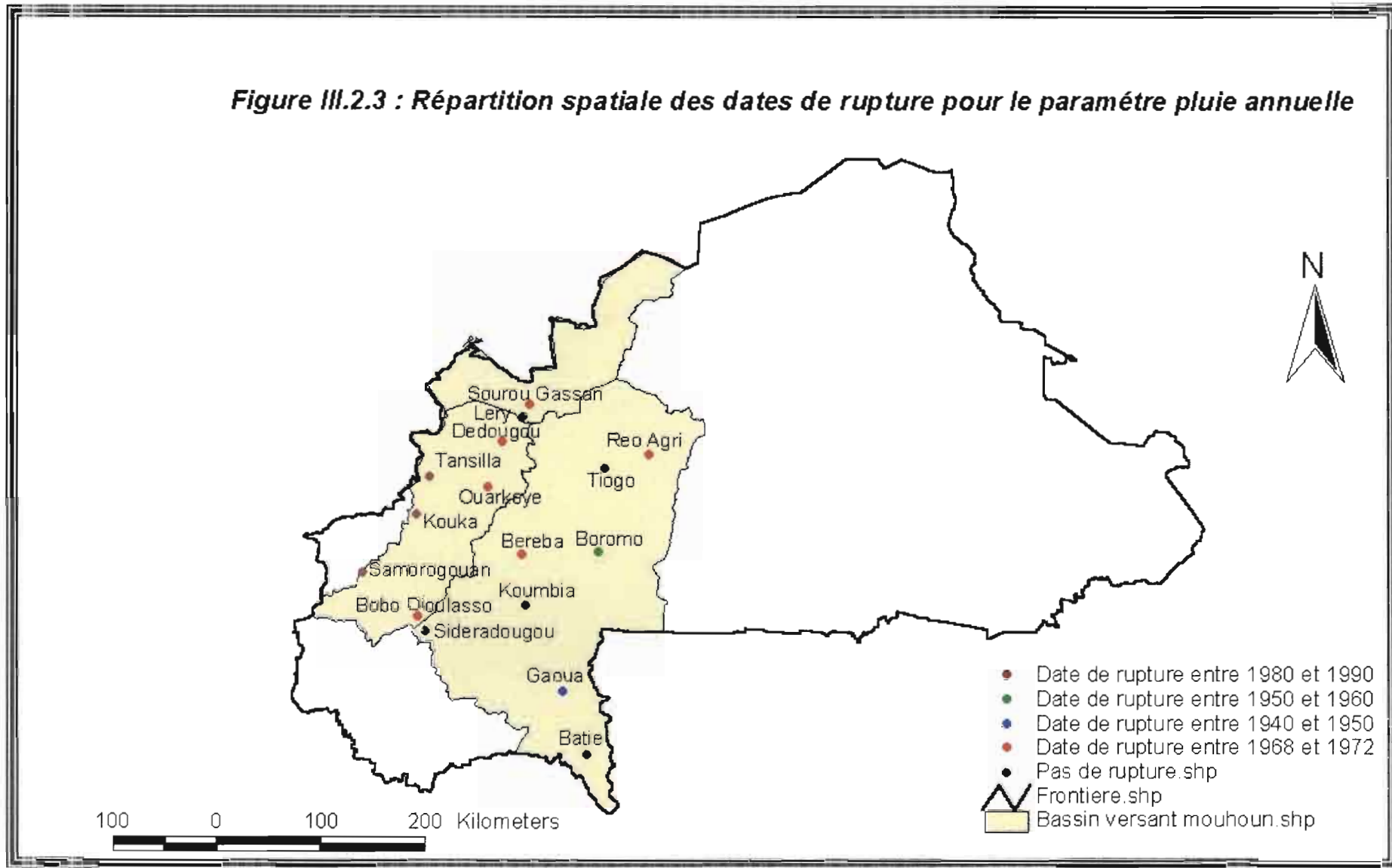
On retrouve bien à partir de cette analyse les grands traits des variations pluviométriques notamment la fameuse sécheresse qui a débuté depuis les années 1970 et qui persiste jusqu'à nos jours.

(Les courbes d'évolution des indices pluviométriques sont présentées en annexe 4)

### III.2.3 Répartition spatiale :

Afin de pouvoir situer de façon spatiale les modifications de la pluviométrie annuelle dans le bassin du Mouhoun nous avons jugé nécessaire de cartographier les résultats des tests de PETTITT avec le logiciel **ARCVIEW**. Parmi ses modes de représentation nous avons choisi le mode vecteur qui est une représentation des objets soit par des points soit par des arcs ou soit par des polygones dans un référentiel géographique et cartésien.

**Figure III.2.3 : Répartition spatiale des dates de rupture pour le paramètre pluie annuelle**



### III.2.3 Conclusion partielle sur la pluviométrie annuelle :

Sur la base des informations disponibles nous nous sommes attachés à faire le point de l'évolution du climat à partir de séries chronologiques de pluies annuelles.

L'analyse du caractère aléatoire des séries de pluies annuelles montre que l'on assiste à une tendance à la baisse.

L'ampleur des déficits pluviométriques depuis les années 70, révélée par les courbes d'évolution des indices pluviométriques est remarquable pour l'ensemble des stations. En effet on assiste à un déficit persistante depuis les années 1970.

L'analyse de la répartition spatiale des dates de rupture montre que sur 11 postes décelant une rupture 8 se trouvent dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne. Ce résultat met en évidence que ces 2 zones ont été plus touchées par la sécheresse. D'ailleurs les déficits enregistrés dans ces 2 zones sont plus élevés que ceux enregistrés dans la zone soudanienne (voir tableau III.2.1).

Par ailleurs on remarque que les stations situées dans la zone sahélienne ont décelé leur rupture plus tôt que les stations situées dans la zone soudano-sahélienne. Ceci nous permet de conclure que le phénomène de sécheresse est apparu plus tôt dans la zone sahélienne que dans la zone soudano-sahélienne.

Si nous poussons l'analyse au sein de la zone soudano-sahélienne, on peut remarquer que les stations Tansilla, Kouka et Samorogouan qui sont situées sur la bande ouest du bassin, presque à la frontière avec le Mali ont tous décelé leur rupture dans les années 80. donc la partie centrale de la zone soudano-sahélienne a été touché en premier lieu avant que le phénomène ne gagne la partie ouest.

Les stations n'ayant pas décelé de rupture se situent pour la plupart au sud du bassin dans la zone à pluviométrie relativement forte. Le fait que la station de Lery n'ait pas décelé de rupture pourrait s'expliquer par le fait que sa série commence en 1974 et que peut être sa rupture s'est produite vers les années 1970 comme pour Sourou Gassan qui lui est proche.

### **III.3 ÉTUDE DES PLUIES JOURNALIÈRES MAXIMALES ANNUELLES**

#### **III.3.1 Évolution de la pluviométrie journalière maximale :**

Nous avons appliqué les tests statistiques aux chroniques de pluie journalière maximale annuelle (pour chaque année on retient la hauteur de pluie journalière observée) afin de dégager leur évolution lors de ces dernières années.

Les résultats montrent que 14 des 16 stations étudiées présentent un caractère aléatoire au seuil de confiance de 90% et que seul Dédougou et Lery présentent un caractère non aléatoire.

De même seulement pour 2 stations les tests ont décelé une rupture (Bobo Dioulasso et Dédougou) situées respectivement en 1970 et 1962.

Les 2 stations ont connu un déficit de 22%. (voir tableau III.3.1)

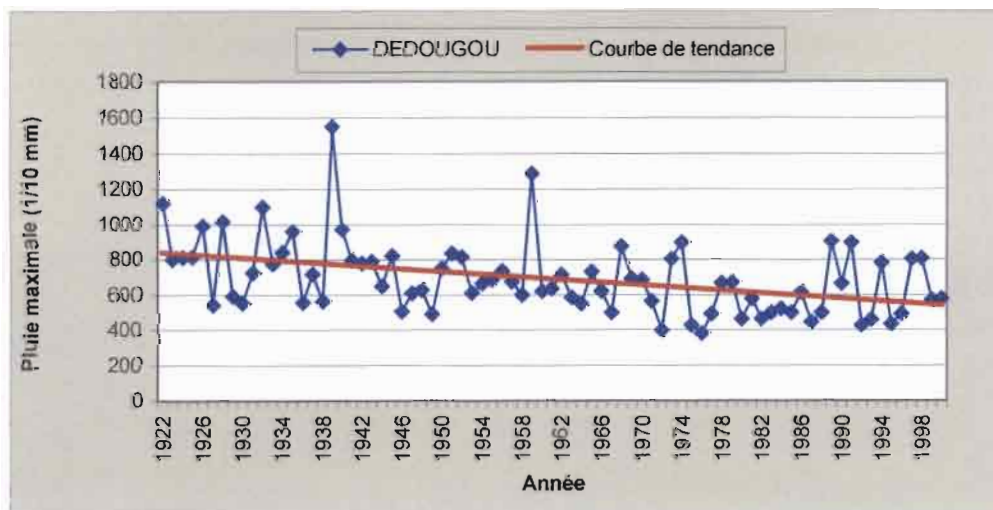
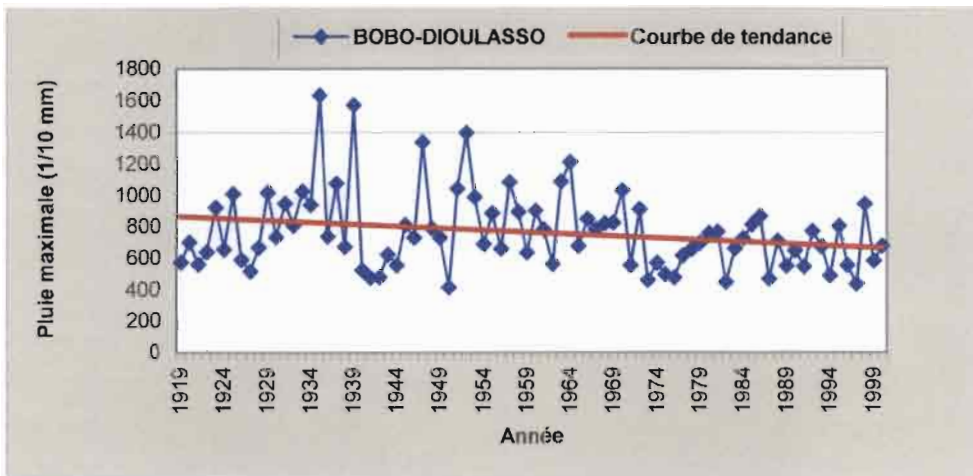
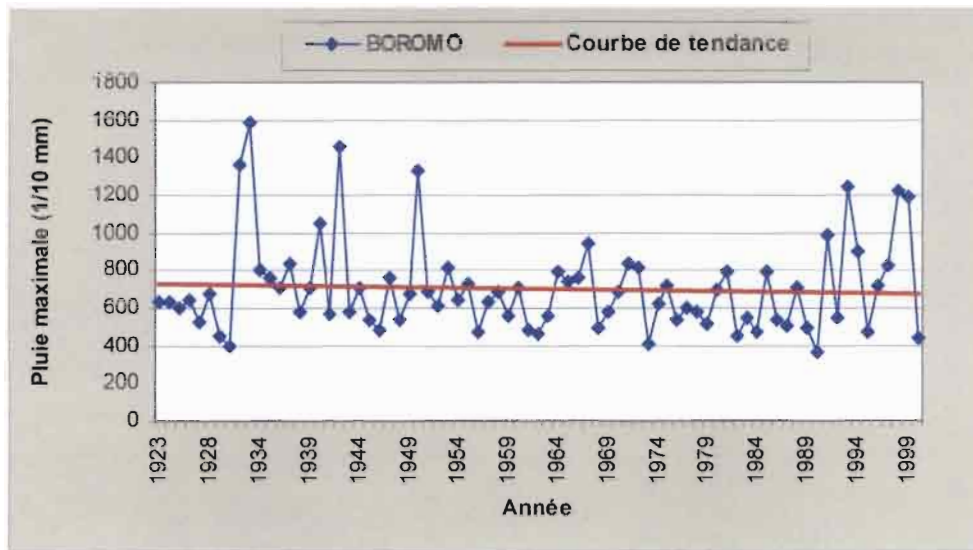
Ceci nous permet de dire que d'une manière générale la sécheresse n'a pas affecté la variable « pluie journalière maximale » dans la zone d'étude.

L'analyse des courbes d'évolution (figure III.3.1) de la pluie maximale annuelle durant ces dernières années illustre bien nos propos car cette variable varie sensiblement pour la plupart des stations étudiées.

	IDENTIFICATION STATION			RANG		PETTIT		HUBERT	
	Code	Nom Station	Nature	Chronique	Tendance	Rupture	Déficit %	Rupture	Déficit %
SAHELIENNE	200055	SOUROU GASSAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200145	LERI	P	1974 à 2000	NA	rien		rien	
	200054	DEDOUGOU	S	1922 à 2002	NA	1962	-22		
	200060	REO AGRI	P	1959 à 2000	A	rien		rien	
SOUDANO-SAHELIENNE	200002	OUARKOYE	P	1960 à 2000	A	rien		rien	
	200058	TIOGO	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200051	TANSILLA	P	1963 à 2000	A	rien		rien	
	200148	KOUKA	P	1973 à 2000	A	rien		rien	
	200102	BEREBA	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200107	BOROMO	S	1923 à 2002	A	rien		rien	
	200094	SAMOROGOUAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
SOUDANIENNE	200099	BOBO DIOULASSO	S	1919 à 2002	A	1970	-22	1922	9
								1958	-23
	200101	KOUMBIA	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200136	SIDERADOUGOU	P	1955 à 2000	A	rien		rien	
	200140	GAOUA	S	1922 à 2002	A	rien		1926	-39
								1990	105
1992								-52	
200144	BATIE	A	1944 à 2000	A	rien		rien		

Tableau III.3.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour les pluies maximales annuelles.





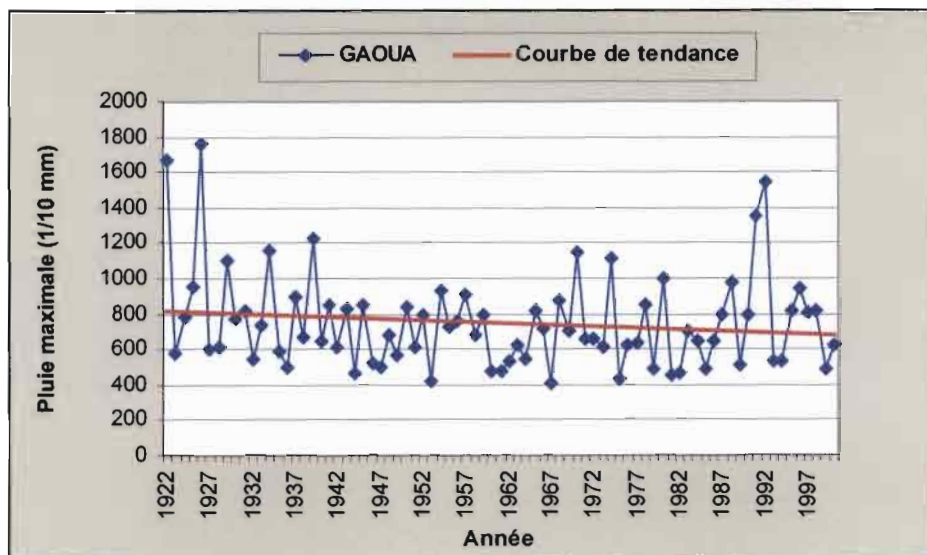


Figure III.3.1: Courbe d'évolution de la pluie maximale annuelle

### III.4 CARACTÉRISATION D'UNE VARIABILITÉ DES PLUIES MENSUELLES

Nous nous proposons dans ce paragraphe, l'étude de la variabilité pluviométrique au pas de temps mensuel afin de compléter les observations faites précédemment. Les mois étudiés sont le mois de juillet, le mois d'août et le mois de septembre.

Nous avons appliqué les tests statistiques aux séries chronologiques (au seuil de confiance de 90%) des même stations que pour la pluie annuelle, ceci pour un double objectif :

- ❖ Mettre en évidence les ruptures dans les séries mensuelles de juillet, août et septembre et faire le parallèle aux ruptures annuelles.
- ❖ Étudier le comportement saisonnier afin de voir les mois les plus touchés.

#### III.4.1 Mois de juillet :

Les séries chronologiques des pluies du mois de juillet dans la zone d'étude sont aléatoires et n'ont pas décelé de rupture mise à part 2 stations (Dedougou et Boromo) qui sont situées, rappelons le, dans la zone soudano-sahélienne.

	IDENTIFICATION STATION				RANG	PETTITT		HUBERT	
	Code	Nom Station	Nature	Chronique	Tendance	Rupture	Déficit %	Rupture	Déficit %
SAHELIEENNE	200055	SOUROU GASSAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200145	LERY	P	1974 à 2000	A	rien		rien	
	200054	DEDOUGOU	S	1922 à 2002	NA	1950	-23	1949	-23
	200060	REO AGRI	P	1959 à 2000	A	rien		Rien	
SOUDANO-SAHELIEENNE	200002	OUARKOYE	P	1960 à 2000	A	rien		rien	
	200051	TANSILLA	P	1963 à 2000	A	rien		rien	
	200058	TIOGO	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200102	BEREBA	P	1964 à 2000	A	rien		Rien	
	200107	BOROMO	S	1924 à 2002	NA	1955	-23	1932 1953	+43 -27
	200148	KOUKA	P	1973 à 2000	A	rien		rien	
	200094	SAMOROGOUAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
SOUDANIEENNE	200099	BOBO DIOULASSO	S	1920 à 2002	A	rien		rien	
	200140	GAOUA	S	1925 à 2002	A	rien		rien	
	200101	KOUMBIA	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200136	SIDERADOUGOU	P	1955 à 2000	A	rien		rien	
	200144	BATIE	A	1944 à 2000	A	rien		1962 1992	+53 -44

Tableau III.4.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie du mois de juillet

#### III.4.2 Mois d'août :

Durant le mois d'août les tests montrent un petit accroissement des stations présentant un caractère non aléatoire et/ou une rupture. Le caractère Non aléatoire et les ruptures concernent toujours les stations situées dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne. Cependant les déficits calculés pour les stations de Lery et Kouka sont surprenant et semblent être trop élevés si on sait que ces stations se trouvent dans une zone qui a été frappée par la sécheresse comme l'a montré les résultats sur la pluie annuelle. Un mal enregistrement des hauteurs de pluie tombées pourrait expliquer ces résultats.



	IDENTIFICATION STATION				RANG	PETTITT		HUBERT	
	Code	Nom Station	Nature	Chronique	Tendance	Rupture	Déficit %	Rupture	Déficit %
SAHELIEENNE	200055	SOUROU GASSAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200145	LERY	P	1974 à 2000	NA	1984	+55	1984	+55
	200054	DEDOUGOU	S	1922 à 2002	NA	1967	-26	1966	-26
	200060	REO AGRI	P	1959 à 2000	A	rien		1962	-40
SOUDANO-SAHELIEENNE	200002	OUARKOYE	P	1960 à 2000	A	1975	-21	1972	-23
	200058	TIOGO	P	1964 à 2000	A	rien		1987	+37
	200051	TANSILLA	P	1963 à 2000	A	rien		rien	
	200102	BEREBA	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200107	BOROMO	S	1924 à 2002	NA	rien		rien	
	200148	KOUKA	P	1973 à 2000	NA	1984	+42	1984	+42
	200094	SAMOROGOUAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
SOUDANIENNE	200099	BOBO DIOULASSO	S	1920 à 2002	A	rien		1944 1957	+41 -29
	200101	KOUMBIA	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200136	SIDERADOUGOU	P	1955 à 2000	A	rien		rien	
	200140	GAOUA	S	1925 à 2002	A	rien		rien	
	200144	BATIE	A	1944 à 2000	A	rien		rien	

Tableau III.4.2 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie du mois d'août

### III.4.3 Mois de septembre :

Durant le mois de septembre les tests ont montré que le nombre de stations présentant un caractère non aléatoire et/ou une rupture ne fait qu'augmenter. Le caractère non aléatoire est dû à une diminution des pluies du mois de septembre. En effet presque 50% des stations étudiées présentent un caractère non aléatoire au seuil de confiance de 90%. 50% des stations ont décelé des dates de ruptures qui se situent pour la plupart dans les années 1970. d'importants déficits pluviométriques caractérisent les stations des zones sahélienne et soudano\_sahélienne. En ce qui concerne l'apparition des dates de rupture, on peut dire que la diminution de la pluviométrie du mois de septembre a affecté le sahel et la zone soudanienne plus tôt que la zone soudano-sahélienne.

	IDENTIFICATION STATION				RANG	PETTITT		HUBERT	
	Code	Nom Station	Nature	Chronique	Tendance	Rupture	Déficit %	Rupture	Déficit %
SAHELIENNE	200055	SOUROU GASSAN	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200145	LERY	P	1974 à 2000	A	rien		rien	
	200054	DEDOUGOU	S	1922 à 2002	NA	1970	-30	1970	-30
	200060	REO AGRI	P	1959 à 2000	NA	1971	-26	1974	-25
SOUDANO-SAHELIENNE	200002	OUARKOYE	P	1960 à 2000	NA	1980	-29	1966	-34
	200051	TANSILLA	P	1963 à 2000	NA	1979	-33	1968	-44
	200058	TIOGO	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200102	BEREBA	P	1964 à 2000	NA	1979	-27	rien	
	200107	BOROMO	S	1924 à 2002	A	1975	-23	1934	-45
	200148	KOUKA	P	1973 à 2000	A	rien		rien	
	200094	SAMOROGOUAN	P	1964 à 2000	A	rien		1968	-38
SOUDANIENNE	200099	BOBO DIOULASSO	S	1920 à 2002	A	1970	-19	1969	-19
	200140	GAOUA	S	1925 à 2002	NA	1957	-19	1954	-19
	200101	KOUMBIA	P	1964 à 2000	A	rien		rien	
	200136	SIDERADOUGOU	P	1955 à 2000	A	rien		rien	
	200144	BATIE	A	1944 à 2000	NA	1969	-27	1954	-48

Tableau III.4.3 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie du mois de septembre

#### III.4.4 Conclusion partielle sur la pluie mensuelle :

L'analyse des résultats de l'étude de la variabilité des pluies mensuelles montre que la pluviométrie mensuelle connaît une baisse de manière générale, même si tous les mois ne sont pas touchés de la même manière. En effet le mois de septembre semble être le mois le plus touché par le phénomène de la sécheresse avec plus de 56% de stations décelant une rupture et des déficits allant jusqu'à -33%.

Si nous procédons à une analyse spatiale nous voyons que la zone soudanienne est la moins touchée par cette diminution de la pluie mensuelle pour les 3 mois. En effet les stations de la zone soudanienne n'ont pas décelé de rupture pour les séries de pluie des mois de juillet et août. Les seules ruptures décelées concernent le mois de septembre.

Nous pouvons donc dire que la diminution des pluies pour les mois de juillet et août concerne principalement les zones sahélienne et soudano-sahélienne et que la diminution de la pluviométrie du mois de septembre a affecté les 3 zones avec cependant une amplification du phénomène dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne.

Cette baisse de la pluviométrie a , bien entendu des conséquences importantes sur les ressources en eau de la zone d'étude. L'étude des modifications intervenues au sein du régime hydrologique du Mouhoun, permettra d'apporter certaines réponses quant à l'incidence de ce déficit pluviométrique sur la disponibilité des ressources en eau.

### III.5 CARACTÉRISATION D'UNE VARIABILITÉ DES MODULES ANNUELS

#### III.5.1 Evolution des débits moyens annuels :

L'analyse statistique montre que sur les 9 stations étudiées 7 présentent des séries de modules qui sont considérées comme non aléatoire au seuil de confiance de 90% (soit un seuil d'erreur de 10%). (voir tableau III.5.1)

Pour ces 9 stations, on a estimé les tendances qui correspondent à une baisse des écoulements annuels comme l'illustre la **figure III.5.1** qui présente l'évolution des écoulements annuels pour quelques stations hydrométriques de la zone d'étude en fonction du temps.

Les résultats du test de petit montrent que 6 stations présentent une rupture au seuil de confiance de 90% sauf la station de Tenado, Pont Ouessa et Nombiel qui ne présentent pas de rupture. Comparés aux déficits pluviométriques en général, les déficits des débits moyens annuels sont beaucoup plus importants puisqu'ils sont pour la plupart supérieurs à - 40%.

Le déficit de +44% pour la station de Nwokuy pourrait s'expliquer par le fait que son débit a été influencé par le barrage construit en aval, à la confluence du Mouhoun avec le Sourou.

La baisse des écoulements semble affecter toute la zone d'étude. En effet le fait que Nombiel et Tenado n'ait pas décelée de rupture pourrait s'expliquer par le début tardif de leur chronique (après 1975). La station de Ouessa qui n'a pas décelé de rupture avec le test de Pettitt a en décelé une avec le test de Hubert en 1971.

#### III.5.2 Répartition spatiale pour le module annuel :

Toujours dans le soucis d'avoir une vision spatiale des modifications intervenues sur le module annuel, nous avons représenté à la **figure III.5.2** les dates d'apparition des ruptures pour les différents bassins étudiés en utilisant le logiciel ARCVIEW.

IDENTIFICATION STATION			RANG	PETTITT		HUBERT	
COURS D'EAU	STATIONS	PERIODE	tendance	Rupture	Déficit %	Rupture	Déficit %
MOUHOUN	SAMANDENI	1956 à 2000	NA	1970	- 44	1970 1990	-55 +74
MOUHOUN	NWOKUY	1955 à 1999	NA	1984	+ 44	1993	+70
SOUROU	LERY NORD	1955 à 2000	NA	1975	- 52	1971	-71
MOUHOUN	MANIMENSO	1955 à 2000	NA	1971	- 61	1971 1980	-47 -52
MOUHOUN	TENADO	1976 à 2000	NA	rien		rien	
MOUHOUN	BOROMO	1955 à 2002	NA	1971	- 46	1971	-46
MOUHOUN	PONT OUESSA	1969 à 2000	A	rien		1971	-57
MOUHOUN	DAPOLA	1956 à 2000	NA	1971	- 38	1971	-38
MOUHOUN	NOUMBIEL	1975 à 1999	A	rien		rien	

Tableau III.5.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour les modules annuels.



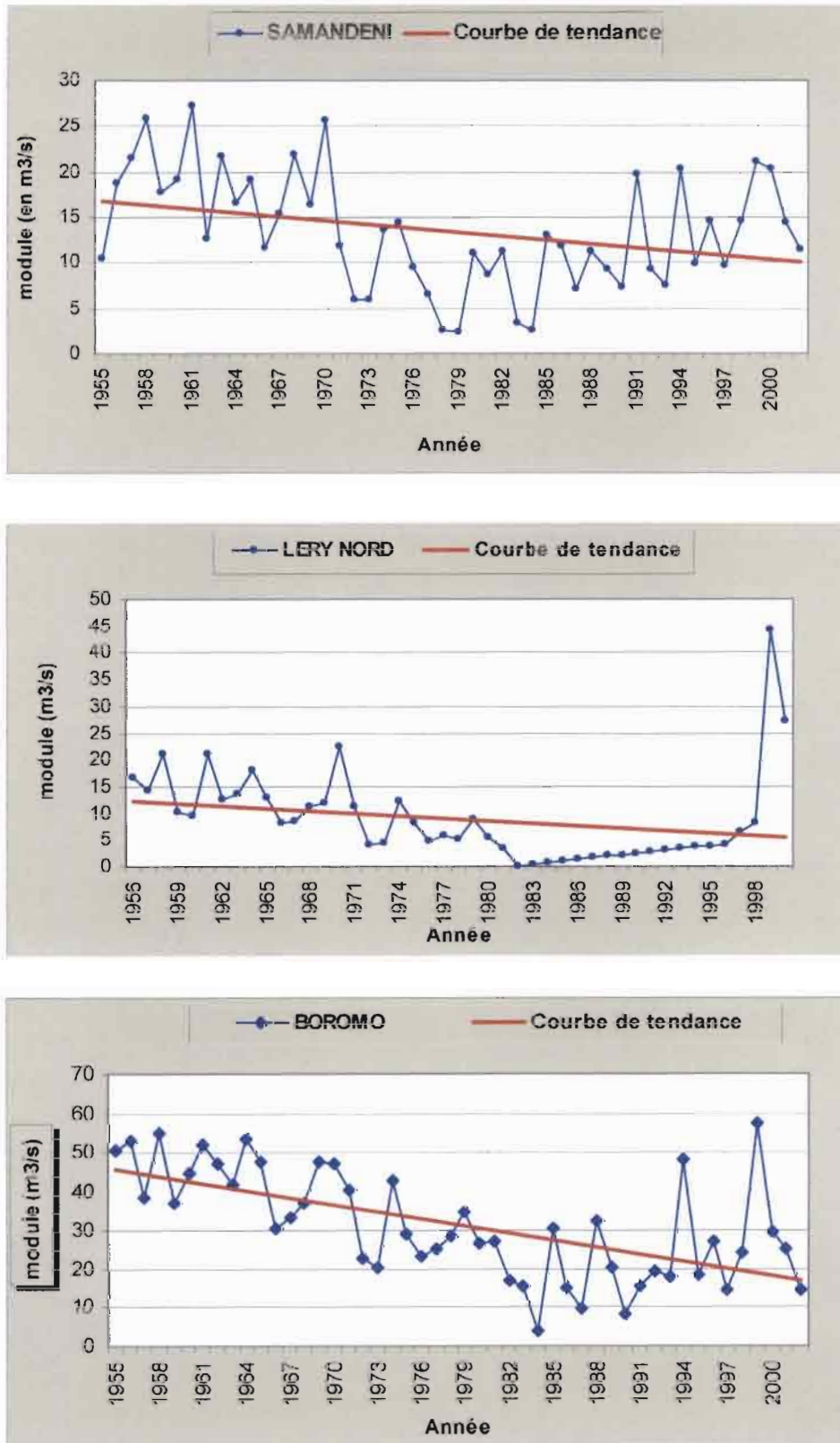
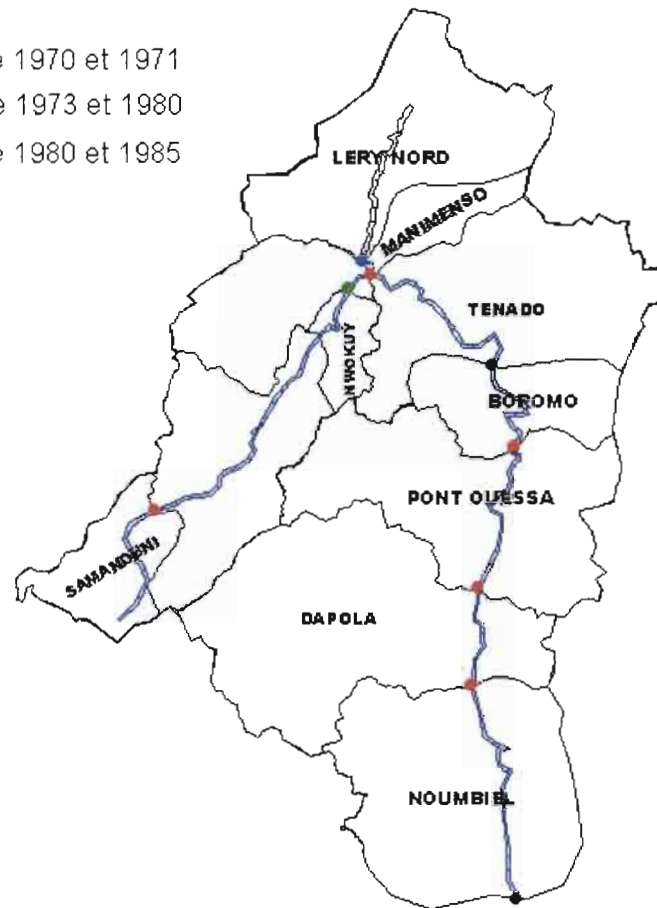


Figure III.5.1 : Courbes d'évolution du module annuel pour 3 stations de la zone d'étude

**Figure III.5.1 : Répartition spatiale des dates de rupture pour les modules annuels**

- Date de rupture entre 1970 et 1971
- Date de rupture entre 1973 et 1980
- Date de rupture entre 1980 et 1985
- Pas de rupture



80 0 80 Kilometers

### III.6 CARACTERISATION D'UNE VARIABILITE DES DEBITS CARACTERISTIQUES

Les variables hydrologiques choisies dans le cadre de cette étude sont :

- ❖ Le débit caractéristique d'étiage DCE : c'est le débit égalé ou non dépassé pendant 10 jours dans l'année, que ces jours se suivent ou non.
- ❖ Le DC11 : c'est le débit égalé ou dépassé pendant 11 mois ou non dépassé pendant 30 jours (consecutifs ou non) .
- ❖ Le débit caractéristique de crue DCC : c'est le débit journalier égalé ou dépassé pendant 10 jours dans l'année.

Ces variables ont été calculées à partir des débits journaliers classés par ordre croissant et en se référant à l'année civile.

Pour étudier les étiages et les crues donc les battements du Mouhoun nous nous sommes seulement intéressés à 3 stations hydrométriques qui sont :

- ❖ La station de Samandeni dans le Mouhoun supérieur
- ❖ La station de Boromo et de Dapola dans le Mouhoun inférieur.

Ces stations ont été choisies car d'une part les autres stations ne disposaient pas de débits journaliers valables et d'autre part c'est la zone de Boromo qui intéresse le plus l'autre équipe qui étudie les zones riveraines du Mouhoun.

#### III.6.1 Evolution des débits caractéristiques:

Les résultats portant sur le caractère aléatoire des séries sont présentés dans le tableau III.5.2.1. Il faut noter que ces résultats ne font que confirmer le test de PETTITT pour un seuil de confiance de 90%. La rupture est détectée à chaque fois que le caractère aléatoire est rejeté.

Le calcul des déficits a aussi été effectué de part et d'autre de la date de rupture.



### *III.6.1.1 Les débits caractéristiques d'étiage DCE :*

Les résultats des tests sur le rang montrent que toutes les 3 stations étudiées présentent un caractère non aléatoire au seuil de confiance de 90%.

Les 3 stations ont aussi toutes décelé des dates de rupture avec le test de PETTITT ; Boromo en 1973, Dapola en 1977, et Samandeni en 1979.

Les résultats obtenus sur les DCE présentent une similitude avec ceux des modules annuels pour les stations considérées. En effet toutes les 3 stations ont décelé sur leur module des dates de ruptures dans les années 1970.

Les déficits calculés varient entre 74 et 90% ce qui est énorme.

### *III.6.1.2 Les débits caractéristiques de crue DCC :*

Le test de corrélation sur le rang montre qu'au seuil de confiance de 90% toutes les 3 stations présentent un caractère non aléatoire.

Par ailleurs les ruptures décelées par le test de PETTITT sont situées pour la station de Boromo en 1975, pour Dapola en 1971 et pour Samandeni en 1971.

Les dates de rupture du DCC sont très proches des celles du module annuel pour les stations considérées.

Quant aux déficits calculés, ils tournent autour de 30%.

### *III.6.1.3 Autre débit caractéristique d'étiage : le DC11*

Les résultats obtenus avec le DC11 sont presque identiques à ceux obtenus pour le DCE. En effet toutes les 3 stations présentent un caractère non aléatoire à l'issue du test sur le rang au seuil de 90%. Le test de PETTITT a décelé des dates de rupture identiques sauf pour la station de Dapola où la différence est d'une année seulement.

Les déficits calculés varient entre 71 et 88%.

*Tous les résultats des tests statistiques et le calcul des déficits pour les débits caractéristiques sont présentés dans les tableaux suivants :*

IDENTIFICATION STATION		RANG		PETTITT		HUBERT	
Cours d'eau	stations	Période	Test de tendance	rupture	Déficit %	rupture	Déficit %
Mouhoun	Boromo	1955-2002	NA	1973	- 74	1959	-20
						1972	-64
						1982	-50
						1991	+216
	Dapola	1956-2002	NA	1977	- 90	1971	-54
						1976	-60
	Samandeni	1955-2002	NA	1979	- 84	1958	-17
						1967	-19
						1973	-26
1977						+75	
						1979	-62

**Tableau III.6.1.1** : Résultats tests statistiques et calcul des déficits appliqués au DCE

IDENTIFICATION STATION		RANG		PETTITT		HUBERT	
Cours d'eau	stations	Période	Test de tendance	rupture	Déficit %	rupture	Déficit %
Mouhoun	Boromo	1955-2002	NA	1975	- 28	1971	-33
	Dapola	1956-2002	NA	1971	- 35	1971	-35
	Samandeni	1955-2002	NA	1971	-42	1970	-42

**Tableau III.6.1.2** : Résultats tests statistiques et calcul des déficits appliqués au DCC

IDENTIFICATION STATION		RANG		PETTITT		HUBERT	
Cours d'eau	stations	Période	Test de tendance	rupture	Déficit %	rupture	Déficit %
Mouhoun	Boromo	1955-2002	NA	1973	- 71	1959 1972 1994	-20 -67 +80
	Dapola	1956-2002	NA	1978	- 88	1963 1966 1971 1976	+39 -32 -49 -60
	Samandeni	1955-2002	NA	1979	- 81		

**Tableau III.6.1.3** : Résultats tests statistiques et calcul des déficits appliqués au DC11

### III.6.2 Conclusion partielle sur les débits caractéristiques :

Les données de débits journalières disponibles ne nous ont pas permis d'étudier les débits caractéristiques pour toutes les stations. Nous ne pourrions donc pas procéder à une analyse spatiale objective.

Cependant à la lumière des quelques résultats obtenus pour le DCE, le DC11 et le DCC sur les 3 stations on pourrait extrapoler en disant que le débit de crue a été touché plus tôt par le phénomène de sécheresse que le débit d'étiage. En effet les dates de rupture pour le DCC se situent entre 1971 et 1975 alors que pour les débits d'étiage elles se situent entre 1973 et 1979.

### III.6.3 Prévion des étiages en cours d'année :

Principe :

Lorsque le climat comporte une saison sèche sans pluie ou avec des pluies négligeables, on peut considérer qu'en saison sèche, l'écoulement des cours d'eau est dû uniquement au drainage des nappes souterraines.

En conséquence, la loi de vidange des réserves souterraines est identique d'une année à l'autre et sa connaissance permet de prévoir l'évolution du débit en cours de l'étiage en fonction du débit observé en début de saison sèche.

Méthode basée sur l'étude des courbes de tarissement :

Hypothèses :

Le stock d'eau dans les réserves souterraines du bassin versant est supposé être une fonction  $S(t)$  qui évolue au cours du temps sans apport extérieur (pas de pluie en saison sèche) et avec une sortie unique, celle du débit  $Q(t)$  du cours d'eau.

En outre, la valeur du débit à un instant  $t$  quelconque est supposée être proportionnelle à l'état des réserves  $S(t)$ , le coefficient de proportionnalité étant le coefficient de tarissement  $\alpha$ .

$$\frac{dS}{dt} = - Q(t) = - \alpha S(t)$$

L'équation différentielle en  $S(t)$  ainsi obtenue admet des solutions de la forme :

$$S(t) = S_0 e^{-\alpha t}$$

or  $Q(t) = - \alpha S(t) = - \alpha S_0 e^{-\alpha t}$

d'où finalement  $Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t}$

avec  $Q_0$  le débit en début de saison sèche

*Evaluation du coefficient de tarissement à BOROMO :*

Ce choix est guidé par le fait que c'est dans cette zone de forêts classées que l'autre équipe étudie la problématique de la conservation des milieux riverains du Mouhoun.

Pour évaluer le coefficient de tarissement on a porté la courbe de tarissement sur un graphique semi-logarithmique (le temps en échelle arithmétique et les débits en échelle logarithmique) et le calcul du coefficient se déduit à partir de 2 points de la droite.

Nous avons calculé dans un premier temps ce coefficient pour chaque année ensuite nous avons appliqué le test de Pettitt à cette série de valeurs qui a décelé une rupture en 1971.

La moyenne avant rupture est  $\alpha = 0,01175$  et la moyenne après rupture  $\alpha = 0,016076$ .

Le temps de demi vie correspondant au temps pendant lequel le débit diminue de moitié ; on a :

$$\frac{1}{2} Q_0 = Q_0 e^{-\alpha t} \Rightarrow t = \frac{\ln 2}{\alpha}$$

Donc { la demie vie des reserves du bassin avant 1971 est :  $t_{av} = 59$  jours  
 Et la demie vie des reserves du bassin après 1971 :  $t_{ap} = 43$  jours

On constate que le débit diminuait de moitié tous les 59 jours avant 1971 ; mais après 1971 il diminue de moitié tous les 43 jours ce qui traduit une accélération du vidange des reserves.

La connaissance du coefficient de tarissement permet de prévoir la courbe de tarissement dès le début de la saison sèche.

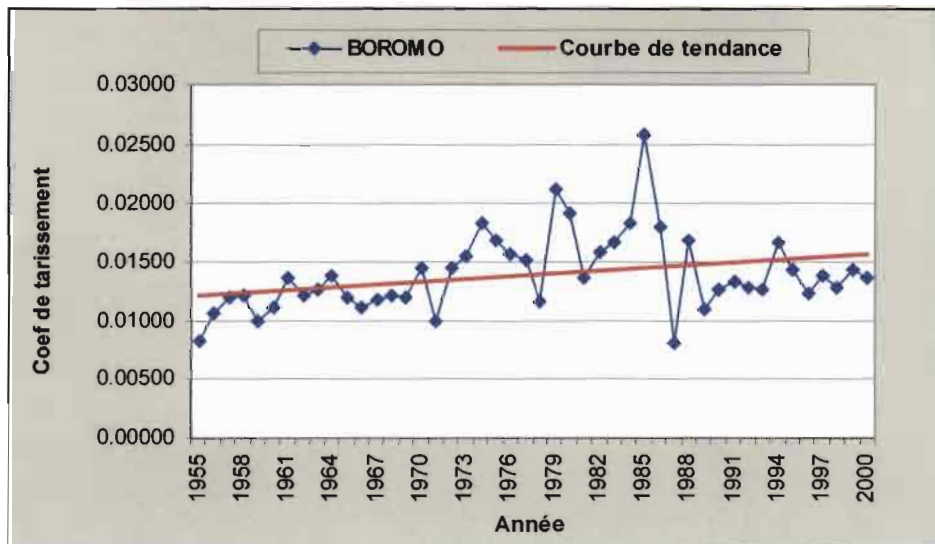


Figure III.6.2 : Courbe d'évolution du coefficient de tarissement à Boromo

### III.7 CONCLUSION :

Ce chapitre s'est consacré à l'étude de l'évolution climatique récente à travers l'analyse d'un certain nombre de paramètres descriptifs des régimes pluviométriques et hydrométriques.

L'analyse s'est essentiellement appuyée sur des méthodes statistiques qui permettent d'étudier l'homogénéité de séries chronologiques des variables traitées.

L'examen de la variabilité des pluies annuelles a montré que les pluies ont notablement baissé au cours des trois dernières décennies sur la zone d'étude avec une augmentation de la baisse du Sud vers le Nord. L'analyse de l'évolution des indices pluviométriques montre que les années 70-80 et 80-90 sont les plus sèches durant cette phase de sécheresse.

Les déficits pluviométriques annuels varient, pour la plupart, entre - 11 et - 24%.

L'analyse des pluies mensuelles de la saison pluvieuse révèle que globalement les pluies mensuelles diminuent pour chacun de ces mois même si le mois de septembre est le plus touché. La partie sahélienne de la zone d'étude est plus touchée par la sécheresse enregistrée ces dernières années, puis vient la partie soudano-sahélienne et enfin la partie soudanienne qui est la moins touchée.

Face à ce phénomène de sécheresse qui perdure depuis plus de 30 ans il convient de souligner un problème crucial qui est celui des normes hydrologiques.

En effet quelles normes hydrologiques faut-il choisir pour la réalisation des aménagements de plus en plus nombreux en vue de satisfaire des besoins de plus en plus pressants en eau ? Convient-il ou non d'intégrer les années récentes de sécheresse dans la continuité des séries chronologiques ou bien doit-on seulement prendre en compte les dernières années situées après 1970 ?

CHAPITRE IV

**ÉVOLUTION DES NORMES  
HYDROLOGIQUES**

## CHAPITRE IV : ÉVOLUTION DES NORMES HYDROLOGIQUES :

Dans ce chapitre, nous abordons le problème des effets de sécheresse sur les normes pluviométriques et hydrologiques.

Une définition simple de la norme est « la moyenne des valeurs observées ». Cette notion est adaptée à des phénomènes purement aléatoires dont elle tente de déterminer les caractéristiques. L'application de cette notion en hydrologie sur les séries annuelles de pluie ou de débit supposent a priori que celles-ci soient stationnaires. Eu égard aux résultats du chapitre précédent qui remettent en cause le caractère homogène des séries pluviométriques et hydrométriques, l'hypothèse de stationnarité des séries chronologiques de variables hydrométriques et pluviométriques ne semble pas vérifiée dans notre zone d'étude. Ce constat suscite des interrogations sur les limites des normes hydrologiques dans nos régions touchées ces dernières années par un phénomène de sécheresse. Convient-il d'intégrer les années récentes dans la continuité des séries chronologiques, ou doit-on uniquement prendre en compte les années récentes.

Dans ce qui suit nous allons étudier le problème en considérant dans un premier temps les données avant la période de rupture, ensuite dans un second temps les données après la période de rupture et enfin toute la totalité de la période de référence.

### IV.1 MÉTHODOLOGIE

La démarche adoptée consiste en une analyse statistique des observations de différentes variables hydrologiques en vue d'aboutir à une estimation des risques par ajustement de distributions de probabilité. La démarche statistique pour réaliser une analyse statistique des observations s'effectue en plusieurs étapes.

Dans un premier temps il faut procéder à une sélection des variables hydrologiques couramment utilisées et qui caractérisent aux mieux les régimes pluviométriques et hydrologiques. Ensuite, il faut réaliser un ajustement d'une loi de probabilité théorique à la distribution de fréquence de l'échantillon sélectionné à l'étape précédente.

Enfin, en s'appuyant sur les résultats de l'étape précédente, on effectue une estimation des risques.

Nous nous sommes servis du logiciel **SAFARHY** (Lubes et al., 1995) qui est un logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie.

Les lois de distribution que nous avons ajustées sont la loi normale (ou une de ses dérivées log normale) pour les valeurs moyennes et la loi de Gumbel pour les valeurs extrêmes.



## IV.2 TRAITEMENT DES PLUIES ANNUELLES :

Pour chaque poste pluviométrique choisi, nous avons considéré trois échantillons constitué par les données des périodes avant rupture, après rupture et enfin toute la période d'observation (*désignés respectivement par AV, AP et période sur les courbes*).

Sur chacun d'eux nous avons procédé à un ajustement d'une loi normale.

Nous avons calculé les pluies annuelles pour les recurrences humides décennale, vicennale, cinquantennale, centennale et enfin millénaire.

D'une manière générale les pluies annuelles associées aux récurrences humides sur les périodes avant rupture et la période totale sont assez proches (**tableau IV.2.1 et figure IV.2.1**). Par contre un écart relativement considérable s'observe entre les valeurs associées aux pluies annuelles calculées sur la période après rupture par rapport à celles calculées sur la période totale.

En outre pour la majeure partie des stations, les valeurs des pluies calculées sur la période après rupture sont inférieures à celles calculées avant rupture.

La plupart du temps les aménageurs considère une période de retour de 10 ans pour l'évaluation des variables hydrologiques de leurs critères de dimensionnement. Nous voyons donc à partir de ces résultats que selon que l'on considère une période ou l'autre peut entraîner des différences notoires dans l'estimation des variables de pluie.

A titre d'exemples :

- ❖ A DEDOUGOU la décennale calculée sur la période totale a une récurrence de 263 ans lorsque l'on considère la période après rupture.
- ❖ A BOBO DIOULASSO la décennale calculée sur la période avant rupture a une récurrence de 20 si l'on considère la période totale, et la décennale calculée sur la période totale a une récurrence de 120 ans si l'on considère la période après rupture.

Lorsqu'on considère les récurrences sèches (**tableau IV.2.2 et figure IV.2.2**), les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus pour les récurrences humides :

- ❖ A tansilla la valeur décennale calculée sur la période après rupture a une période de retour de 40 ans environ si on considère la période totale. De même la pluie décennale calculée sur la période totale a une période de retour de 360 ans environ si l'on considère la période avant rupture.
- ❖ A Dédougou la valeur décennale calculée sur la période après rupture a une période de retour de 22 ans environ si on considère la période totale.

IMPACTS DU CLIMAT ET DES AMÉNAGEMENTS SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU MOUHOUN

			Fréquence														
			Décennale			Vincennale			Cinquantennale			Centennale			Millénaire		
Nom station	Chronique	Rupture	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période
OUARCOYE	1961-1999	1972	1139	1048	1119	1177	1125	1197	1221	1215	1287	1250	1273	1345	1331	1438	1510
TANSILLA	1964-1999	1982	1093	1054	1108	1136	1136	1179	1187	1231	1261	1219	1292	1314	1312	1467	1466
DEDOUGOU	1922-2002	1968	1158	918	1108	1209	967	1174	1269	1025	1250	1307	1062	1299	1417	1167	1438
REO AGRI	1960-1998	1969	900	877	896	922	918	935	946	965	981	962	995	1010	1008	1082	1093
SAMOROGOUAN	1964-1999	1980	1395	1246	1330	1486	1341	1426	1592	1452	1539	1660	1523	1611	1855	1726	1817
BOBO DIOLASSO	1920-2002	1970	1472	1190	1386	1565	1253	1474	1675	1327	1577	1745	1375	1644	1945	1510	1833
BOROMO	1924-2002	1958	1331	1107	1227	1415	1180	1312	1514	1266	1411	1578	1321	1475	1759	1479	1656
GAOUA	1925-2002	1943	1564	1354	1419	1663	1445	1516	1778	1552	1629	1852	1620	1701	2063	1815	1908

Tableau IV.2.1 : Valeurs des pluies annuelles associées aux récurrences humides

			Fréquence														
			Décennale			Vincennale			Cinquantennale			Centennale			Millénaire		
Nom station	Chronique	Rupture	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période
OUARCOYE	1961-1999	1972	868	500	570	830	423	492	785	333	402	757	275	344	675	110	179
TANSILLA	1964-1999	1982	785	474	605	741	393	535	691	298	452	658	237	399	566	62	248
DEDOUGOU	1922-2002	1968	793	567	644	742	518	579	682	460	503	644	423	454	534	317	315
REO AGRI	1960-1998	1969	749	589	620	728	549	581	703	502	535	687	471	506	641	385	423
SAMOROGOUAN	1964-1999	1980	747	572	646	656	477	549	550	367	437	482	296	365	287	93	159
BOBO DIOLASSO	1920-2002	1970	807	739	758	713	675	669	604	601	566	534	554	500	334	418	311
BOROMO	1924-2002	1958	728	583	624	644	510	539	545	424	440	481	369	376	300	212	195
GAOUA	1925-2002	1943	861	706	731	762	615	635	647	509	522	573	441	449	361	246	243

Tableau IV.2.2 : Valeurs des pluies annuelles associées aux récurrences sèches

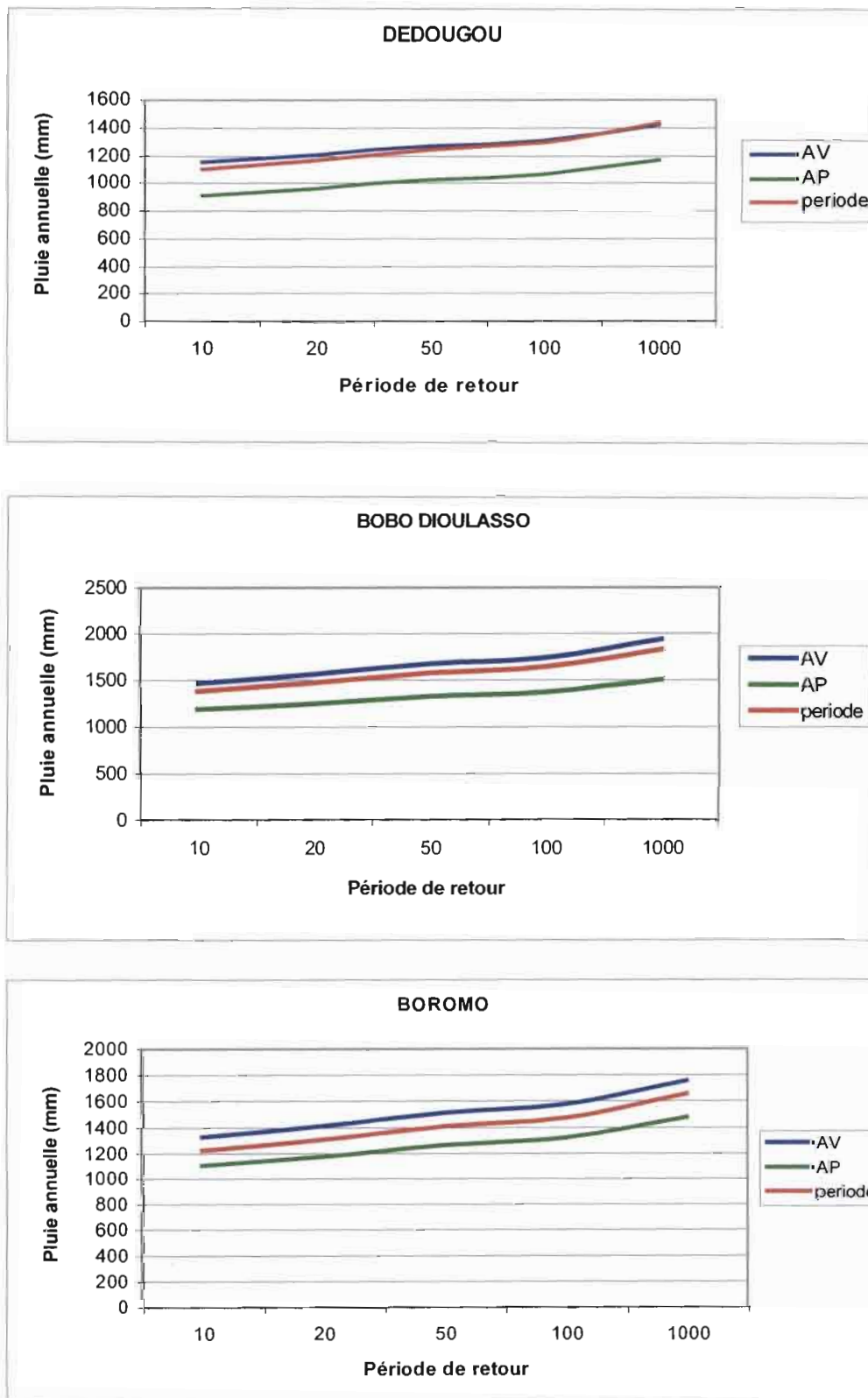


Figure IV.2.1 :Pluies annuelles en fonction des périodes de retour pour des récurrences humides à Dedougou, Bobo, Boromo

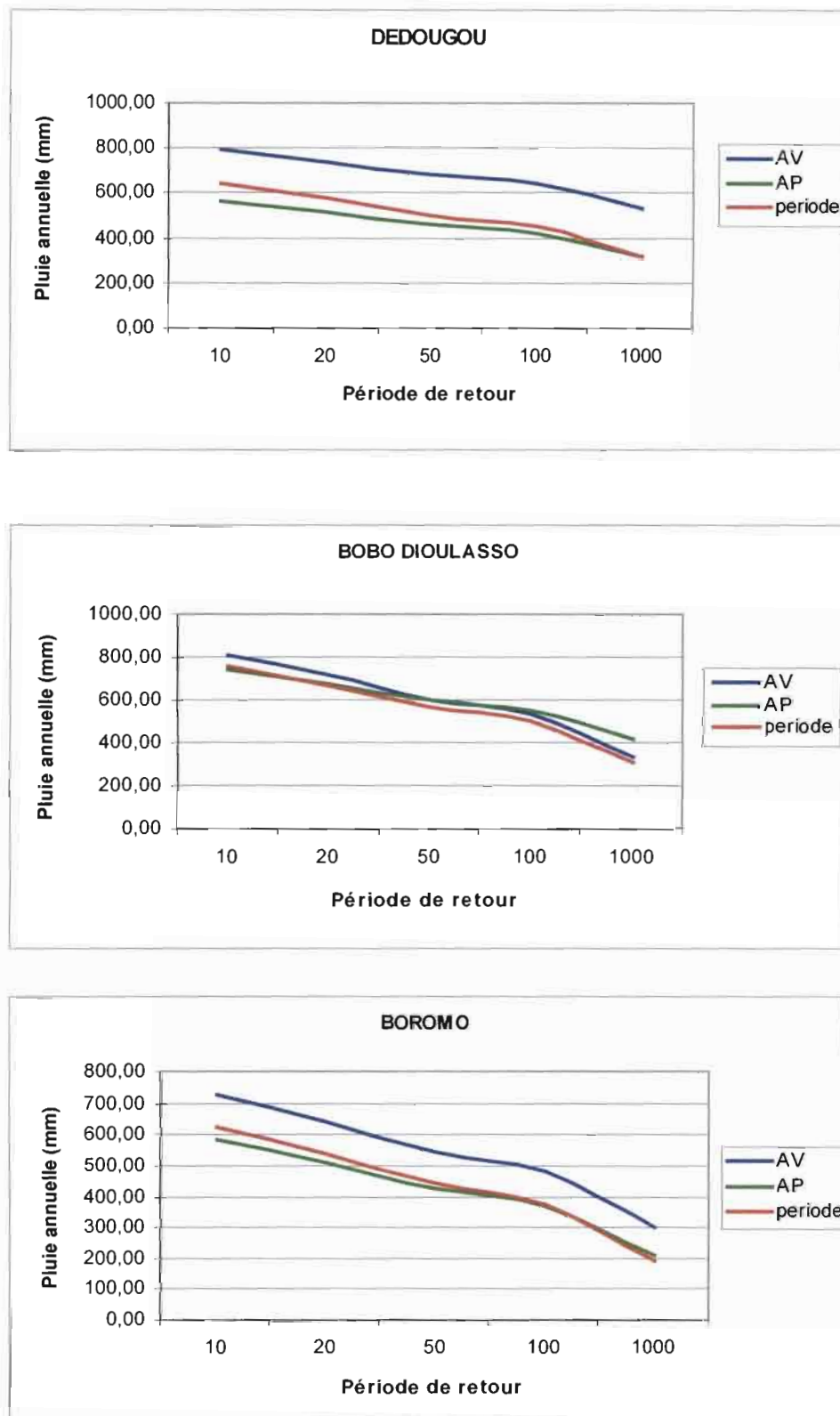


Figure IV.2.2 :Pluies annuelles en fonction des périodes de retour pour des récurrences sèches à Dedougou, Bobo, Boromo

### IV.3 TRAITEMENT DES DÉBITS MOYENS ANNUELS :

Le débit moyen annuel est une variable qui est représentative du volume qui transite annuellement à l'exutoire d'un cours d'eau. Il est beaucoup utilisé pour caractériser l'abondance des ressources en eau.

Les séries chronologiques de débits annuels constituées pour les 9 stations hydrométriques sélectionnées ont été soumises à différentes lois d'ajustement. Pour cette variable c'est la loi normale qui a été ajustée.

Nous avons calculé les valeurs des débits moyens annuels sur les périodes avant rupture, après rupture et sur toute la période d'observation et ceci pour les récurrences humides décennales, vincennales, cinquantennales, centennales et millenales. **(tableau IV.3.1)**

Les valeurs des débits moyens annuels révèlent des différences notoires selon que l'on considère les séries d'une période ou d'une autre.

Les valeurs des modules calculés sur la période après rupture sont systématiquement inférieures à celles calculées avant rupture sauf pour la station de NWOKUY qui a subi une influence du barrage qui se trouve à la confluence du Mouhoun avec le Sourou.

D'autre part, il ressort que plus la période de retour est élevée plus l'écart entre les modules calculé sur la période avant et après rupture se rétrécit. **(figure IV.3.1)**

Néanmoins ces écarts peuvent avoir des conséquences que l'on n'ose pas imaginer :

- ❖ A Boromo par exemple, le débit décennal calculé sur toute la période a une période de retour de 100 environ sur la période après rupture.
- ❖ A Manimenso le débit millenal calculé sur la période après rupture devient décennal sur la totalité de la période.
- ❖ A Lery Nord le débit décennal calculé sur toute la période devient centennal si on considère la période après rupture.

Ces quelques valeurs montrent toute l'importance de bien définir une période de référence homogène pour l'estimation des caractéristiques hydrologiques employées par les aménageurs dans le cadre de leurs projets.

Pour les récurrences sèches **(tableau IV.3.2 et figure IV.3.2)** les résultats sont similaires à ceux obtenus en considérant les récurrences humides :

- ❖ A Boromo le débit décennal sec calculé sur la période après rupture a une période de retour de 15 ans environ sur la période totale.
- ❖ A Dapola le débit décennal sec calculé sur la période après rupture a une période de retour de 15 ans environ aussi sur la période totale.
- ❖ A Samandeni le débit décennal sec calculé sur la période après rupture a une période de retour de 30 ans environ sur toute la période.

IMPACTS DU CLIMAT ET DES AMÉNAGEMENTS SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU MOUHOUN

		Fréquence															
		Décennale			Vincennale			Cinquantennale			Centennale			Millénaire			
Nom station	Chronique	Rupture	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période
BOROMO	1955 à 2002	1971	55	39	50	57,5	43	55	62	48	60	63,5	51,5	63	68	61	77
DAPOLA	1956 à 2002	1971	149	117	135	159	130	150	170	145	166	177	155	177	195	180	207
SAMANDENI	1955 à 2002	1970	25	17	21	27	19	24	29	21	26	31	23	28	35	28	30
NWOKUY	1955 à 1999	1984	43	54	48	48	58	54	53	62	59	57	66	63	67	75	73
LERY NORD	1955 à 2000	1975	19	11	15	21	12	17	23	14	19	24	15	21	28	18	25
MANIMENSO	1955 à 2000	1971	41	22	35	43	24	39	45	27	43	47	30	47	52	35	56

Tableau IV.3.1 : Valeurs des modules annuels associées aux récurrences humides

		Fréquence															
		Décennale			Vincennale			Cinquantennale			Centennale			Millénaire			
Nom station	Chronique	Rupture	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période
BOROMO	1955 à 2002	1971	35,00	10,00	14,00	32,00	5,00	8,00	29,00	0,00	2,00	27,00	0,00	0,00	22,00	0,00	0,00
DAPOLA	1956 à 2002	1971	82,00	27,00	38,00	73,00	15,00	24,00	62,00	0,00	9,00	55,00	0,00	0,00	35,00	0,00	0,00
SAMANDENI	1955 à 2002	1970	13,00	4,00	7,00	11,00	2,00	5,00	9,00	0,00	3,00	7,00	0,00	1,00	3,00	0,00	0,00
NWOKUY	1955 à 1999	1984	11,00	24,00	14,00	7,00	20,00	9,00	1,00	15,00	4,00	0,00	12,00	0,00	0,00	3,00	0,00
LERY NORD	1955 à 2000	1975	6,00	1,50	2,00	4,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MANIMENSO	1955 à 2000	1971	24,00	3,00	5,00	22,00	0,00	0,00	19,00	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00

Tableau IV.3.2 : Valeurs des modules annuels associées aux récurrences sèches

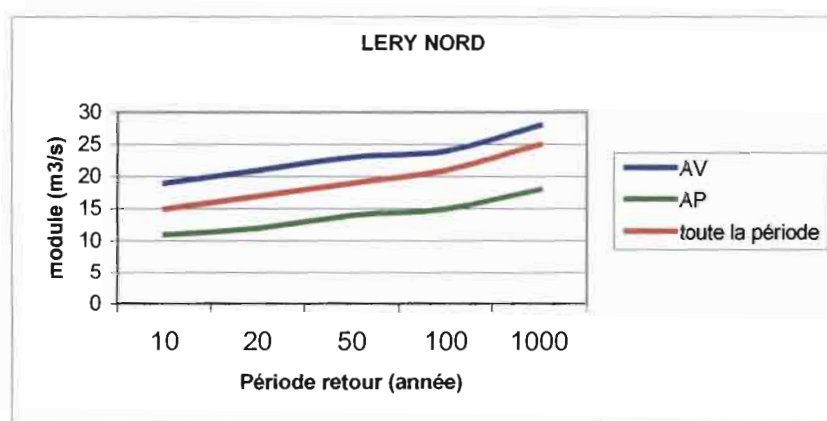
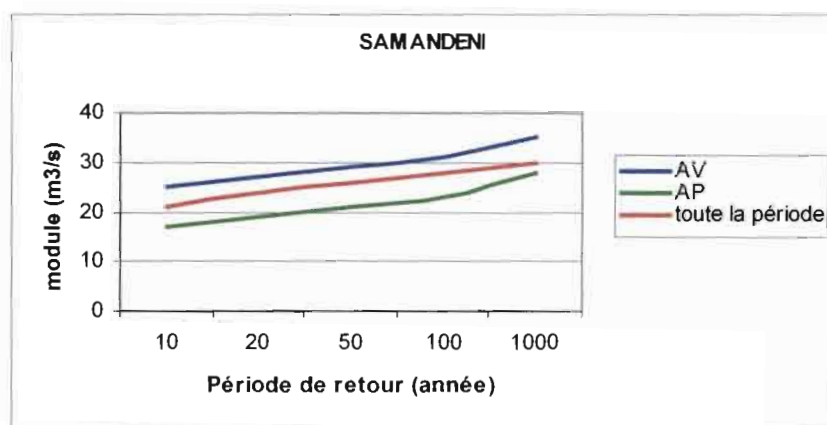
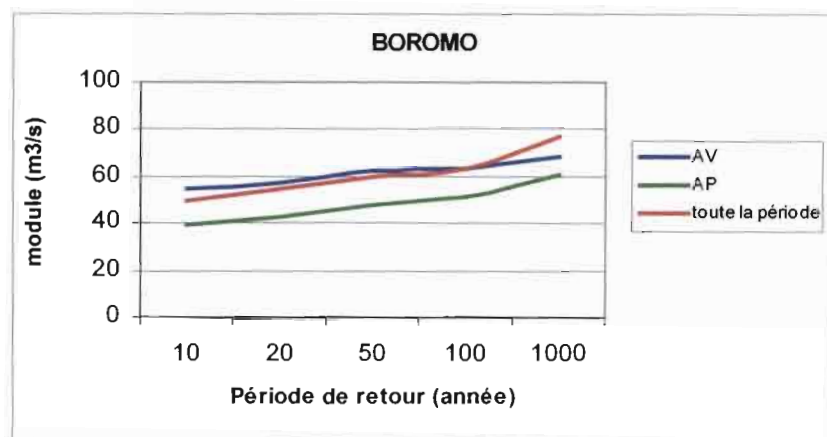


Tableau IV.3.1: Valeurs des modules associés aux récurrences humides



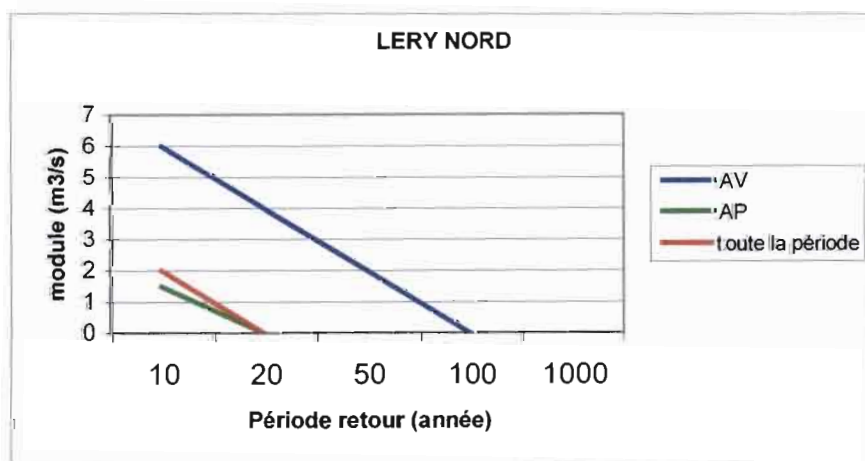
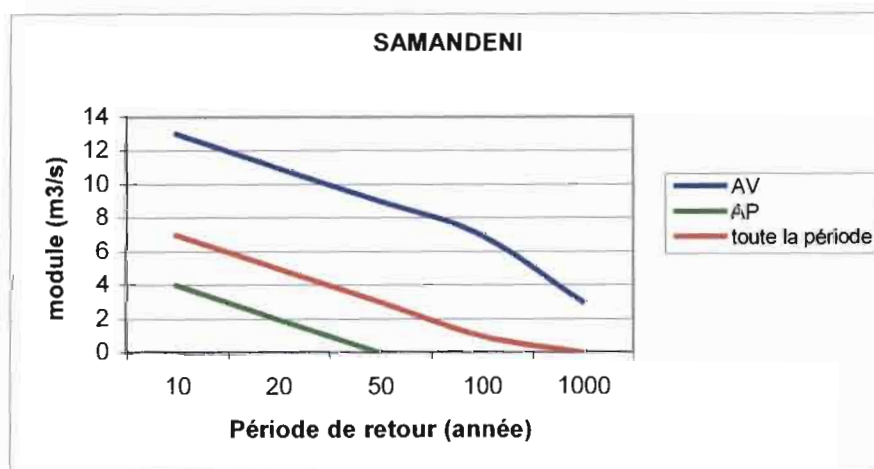
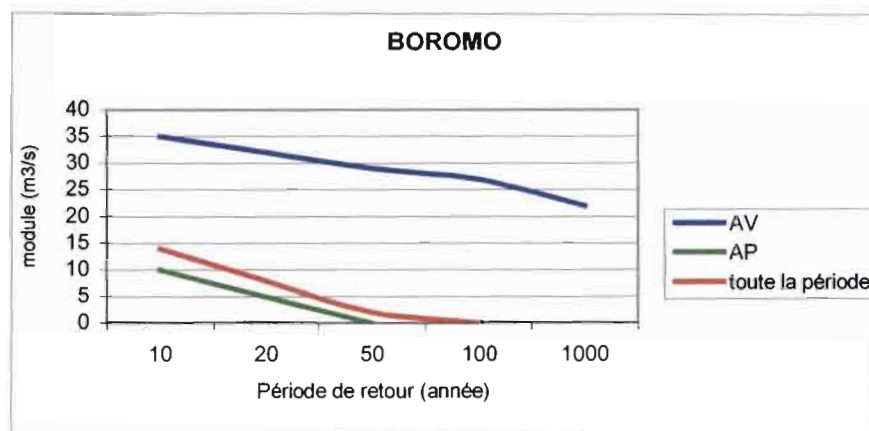


Tableau IV.3.1: Valeurs des modules associés aux récurrences sèches

## IV.4 TRAITEMENT DES DÉBITS CARACTÉRISTIQUES :

### *IV.4.1 Traitement des débits caractéristiques de crue :*

L'étude des débits extrêmes requiert des chroniques de débits journaliers, aussi sur les 9 stations hydrométriques étudiées, on a pu établir des séries de DCC que pour 3 stations (Boromo, Dapola, Samandeni).

La distribution des fréquences suivant les périodes après rupture et toute la période est sensiblement la même pour les stations de Boromo et Dapola. Cependant cette distribution diffère selon la période pour la station de Samandeni.

La figure IV.4.1 illustre la distribution des fréquences du DCC pour les 3 stations.

- ❖ A Samandeni le débit décennal calculé sur toute la période a une période de retour de 25 ans environ sur la période après rupture.

### *IV.4.2 Traitement des débits caractéristiques d'étiage :*

La variable relative aux faibles débits retenue pour cette analyse est le DCE.

La aussi la distribution des fréquences diffère suivant la période choisie. Nous avons choisi de présenter les résultats concernant le DCE pour les récurrences humides décennales, vincennales, cinquantennales, centennales et millenales.

La figure IV.4.2 illustre les courbes d'ajustement des DCE sur les 3 périodes choisies et pour les 3 stations choisies.

Les valeurs des DCE calculés sur toute la période sont toujours supérieures à celles calculées sur la période après rupture.

- ❖ Le débit millenal sur la période après rupture n'est même pas décennal sur toute la période d'observation et ceci pour toutes les stations.

			Fréquence														
			Décennale			Vincennale			Cinquantennale			Centennale			Millénaire		
Nom station	Chronique	Rupture	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période
BOROMO	1955 à 2002	1975	172,00	157,00	163,00	192,00	187,00	190,00	222,00	225,00	227,00	243,00	254,00	252,00	254,00	268,00	266,00
DAPOLA	1956 à 2002	1971	825,00	750,00	775,00	945,00	900,00	920,00	1100	1105,00	1105,00	1425,00	1500,00	1490,00	1540,00	1650,00	1630,00
SAMANDENI	1955 à 2002	1971	156,00	105,00	128,00	182,00	125,00	152,00	215,00	152,00	183,00	240,00	172,00	205,00	252,00	183,00	218,00

Tableau IV.4.1 : Valeurs des DCC associés aux récurrences humides

			Fréquence														
			Décennale			Vincennale			Cinquantennales			Centennale			Millénaire		
Nom station	Chronique	Rupture	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période	AV	AP	Période
BOROMO	1955 à 2002	1971	9,80	4,00	8,30	11,00	4,90	10,10	12,60	6,10	12,60	13,70	7,00	14,30	14,20	7,40	15,20
DAPOLA	1956 à 2002	1971	11,30	2,40	9,10	13,20	2,90	11,20	15,80	3,60	14,00	17,50	4,10	16,00	18,50	4,40	17,00
SAMANDENI	1955 à 2002	1970	3,00	0,70	2,70	3,40	1,00	3,40	3,90	1,30	4,30	4,30	1,50	4,80	4,50	1,60	5,20

Tableau IV.4.2 : Valeurs des DCE associés aux récurrences humides

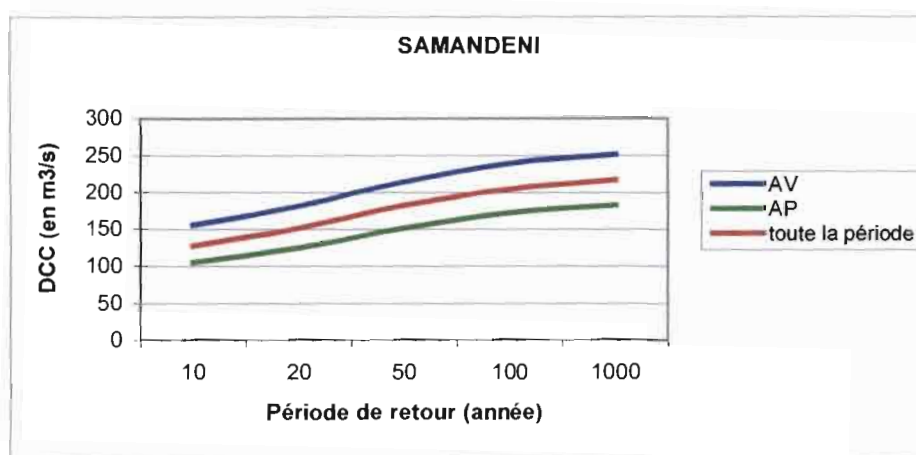
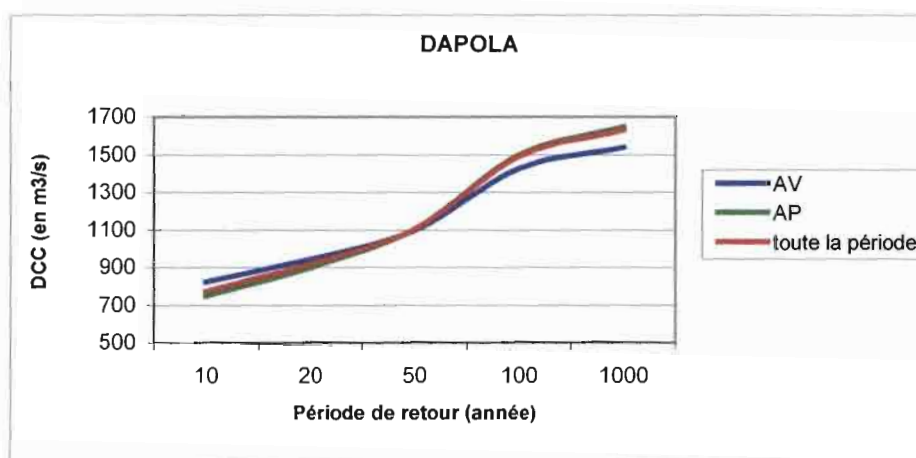
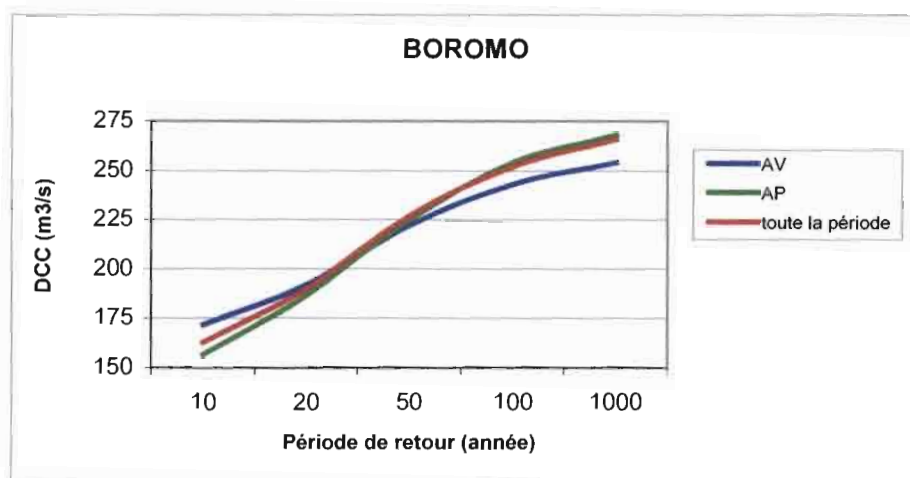


Tableau IV.4.1 : Valeurs des DCC associées aux récurrences humides

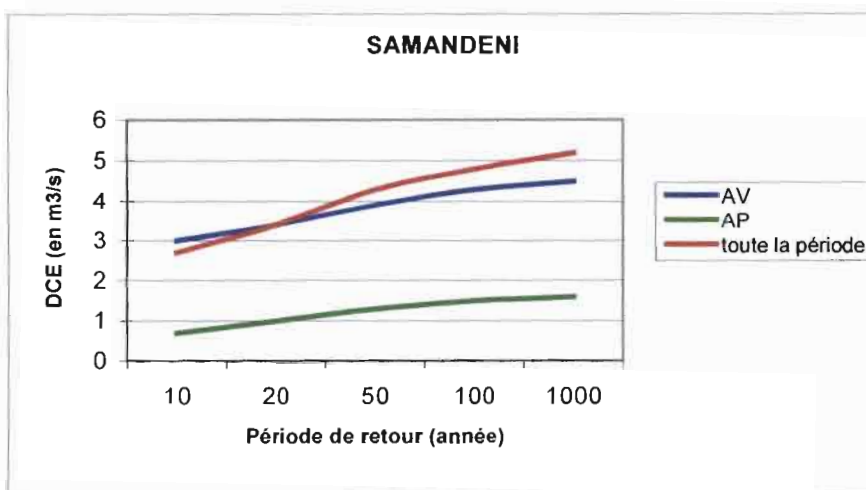
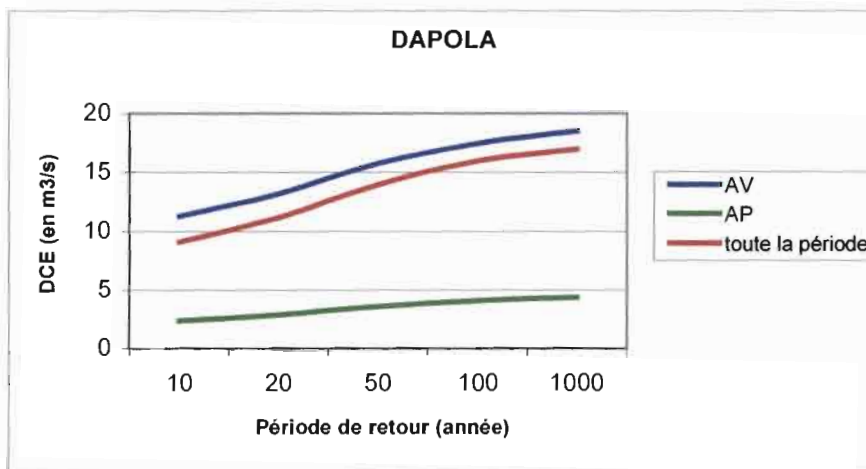
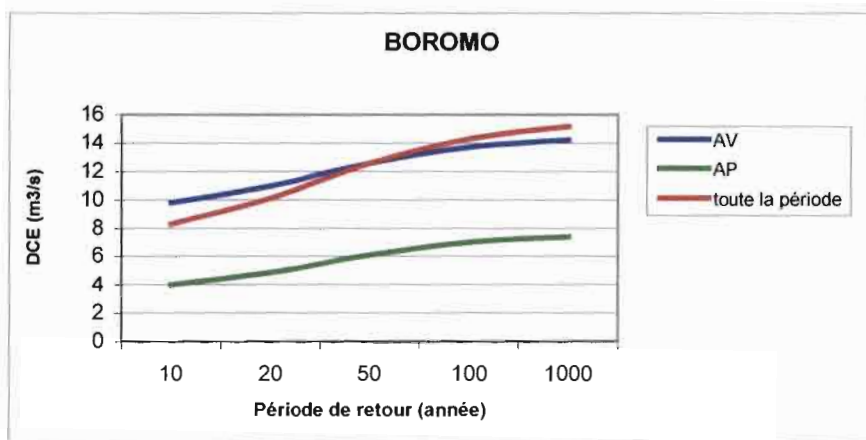


Tableau IV.4.2 : Valeurs des DCE associées aux récurrences humides

#### **IV.5 CONCLUSION :**

Ce chapitre soulève le problème de la limite relative des termes comme « normes hydrologiques » et « durée de retour » dans une zone qui connaît actuellement une période de sécheresse. On a longtemps cru que cette sécheresse était passagère mais voilà plus de 30 ans maintenant que cela perdure. Cette persistance est telle que les échantillons de certaines variables climatiques et hydrologiques ne sont plus comparables sur l'ensemble de la période d'observation et la période après rupture.

Farmer (1986) a cité l'exemple d'un projet d'irrigation à partir du lac Tchad. Les valeurs utilisées lors de la conception de l'ouvrage ont pris en compte les décennies précédant 1970 qui sont plus humides. Le fait est que le niveau du lac est tombé plus bas que les valeurs prévues, rendant le pompage à un niveau de non faisabilité.

Par conséquent, au regard de l'ensemble des résultats obtenus dans ce chapitre, il s'avère que les études de prédétermination des variables hydrologiques et la non-stationnarité des séries mises en évidence dans les chapitres précédents, posent un réel problème dans l'évaluation des risques.

En tout cas, ces quelques résultats devraient faire réfléchir les aménageurs et les concepteurs d'ouvrages hydrauliques qui doivent prendre des décisions pour le dimensionnement de leurs ouvrages sur les conséquences éventuelles de leur décision.

CHAPITRE V  
**BILAN HYDROLOGIQUE**



## CHAPITRE V : BILAN HYDROLOGIQUE

Dans cette section nous nous proposons de faire le bilan hydrologique pour les différentes stations choisies pour l'étude, l'objectif étant de déterminer les déficits et les coefficients d'écoulement et de voir les effets de la péjoration du climat sur les lames d'eau écoulée.

### V.1 METHODE :

Lorsqu'il est tombé sur un bassin, un volume de précipitation  $V_p$  en un temps  $T$ , pendant la même période, une partie s'est évaporée ou a été transpirée par les végétaux ( $V_e$ ), une partie a été définitivement perdue pour la rivière par infiltration profonde ( $V_i$ ) et le reste s'est infiltré pour aller alimenter les nappes ou s'est emmagasiné dans le lit de la rivière ou de ses affluents en attendant d'être restitué à l'exutoire ( $V_n$ ).

En négligeant les pertes par infiltration  $V_i$ , l'équation du bilan s'écrit :

$$V_p = V_q + V_e + V_n$$

Le terme  $V_n$  peut être positif ou négatif suivant que la période de durée  $T$  a vu un renforcement ou une vidange des réserves du bassin. Il est nul si l'état des nappes et des réserves du lit est le même au début et à la fin de la période considérée (c'est à dire pour un cycle complet).

Dans l'établissement du bilan nous raisonnerons en terme de lame d'eau écoulée plutôt qu'en volume. On la définit comme étant la lame d'eau répartie uniformément sur l'ensemble du bassin versant et représente le volume des apports de l'année. On la désigne par la lettre **Le** et on l'exprime en millimètres. Pour l'année on a donc :

$$1000 \cdot Le = Q \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 1/S$$

$$\text{D'où } Le = 31536 \cdot Q/S$$

Avec  $\left\{ \begin{array}{l} Q : \text{module de l'année en m}^3/\text{s} \\ S : \text{surface du bassin versant en km}^2 \end{array} \right.$

Si on appelle  $P$  la pluviométrie moyenne sur le bassin pour l'année considérée, exprimée en millimètres d'eau, l'équation du bilan *pour un cycle complet* devient, en tenant compte des réserves que nous avons faites :

$$P = Le + E$$

$E$  étant l'évapotranspiration totale de l'année.

On appelle déficit d'écoulement et on le désigne par la lettre D, la différence, pour une période donnée, entre la précipitation moyenne sur le bassin et la lame d'eau écoulée à la station :

$$D = P - Le$$

Donc dans l'hypothèse d'un cycle complet et en négligeant  $V_i$ , le déficit est égal à l'évapotranspiration réelle.

Nous avons aussi calculé le coefficient d'écoulement qui est donné par la formule suivante :

$$R\% = 100 \cdot \frac{Le}{P}$$

## V.2 BILAN POUR CHAQUE STATION

Dans ce qui suit nous avons présenté les résultats du bilan hydrologique de chaque station par tranche de 5 ans à cause de la taille des tableaux. La pluie moyenne sur les bassins a été calculé à l'aide d'un logiciel de modélisation spatialisée faisant appel à des modèles conceptuels de bilan hydrologique. Nous n'avons pu faire le bilan que jusqu'en 1995 à cause d'un manque de données.

Pour avoir une idée de l'évolution des différents paramètres nous avons représenté les courbes d'évolution de la pluie moyenne et du coefficient d'écoulement sur un même graphique.

Nous ferons une synthèse de tous les résultats en conclusion.

### V.2.1 Samandeni

Année	S (km <sup>2</sup> )	Module (m <sup>3</sup> /s)	Le (mm)	Pm (mm)	Déficit (mm)	Coef ecilt (%)
1955 à 1960	4904	18.90	121.54	1120.83	999.29	10.84
1961 à 1965	4904	19.49	125.31	1133.40	1008.09	11.11
1966 à 1970	4904	18.16	116.77	1128.00	1011.23	10.25
1971 à 1975	4904	10.35	66.58	948.40	881.82	6.86
1976 à 1980	4904	6.43	41.36	1058.40	1017.04	3.97
1981 à 1985	4904	7.77	49.96	949.00	899.04	4.94
1986 à 1990	4904	9.39	60.40	975.20	914.80	6.15
1991 à 1995	4904	13.36	85.93	1022.00	936.07	8.20

La pluie a diminué après les années 1970, entraînant une forte diminution des écoulements. En effet la lame d'eau écoulée a chuté à peu près de moitié après cette date ainsi que le coefficient d'écoulement.

**V.2.2 Nwokuy**

Année	S (km <sup>2</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Le (mm)	Pm (mm)	Déficit (mm)	Coef eclt (%)
1957 à 1960	17065	26,23	48,46	1028,00	979,54	4,54
1961 à 1965	17065	34,45	63,66	1373,80	1310,14	4,93
1966 à 1970	17065	36,93	68,24	1032,20	963,96	6,55
1971 à 1975	17065	24,57	45,41	872,40	826,99	5,12
1976 à 1980	17065	18,06	33,38	935,20	901,82	3,58
1981 à 1985	17065	22,61	41,77	856,60	814,83	4,77
1986 à 1990	17065	29,27	54,09	1208,00	1153,91	5,27
1991 à 1995	17065	41,12	75,99	1413,80	1337,81	5,77

Les valeurs de pluies moyennes trouvées sont trop élevées car la station de Nwokuy se trouve presque dans la zone sahélienne. Le modèle utilisé n'est peut être pas très approprié. La lame d'eau écoulée et le coefficient d'écoulement semble évoluer dans le même sens que la pluviométrie mais en fait l'influence du barrage en aval de Nwokuy explique plus l'augmentation de la lame d'eau que la pluviométrie.

**V.2.3 Lery Nord**

Année	S (km <sup>2</sup> )	module (m <sup>3</sup> /s)	Le (mm)	Pm (mm)	Déficit (mm)	Coef d'éclt %
1956 à 1960	13216	14,35	34,24	687,60	653,36	4,92
1961 à 1965	13216	15,67	37,39	729,20	691,81	5,20
1966 à 1970	13216	12,43	29,66	633,00	603,34	4,80
1971 à 1975	13216	7,94	18,94	569,60	550,66	3,24
1976 à 1980	13216	6,00	14,32	605,20	590,88	2,36
1981 à 1985	13216	1,15	2,75	501,40	498,65	0,48
1986 à 1990	13216	1,87	4,46	574,40	569,94	0,82
1991 à 1995	13216	3,31	7,90	657,00	649,10	1,24

La pluviométrie moyenne sur le bassin connaît une baisse depuis les années 1970. La lame d'eau écoulée et le coefficient d'écoulement chutent aussi après les années 1970 mais de façon beaucoup plus prononcée. Cette chute est d'autant plus accentuée pendant la période 1981 à 1990. Ce fait pourrait s'expliquer d'une part par le phénomène de sécheresse après les années 1970, et d'autre part par la construction du barrage de Lery en 1976 et des ouvrages de dérivation en 1984, ce qui a contribué à la chute de l'écoulement.

**V.2.4 Manimenso**

Année	S (km <sup>2</sup> )	Module (m <sup>3</sup> /s)	Le (mm)	Pm	Déficit (mm)	Coef eclt %
1955 à 1960	39902	35,39	27,97	868,83	840,86	3,19
1961 à 1965	39902	32,81	25,93	887,40	861,47	2,93
1966 à 1970	39902	28,72	22,70	836,20	813,50	2,71
1971 à 1975	39902	19,57	15,47	718,00	702,53	2,12
1976 à 1980	39902	16,53	13,07	767,40	754,33	1,70
1981 à 1985	39902	9,37	7,41	671,40	663,99	1,06
1986 à 1990	39902	7,81	6,17	732,60	726,43	0,81
1991 à 1995	39902	7,28	5,75	824,20	818,45	0,70

Les observations à Manimenso sont similaires à celles faites à Lery Nord. En effet la pluviométrie a baissé depuis les années 1970. La chute remarquée de la lame d'eau écoulée après les années 1970, s'est amplifiée après 1980 entraînant ainsi une diminution du coefficient d'écoulement.

Cette station située juste à l'aval de la confluence du Mouhoun avec le Sourou a été affectée d'une part par le phénomène de sécheresse et d'autre part par la construction du barrage de Lery et des ouvrages de dérivation.

**V.2.5 Tenado**

Année	S (km <sup>2</sup> )	Module (m <sup>3</sup> /s)	Le (mm)	Pm	Déficit (mm)	Coef eclt %
1976 à 1980	50317	9,40	5,89	754,60	748,71	0,80
1981 à 1985	50317	20,48	12,83	656,40	643,57	1,95
1986 à 1990	50317	11,27	7,06	733,00	725,94	0,94
1991 à 1995	50317	27,40	17,17	810,00	792,83	2,15

Les trois variables Le, Pm et le coefficient d'écoulement évoluent globalement dans le même sens. L'augmentation de la pluie semble entraîner une augmentation de la lame d'eau et des écoulements.

L'effet de la construction des ouvrages en amont semble cependant s'être répercuté sur le régime du Mouhoun à Tenado car les valeurs les plus basses de lame d'eau écoulée s'observent sur les périodes de construction des ouvrages à l'amont (après 1976 et après 1984).

**V.2.6 Boromo**

Année	S (km <sup>2</sup> )	Module m3/s	Le (mm)	Pm (mm)	Déficit (mm)	Coef eclt (%)
1957 à 1960	60320	43,93	22,97	867,25	844,28	2,64
1961 à 1965	60320	48,56	25,39	897,20	871,81	2,83
1966 à 1970	60320	39,20	20,49	842,20	821,71	2,44
1971 à 1975	60320	31,11	16,27	732,40	716,13	2,20
1976 à 1980	60320	27,54	14,40	776,60	762,20	1,85
1981 à 1985	60320	18,75	9,81	676,00	666,19	1,41
1986 à 1990	60320	17,10	8,94	755,40	746,46	1,14
1991 à 1995	60320	23,94	12,52	829,60	817,08	1,45

Les coefficients d'écoulement connaissent une baisse. La pluie et la lame d'eau écoulée diminuent également mais la lame d'eau écoulée diminue plus rapidement.

**V.2.7 Pont Ouessa**

Année	S(km <sup>2</sup> )	Module (m3/s)	Le (mm)	Pm	Déficit (mm)	Coef eclt %
1971 à 1975	75955	50,93	21,15	1085,80	1064,65	2,09
1976 à 1980	75955	20,19	8,38	801,60	793,22	1,07
1981 à 1985	75955	28,01	11,63	1248,60	1236,97	0,92
1986 à 1990	75955	33,76	14,02	1395,60	1381,58	1,07
1991 à 1995	75955	48,05	19,95	1538,60	1518,65	1,28

La même observation faite pour la station de Nwokuy sera faite ici car les valeurs de pluie semblent être un peu élevée surtout après 1986. Ceci pourrait expliquer la baisse du coefficient d'écoulement car la pluviométrie croît plus rapidement que la lame d'eau.

**V.2.8 Dapola**

Année	S (km <sup>2</sup> )	Module (m3/s)	Le (mm)	Pm	Déficit (mm)	Coef eclt %
1957 à 1960	95652,00	100,22	33,04	897,50	864,46	3,67
1961 à 1965	95652,00	129,93	42,84	948,40	905,56	4,49
1966 à 1970	95652,00	112,43	37,07	908,80	871,73	4,08
1971 à 1975	95652,00	79,69	26,27	806,00	779,73	3,20
1976 à 1980	95652,00	70,71	23,31	839,00	815,69	2,78
1981 à 1985	95652,00	49,84	16,43	738,00	721,57	2,15
1986 à 1990	95652,00	71,99	23,74	810,40	786,66	2,87
1991 à 1995	95652,00	76,91	25,36	858,20	832,84	2,82

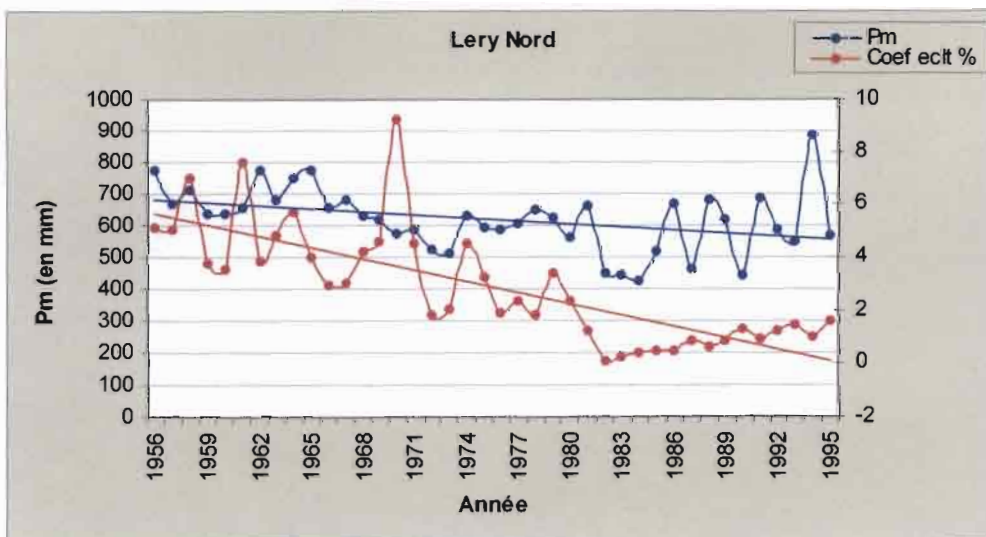
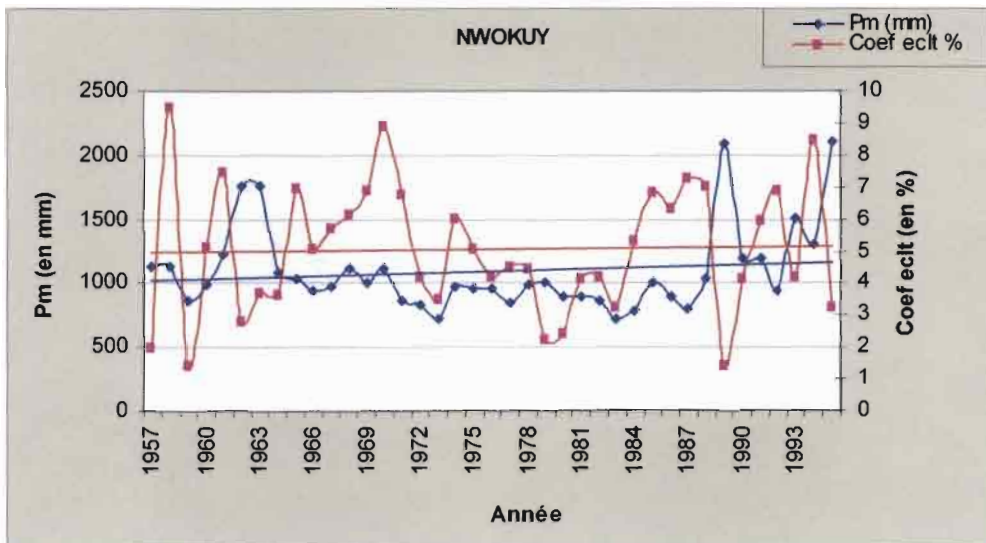
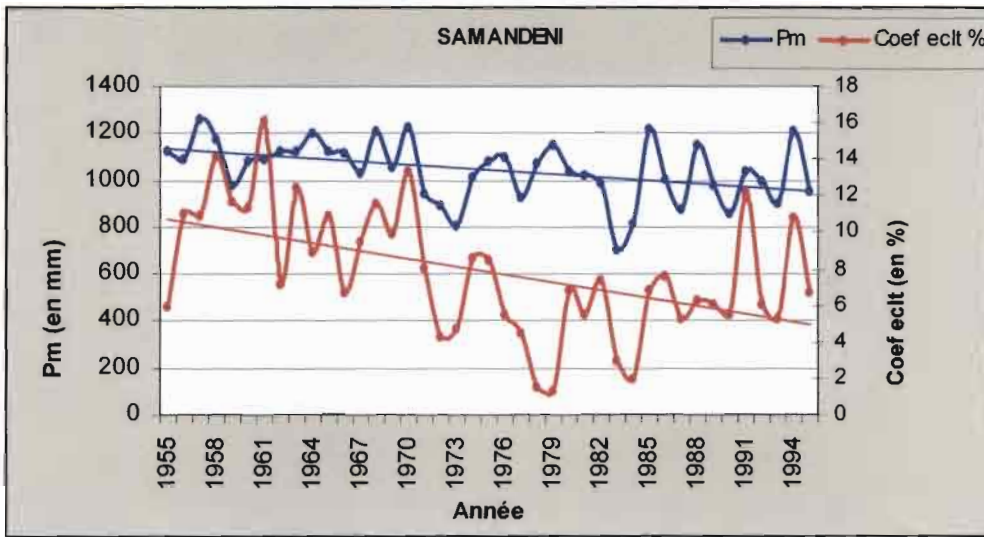
La lame d'eau écoulée a connu une baisse après les années 1970. la période 1981-1985 qui a enregistré la plus faible valeur de débit correspond également à la plus faible valeur de pluie moyenne.

### V.2.9 Noubiel

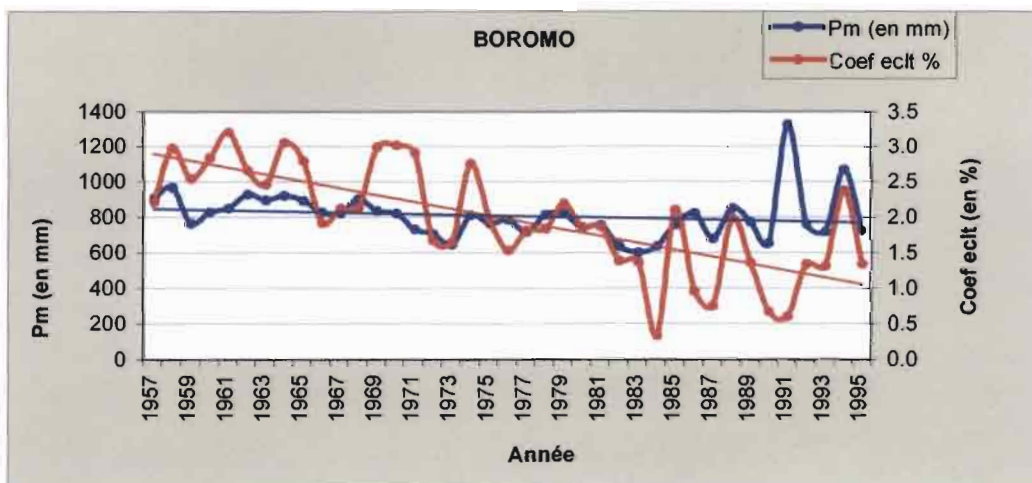
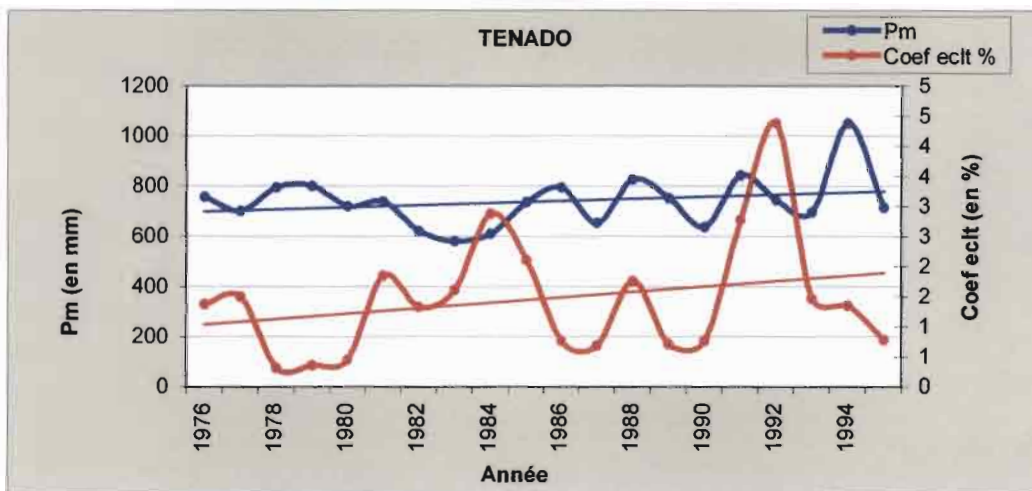
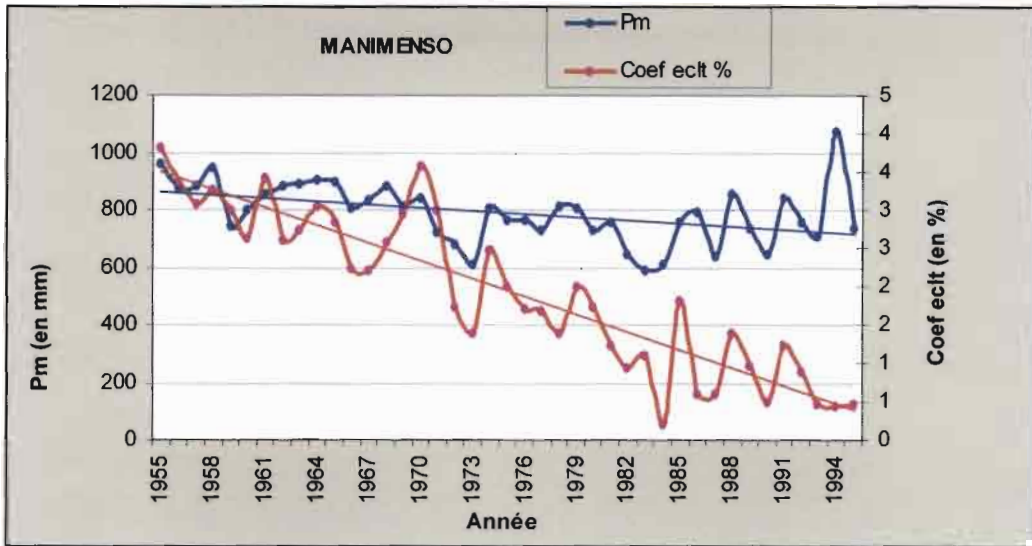
Année	S (km <sup>2</sup> )	Module (m <sup>3</sup> /s)	Le (mm)	Pm (mm)	Déficit (mm)	Coef eclt %
1975 à 1980	1113038	90,25	25,18	850,33	825,16	2,95
1981 à 1985	1113038	71,61	19,98	748,60	728,62	2,59
1986 à 1990	1113038	102,52	28,60	825,60	797,00	3,42
1991 à 1995	1113038	106,16	29,62	861,80	832,18	3,35

Le coefficient d'écoulement a connu une hausse pour la station de Noubiel en même temps que la pluviométrie. Cette hausse pourrait aussi s'expliquer par les apports du Ghana qu'on a pas pu quantifier dans cette étude.









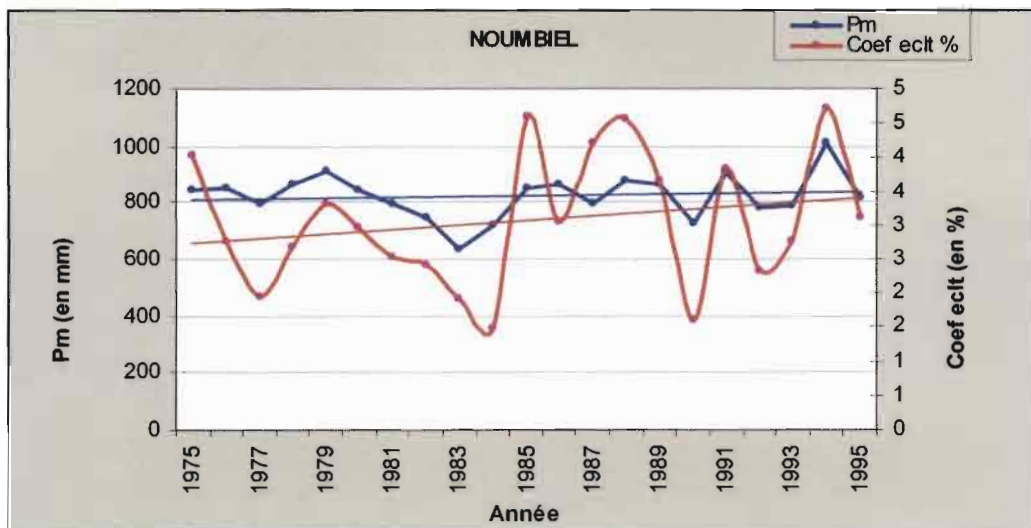
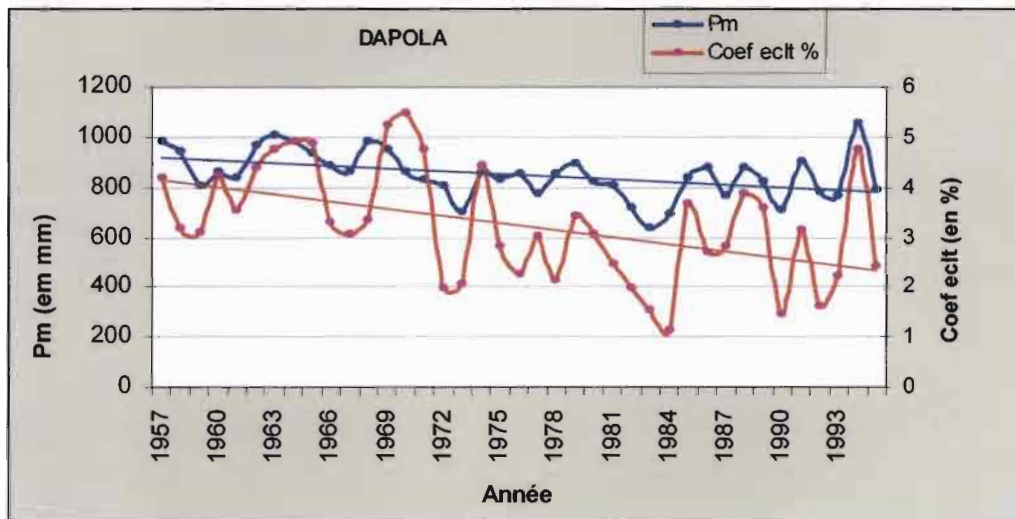
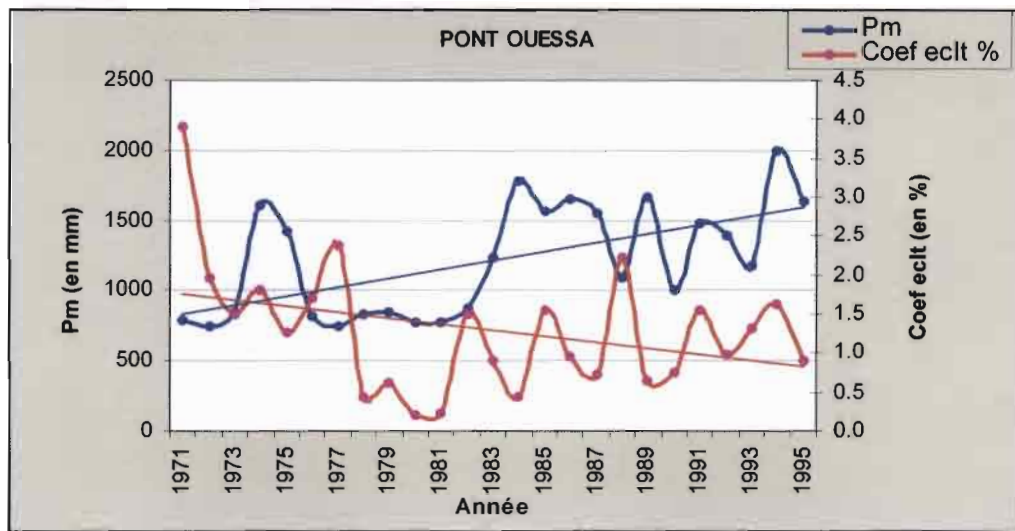


Figure V.2 : Courbes d'évolution de la pluie moyenne et du coefficient d'écoulement

### V.3 CONCLUSION

L'examen des pluies moyennes sur les différents bassins (mis à part Nwokuy et Pont ouessa dont les valeurs semblent surestimées) a montré que globalement la pluviométrie moyenne a connu une baisse.

Cette variabilité temporelle des précipitations est accompagnée d'une diminution encore plus sensible des écoulements comme l'atteste le **tableau V.2.9** où nous avons résumé pour les 9 bassins les déficits sur les pluies moyennes annuelles calculées sur le bassin et les déficits des débits moyens annuels.

En outre pour l'ensemble des stations pour lesquelles on a décelé une date de rupture, le coefficient d'écoulement connaît une baisse (car le débit baisse plus rapidement que la pluie, voir tableau V.2.9) sauf pour la station de Nwokuy qui connaît une hausse. Ceci traduit bien les effets de la péjoration du climat qui se manifestent par une réduction de la lame d'eau écoulée.

Mais cette baisse des écoulements n'est pas seulement due au phénomène de sécheresse ; en effet les aménagements sur le cours du Mouhoun a fortement contribué à la chute des écoulements.

Cours D'eau	Stations	Date De Rupture	Déficit Sur Les Pluies Moyennes Annuelles %	Déficit Sur Les Débits Moyens Annuels %
MOUHOUN	SAMANDENI	1970	-12	- 44
MOUHOUN	NWOKUY	1984	+26	+ 32
SOUROU	LERY NORD	1975	-11	- 76
MOUHOUN	MANIMENSO	1971	-13	- 64
MOUHOUN	TENADO	rien		
MOUHOUN	BOROMO	1971	- 12	- 47
MOUHOUN	PONT OUESSA	rien		
MOUHOUN	DAPOLA	1971	- 11	- 41
MOUHOUN	NOUMBIEL	rien		

Tableau V.2.9 : Comparaison des déficits entre les pluies annuelles et les débits moyens annuels sur les bassins de la zone d'étude.

CHAPITRE VI

**IMPACTS DES AMÉNAGEMENTS SUR  
LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU  
MOUHOUN**



## CHAPITRE VI : IMPACTS DES AMÉNAGEMENTS SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DU MOUHOUN

Nous nous proposons dans cette section d'étudier l'impact des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun. Nous avons vu dans les chapitres précédents que la pluviométrie avait connu une baisse depuis les années 70 à cause de la fameuse sécheresse et que cela avait eu une incidence sur les écoulements. Mais lorsque l'on étudie les séries de modules annuels nous remarquons une diminution brusque des écoulements après les années 1976 ou 1984 (surtout pour les 2 stations situées juste à l'aval de ces aménagements). Ces 2 dates correspondent respectivement à la date de réalisation du barrage de Lery et de l'ouvrage de dérivation juste avant la confluence du Mouhoun avec le Sourou.

Pour ce faire nous procéderons à une analyse de l'évolution des hauteurs d'eau au niveau du barrage de Lery, ensuite nous évaluerons les lâchures d'eau à Lery barrage et nous comparerons ces lâchures aux débits qui ont été observés avant la construction du barrage.

### VI.1 ÉVOLUTION DES HAUTEURS D'EAU A LERY BARRAGE :

Le barrage de Lery construit en 1976, avait pour objectif de stocker l'eau du Sourou pour des fins agricoles. Le niveau de l'eau était régulé à l'aide de 4 vannes de dimensions (4mx2m) afin d'éviter l'inondation des villages environnants.

Les aménageurs ayant jugé la quantité d'eau stockée au niveau du barrage insuffisante, ont décidé de construire en 1984 les ouvrages de dérivation à l'amont de la confluence du Mouhoun avec le Sourou qui auront pour rôle de dévier toute l'eau du Mouhoun vers le barrage de Lery.

Ces ouvrages ont eu pour conséquence une augmentation remarquable du niveau d'eau dans le barrage de Lery. (figure VI.1)

Nous avons estimé cette augmentation en calculant le rapport entre la hauteur moyenne après 1984 et la hauteur moyenne avant 1984 ce qui nous donne :

$$R = \frac{\text{Hauteur d'eau moyenne après 1984}}{\text{Hauteur d'eau moyenne avant 1984}} = 295/59 \approx 5$$

Nous voyons donc à partir de ce résultat que le niveau d'eau du barrage a été multiplié par 5 avec la construction des ouvrages de dérivation à l'amont de la confluence.

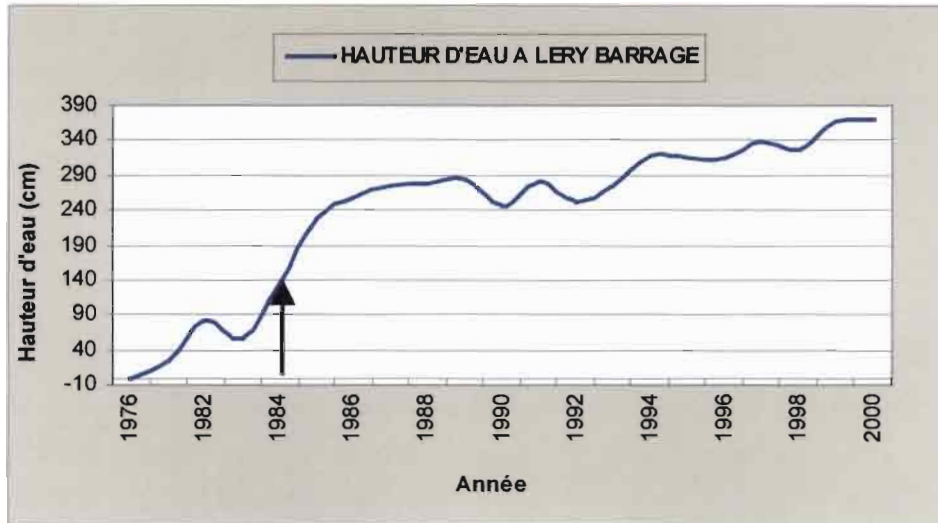


Figure V.1 : Evolution de la hauteur d'eau à Lery barrage

## VI.2 VARIATION SAISONNIERE DU NIVEAU D'EAU DANS LE BARRAGE :

Nous avons par la suite calculé la moyenne interannuelle mensuelle des hauteurs d'eau afin de déterminer la variation saisonnière du niveau d'eau dans le barrage de Lery. (figure V.2)

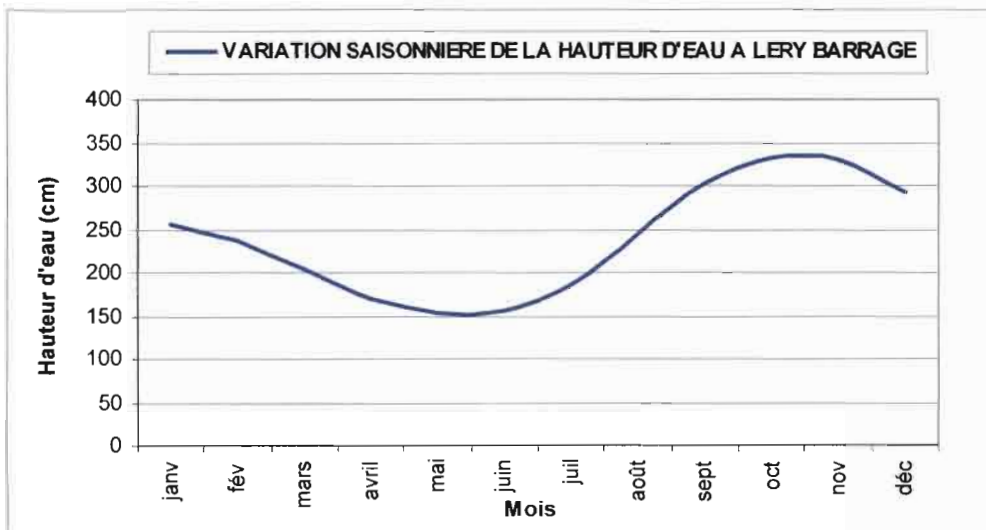


Figure VI.2 : Variation saisonnière du niveau d'eau dans le barrage

Il ressort de la figure que le niveau d'eau le plus bas dans le barrage s'observe vers les mois de mai et juin et que les niveaux d'eau les plus élevés se situent vers les mois d'octobre et novembre.

Après cette brève analyse nous voyons que le barrage de Lery retient beaucoup d'eau provenant du Mouhoun. Néanmoins des vannes de régulation existe et si nous pouvons estimer le débit qui est lâché nous pourrions voir dans quelle mesure le régime du Mouhoun a été modifié.

### VI.3 ÉVALUATION DES LÂCHÉES DE DEBITS A LERY BARRAGE :

Pour l'évaluation des lâchures au barrage de Lery, nous avons eu accès aux archives de la DGIRH, et nous avons noté les dimensions d'ouverture des vannes suivant les mois et ceci pour les années 1995 à 2000.

Ensuite nous avons utilisé la formule usuelle d'un écoulement par orifice pour le cas d'une vanne noyée pour estimer le débit lâché.

En effet en considérant la vitesse négligeable à Lery barrage on a la formule du débit suivant :

$$Q = mL_e \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

Avec :

Q = débit en m<sup>3</sup>/s

M = coefficient de débit = 0,61

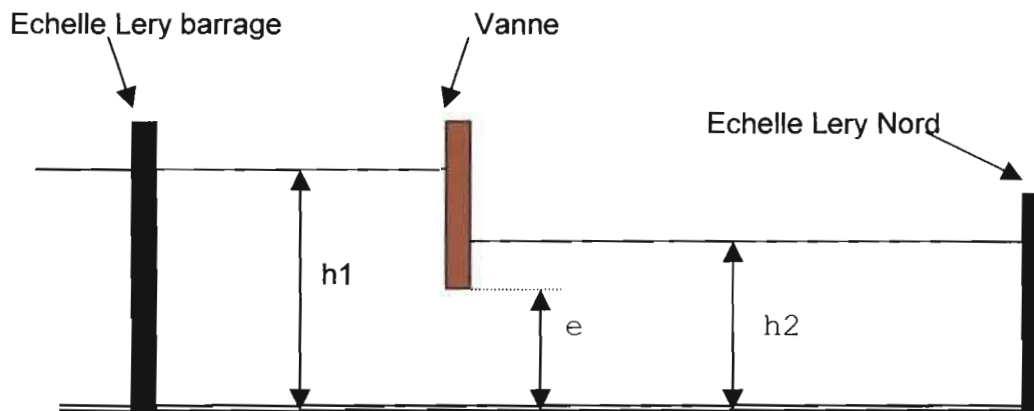
L = largeur de l'ouverture de la vanne en mètre

E = levée de la vanne en mètre

H<sub>1</sub> = profondeur amont en mètre (à Lery barrage)

H<sub>2</sub> = Profondeur aval en mètre (à Lery Nord)

#### Schéma de situation de Lery barrage :





### **Critique des données de lâchures de débit :**

Nous avons procédé à un examen critique des résultats de débits lâchés calculés pour voir la crédibilité des données sur les enregistrements d'ouverture des vannes. En effet le débit observé à Lery Nord (juste à l'aval) devrait approximativement être proche du débit lâché au niveau du barrage de Lery.

En calculant le débit lâché pour les différentes dates d'enregistrement nous nous sommes rendus compte que certains résultats étaient aberrants et qu'il devait sûrement y avoir des défauts d'enregistrement ; Néanmoins pour certains mois où les enregistrements étaient plus réguliers nous avons trouvé des valeurs de débits lâchés proches du débit observé à Lery Nord.

Dans ce qui suit nous allons utiliser les débits observés à Lery Nord pour estimer les déficits dûs à la construction du barrage.

### **VI.4 CALCUL DE DEFICITS POUR LES DEBITS MENSUELS DE LA SAISON SECHE :**

Nous nous proposons dans un premier temps de calculer les déficits causés par la construction du premier barrage à Lery en 1976 pour les séries de débits des mois de la saison sèche. Avant la construction du barrage de Lery, le Sourou contribuait beaucoup en terme d'apport au débit observé dans le Mouhoun inférieur pendant la saison sèche.

Dans un second temps nous calculerons les nouveaux déficits dû à l'ajout des ouvrages de dérivation en 1984. L'objectif d'un tel traitement est de voir quels sont les mois les plus touchés par la construction des ouvrages à Lery barrage et à l'amont de la confluence.

Nous jugeons qu'à priori l'essentiel du débit observé au niveau des stations du Mouhoun inférieur durant la saison sèche provient des lâchures de Lery barrage ; aussi avons nous jugé nécessaire de traiter uniquement les débits des mois de novembre jusqu'en avril.

#### **➤ Déficit dû à la construction du barrage de Lery en 1976 :**

Les résultats montrent que toutes les stations présentent des déficits relativement élevés et ceci pour les 6 mois de la saison sèche (**tableau V.4**). Cependant le mois de janvier semble être plus touché par le déficit.

Ceci peut être expliqué d'une part par le fait que le Sourou alimentait le Mouhoun lors de la saison sèche, mais avec la construction du barrage de Lery en 1976, l'eau du Sourou était dorénavant stockée au niveau du barrage pour des fins agricoles.

Bien que le niveau de l'eau dans le barrage soit contrôlé par 4 vannes pour éviter des inondations et qu'il y avait des lâchures d'eau cela n'a pas été suffisant car les déficits calculés varient pour l'essentiel des stations entre -95% et -4%.

## Novembre

Stations	Période d'observation	Construction Lery barrage	Moyenne Début-1976	Moyenne 1977-1983	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1983	1976	32.6	11.51	-65
Manimenso	1955 à 1983	1976	62.17	29.84	-52
Tenado	1976 à 1983	1976			
Boromo	1955 à 1983	1976	62.23	31.6	-49
Ooussa	1969 à 1983	1976	56.32	15.18	-73
Dapola	1956 à 1983	1976	94.74	38.61	-59
Noumbiel	1975 à 1983	1976			

## Decembre

Stations	Période d'observation	Construction Lery barrage	Moyenne Début-1976	Moyenne 1977-1983	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1983	1976	18.5	3.25	-82
Manimenso	1955 à 1983	1976	40.76	9.9	-76
Tenado	1976 à 1983	1976			
Boromo	1955 à 1983	1976	46.2	10.82	-77
Ooussa	1969 à 1983	1976	33.7	8.73	-74
Dapola	1956 à 1983	1976	52.8	14.12	-73
Noumbiel	1975 à 1983	1976			

## Janvier

Stations	Période d'observation	Construction Lery barrage	Moyenne Début-1976	Moyenne 1977-1983	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1983	1976	9.75	0.56	-94
Manimenso	1955 à 1983	1976	24.94	1.35	-95
Tenado	1976 à 1983	1976			
Boromo	1955 à 1983	1976	26.59	6.07	-77
Ooussa	1969 à 1983	1976	20	7.34	-63
Dapola	1956 à 1983	1976	27.58	6.12	-78
Noumbiel	1975 à 1983	1976			

## Fevrier

Stations	Période d'observation	Construction Lery barrage	Moyenne Début-1976	Moyenne 1977-1983	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1983	1976	5.28	0.38	-93
Manimenso	1955 à 1983	1976	15.02	0.83	-94
Tenado	1976 à 1983	1976			
Boromo	1955 à 1983	1976	14.99	3.42	-77
Ooussa	1969 à 1983	1976	11.65	5.56	-52
Dapola	1956 à 1983	1976	15.48	3.19	-79
Noumbiel	1975 à 1983	1976			

**Mars**

Stations	Période d'observation	Construction Lery barrage	Moyenne Début-1976	Moyenne 1977-1983	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1983	1976	3.73	0.3	-92
Manimenso	1955 à 1983	1976	9.42	0.54	-94
Tenado	1976 à 1983	1976			
Boromo	1955 à 1983	1976	9.41	2.09	-78
Ooussa	1969 à 1983	1976	8.3	5.12	-38
Dapola	1956 à 1983	1976	9.85	2.21	-78
Noumbiel	1975 à 1983	1976			

**Avril**

Stations	Période d'observation	Construction Lery barrage	Moyenne Début-1976	Moyenne 1977-1983	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1998	1976	3.23	0.28	-91
Manimenso	1955 à 1983	1976	7.56	0.45	-94
Tenado	1976 à 1983	1976			
Boromo	1955 à 1983	1976	7.59	2.13	-72
Ooussa	1969 à 1983	1976	8.04	7.68	-4
Dapola	1956 à 1983	1976	11	3.26	-70
Noumbiel	1975 à 1983	1976			

Tableau VI.4.1 : Déficits des stations du Mouhoun Inférieur par rapport aux seuls effets de la construction du barrage de Lery en 1976

➤ **Déficit dû à la construction des ouvrages de dérivation en 1984 :**

Les déficits après la construction des ouvrages de dérivation en 1984 sont toujours élevés mais à un degré moindre que précédemment. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que après la construction des ouvrages de dérivation une plus grande quantité d'eau était dorénavant stockée à Lery barrage amenant ainsi les aménageurs à lâcher de plus en plus d'eau à travers les vannes de régulation. Les déficits durant le mois de janvier sont plus importants et c'est donc ce mois qui a le plus ressenti les effets de la chute des écoulements causés par la construction des ouvrages de dérivation.

**Novembre**

Stations	Période d'observation	Construction dérivation	Moyenne Début-1976	Moyenne 1984-fin	Déficit %
Lery Nord	1956 à 2000	1984	32.6	8.72	-73
Manimenso	1955 à 2000	1984	62.17	27.51	-56
Tenado	1976 à 2000	1984			
Boromo	1955 à 2002	1984	62.23	28.3	-55
Ouessa	1969 à 2000	1984	56.32	30.56	-46
Dapola	1956 à 2002	1984	94.74	46.28	-51
Noumbiel	1975 à 1999	1984			

**Décembre**

Stations	Période d'observation	Construction dérivation	Moyenne Début-1976	Moyenne 1984-fin	Déficit %
Lery Nord	1956 à 2000	1984	18.5	5.25	-72
Manimenso	1955 à 2000	1984	40.76	17.4	-57
Tenado	1976 à 2000	1984			
Boromo	1955 à 2002	1984	46.2	18.4	-60
Ouessa	1969 à 2000	1984	33.7	22.08	-34
Dapola	1956 à 2002	1984	52.8	20.6	-61
Noumbiel	1975 à 1999	1984			

**Janvier**

Stations	Période d'observation	Construction dérivation	Moyenne Début-1976	Moyenne 1984-fin	Déficit %
Lery Nord	1956 à 2000	1984	9.75	3.1	-68
Manimenso	1955 à 2000	1984	24.94	6.11	-76
Tenado	1976 à 2000	1984			
Boromo	1955 à 2002	1984	26.59	9.6	-64
Ouessa	1969 à 2000	1984	20	11.34	-43
Dapola	1956 à 2002	1984	27.58	8.4	-70
Noumbiel	1975 à 1999	1984			

**Février**

Stations	Période d'observation	Construction dérivation	Moyenne Début-1976	Moyenne 1984-fin	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1998	1984	5.28	2.71	-49
Manimenso	1955 à 2000	1984	15.02	4.32	-71
Tenado	1976 à 2000	1984			
Boromo	1955 à 2002	1984	14.99	6.6	-56
Ouessa	1969 à 2000	1984	11.65	9.6	-18
Dapola	1956 à 2002	1984	15.48	4.79	-69
Noumbiel	1975 à 1999	1984			

**Mars**

Stations	Période d'observation	Construction dérivation	Moyenne Début-1976	Moyenne 1984-fin	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1998	1984	3.73	2.72	-27
Manimenso	1955 à 2000	1984	9.42	3.65	-61
Tenado	1976 à 2000	1984			
Boromo	1955 à 2002	1984	9.41	4.85	-48
Oouessa	1969 à 2000	1984	8.3	8.42	1
Dapola	1956 à 2002	1984	9.85	2.73	-72
Noumbiel	1975 à 1999	1984			

**Avril**

Stations	Période d'observation	Construction dérivation	Moyenne Début-1976	Moyenne 1984-fin	Déficit %
Lery Nord	1956 à 1998	1984	3.23	2.74	-15
Manimenso	1955 à 2000	1984	7.56	3.84	-49
Tenado	1976 à 2000	1984			
Boromo	1955 à 2002	1984	7.59	5.37	-29
Oouessa	1969 à 2000	1984	8.04	10.43	30
Dapola	1956 à 2002	1984	11	4.84	-56
Noumbiel	1975 à 1999	1984			

Tableau VI.4.2 : Déficients des stations du Mouhoun Inférieur par rapport aux effets cumulés du barrage de Lery et des ouvrages de dérivation en 1984

## VI.5 EVALUATION DE L'APPORT DES LÂCHURES DE LERY BARRAGE SUR LES DEBITS DES STATIONS DU MOUHOUN INFÉRIEUR

Nous nous proposons dans ce paragraphe d'évaluer quel serait le débit au niveau des stations du Mouhoun inférieur s'il n'y avait pas de lâchures au niveau du barrage de Lery ; autrement dit quelle est la part de contribution des lâchures à Lery barrage par rapport aux débits observés en aval.

Pour cela nous avons considéré les débits moyens interannuels des 6 mois de la saison sèche pour chaque station (de 1984 à 1999) et nous avons fait la différence entre le débit observé à une station donnée et le débit à Lery Nord.

⇒ Les valeurs en noires représentent les débits observés en une station

Les valeurs en rouges représentent les débits qu'on aurait observé s'il n'y avait pas de lâchures à Lery barrage.



	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
<b>Lery Nord</b>	6.19	4.06	2.99	3.59	4.19	4.81
<b>Manimenso</b>	22.96	13.82	5.22	3.81	3.33	3.27
<b>Manimenso</b>	16.77	9.76	2.23	0.22	0.00	0.00
<b>Tenado</b>	31.75	22.97	8.76	8.05	7.93	8.44
<b>Tenado</b>	25.56	18.91	5.77	4.47	3.74	3.63
<b>Boromo</b>	26.40	17.73	7.79	5.53	4.61	5.04
<b>Boromo</b>	20.21	13.68	4.80	1.94	0.42	0.23
<b>Pont Ouessa</b>	30.28	22.03	10.32	7.97	7.31	8.31
<b>Pont Ouessa</b>	24.09	17.97	7.33	4.38	3.12	3.49
<b>Dapola</b>	44.96	20.31	6.71	3.78	2.75	4.89
<b>Dapola</b>	38.76	16.25	3.71	0.19	0.00	0.07
<b>Noumbiel</b>	49.17	23.13	5.17	2.00	1.78	4.06
<b>Noumbiel</b>	42.98	19.07	2.18	0.00	0.00	0.00

Tableau VI.5 : Débits au niveau des stations du Mouhoun inférieur sans tenir compte des lâchures de Lery barrage.

Il ressort de ce tableau que les lâchures au niveau du barrage de Lery sont d'une importance capitale. En effet elles permettent de maintenir un débit non nul pour les stations situées dans le Mouhoun inférieur pendant la saison sèche, conservant ainsi au Mouhoun son caractère de cours d'eau permanent.

## VI.6 ESTIMATION DU DEBIT DES STATIONS DU MOUHOUN INFERIEUR S'IL N' Y AVAIT PAS LES OUVRAGES :

Nous allons maintenant estimer le débit au niveau des stations du Mouhoun inférieur s'il n'y avait pas le barrage de Lery et les ouvrages de dérivation.

Les valeurs trouvées précédemment représentent les débits pour les dites stations lorsque les apports du Mouhoun en amont et les apports du Sourou ne sont pas pris en compte. Donc nous avons ajouté à ces valeurs les apports moyens du Mouhoun et du Sourou en considérant la période 1970–1976 c'est à dire juste avant la construction du barrage de Lery. Les résultats (la ligne en bleu) sont présentés dans le tableau suivant :

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
<b>Lery Nord</b>	6.19	4.06	2.99	3.59	4.19	4.81
<b>Manimenso</b>	22.96	13.82	5.22	3.81	3.33	3.27
Manimenso	16.77	9.76	2.23	0.22	0.00	0.00
Manimenso	34.22	16.77	13.69	7.62	5.14	4.51
<b>Tenado</b>	31.75	22.97	8.76	8.05	7.93	8.44
Tenado	25.56	18.91	5.77	4.47	3.74	3.63
Tenado	43.02	25.92	17.23	11.87	8.87	8.14
<b>Boromo</b>	26.40	17.73	7.79	5.53	4.61	5.04
Boromo	20.21	13.68	4.80	1.94	0.42	0.23
Boromo	37.66	20.68	16.26	9.34	5.56	4.74
<b>Pont Ouessa</b>	30.28	22.03	10.32	7.97	7.31	8.31
Pont Ouessa	24.09	17.97	7.33	4.38	3.12	3.49
Pont Ouessa	41.55	24.98	18.80	11.78	8.26	8.01
<b>Dapola</b>	44.96	20.31	6.71	3.78	2.75	4.89
Dapola	38.76	16.25	3.71	0.19	0.00	0.07
Dapola	56.22	23.26	15.18	7.59	5.14	4.58
<b>Noumbiel</b>	49.17	23.13	5.17	2.00	1.78	4.06
Noumbiel	42.98	19.07	2.18	0.00	0.00	0.00
Noumbiel	60.43	26.08	13.64	7.40	5.14	4.51

Tableau VI.6 : Débits au niveau des stations du Mouhoun inférieur s'il n'y avait pas le barrages de Lery et les ouvrages de dérivations

Le débit si le Mouhoun coulé naturellement n'est pas atteint ce qui est compréhensible car le rôle de tout barrage est d'écrêter les débits.



**CONCLUSION  
GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE**

### ***La variabilité hydroclimatique dans le bassin du Mouhoun***

L'analyse de la documentation historique, des témoignages et des récits rapportés, qui concernent l'Afrique de l'Ouest, montre qu'une grande sécheresse a été ressentie au début du 20<sup>ème</sup>, entre 1913 et 1916 et a engendré une grande famine. Plus tard dans le siècle, il est également fait état d'une sécheresse qui a eu également des conséquences dramatiques au milieu du siècle (1940-1944).

Depuis les années 1970 une autre sécheresse mais cette fois ci plus persistante a été enregistrée car elle perdure jusqu'à nos jours.

L'inconsistance des données pluviométriques et surtout hydrométriques au début du siècle dans notre zone d'étude (le bassin du Mouhoun) nous a donc amené à nous focaliser sur la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> qui a connu un développement important des réseaux de mesures.

Au cours des trois dernières décennies, les pluies ont beaucoup baissé sur la zone d'étude. Les déficits pluviométriques annuels calculés sur la période avant rupture par rapport à la période après rupture sont souvent supérieurs à 15%.

L'étude faite sur les pluies de la saison pluvieuse révèle que la diminution des pluies annuelles est associée à une diminution des pluies mensuelles de juillet, août et septembre. Cependant le mois de septembre semble être le mois le plus touché avec des déficits allant jusqu'à -30%.

D'un point de vue spatiale, la partie nord du bassin a été la plus touché par la secheresse et le phénomène va en diminuant quand on descend vers le sud.

Cette variabilité des précipitations a eu des répercussions sur les écoulements. Les écoulements diminuent pour la plupart des stations étudiées. Les déficits entre les variables : modules, DCE, DC11, DCC calculées sur la période récente (après rupture) et celles calculées avant la rupture sont d'une manière générale comprises entre -28% et -90%.

### ***Conséquences sur les normes hydrologiques***

Le traitement statistique des séries hydropluviométriques nous oblige à considérer 2 sous-séries bien distinctes, avant et après la date de rupture. L'analyse de la récurrence sur ces deux périodes montre des variations importantes selon que l'on considère une période ou l'autre.

Ces résultats montrent que l'on doit être très prudent vis à vis des normes hydrologiques. Le problème est de savoir quelle norme hydrologique il faut retenir dans les zones touchées ces dernières années par le phénomène de sécheresse. Doit on uniquement prendre en compte les années après rupture ou doit on intégrer les années récentes dans la continuité des séries chronologiques ?

En tout cas suivant l'attitude adoptée, un aménageur aboutira à des résultats très dissemblables tant du point de vue technique que du point de vue économique.

Pour la conception d'un ouvrage il paraît plus judicieux de se placer dans les conditions les plus défavorables pour son fonctionnement. : par exemple pour la conception d'un barrage considérer la période la plus humide ; pour une prise d'eau au fil de l'eau, considérer la période la plus sèche.

### ***Répercussions de la variabilité climatique et des aménagements sur les lames d'eau écoulées***

La variabilité climatique a eu des répercussions non négligeables sur les lames d'eau écoulées. En effet toutes les stations où on a décelé des dates de ruptures connaissent une baisse de la lame d'eau écoulée à l'exception de Nwokuy.

Cependant la superposition du phénomène de sécheresse et de la construction des barrages à la confluence et à Lery rend l'analyse de la baisse de la lame d'eau quelque peu difficile car il est difficile de dégager la part de chacun des deux faits sur la diminution de la lame d'eau écoulée.

Cependant les chutes extraordinaires de la lame d'eau écoulée après 1976 et 1984 pour les stations de Lery Nord et Manimenso qui sont situées juste à l'aval des deux barrages permet d'affirmer que la diminution de débit après ces 2 dates est due principalement à la construction de ces ouvrages. En effet le déficit de la période après ces 2 dates par rapport à la période avant dépasse souvent – 50%.

### ***Perspectives***

Les travaux menés dans cette étude sont quelque peu de dimension restreinte ne concernant qu'un bassin parmi les quatre bassins du Burkina. Il serait intéressant d'étendre ce travail aux autres bassins du pays pour pouvoir mieux cerner les impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau du Burkina et tirer des conclusions plus générales.

Il serait aussi intéressant de vulgariser les résultats sur les normes hydrologiques : l'incidence de la sécheresse sur les normes hydrologiques suscite un grand intérêt et les réflexions doivent être poursuivies. Les quelques résultats acquis dans cette étude méritent d'être valorisées afin d'informer les décideurs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

C.I.E.H., MAI 1986. Compte rendu colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse.

Diarra, G., 2002. Analyse de la variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale au Xxème siècle. Mémoire de fin d'études, EIER, 81p.

Diello, P., 2001. Optimisation des réseaux de mesures hydroclimatiques pour suivre les modifications environnementales au Burkina Faso. Thème de recherche, EIER/EPFL, 88p.

D.G.H., MAI 2001. Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Version finale, 243p.

Gineste, P., 1993. Cours d'hydrologie tome 1. Hydrométrie et Hydrologie statistique. 90p.

Gustard A., Blazkova S., Brilly M., Demuth S., Dixon J., Lanen H.V., Llasat C., Mkhanda S. et Servat E., 1997. Regional hydrology : Concepts and Models for Sustainable Water Ressource Management. IAHS Publication N°. 246, 363 p.

Ibrahim Boubacar, 2002. Analyse de la variabilité climatique au Burkina Faso au cours de la seconde moitié du Xxème siècle. Mémoire de fin d'études, EIER, 106p.

Koukponou, A., P., 2001. Détermination de ruptures statistiques dans les séries chronologiques de paramètres météorologiques : Application aux stations du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude, EIER, 86p.

Mahé, G., 1993. Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse, Université Paris XI-Orsay, ORSTOM Editions, Coll. Etudes et Thèse, Paris, 438 p.

Ouedraogo, M., 2001. Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de doctorat, 257p.

Pouyaud, Moniod, Sechet, 1977. Le bassin du fleuve Volta. Monographie hydrologique ORSTOM N°5. 513p.

Pouyaud, B., 1995. L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. IAHS Publication N°. 238, 435 p.

Saporta, G., 1992. Probabilités analyse des données et statistique. EDITIONS TECHNIP, 493 p.

Servat E., Hughes D., Fritsch J.M. et Hulme M., 1998. Water resources variability in Africa during the XXth century. IAHS Publication N°. 252, 462 p.

Roche, M., 1962. hydrologie de surface. GAUTHIER-VILLARS PARIS.

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.4.1 : Stations pluviométriques retenues pour l'étude	26
Tableau II.4.2 : Stations hydrométriques retenues pour l'étude	27
Tableau III.2.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie annuelle	37
Tableau III.3.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour les pluies maximales annuelles.	43
Tableau III.4.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie du mois de juillet	46
Tableau III.4.2 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie du mois d'août	47
Tableau III.4.3 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour la pluie du mois de septembre	48
Tableau III.5.1 : Résultats des tests statistiques et calcul des déficits pour les modules annuels.	51
<b>Tableau III.6.1.1</b> : Résultats tests statistiques et calcul des déficits appliqués au DCE	56
<b>Tableau III.6.1.2</b> : Résultats tests statistiques et calcul des déficits appliqués au DCC	56
<b>Tableau III.6.1.3</b> : Résultats tests statistiques et calcul des déficits appliqués au DC11	57
Tableau IV.2.1 : Valeurs des pluies annuelles associées aux récurrences humides	64
Tableau IV.2.2 : Valeurs des pluies annuelles associées aux récurrences sèches	64
Tableau IV.3.1 : Valeurs des modules annuels associées aux récurrences humides	68
Tableau IV.3.2 : Valeurs des modules annuels associées aux récurrences sèches	68
Tableau IV.4.1 : Valeurs des DCC associés aux récurrences humides	72
Tableau IV.4.2 : Valeurs des DCE associés aux récurrences humides	72
Tableau v.2.9 : Comparaison des déficits entre les pluies annuelles et les débits moyens annuels sur les bassins de la zone d'étude.	86
Tableau VI.4.1 : Déficits des stations du Mouhoun Inférieur par rapport aux seuls effets de la construction du barrage de Lery en 1976	93
Tableau VI.4.2 : Déficits des stations du Mouhoun Inférieur par rapport aux effets cumulés du barrage de Lery et des ouvrages de dérivation en 1984	95
Tableau VI.5 : Débits au niveau des stations du Mouhoun inférieur sans tenir compte des lâchures de Lery barrage.	96

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

<i>Figure I.1 : Carte de situation du bassin du Mouhoun</i>	7
<i>Figure I.2.1 : Sous bassins versants du bassin du Mouhoun</i>	8
<i>Figure I.2.3 : Type de climat dans la zone d'étude</i>	11
<i>Figure I.2.4 : Pluviométrie annuelle moyenne en mm</i>	11
<i>Figure I.2.8 : Représentation des ouvrages de dérivation et du barrage de Lery</i>	20
<i>Figure II.4.1 : Situation des stations météorologiques choisies pour l'étude</i>	28
<i>Figure II.4.2 : Contours des bassins choisis pour l'étude</i>	29
<i>Figure III.2.1 : Courbes d'évolution de la pluviométrie annuelle pour quatre stations</i>	39
<i>Figure III.2.3 : Répartition spatiale des dates de rupture pour le paramètre pluie annuelle</i>	40
<i>Figure III.3.1 : Courbe d'évolution de la pluie maximale annuelle</i>	45
<i>Figure III.5.1 : Courbes d'évolution du module annuel pour 3 stations de la zone d'étude</i>	52
<i>Figure III.5.1 : Répartition spatiale des dates de rupture pour les modules annuels</i>	53
<i>Figure III.6.2 : Courbe d'évolution du coefficient de tarissement à Boromo</i>	59
<i>Figure IV.2.1 : Pluies annuelles en fonction des périodes de retour pour des récurrences humides à Dedougou, Bobo, Boromo</i>	65
<i>Figure IV.2.2 : Pluies annuelles en fonction des périodes de retour pour des récurrences sèches à Dedougou, Bobo, Boromo</i>	66
<i>Tableau IV.3.1 : Valeurs des modules associés aux récurrences humides</i>	69
<i>Tableau IV.3.1 : Valeurs des modules associés aux récurrences sèches</i>	70
<i>Tableau IV.4.1 : Valeurs des DCC associées aux récurrences humides</i>	73
<i>Tableau IV.4.2 : Valeurs des DCE associées aux récurrences humides</i>	74
<i>Figure V.2 : Courbes d'évolution de la pluie moyenne et du coefficient d'écoulement</i>	85
<i>Figure V.1 : Evolution de la hauteur d'eau à Lery barrage</i>	89
<i>Figure VI.2 : Variation saisonnière du niveau d'eau dans le barrage</i>	89





**ANNEXES**

## **ANNEXE 1**

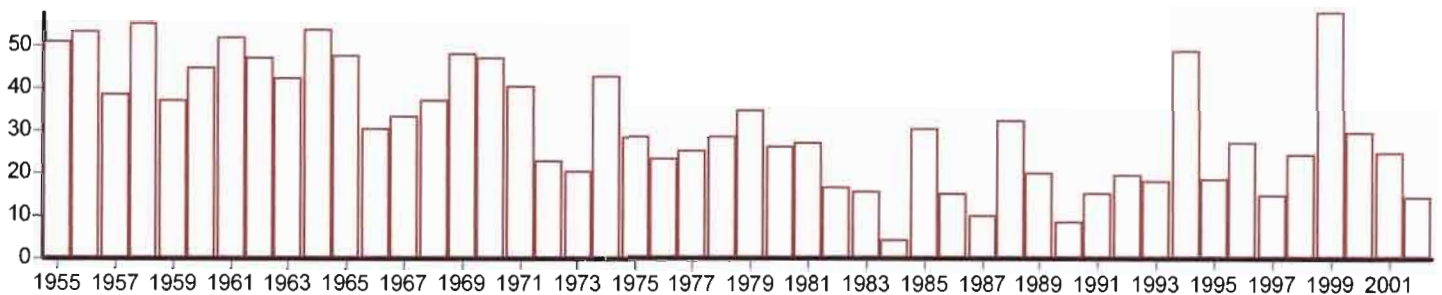
Exemple de résultat de Khronostat

## Tests de détection de rupture

C:\baba\debit\boromo.txt

**Identification** Boromo;  
**Variable étudiée** Débit Q;  
**Unité** m3/s;  
**Chronique de** 1955 à 2002

### Valeurs



### Calcul de l'AUTOCORRELOGRAMME et de son intervalle de confiance

#### Méthode non paramétrique de PETTITT

Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 99%  
Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 95%  
Hypothèse nulle (série chronologique aléatoire) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Valeur de la variable de calcul: **-4.5862**

### Test de corrélation sur le RANG

#### Segmentation de HUBERT

Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 99%  
Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 95%  
Hypothèse nulle (absence de rupture) **rejetée** au seuil de confiance de 90%

Probabilité de dépassement de la valeur critique du test: **4.66E-05** en **1971**

**Identification** Boromo;  
**Variable étudiée** Débit Q;  
**Unité** m3/s;  
**Chronique de** 1955 à 2002

Niveau de signification du test de Scheffé: **1%**

Début	Fin	Moyenne	Ecart type
1955	1971	44.671	7.465
1972	2002	24.000	11.272

## **ANNEXE 2**

Listes des stations pluviométriques et hydrométriques de la zone d'étude

## STATIONS METEOROLOGIQUES DU MOUHOUN

	Stations	Code Agrhimet	Latitude	Longitude	Altitude	Nature	Date début	date fin	Nombre d'années de fonct.	Années Incomplètes
1	OUARKOYE	200002	12° 05 N	03° 40 W	315	P	1961	1999	39	
2	ORONKUA	200004	11° 17 N	03° 06 W	299	P	1969	1972	4	
3	NANDALIA	200005	12° 20 N	02° 11 W	311	P	1970	1972	3	
4	KPWAYES	200006	11° 07 N	02° 55 W	275	P	1967	1971	5	
5	GUENA	200014	11° 04 N	04° 44 W	440	P	1969	1971	3	
6	FOUNZAN	200016	11° 27 N	03° 14 W	271	P	1969	1972	4	70,71
7	GUEGUERE	200018	11° 07 N	03° 12 W	320	P	1969	1972	4	70
8	BOUROUM BOUROUM cidr	200020	10° 32 N	03° 14 W	315	P	1969	1971	3	70
9	TANSILLA	200051	12° 25 N	04° 23 W	430	P	1964	1999	36	77,90
10	SOLENSO	200052	12° 11 N	04° 05 W	314	P	1961	1998	38	83,84,90,92,96
11	NOUNA	200053	12° 44 N	03° 52 W	280	A	1940	1999	60	89,90,92,93,94,95,97
12	DEDOUGOU	200054	12° 28 N	03° 29 W	308	S	1922	2002	81	24
13	SOUROU-GASSAN	200055	12° 49 N	03° 13 W	265	P	1965	1999	35	92,98
14	SAFANE	200056	12° 08 N	03° 13 W	318	P	1961	1999	39	77,78,79,80,85,90,93
15	TOMA	200057	12° 46 N	02° 54 W	284	P	1963	1999	37	75,78,90
16	TIOGO .	200058	12° 11 N	02° 41 W	274	P	1965	1998	34	90,92
17	DIDYR	200059	12° 34 N	02° 37 W	292	P	1963	1999	37	66,80,90,92,94,97,98
18	REO AGRI	200060	12° 19 N	02° 22 W	228	P	1960	1998	39	90,92
19	KOUDOUGOU	200061	12° 15 N	02° 22 W	250	C	1923	1999	77	32,90,93,94,95,97
20	IMANSGHO	200062	12° 26 N	02° 20 W	282	P	1960	1999	40	81,89,90,93,94,95
21	NANORO	200064	12° 41 N	02° 11 W	312	P	1960	1999	40	78,80,82,83,89,90,97
22	SAMOROGOUAN	200094	11° 24 N	04° 56 W	380	P	1964	1999	36	90
23	KOUROUMA	200095	11° 37 N	04° 48 W	347	P	1960	1999	40	90,96,97,98
24	NASSO	200096	11° 12 N	04° 26 W	339	P	1954	1999	46	83,90,94,95,98
25	BANAKELEDAGA	200097	11° 19 N	04° 20 W	329	P	1954	1978	25	
26	FARAKO-BA	200098			405	A	1953	1999	47	87,88,92,97
27	BOBO-DIOULASSO	200099	11°10 N	04° 18 W	459	S	1907	2002	96	15,16,17,18
28	BONDOUKUY	200100	11° 51 N	03° 46 W	359	P	1964	1999	36	66, 80, 81,90,97
29	KOUMBIA	200101	11° 14 N	03° 42 W	309	P	1964	1999	36	
30	BEREBA	200102	11° 37 N	03° 41 W	291	P	1964	1999	36	90,93
31	HOUNDE	200103	11° 29 N	03° 31 W	324	P	1921	1999	79	29,30,32,34,76,84,88,89,90,97
32	WONA	200104	11° 58 N	03° 26 W	340	P	1963	1998	36	80,85,86,89,90,97
33	BAGASSI	200105	11° 45 N	03° 18 W	280	P	1961	1999	39	76,84,90,91,97
34	DANO	200106	11° 09 N	03° 04 W	290	P	1955	1999	45	78,81,84,85,89, 90
35	BOROMO	200107	11° 44 N	02° 55 W	270	S	1924	2002	79	31
36	SIDERADOUGOU	200136	10° 41 N	04° 15 W	319	P	1956	1998	43	97
37	OUO	200137	10° 24 N	03° 50 W	330	P	1966	1998	33	82,84,90,96
38	KAMPTI	200138			340	P	1955	1998	44	87,89, 90,91,95
39	DIEBOUGOU	200139	10° 58 N	03° 15 W	294	C	1923	1999	77	54,77, 78, 79, 80,82,89,92,94,95,98
40	GAOUA	200140	10° 20 N	03° 11 N	333	S	1908	2002	95	14,15,16,17,18,19,20,21,46
41	DISSIN	200141	10° 56 N	02° 56 W	310	P	1966	1999	34	84, 86,91,97
42	LEGMOIN	200142	10° 09 N	02° 54 W	345	P	1962	1999	38	87,90,93
43	BATIE	200144			298	A	1945	1999	55	
44	LERI	200145	12° 46 N	03° 23 W	260	P	1974	1997	24	94,96
45	KOUKA	200148	11° 54 N	04° 20 W	326	P	1973	1999	27	90
46	VALLEE DU KOU	200149	11° 22 N	04° 23 N	303	A	1986	1999	14	88,92
47	OUAKARA	200150	11° 52 N	03° 38 W	304	P	1973	1999	27	81,84,89,90,91,92,93,94,95,96,98
48	FARA	200151	11° 31 N	02° 46 W	258	P	1986	1999	14	90
49	KIE	200161	12° 04 N	04° 03 W	310	A				

## STATIONS HYDROMETRIQUES DU MOUHOUN

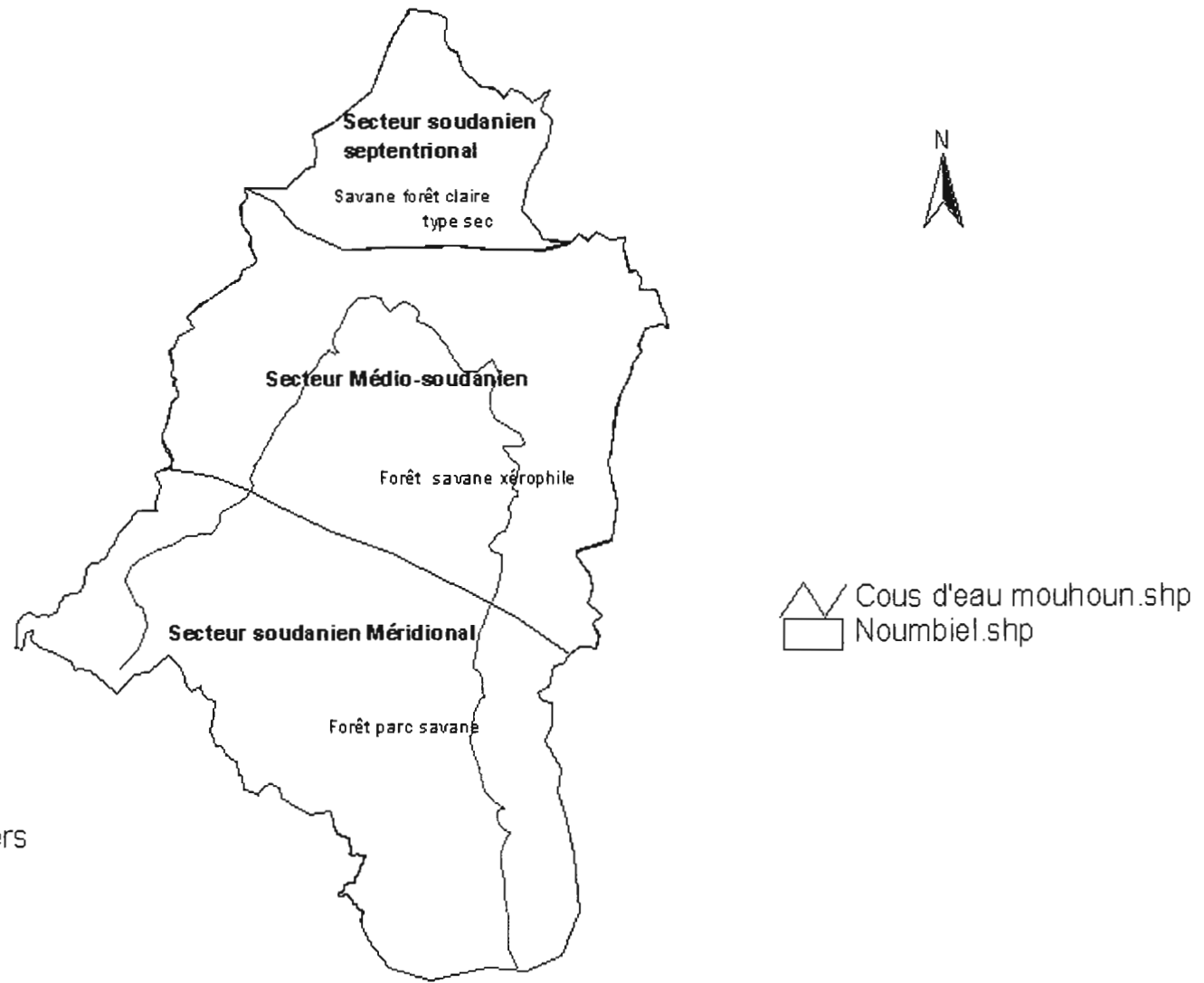
Cours d'eau	Stations	Code SIEREM	Surface km <sup>2</sup>	Altitude	Date début	Date fin	Nombre d'année de fonct.	Nbre d'années complètes	Lacunes
KOU	BADARA	1202701603	964	330	1955	2000	44	41	63, 93, 00
	DINDERESSO	1202701609	-	-	1984	1997	14	13	93
	NASSO AMONT	1202701612	405	338	1961	1974	14	11	62, 63, 64
	NASSO MILIEU	1202701613	-	335	1961	1991	28	24	63, 70, 90, 91
	NASSO AVAL	1202701614	646	-	1961	1997	22	17	70, 74, 75, 76, 77
PLANDI	LANVIERA	1202702003	1100	350	1974	1998	25	20	74, 82, 91, 94, 98
MOUHOUN	GUENA	1202700217	800	388	1962	2000	29	18	74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 93, 00
	BANZO	1202700205	2816	323	1959	2000	42	41	2000
	SAMANDENI	1202700232	4904	296	1955	2002	46	45	63
	NWOKUY	1202700229	17065	249	1955	1999	43	38	61, 62, 91, 93, 94
	TENADO	1202700236	50317	-	1976	2000	22	17	84, 92, 94, 99, 00
	BOROMO	1202700208	60320	270	1955	2002	42	39	58, 91, 00
	OUSSA	1202700230	75955	230	1969	2000	32	30	94, 00
	DAPOLA	1202700211	95652	228	1956	2002	41	36	57, 58, 91, 96, 98
	NOUMBIEL	1202700228	113038	-	1975	1999	25	17	77, 82, 89, 91, 92, 93, 97, 99
	TOUROUBA	1202700238	13600	253	1955	1970	16	10	57, 58, 60, 61, 62, 64
	KOURI	1202700220	20000	248	1955	1986	22	16	55, 64, 68, 69, 70, 71
SOUROU	MANIMENSO	1202700226	39902	247	1955	2000	43	30	55, 64, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 94, 00
	DOUROULA	1202700214	-	246	1956	1977	18	14	56, 58, 64, 72
	LERY NORD	1202702209	13216	248	1955	2000	46	39	55, 59, 62, 63, 64, 73, 00
SOUROU	LERY SUD	1202702210	-	-	1955	1989	31	28	55, 59, 64
	YARAN	1202702207	10000	247	1985	2000	14	12	90, 95
VRANSO	NINION	1202702603	5460	275	1971	1999	28	25	92, 94, 96
	POUN	1202702501	4890	-	1977	1977	1	1	-
GRAND BALE	PA	1202701405	3510	250	1976	1999	22	21	97
BOUGOURIBA	DIEBOUGOU	1202701203	12200	240	1955	2000	41	38	55, 62, 95
	DAN	1202701202	6345	275	1970	1997	28	27	91
BAMBASSOU	BATIE	1202702103	5630	230	1971	2000	27	25	90, 00



## **ANNEXE 3**

Carte de la végétation

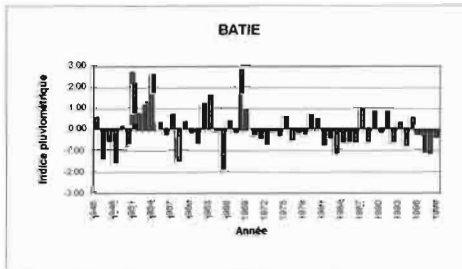
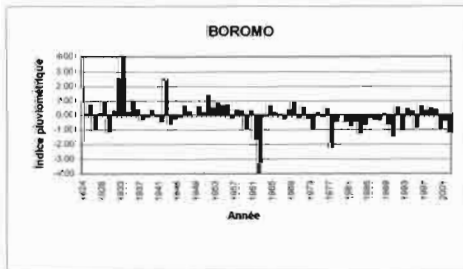
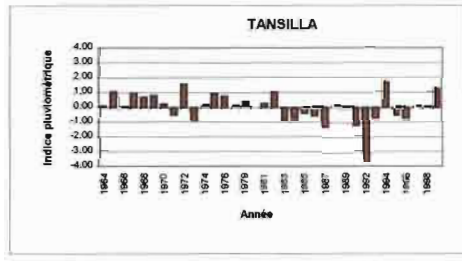
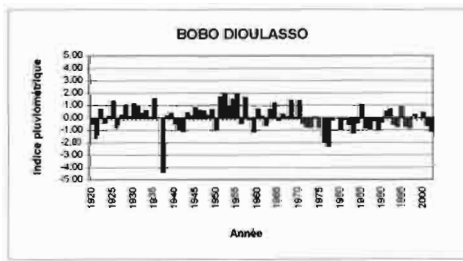
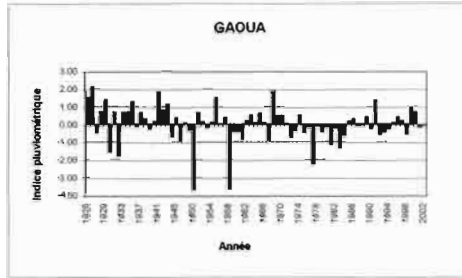
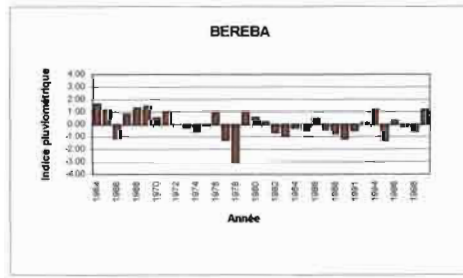
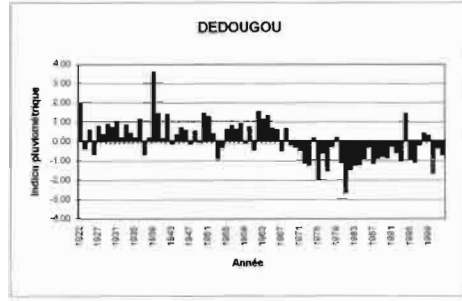
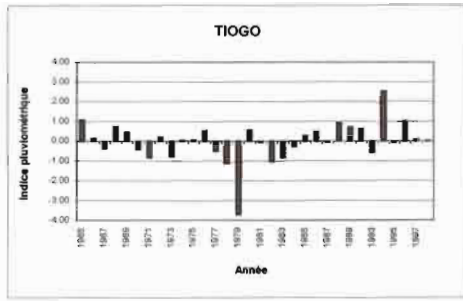
# Répartition de la végétation



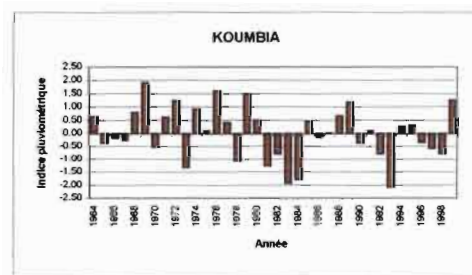
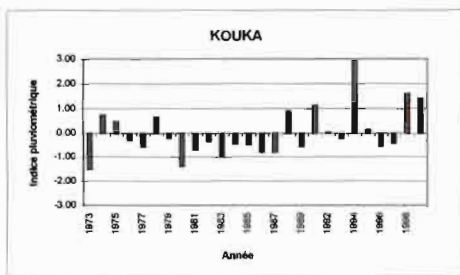
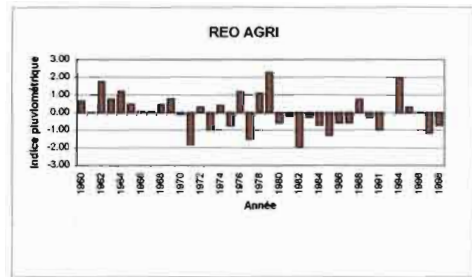
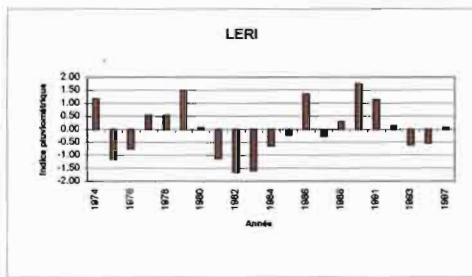
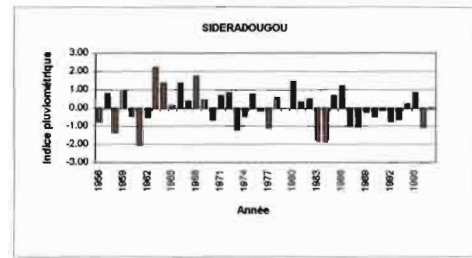
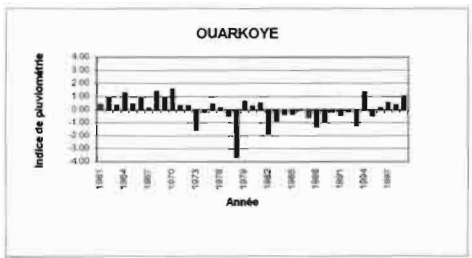
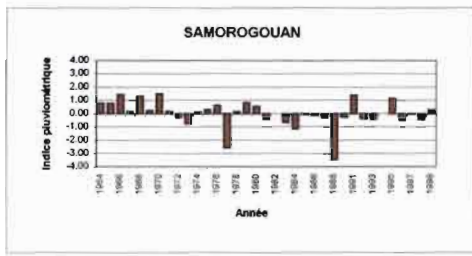
## **ANNEXE 4**

Courbes d'évolution des indices pluviométriques

Impacts du climat et des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun



Impacts du climat et des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun



## **ANNEXE 5**

Répartition des stations suivant les 3 zones climatiques de la zone d'étude

### Répartition des stations suivant les 3 zones climatiques

