



ÉCOLE INTER-ÉTATS D'INGÉNIEURS DE

L'ÉQUIPEMENT RURAL

03 B.P. 7023 OUAGADOUGOU 03
BURKINA FASO



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 2002

Présenté par :

IBRAHIM Boubacar

Analyse de la variabilité climatique
au Burkina Faso au cours de la
seconde moitié du XXème siècle

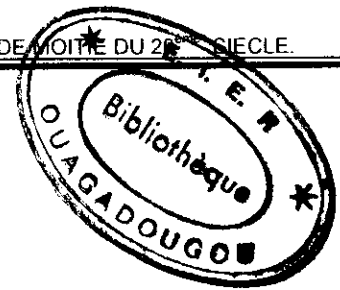
MENTION :

BIEN

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

Encadrement
F. CRES
J. E. PATUREL

DEDICACE



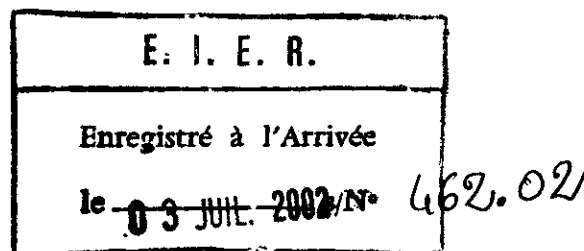
A la mémoire de mon père, feu IBRAHIM Fodi Maïfada. Que la terre lui soit légère, «Amen».

A ma mère, NAMAKA Chékou dont les encouragements et les sages conseils me donnent toujours le courage de progresser.

A tous mes frères et sœurs.

A toute la grande famille Maïfada Nati de Guiwayé (Doutchi).

A tous et toutes mes ami(e)s.



REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma gratitude envers tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté leur soutien au cours de ma formation. Mes remerciements vont à l'endroit de :

- ◆ M. Jean Emmanuel PATUREL pour son encadrement, ses précieux conseils et surtout pour sa disponibilité.
- ◆ M. François CRES pour l'encadrement et le suivi de notre travail à toutes les étapes.
- ◆ M. Gil MAHE et le Directeur de la météorologie nationale du Burkina Faso, M. Frédéric OUATTARA pour leur collaboration et leurs conseils.
- ◆ Aux chercheurs et techniciens de l'IRD, notamment, Mme Agnès CRES, M. Pierre DIELO pour leur collaboration
- ◆ A tout le staff directionnel de l'EIER, en particulier le Directeur du groupe EIER-ETSHER, M. Philippe MANGE et le Directeur des études M. Babacar DIENG pour tous les efforts qu'ils ont fournis dans la réussite et le bon déroulement de notre formation.

C'est aussi l'occasion pour moi d'adresser mes remerciements à tous mes collègues de la 31^{ème} Promotion, qui malgré la diversité de nos sensibilités, ont entretenu une atmosphère de convivialité et de fraternité.

Je n'oublie pas également mes amis de l'université de Cocody (Abidjan).

AVANT PROPOS

La maîtrise des ressources en eau est un des éléments déterminants pour la sécurisation de la production agricole. C'est le cas particulièrement dans la zone sahélienne de l'Afrique soumise à de fortes variations saisonnières et inter-annuelles de la précipitation. La mise en valeur des ressources en eau pour l'agriculture, notamment par le biais de petits aménagements hydro-agricoles, requiert une bonne connaissance des régimes pluviométriques et hydrologiques.

Notre étude vise à une connaissance du changement climatique survenu au Burkina Faso au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle à partir de l'étude des séries de données de certains paramètres climatiques. Cette étude fait suite à un travail entrepris l'année passée (Juin 2001) sur des séries annuelles des paramètres climatiques. Cette étude consiste à approfondir les résultats de la précédente étude en travaillant à un pas de temps plus faible.

Notre étude s'inscrit dans le cadre du mémoire de fin d'études à l'EIER.

Tous les résultats que nous avons obtenus à travers cette étude sont consignés dans le présent document.

Avant de clore cet Avant-Propos, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

IBRAHIM Boubacar
Elève-ingénieur de l'Equipement Rural

ABREVIATIONS

- A: Aléatoire
- AEJ: Jet d'Est Africain
- AGRHYMET: Centre Régional de Formation et d'Application en Agronomie et en Hydrologie opérationnelle
- ASECNA: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
- CIEH: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
- ETP: Evapotranspiration
- FIC: Front de Convergence Intertropical
- FIT: Front Intertropical
- FRIEND-AOC: Flow Regimes from International Experimental and Network Data / Afrique de l'Ouest et Centrale
- ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
- INRA: Institut National de Recherches Agronomiques
- IRD : Institut de Recherche pour le Développement
- NA : Non Aléatoire
- UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
- TEJ : Jet d'Est Tropical
- VR : Variation Relative
- WMO / OMM : Organisation Météorologique Mondiale

AUTEUR : IBRAHIM Boubacar

Professeur responsable : François CRES

Organismes encadrateurs: IRD et la

Direction de la météorologie nationale du Burkina Faso

THEME

Analyse de la variabilité climatique au Burkina Faso au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle.

RESUME

Depuis quelques années, plusieurs études sont menées dans la connaissance de l'évolution du climat dans différentes régions du globe. Au Burkina Faso, pays sahélien, les résultats de ces études montrent qu'un changement climatique s'est produit aux alentours des années 1970. Ce changement se traduit principalement par une sécheresse qui dure depuis trente ans. Cette sécheresse a des conséquences néfastes sur le développement du pays.

Pour mieux orienter les projets de développement des études sont effectuées pour connaître la variabilité spatiale et temporelle des paramètres climatiques.

La présente étude fait partie du programme FRIEND-AOC de l'UNESCO, co-animé par l'IRD et l'EIER. Elle vise à mieux identifier cette variabilité climatique et ses manifestations au travers l'analyse des séries chronologiques des paramètres climatiques (insolation, évapotranspiration, température, humidité, pluviométrie) mesurés aux stations synoptiques du Burkina Faso.

Les résultats des différents tests statistiques utilisés montrent principalement deux périodes de ruptures (changement de la moyenne au sein de la série) dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, de 1966 à 1971 et de 1976 à 1983.

Les séries chronologiques d'évapotranspiration, d'insolation, de la température moyenne et minimale ont des ruptures de 1966 à 1971 pendant la saison des pluies avec une tendance à la hausse. Ces séries présentent aussi des ruptures de 1976 à 1983 pendant la saison sèche avec une tendance à la baisse.

Les séries de température maximale ont aussi des ruptures au cours de la période de 1976 à 1983 pendant la saison des pluies avec une tendance à la hausse. Quant aux ruptures de ces séries au cours de la période de 1966 à 1971, elles apparaissent pendant la saison des pluies avec une tendance à la hausse et pendant la saison sèche avec une tendance à la baisse.

Mais d'une manière générale, la tendance de certains paramètres climatiques dont l'insolation, l'évapotranspiration et la température (minimale, moyenne et maximale), est à la hausse des années 1950 à nos jours

Les séries chronologiques d'humidité présentent des ruptures au cours des deux périodes et la tendance générale est à la baisse.

Les séries chronologiques de la pluviométrie ne présentent de ruptures que de 1966 à 1971 avec une tendance à la baisse.

La pluviométrie a diminué sur l'ensemble du territoire de près de 18% des années 1970 à aujourd'hui, cette diminution est de 29% au niveau de la station de Dori et 5% à la station de Gaoua.

Mots clefs : Burkina Faso, changement climatique, date de rupture, développement, tests statistiques

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| DEDICACE | I |
| REMERCIEMENTS | II |
| AVANT PROPOS | III |
| ABREVIATIONS..... | IV |
| RESUME..... | V |
| | |
| PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION GENERALE | 4 |
| I - INTRODUCTION..... | 5 |
| II - PROBLEMATIQUE | 5 |
| III - OBJECTIFS DE L'ETUDE | 6 |
| IV - METHODOLOGIE | 6 |
| V - LES PARAMETRES CLIMATIQUES DE L'ETUDE..... | 7 |
| | |
| DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET SES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES | 8 |
| I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE..... | 9 |
| I.1 - Situation géographique..... | 9 |
| I -2 Cadre physique..... | 10 |
| I.2.1 - Relief et géologie | 10 |
| I.2.2 - Le réseau hydrographique | 10 |
| II - CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES..... | 10 |
| II.1 - Variation spatiale des paramètres | 10 |
| II.2 - Mécanismes des saisons et définition de régions climatiques | 11 |
| II.3 - Facteurs pluviogènes..... | 13 |
| | |
| TROISIEME PARTIE : METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES | 15 |
| I - INTRODUCTION..... | 16 |
| II - METHODES STATISTIQUES UTILISEES DANS LE LOGICIEL KRONOSTAT | 16 |
| II.1 – Test de rang | 17 |
| II.2 - Test de Pettitt | 18 |
| II.3 – Segmentation de Hubert..... | 19 |
| III - PRESENTATION DU LOGICIEL ICCARE | 20 |
| III.1 - Méthode utilisée par l'INRA | 20 |
| III.2 - Méthode graphique..... | 20 |
| IV - INDICES DE SECHERESSE | 21 |
| IV.1 - Indice de l'écart à la moyenne (E_m) | 22 |
| IV.2 - Indice de pluviosité (I_{pi}) | 22 |
| IV.3 - Indice de pluviométrie..... | 22 |
| V - LA LOI DES FUITES | 23 |
| V.1 – Introduction..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| V.2 – Estimation des paramètres | 23 |
| V.3 – Principes généraux | 23 |
| V.4 - Formulation | 24 |
| V.4.1 - CAS 1 : Δ connue | 24 |
| V.4.2 - CAS 2 : Δ Inconnue | 25 |
| QUATRIEME PARTIE : STATIONS DE MESURE DES PARAMETRES CLIMATIQUES ET CONSTITUTIONS DES SERIES DE DONNEES | 26 |
| I - LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE DES PARAMETRES CLIMATIQUES..... | 27 |
| I.1 - Choix des stations | 27 |
| I.2 Situation géographique des stations de mesure | 27 |
| II -PARAMETRES MESURES AU NIVEAU DES STATIONS SYNOPTIQUES..... | 28 |
| III - CONSTITUTION DES SERIES CHRONOLOGI-QUES DE DONNEES | 29 |
| III.1 – Séries de données d’insolation..... | 29 |
| III.2 – Séries de données de température | 30 |
| III.3 – Séries de données d’évapotranspiration..... | 30 |
| III.4 – Séries de données d’humidité | 31 |
| III.5 –Séries de données de la pluviométrie..... | 31 |
| CINQUIEME PARTIE : TRAITEMENT ET ANALYSE DES SERIES DE DONNEES..... | 32 |
| I - METHODOLOGIE..... | 33 |
| II - RAPPEL DES RESULTATS OBTENUS (étude 2001)..... | 33 |
| II.1 – Insolation..... | 33 |
| II.2 – Température | 34 |
| II.3 - Evapotranspiration | 34 |
| II.4 – Humidité..... | 34 |
| II.5 – Pluviométrie annuelle..... | 34 |
| II.6 - Pluviométrie mensuelle..... | 34 |
| II.7 – Nombre annuel de jours de pluie..... | 34 |
| III - EVOLUTION DES DIFFERENTS PARAMETRES | 35 |
| III.1 - Insolation | 35 |
| III.2 - Température..... | 36 |
| III.2.1 – Température maximale | 36 |
| III.2.2 – Température moyenne | 38 |
| III.2.3 – Température minimale | 39 |
| III.3 - Evapotranspiration..... | 41 |
| III.4 - Humidité..... | 43 |
| III.5 – Pluviométrie..... | 44 |
| III.5.1 - Pluviométrie annuelle | 44 |
| III.5.2 - Pluviométrie mensuelle | 45 |
| III.5.3 - Pluviométrie journalière | 46 |
| III.5.3.1 - Nombre annuel de jours de pluie | 46 |
| III.5.3.2 - Nombre mensuel de jours de pluie | 47 |
| III.5.3.3 - Nombre de jours de pluie dans la saison | 47 |
| III.5.3.4 - Durée de la saison des pluies..... | 48 |
| III.5.3.5 - Début et fin de la saison des pluies..... | 48 |
| III.5.3.6 - Catégorisation des pluies journalières | 48 |
| III.5.4 – Remarques | 50 |
| IV - INDICES DE SECHERESSE | 50 |

| | |
|--|-----------|
| IV.1 – Indice de Pluviosité..... | 50 |
| IV.2 - Indice de pluviométrie..... | 51 |
| V - LOI DES FUITES..... | 51 |
| VI - SYNTHÈSE DES RESULTATS..... | 52 |
| VI.1 - Dates de rupture | 52 |
| VI.2 - Interaction entre les différents paramètres climatiques | 54 |
| VI.2.1 - Méthodologie | 54 |
| VI.2.2 Dates de rupture et tendance..... | 54 |
| VI.2.3 Evolution spatiale et temporelle | 55 |
| VI.3 - La pluviométrie | 56 |
| VI.4 - Conclusion partielle..... | 57 |
| SIXIEME PARTIE : CONCLUSION GENERALE..... | 58 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 59 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 60 |
| LISTES DES FIGURES | 62 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 65 |
| ANNEXES..... | 67 |

PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION GENERALE

I - INTRODUCTION

Les résultats d'importantes recherches montrent qu'un changement climatique a affecté l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest au cours du 20^{ème} siècle. Ce changement se caractérise dans cette région par une chute relativement importante de la pluviométrie, avec pour conséquence une série de sécheresses depuis le début des années 1970. Il y a eu d'autres sécheresses au cours du 20^{ème} siècle mais celle-ci est très intense et dure depuis trente ans.

Le Burkina Faso, pays sahélien est énormément touché par ces séries de sécheresses qui se manifestent avec plus d'acuités durant ces dernières décennies.

Notre étude fait partie du programme FRIEND de l'UNESCO dont le but est d'approfondir la connaissance de la variabilité spatiale et temporelle des régimes pluviométriques et hydrologiques au moyen d'ensemble de données régionales. Elle poursuit un objectif orienté vers la description et la caractérisation dans l'espace et dans le temps du changement climatique.

Au cours de cette étude, nous allons essayer d'analyser les fluctuations pluviométriques enregistrées au Burkina Faso à partir des séries de données annuelles, mensuelles et journalières recueillies au niveau des stations synoptiques. Nous allons caractériser le déficit pluviométrique observé sur plusieurs années consécutives et ses relations avec d'autres paramètres climatiques dont l'insolation, l'évapotranspiration, l'humidité et la température.

Le traitement des données se fait avec des logiciels de calculs statistiques, KRONOSTAT et ICCARE et d'autres méthodes utilisées par l'équipe de recherche de l'IRD.

II - PROBLEMATIQUE

Les problèmes liés aux changements climatiques occupent une place importante parmi les préoccupations majeures de notre siècle. Plusieurs centres et instituts de recherche (IRD, ASECNA, CIEH, AGRHYMET, ICRISAT, ...etc.) mènent depuis quelques années des investigations pour caractériser ce changement climatique en Afrique de l'Ouest afin de bien orienter les programmes de développement. Dans cette région où les activités principales de la population, l'agriculture et l'élevage, sont tributaires des aléas climatiques, la recherche liée à la connaissance de la variabilité pluviométrique est une question importante. Au Burkina, comme partout en Afrique de l'Ouest, la pluie est considérée comme la ressource primaire à partir de laquelle vont se constituer les autres types de ressources, agricoles, hydrauliques, etc.

En effet la série de sécheresse observée durant ces trente dernières années en Afrique de l'Ouest et centrale a des conséquences souvent graves dans les pays sahéliens, ce qui justifie l'intérêt constant et soutenu porté à ces régions (Sircoulon, 1976 ; Oliviry, 1983 ; Nicholson, 1985 ; Hubert & Carbonel, 1987 ; Sircoulon, 1987 ; Hubert et al, 1989 ; Démarrée, 1990).

Ces séries de sécheresse ont engendré au Burkina Faso, un problème de mobilisation des ressources en eau, qui a amené le gouvernement à construire une multitude de petits barrages au cours de la seconde moitié du vingtième siècle.

III - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude vise à caractériser le changement climatique au Burkina Faso et elle s'articule autour de trois points :

- Détermination des périodes au cours desquelles le changement climatique s'est produit par l'application des tests de détection de ruptures dans les séries chronologiques de données.
- Evolution des paramètres climatiques pour savoir si leur tendance est à la hausse ou à la baisse.
- Mettre en relief les relations qui existent entre les différents paramètres climatiques.

IV - METHODOLOGIE

Pour atteindre les objectifs de notre étude, nous avons dans un premier temps évalué le travail à faire après l'entretien avec les différents encadreurs.

Ceci nous a permis de scinder l'étude en trois phases, qui sont les suivantes :

Première phase : Recherche documentaire

Cette partie consiste à connaître et à regrouper les résultats des études déjà faites sur le problème du changement climatique sur certaines régions d'Afrique et d'ailleurs.

Deuxième phase : Constitution et traitement des données

Après la détermination des différents paramètres climatiques à étudier, nous avons choisi les stations de mesure qui ont des séries de données chronologiques de bonne qualité et recouvrant bien notre zone d'étude. Nous avons essayé dans certains cas de compléter ces séries de données pour qu'elles aient une longueur acceptable pour les différentes analyses.

Le traitement des données vise à déterminer les dates de rupture des séries de données et la nature aléatoire ou non de ces séries. La série est non aléatoire si elle présente un comportement préférentiel traduisant une tendance.

Troisième phase : Analyse des résultats

L'analyse des résultats sera faite en tenant compte de deux facteurs, le temps et l'espace. Pour mieux appréhender l'évolution des paramètres climatiques en fonction de la latitude, les stations de mesure ont été classées par région climatique. Dans une région donnée, nous avons déterminé la station la plus représentative, à partir de laquelle nous comparerons l'évolution des

paramètres climatiques à son niveau et au niveau des stations représentant les autres régions. Un ensemble de représentations graphiques et cartographiques est utilisé pour visualiser les différents résultats.

V - LES PARAMETRES CLIMATIQUES DE L'ETUDE

Pour caractériser le changement climatique au Burkina Faso, nous allons étudier à partir des données recueillies au niveau des stations synoptiques, les paramètres suivants :

- L'insolation (mensuelle)
- La température maximale (mensuelle)
- La température moyenne (mensuelle)
- La température minimale (mensuelle)
- L'évapotranspiration (mensuelle)
- L'humidité (mensuelle)
- La pluie (annuelle, mensuelle, journalière)

A partir des données de la pluviométrie journalière, nous allons étudier certaines caractéristiques de la saison des pluies, dont :

- Le nombre annuel de jour de pluie
- Le nombre mensuel de jour de pluie
- Le nombre de jour de pluie pendant la saison des pluies
- Le début de la saison des pluies
- La fin de la saison des pluies
- La durée de la saison des pluies
- Les classes de hauteurs des pluies journalières (0-2mm, 2-10mm, 10-20mm, 20mm et plus)

**DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET SES
CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES**

I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 - Situation géographique

Le Burkina Faso est situé en Afrique occidentale, dans la boucle du Niger et s'étend sur une superficie de 274 200 km². La population est estimée à 12 millions d'habitants en 2000, dont 90% pratique l'agriculture.

Pays enclavé, le Burkina est limité au Nord et à l'Ouest par le Mali, au sud par la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin et à l'Est par le Niger (figure n°1). Il se situe entre les latitudes 9°20' et 15°05' Nord et les longitudes 2°20' Est et 5°30' Ouest.

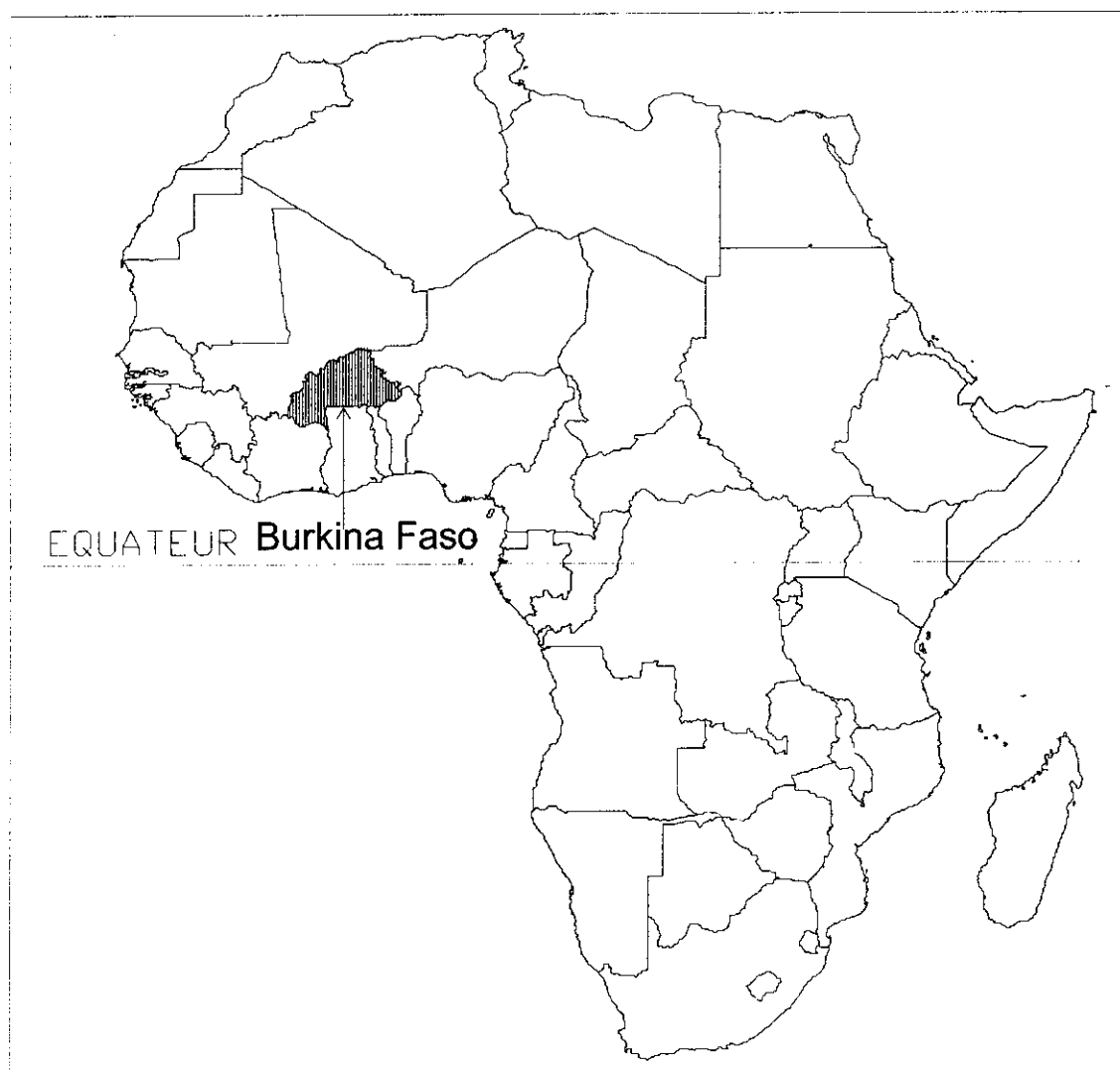


figure n° 1 : situation géographique du Burkina Faso

I -2 Cadre physique

1.2.1 - Relief et géologie

Le Burkina Faso présente dans l'ensemble un relief tabulaire. Les $\frac{3}{4}$ du pays sont constitués par une immense plaine appelée « plateau central », formé de roches cristallines et cristallophylliennes, résultats des différentes orogénèses qui se sont succédées depuis le précambrien.

L'ensemble du substratum est recouvert par endroits par des ensembles sédimentaires gréseux surtout localisés à l'Ouest du pays. Les plus hauts sommets sont situés dans cette partie : Mont Tenankrou (749 m), les Falaises de Banfora. A l'Est le massif gréseux est représenté par les falaises de Gobnangou.

1.2.2 - Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est assez important dans la partie méridionale du pays. Les cours d'eau se rattachent à trois bassins principaux :

- c La Volta : Mouhoun, Nakambé et Nazinon
- o La Comoé qui prend sa source dans les falaises de Banfora pour se jeter dans le Golfe de Guinée après avoir traversé la Côte D'Ivoire
- o Le Niger : il est constitué par de petites rivières temporaires (Sirba, Tapoa) qui drainent l'Est et le Nord du pays.

Il faut noter que tous les cours d'eau du Burkina ne sont pas navigables du fait de leur caractère non pérenne. Il existe peu d'aménagements sur les grands cours d'eau, en revanche un nombre important de petits barrages agricoles sont construits sur les petits marigots.

II - CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

II.1 - Variation spatiale des paramètres

> L'INSOLATION

L'insolation augmente du sud vers le nord durant toutes les saisons (figure n°9 et figure n°10).

> TEMPERATURE MAXIMALE

La température maximale augmente du sud vers le nord (figure n°13).

> LA TEMPERATURE MOYENNE

Trois périodes marquent la variation de la température journalière moyenne au cours de l'année :

- de Décembre à Février la température augmente du nord vers le sud (figure n°15).
- Les mois de Mars et Novembre sont des périodes de transition
- d'Avril à Octobre, la température augmente du sud vers le nord (figure n°16)

➤ TEMPERATURE MINIMALE

La variation spatiale de la température minimale est marquée par deux phases au cours de l'année.

- Une première phase, de Novembre à Mars, caractérisée par une augmentation de la température du Nord vers le Sud (figure n°18).
- Une deuxième phase d'Avril à Octobre où la température diminue du Nord vers le Sud (figure n°19).

➤ L'EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration augmente du sud vers le nord (figure n°22).

➤ L'HUMIDITE

La variation de l'humidité d'une région à l'autre dépend des périodes de l'année.

Pendant la période de Décembre à Février, l'humidité augmente du sud vers le nord (figure n°25).
Le gradient s'inverse entre Mars et Septembre (figure n°26).

➤ LA PLUVIOMETRIE

Les hauteurs de pluie annuelle et le nombre annuel de jours de pluie diminuent du Sud vers le Nord (figure n°28 et figure n°32)

II.2 - Mécanismes des saisons et définition de régions climatiques

Le climat du Burkina, de type soudano-sahélien, est déterminé par la confrontation de deux masses d'airs principales : Une masse d'air sèche du Nord-Est, l'HARMATTAN et une masse d'air humide provenant des hautes pressions océaniques de l'hémisphère Sud, la MOUSSON.

La zone de contact entre ces deux masses d'airs correspond au Front Intertropical (F.I.T). Il oscille au cours de l'année entre les parallèles 4°Nord (Golfe de Guinée) en janvier et 25°Nord (Sud sahara) en Août.

Ces oscillations du FIT sont responsables de l'alternance entre la saison sèche qui dure selon la latitude d'Octobre à Mai et la saison des pluies qui selon la latitude, s'étend de mi-Mai à mi-October.

Ce mécanisme assez simple est cependant sujet à de fortes irrégularités et induit des variations régionales importantes. On distingue globalement trois zones climatiques au Burkina Faso (figure n°2) :

- o La zone sud-soudanienne : une pluviométrie annuelle supérieure à 900 mm, une saison des pluies de 6 à 7 mois et des amplitudes thermiques modérées.

- La zone Nord-Soudanienne : la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 600 mm et 900 mm. Dans cette zone, la saison des pluies s'étale sur 4 à 5 mois.
- La zone sahélienne : la pluviométrie est inférieure à 600 mm par an, avec de fortes irrégularités interannuelles. Elle se caractérise par une saison des pluies courte (3 à 4 mois), une forte évapotranspiration et des amplitudes thermiques journalières et saisonnières très fortes.

| Zones climatiques | Sud-soudanienne | Nord-soudanienne | Sahélienne |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Paramètres | | | |
| Pluie annuelle | >900 mm | 600-900 mm | <600 mm |
| Durée de la saison des pluies (jours) | 160-200 | 120-180 | <120 |
| Nombre annuel de jours de pluie | 80-100 | 50-85 | <60 |
| Température journalière moyenne | Supérieure à 27°C | Supérieure à 28°C | Supérieure à 29°C |
| Humidité de l'air : | | | |
| -Saison sèche | 25% | 23% | 20% |
| -Saison des pluies | 85% | 75% | 70% |
| ETP(mm) | 1700-2000 | 1800-2200 | 1950-2500 |
| Insolation(h) | 1400-3000 | 2000-3200 | 2500-3400 |

tableau n° 1 : Caractéristiques climatiques des différentes régions

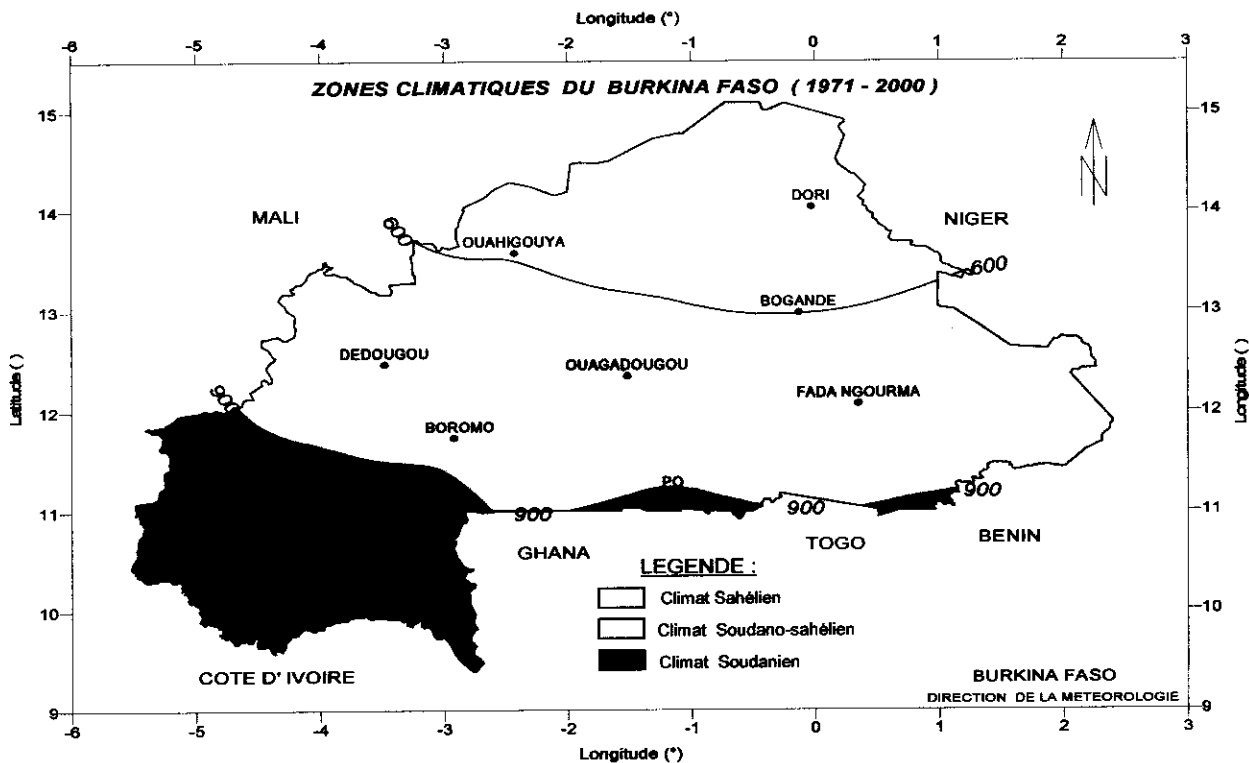


figure n° 2 : régions climatiques du Burkina Faso

II.3 - Facteurs pluviogènes

Le schéma de la figure n°3 montre les circulations saisonnières de deux masses d'air, l'HARMATTAN sec et la MOUSSON humide, et permet d'expliquer globalement la succession des saisons des pluies et sèches, dans toute l'Afrique de l'Ouest. Cependant il ne permet pas de décrire les variations tant spatiales que temporelles des pluies à une échelle locale. D'autres paramètres s'intègrent à cette dynamique globale pour ainsi expliquer ces irrégularités.

De façon générale, pour qu'il y ait précipitation, l'air humide doit pouvoir s'élever suffisamment haut pour se saturer en vapeur d'eau et permettre la formation de gouttes de pluie. La notion de FIT ne peut donc s'expliquer que par les précipitations observées au niveau de la structure ZIC où les ascendances sont importantes. Cela ne concerne donc qu'une bande étroite d'environ 200 km de largeur de part et d'autre de la position moyenne du F.I.T à 700 mb.

Les précipitations ayant cette origine sont appelées « pluies de mousson » ; elles sont abondantes et de longue durée.

Ces précipitations sont caractéristiques de la zone C2 (figure n°5). Le Burkina de par sa position géographique, ne connaît pas ce type de précipitations dans plus de 2/3 du pays, excepté les zones situées à l'extrême Sud.

De façon générale, dans les régions situées au Nord de 10°Nord, le flux de mousson n'est pas assez épais pour provoquer à lui seul d'importantes précipitations. Les précipitations sont alors liées au passage de perturbations tropicales dont l'origine est à rechercher principalement dans la circulation de moyenne (courant AEJ) et haute atmosphère (courant TEJ) (Arona et al, 1998).

En effet, dans la zone C1 (figure n°5) au niveau de la structure F.I.T, l'air humide est surmonté d'un courant d'Est qui bloque son ascendance. Il ne pourra donc avoir des précipitations que si des perturbations arrivent à modifier cette structure. C'est ce qui se passe lors des « tornades » et lignes de Grains.

MAHE (1992) montre qu'en Afrique subsaharienne au Nord de 10°Nord un déficit (*resp.* excédent) de pluie au sahel est lié à un A.E.J plus rapide (*resp.* lent) et à un T.E.J plus faible (*resp.* fort).

La diversité des milieux en Afrique de l'Ouest : la saison des pluies et la saison sèche

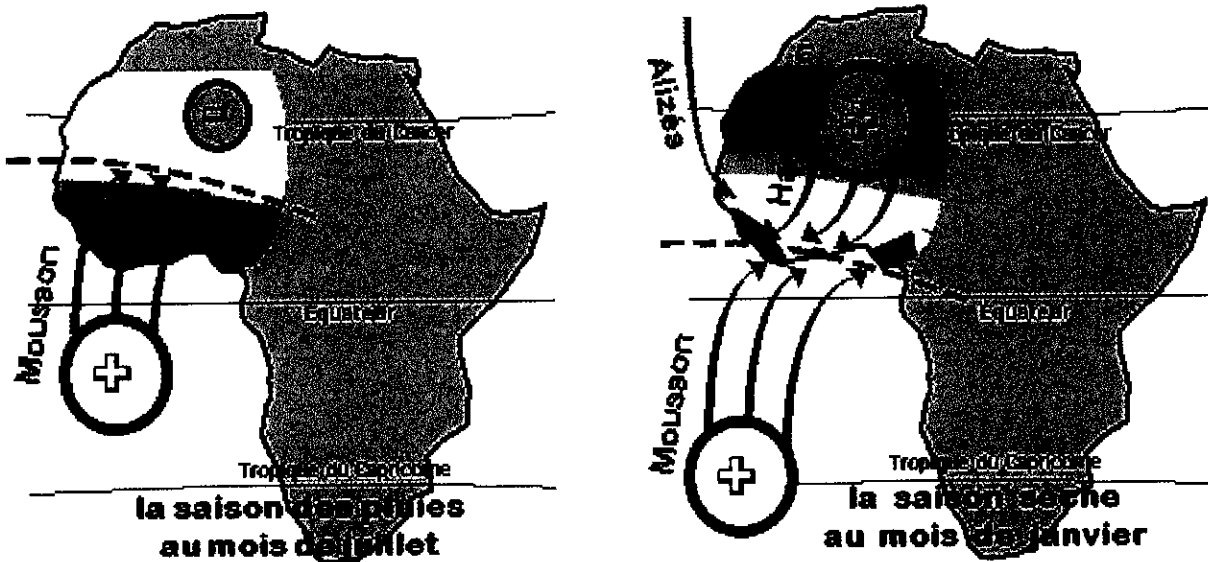


figure n° 3 : mécanismes climatiques en Afrique de l'Ouest

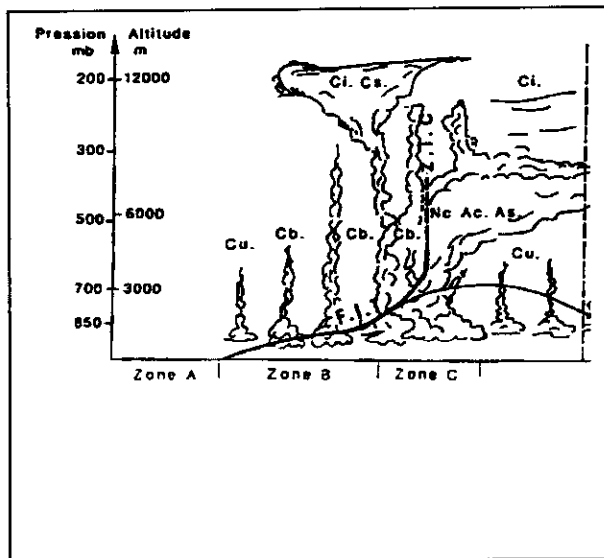


figure n° 4 : Structure schématique de l'atmosphère sur l'Afrique de l'ouest Pendant la saison des pluies

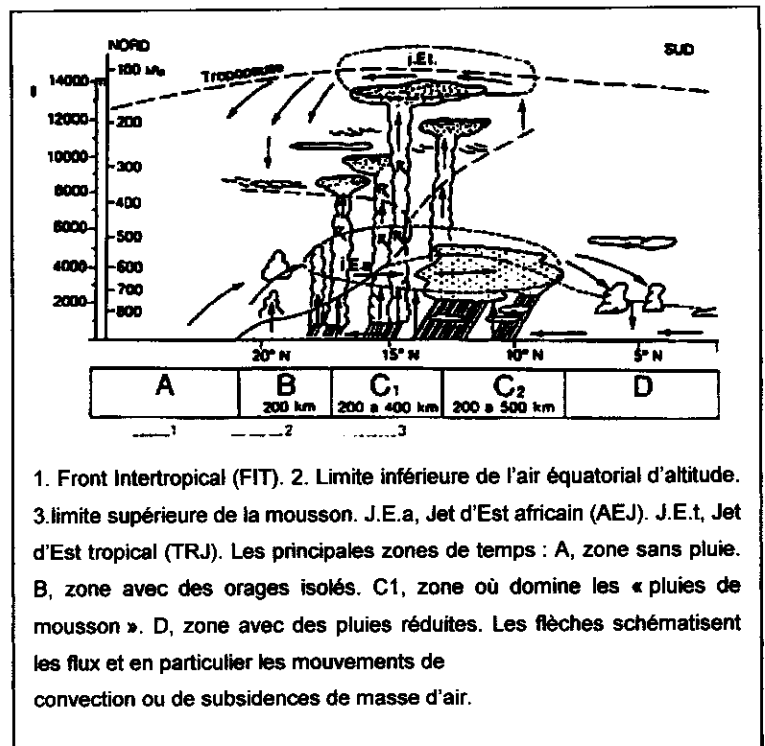


figure n° 5 : Coupe schématique nord-sud en août de la troposphère au-dessus de l'Afrique vers le méridien origine.

TROISIEME PARTIE : METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES

I - INTRODUCTION

Dans cette étude nous avons utilisé un ensemble de méthodes d'analyse statistique. Pour la détermination de la nature de la série et des dates de rupture, nous avons travaillé avec des méthodes intégrées dans le logiciel Khronostat. Le logiciel ICCARE nous a surtout permis de déterminer d'autres séries de données à partir des données de pluies journalières. Le calcul des indices de pluviosité et pluviométrique est fait afin de mettre en relief le déficit pluviométrique observé depuis quelques années. Nous avons aussi utilisé la loi des fuites pour la détermination du nombre moyen d'événements et de la hauteur moyenne d'un événement. Ceci pour savoir le degré d'influence de chacun de ces paramètres sur la pluviométrie annuelle cumulée.

II - METHODES STATISTIQUES UTILISEES DANS LE LOGICIEL KRONOSTAT

Le logiciel KhronoStat a été élaboré dans le cadre d'une étude sur la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne et est orienté sur l'analyse de séries chronologiques.

La littérature consacrée à l'approche statistique de séries chronologiques de variables hydro-météorologiques est particulièrement abondante. Les tests disponibles sont extraits en grande partie de la note technique n°79 Climatic change de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (WMO, 1966), et de Kendall et Stuart (1943).

Les premiers tests concernent le caractère aléatoire des séries.

Précisons d'abord ce qu'on entend par caractère aléatoire d'une série.

Soient x_i et x_{i+1} deux valeurs successivement prises par une variable aléatoire X . Nous dirons que la série chronologique des valeurs prises par X est aléatoire, si la probabilité pour que X prenne la valeur x_{i+1} est indépendante de la valeur précédente x_i .

Dans l'hypothèse où la série est déclarée non aléatoire, des tests sont requis pour tenter de caractériser la nature "non aléatoire" tels que les seconds tests qui sont relatifs à la détection d'un point de rupture a priori à date inconnue. Les tests les plus répandus portent sur la constance de la moyenne de la série tout au long de sa période d'observations.

Les tests sont en général assez puissants pour faire une distinction entre le caractère aléatoire et le caractère non aléatoire de la série. En revanche tous ne permettent pas d'identifier une alternative à la constance telle que tendance, discontinuité brutale, oscillations etc. Seuls quelques-uns sont relativement puissants vis à vis d'une alternative le plus souvent relevant d'un changement brutal.

Il faut rappeler que les tests non paramétriques ne font pas d'hypothèse sur la nature de la distribution de probabilité de la variable définissant la série des observations.

Les tests sont dits robustes lorsque leurs conditions d'application sont peu strictes.

Les différents tests intégrés dans le logiciel sont :

- Test de corrélation sur le rang de Kendall
- Autocorrélogramme
- Test de Mann-WHITNEY (PETTITT)
- Statistique U (BUISHANG)
- Ellipse de contrôle
- Procédure Bayésienne de LEE et HEGHINIAN
- Procédure de segmentation de Hubert

Dans le cadre de notre étude, nous allons seulement utiliser trois tests, le test de corrélation sur le rang, le test de Mann-WHITNEY (PETTITT) et la procédure de segmentation de Hubert. Car l'étude est basée sur la caractérisation du comportement tendanciel et des dates de rupture des séries chronologiques des différents paramètres.

II.1 – Test de rang

□ BUT

C'est un test non paramétrique qui permet de déceler le caractère aléatoire ou non aléatoire d'une série ; en plus il recherche une tendance de la série.

□ PRINCIPE ET FORMULATION

L'hypothèse nulle signifie que la série est aléatoire.

Soit la série chronologique (x_i) , $i=1, N$, les x_i désignent les réalisations de la variable X observées à des pas de temps successifs égaux.

L'hypothèse nulle à vérifier est : « la série des (x_i) , $i=1, N$, est aléatoire » .

On calcule le nombre de paires P pour lesquelles $x_j > x_i$, $j > i$, avec $i = 1, \dots, N-1$.

Pour N grand, sous l'hypothèse nulle, la variable τ telle que :

$$\tau = 1 - \frac{4Q}{N(N-1)} \quad \text{avec} \quad Q = \frac{N(N-1)}{2} - P$$

suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance égale à

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

Il en résulte que si l'hypothèse nulle est vraie, la variable $U = \tau / \sigma_\tau$ est une variable normale réduite.

Pour un risque α de première espèce donnée, la région d'acceptation de l'hypothèse nulle est comprise entre :

$$-U_{1-\alpha/2} \sigma_r \text{ et } U_{1-\alpha/2} \sigma_r$$

L'hypothèse alternative de ce test est celle d'une tendance.

II.2 - Test de Pettitt

□ BUT

Le test de PETTITT permet de déterminer si la série appartient à la même population ou si, au contraire, elle se décompose en deux populations (on parlera alors de rupture) ; dans le cas où la rupture est détectée, il permet de localiser sa date.

□ PRINCIPE

Une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, inconnu.

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-échantillon 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. C'est le test de Mann-Whitney.

□ FORMULATION

Ce test a été modifié par Pettitt (Pettitt, 1979) :

Soit la série chronologique (x_i) , $i=1, N$, les x_i désignent les réalisations de la variable X observées à des pas de temps successifs égaux.

L'hypothèse nulle du test est l'absence de rupture dans la série.

Soit $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ avec $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$, 0 si $x = 0$, -1 si $x < 0$.

On considère la variable U_t , N telle que :

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

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

Si k désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp\left(-6k^2 / (N^3 + N^2)\right)$$

Pour un risque α de première espèce donné, si $\text{Prob}(K_N > k)$ est inférieur à α , l'hypothèse nulle est rejetée.

Ce test est réputé pour sa robustesse.

II.3 – Segmentation 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 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 $k^{\text{ième}}$ segment, $\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i}{n_k}$;

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

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 de 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 - PRESENTATION DU LOGICIEL ICCARE

Il regroupe plusieurs méthodes de traitement permettant de constituer des séries chronologiques de données de type météorologique, à partir d'observations sur un ensemble de stations (pluies par ex).

Ces séries peuvent être étudiées sur des pas de temps paramétrables appelés périodes, de façon à visualiser l'évolution de variables dans le temps.

Pour certaines variables (pluie et débit), les données brutes (journalières) peuvent permettre d'étudier d'autres caractéristiques particulières dont l'évolution mérite d'être suivie (par exemple les caractéristiques des saisons des pluies).

Des outils de mise en forme des fichiers sont disponibles, pour simplifier le travail de l'utilisateur.

Parmi les méthodes de constitutions de séries chronologiques disponibles, nous avons utilisé celles qui concernent la définition des saisons des pluies. Deux méthodes peuvent nous permettre de détecter le début et la fin des saisons des pluies.

III.1 - Méthode utilisée par l'INRA

□ PRINCIPE

Le début des pluies est atteint quand au moins 20 mm de pluie sont recueillis en 3 jours consécutifs à partir du 1er avril sans période sèche supérieure à 7 jours dans les 30 jours qui suivent.

La fin des pluies intervient lorsque, après le 1er septembre, il n'y a plus de pluie supérieure à 5 mm (pluie unitaire ou cumul) pendant au moins 20 jours successifs.

□ PARAMETRES

Cette méthode nécessite des données journalières.

En l'absence d'autre indication dans la bibliographie, une période sèche correspond à une pluie nulle et un jour de pluie à une pluie non nulle. Il est possible de modifier ces seuils pour tenir compte d'un éventuel effet de rosée.

On n'autorise pas une seule journée de lacune.

Cette méthode ne convient que pour les zones à une saison des pluies.

III.2 - Méthode graphique

□ PRINCIPE

Cette méthode utilise des données journalières, mais peut facilement être adaptée à des données décadales.

Elle consiste pour une année donnée au niveau d'une station, d'ajuster une courbe mathématique aux données de pluies journalières cumulées. L'ajustement se fait par la méthode du pivot maximum de Gauss-Jordan. Cette courbe est par défaut un polynôme de degré 3 mais différentes options peuvent être étudiées.

□ PARAMETRES

Sur l'axe des X on a les jours de l'année, sur l'axe des Y les pluies cumulées.

Pour l'ajustement ainsi défini, on détermine la tangente au point d'inflexion de la courbe, et on déduit naturellement les dates de début et de fin de la saison par l'intersection avec les droites d'équation $Y = 0$ et $Y = Y_{max}$.

Les débuts et fin de saison peuvent être définis par l'intersection de la tangente avec les droites d'équation $Y = 0,1 * Y_{max}$ et $Y = 0,9 * Y_{max}$.

Il est possible d'imposer des contraintes de pente nulle en début et fin d'ajustement, mais d'après les essais cela n'a pas d'influence notable sur les caractéristiques de la saison.

La méthode n'autorise pas une seule journée de lacune.

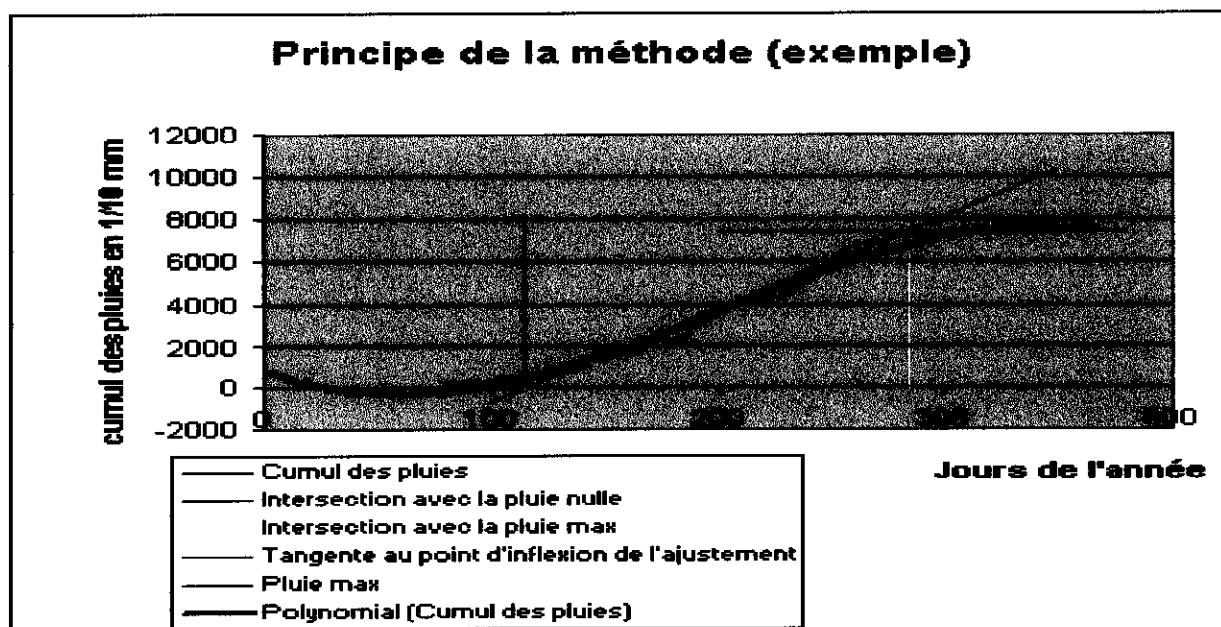


figure n° 6 : Exemple d'application du principe de la méthode

IV - INDICES DE SECHERESSE

Pour caractériser et identifier la sécheresse, plusieurs calculs d'indice sont possibles.

Ces indices permettent surtout la connaissance d'une succession d'années déficitaires ou excédentaires.

IV.1 - Indice de l'écart à la moyenne (E_m)

C'est l'indice le plus utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année. Les agrométéorologues utilisent plutôt l'écart à la médiane. Bien évidemment, quand l'échantillon de données est dissymétrique, la différence entre la moyenne et la médiane est grande. L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (P_i) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (P_m).

$$E_{mi} = P_i - P_m \quad (I)$$

On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne (indice négatif) et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée (indice positif). Cet indice permet de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession.

IV.2 - Indice de pluviosité (I_{pi})

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitations.

$$I_{pi} = P_i/P_m \quad (II)$$

Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1.

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne (I_{pm}) qui diffère de la pluviosité en soustrayant 1 de cet indice.

$$I_{pmi} = I_{pi} - 1 \quad (III)$$

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

C'est ce cumul que nous allons utiliser pour faire des représentations graphiques, les autres indices serviront de calculs intermédiaires.

IV.3 - Indice de pluviométrie

L'étude des fluctuations pluviométriques en Afrique de l'Ouest et centrale est souvent basée sur des indices pluviométriques comme celui utilisé par Nicholson (1979) et Lamb (1983). Cet indice mesure un écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période.

L'écart centré calculé est réduit pour minimiser les variations internes des séries. Cet indice permet de distinguer les années sèches des années humides.

$$I_{pi} = \frac{P_i - P_m}{S} \quad \text{où } S \text{ est l'écart type de la série.}$$

V - LA LOI DES FUTES

V.1 – Introduction

C'est une loi qui a été utilisée et validée pour décrire les régimes pluviométriques mensuels au Bénin, au Niger et au Burkina Faso (Tapsoba. D, 1997). Les paramètres de cette loi permettent la description du régime pluviométrique à partir d'un modèle (AnnexeIV). Ces paramètres sont le nombre moyen d'événements (λ) et la hauteur moyenne d'un événement (μ). On entend par événement, la pluie.

Nous allons utiliser cette loi pour déterminer les deux paramètres avant et après l'année 1970. L'évolution de chacun de ces paramètres nous permettra de saisir l'influence du nombre moyen d'événements et de la hauteur moyenne d'un événement sur la pluviométrie enregistrée au niveau des différentes stations de mesure.

V.2 – Estimation des paramètres

Le modèle est calé sur les chroniques de relevés quotidiens, seule information au plus petit pas de temps disponible sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les observations seront considérées comme parfaites, c'est à dire qu'elles sont sans lacunes et faites toujours aux même heures. Mais en réalité elles ne le sont pas car les jours de faibles pluies sont en général mal observés.

V.3 – Principes généraux

L'estimation des paramètres correspondant à un jour donné se fait par voisinage glissant sur une fenêtre de N_f jours. Les chroniques sont longues de N_a années. Le nombre, N_{obs} , d'observations disponibles est égal au produit de N_a par N_f . Il s'agit donc de N_a séquences indépendantes de N_f relevés, qui ne sont indépendantes qu'au delà de deux jours. Dans notre étude N_f a été choisi égal à 11 jours.

Ne pouvant exprimer analytiquement les distributions des hauteurs journalières, nous chercherons un estimateur de λ , λ' , à partir de l'analyse de la variable « jour de pluie ».

L'estimateur μ' de μ est donné par la relation $\mu' = C/\lambda'$ où C est la moyenne expérimentale des relevés du jour.

V.4 - Formulation

La hauteur moyenne par événement est un facteur d'échelle. La qualité des estimations des deux paramètres dépend essentiellement de celle du nombre moyen d'événements par jour. L'estimation des paramètres se ramène donc à celle de λ .

Les distributions des durées d'événements sont bornées. Sur l'ensemble du Burkina on peut admettre qu'elles sont toujours inférieures à la journée. Par ailleurs les séquences de jours secs et pluvieux sont assimilables à une chaîne de Markov d'ordre 1, définies par les probabilités suivantes :

$$Pro(0) = \text{Exp}(-\lambda \cdot (1 + \Delta))$$

$$Pro(1 | 0) = 1 - \text{Exp}(-\lambda)$$

$$Pro(0 | 1) = \frac{\text{Exp}(-\lambda \cdot (2 + \Delta)) - \text{Exp}(-\lambda \cdot (1 + \Delta))}{1 - \text{Exp}(-\lambda \cdot (1 + \Delta))}$$

Où

Pro(0) = probabilité qu'un jour soit sec

Pro(1 | 0) = probabilité qu'un jour soit pluvieux sachant que le précédent est sec

Pro(0 | 1) = probabilité qu'un jour soit sec sachant que le précédent est pluvieux

Δ = Espérance de la durée des événements

Pour Δ deux cas sont à considérer : celui où l'espérance des durées d'averses est connue et celui où elle ne l'est pas.

V.4.1 - CAS 1 : Δ connue

Les analyses des séries pluviométriques existantes en Afrique de l'Ouest (Le Barbé, 1982 ; Bouvier, 1986 ; N'Doye, 1988) montrent que, la durée moyenne des averses varie très peu sur des zones géographiques importantes. Les valeurs trouvées pour Bamako, Niamey et Ouagadougou sont toutes comprises entre 56 et 60 minutes.

Les estimateurs sont alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\lambda} = \frac{-LN\left(\frac{\bar{N}_o}{N_{obs}}\right)}{(1 + \Delta)} \\ \hat{\mu} = \frac{\bar{h}}{\hat{\lambda}} \end{array} \right. \quad \text{avec } \bar{N}_o = \text{Nombre de jours secs observés et}$$

\bar{h} = Hauteur moyenne, et Nobs = Taille de l'échantillon des observations.

Ils sont sans biais. Les caractéristiques asymptotiques de leurs distributions sont données dans le tableau suivant

| | |
|---|--|
| Variance $\left(\hat{\lambda}\right)$ | $\frac{1}{Nobs.(1+\Delta)^2} \cdot (Exp(\lambda.(1+\Delta)) - 1 + 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (Exp(\lambda.\Delta) - 1))$ |
| Variance $\left(\hat{\mu}\right)$ | $\frac{\mu^2}{\lambda^2 \cdot Nobs.(1+\Delta)^2} \cdot (\exp(\lambda.(1+\Delta)) - 1 + 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (Exp(\lambda.\Delta) - 1))$ |
| Covariance $\left(\hat{\lambda}, \hat{\mu}\right)$ | $\frac{\mu}{Nobs} \left(1 - \frac{1}{\lambda.(1+\Delta)^2} \cdot (Exp(\lambda.(1+\Delta)) - 1 + 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (Exp(\lambda.\Delta) - 1)) \right)$ |
| Coefficient de corrélation $R(\hat{\lambda}, \hat{\mu})$ | $\frac{\lambda.(1+\Delta)^2}{(Exp(\lambda.(1+\Delta)) - 1 + 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (Exp(\lambda.\Delta) - 1))} - 1$ |

tableau n° 2 : caractéristiques asymptotiques des deux distributions du modèle pour Δ connue

V.4.2 - CAS 2 : Δ Inconnue

Les estimateurs sont les suivants :

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\lambda} = LN \left(\frac{\bar{N}o}{\bar{N}oo} \right) \\ \hat{\Delta} = LN \left(\frac{\bar{N}o}{\bar{N}o} \right)^2 \\ \hat{\mu} = \frac{\bar{h}}{\hat{\lambda}} \end{array} \right.$$

avec $\bar{N}o$ = Nombre de jours secs observés

$\bar{N}oo$ = Nombre de séquences de 2 jours secs observés.

Les caractéristiques asymptotiques sont indiquées dans le tableau

| | |
|---|--|
| Variance $\left(\hat{\lambda}\right)$ | $\frac{(Exp(\lambda) - 1)}{Nobs} \cdot \left(Exp(\lambda(1+\Delta)) - 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot Exp(Exp(\lambda.\Delta) - 1) \right)$ |
| Variance $\left(\hat{\mu}\right)$ | $\frac{(Exp(\lambda) - 1) \cdot \mu^2}{Nobs \cdot \lambda^2} \cdot \left(Exp(\lambda(1+\Delta)) - 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (Exp(\lambda.\Delta) - 1) \right)$ |
| Covariance $\left(\hat{\lambda}, \hat{\mu}\right)$ | $\frac{\mu}{Nobs} \cdot \left(1 - \frac{Exp(\lambda) - 1}{\lambda} \cdot (Exp(\lambda.(1+\Delta)) - 1 - 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (Exp(\lambda.\Delta) - 1)) \right)$ |
| Coefficient de corrélation $R(\hat{\lambda}, \hat{\mu})$ | $\frac{\lambda}{Exp(\lambda.(1+\Delta)) + 2 \cdot \frac{Nf-1}{Nf} \cdot (exp(\lambda.\Delta) - 1)} - 1$ |

tableau n° 3 : caractéristiques asymptotiques des deux estimateurs du modèle pour Δ connue

**QUATRIÈME PARTIE : STATIONS DE MESURE DES PARAMÈTRES
CLIMATIQUES ET CONSTITUTIONS DES SÉRIES DE DONNÉES**

I - LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE DES PARAMETRES CLIMATIQUES

I.1 - Choix des stations

Avant d'envisager l'étude des séries de données et notamment l'application des tests, il s'avère nécessaire comme dans toute étude de ce genre de définir une période et des stations de référence à partir desquelles les différentes investigations s'articuleront.

Le choix des stations de référence ainsi que celui d'une période d'étude répond en fait à une exigence fondamentale qui est celle de disposer d'une base de donnée fiable, c'est à dire présentant un certain nombre de qualités nécessaires pour garantir un meilleur traitement.

La qualité des données signifie :

- o Leur continuité, qui implique l'absence ou un nombre réduit de lacunes
- o Leur homogénéité spatiale qui suppose leurs observations à plusieurs postes bien répartis sur l'ensemble de l'espace couvert par l'étude.

Pour cette étude, nous avons travaillé avec les données issues des mesures effectuées au niveau des seules stations synoptiques par le service de la Météorologie Nationale du Burkina Faso. Ce choix se justifie d'autant plus, qu'au niveau de ces stations nous avons une mesure de tous les paramètres climatiques choisis dans notre étude

I.2 Situation géographique des stations de mesure

| CODE AGRHYMET | NOM DE LA STATION | COORDONNEES | | |
|------------------|-------------------|-------------|-----------|----------|
| | | Latitude | Longitude | Altitude |
| 200001 | OUAGADOUGOU AERO | 12°21 N | 01°02 W | 304 |
| 200026 | DORI | 14°02 N | 00°02 W | 288 |
| 200035 | OUAHIGOUYA | 13°35 N | 02°26 W | 329 |
| 200054 | DEDOUGOU | 12°28 N | 03°29 W | 308 |
| 200085 | BOGANDE | 12°59 N | 00°08 W | 250 |
| 200089 | FADA N'GOURMA | 12°04 N | 00°22 E | 308 |
| 200099 | BOBO DIOULASSO | 11°10 N | 04°18 W | 459 |
| 200107 | BOROMO | 11°44 N | 02°55 W | 270 |
| 200114 | PO | 11°10 N | 01°09 W | 326 |
| 200140 | GAOUA | 10°20 N | 03°11 W | 333 |

tableau n° 4 : Coordonnées géographiques des stations synoptiques

Ces stations sont représentées sur la figure n°7 .

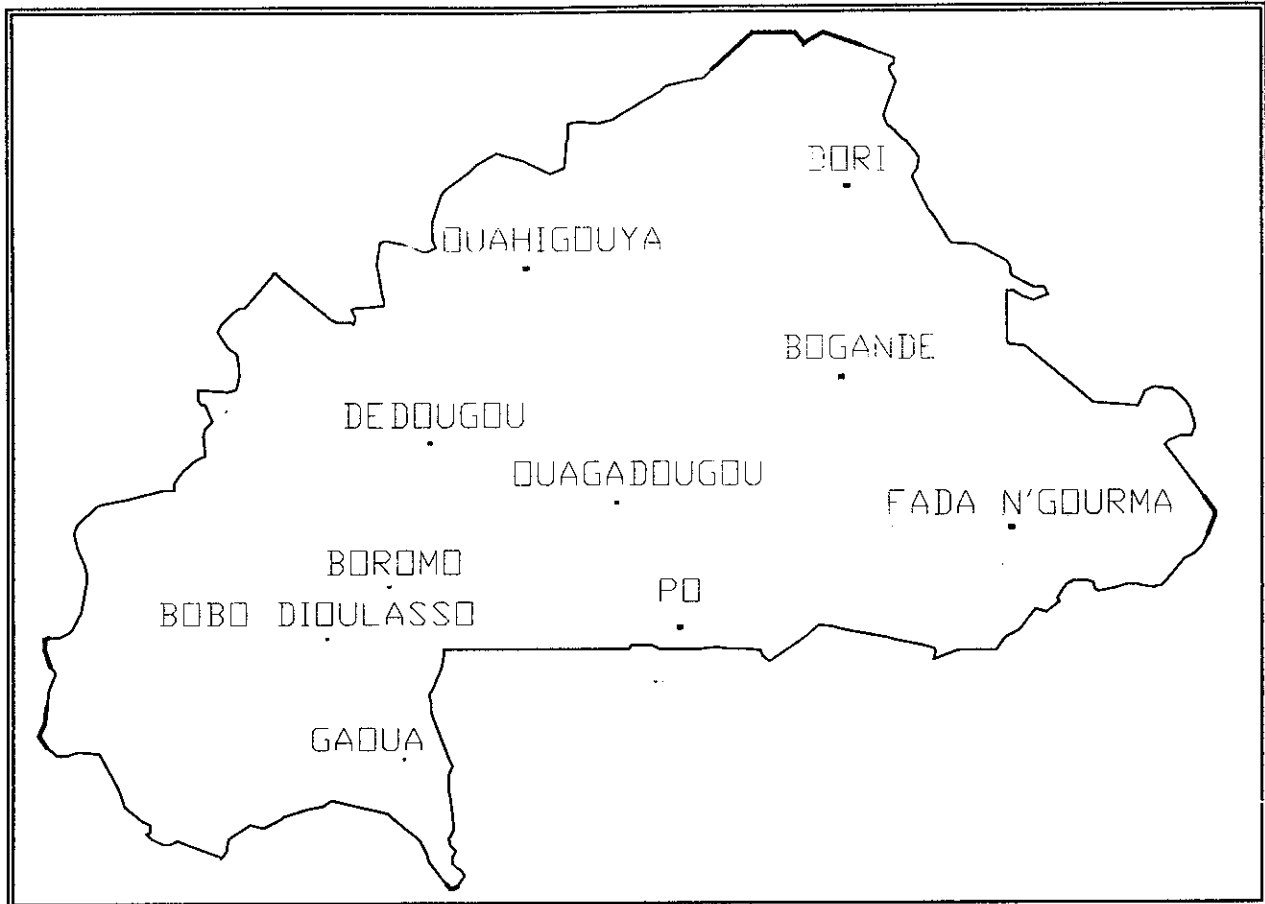


figure n° 7 : situation géographique des stations de mesure

II -PARAMETRES MESURES AU NIVEAU DES STATIONS SYNOPTIQUES

Dans les stations synoptiques, les mesures sont faites normalement toutes les heures. Les paramètres mesurés sont :

- La température sous abri(minimale, maximale et instantanée)
- La température au sol (minimale et maximale)
- La température de l'eau du bac A
- La température dans le sol (10, 20, 50, 100 cm)
- Evaporation (piche, bac A)
- Insolation
- Humidité (minimale, maximale)
- Pluviométrie
- Rayonnement solaire
- Nébulosité
- Vent (direction et force)
- Visibilité horizontale
- Pression

- Temps présent

D'autres paramètres sont déduits de ceux observés, tels que, la tension de vapeur, l'évapotranspiration, etc.

III - CONSTITUTION DES SERIES CHRONOLOGIQUES DE DONNEES

Ces données ont été préalablement critiquées par l'équipe IRD. Nous avons cherché à localiser les lacunes pouvant exister dans ces chroniques de données.

III.1 – Séries de données d'insolation

| STATIONS | Début (année) | Fin (année) | Longueur (ans) | Lacune (%) |
|---------------------|---------------|-------------|----------------|------------|
| DORI | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |
| OUAHIGOUYA | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |
| BOGANDE | — | — | — | |
| DEDOUGOU | 1950 | 1997 | 48 | 6,25 |
| OUAGADOUGOU AERO | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |
| FADA N'GOURMA | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |
| BOROMO | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |
| BOBO-DIOULASSO | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |
| PO | 1982 | 1996 | 15 | 2,10 |
| GAOUA | 1950 | 1997 | 48 | 2,10 |

tableau n° 5 : séries chronologiques d'insolation

III.2 – Séries de données de température

| STATIONS | Début (année) | Fin (année) | Longueur (ans) | Lacune(%) | |
|---------------------|------------------|-------------|-------------------|-----------|------|
| | | | | SL | SC |
| DORI | 1925 | 1997 | 73 | 15,07 | 2,08 |
| OUAHIGOUYA | 1932 | 1997 | 66 | 4,55 | 2,08 |
| BOGANDE | — | — | — | — | — |
| DEDOUGOU | 1957 | 1997 | 41 | 2,44 | 2,08 |
| OUAGADOUGOU AERO | 1940 | 1997 | 58 | 1,72 | 2,08 |
| FADA N'GOURMA | 1932 | 1997 | 66 | 6,06 | 2,08 |
| BOROMO | 1923 | 1997 | 79 | 1,27 | 2,08 |
| BOBO-DIOULASSO | 1907 | 1997 | 90 | 11,11 | 2,08 |
| PO | 1979 | 1997 | 19 | 0,00 | 0,00 |
| GAOUA | 1908 | 1997 | 90 | 1,11 | 2,08 |

SL : Série Longue (totalité des données de la série)

SC : Série Courte (ensemble des données de 1950 à la dernière année)

tableau n° 6 : séries chronologiques de température

III.3 – Séries de données d'évapotranspiration

Il faut noter que nous étudions l'ETP de Penman.

| STATIONS | Début (année) | Fin (année) | Longueur (ans) | Lacune(%) |
|---------------------|------------------|----------------|-------------------|-----------|
| DORI | 1961 | 1990 | 30 | 0 |
| OUAHIGOUYA | 1961 | 1990 | 30 | 0 |
| BOGANDE | — | — | — | — |
| DEDOUGOU | 1961 | 1990 | 30 | 10 |
| OUAGADOUGOU AERO | 1961 | 1990 | 30 | 0 |
| FADA N'GOURMA | 1961 | 1990 | 30 | 0 |
| BOROMO | 1961 | 1990 | 30 | 0 |
| BOBO- DIOULASSO | 1961 | 1990 | 30 | 0 |
| PO | 1984 | 1990 | 8 | — |
| GAOUA | 1961 | 1990 | 30 | 0 |

tableau n° 7 : séries chronologiques d'ETP

III.4 – Séries de données d'humidité

| STATIONS | Date du début | Date de la fin | Longueur de la série | Lacune(%) | |
|---------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------|----|
| | | | | SL | SC |
| DORI | 1961 | 1997 | 37 | 0,68 | |
| OUAHIGOUYA | 1964 | 1997 | 38 | 0,66 | |
| BOGANDE | — | — | — | — | |
| DEDOUGOU | 1982 | 1997 | 16 | 0,00 | |
| OUAGADOUGOU AERO | 1961 | 1997 | 37 | 0,68 | |
| FADA N'GOURMA | 1960 | 1997 | 38 | 0,88 | |
| BOROMO | 1961 | 1997 | 37 | 0,68 | |
| BOBO- DIOULASSO | 1961 | 1997 | 37 | 0,68 | |
| PO | 1983 | 1997 | 15 | 0,00 | |
| GAOUA | 1961 | 1997 | 37 | 0,45 | |

tableau n° 8: séries chronologiques d'humidité

III.5 –Séries de données de la pluviométrie

| STATIONS | Date du début | Date de la fin | Longueur de la série | Lacune(%) | |
|---------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------|--------|
| | | | | SL | SC |
| DORI | 1921 | 2001 | 81 | 0,51 | 0 |
| OUAHIGOUYA | 1922 | 2001 | 80 | 0,00 | 0 |
| BOGANDE | 1948 | 2001 | 54 | 1,85 | 0 |
| DEDOUGOU | 1922 | 2001 | 80 | 1,25 | 0 |
| OUAGADOUGOU AERO | 1952 | 2001 | 50 | 0,17 | 0 |
| FADA N'GOURMA | 1922 | 2001 | 80 | 2,50 | 0,0014 |
| BOROMO | 1923 | 2001 | 79 | 1,05 | 0 |
| BOBO- DIOULASSO | 1907 | 2001 | 95 | 7,37 | 0 |
| PO | 1942 | 2001 | 60 | 0,00 | 0 |
| GAOUA | 1908 | 2001 | 94 | 10,64 | 0 |

tableau n° 9: séries chronologiques de pluviométrie

**CINQUIEME PARTIE : TRAITEMENT ET ANALYSE DES SERIES DE
DONNEES**

I - METHODOLOGIE

La période de rupture est déterminée à partir des résultats issus des tests de Pettitt et de Hubert. Dans le cas où la série chronologique débute avant 1950, les dates de rupture sont déterminées pour la série longue (totalité des données disponibles) et la série courte (depuis 1950).

Pour un paramètre donné, un histogramme des occurrences de ruptures est déterminé en regroupant les résultats des tests de rupture sur les séries de l'ensemble des stations. Dans ce travail, nous ne considérons que les ruptures apparues après 1950. Les résultats de la série longue servent à vérifier s'il n'y a pas une influence de la taille de l'échantillon sur les dates de rupture obtenues à partir de la série courte.

Le test de rang nous donne le type de tendance dans le cas où la série est déclarée non aléatoire. L'évolution des différents paramètres est représentée par des graphiques. Les courbes ont été tracées à partir des moyennes quinquennales. Nous avons représenté dans ce rapport, les séries de trois stations représentant chacune une région climatique, Dori pour la région sahélienne, Ouagadougou (Ouaga) pour la région Nord soudanienne et Bobo Dioulasso (Bobo) pour la région Sud soudanienne. Mais les analyses qui sont faites tiennent compte des caractéristiques des autres stations concernées par l'étude.

Des représentations graphiques sont faites pour les indices et les différents paramètres de la loi des fuites afin de mieux appréhender leur évolution.

II - RAPPEL DES RESULTATS OBTENUS (étude 2001)

Notre étude fait suite à un travail effectué l'année passée sur des séries de données annuelles de paramètres climatiques. L'étude de l'année passée était effectuée sur des données des stations synoptiques (10), stations agroclimatologiques (11), stations climatologiques (12), et stations pluviométriques (128) (Koukponou A 2001).

Seulement nous avons élargi l'étude en ajoutant d'autres paramètres climatiques et même, dans certains cas, en intégrant des mises à jour de données.

II.1 – Insolation

L'analyse des résultats obtenus à partir du traitement de 11 stations de mesure montre qu'il y a deux périodes de ruptures : 1965 à 1968 et 1977 à 1981.

Les ruptures de 1965 à 1968 ont une tendance à la hausse mais celle de 1977 à 1981 ont une tendance à la baisse.

L'étude des séries d'insolation montre une augmentation de l'insolation des années 1950 à 1980. Mais les années 1980 la tendance s'est inversée pour la majorité des stations.

II.2 – Température

Le maximum de ruptures résultant du traitement des séries de température moyenne, minimale et maximale de onze stations, s'est produit dans la période de 1976 à 1982. La tendance générale est à la hausse pour la température maximale, moyenne et minimale et les résultats les plus nets affectent la température minimale.

II.3 - Evapotranspiration

Les périodes de rupture les plus marquées sont entre 1961 et 1967 et entre 1978 et 1980. D'une façon générale, l'évapotranspiration a baissé de 1967 à nos jours.

II.4 – Humidité

Les ruptures sont plus marquées dans les séries d'humidité minimale que dans les séries d'humidité maximale. De façon générale, les ruptures sont plus fréquentes au cours de deux périodes : 1969 à 1972 et 1978 à 1980. Dans l'ensemble, la tendance des séries d'humidité est à la baisse.

II.5 – Pluviométrie annuelle

Le résultat de l'étude des séries de 47 stations montre que le maximum de ruptures s'est produit entre 1965 et 1970. La pluviométrie évolue à la baisse au cours de trente dernières années avec des déficits plus ou moins accentués.

II.6 - Pluviométrie mensuelle

Elle suit la même évolution que la pluie annuelle, seulement le phénomène est plus marqué pendant la saison pluvieuse.

II.7 – Nombre annuel de jours de pluie

La période de rupture la plus marquée est de 1975 à 1979. Le nombre de jours de pluie a baissé pour l'ensemble des stations. Cependant nous assistons à une évolution à la hausse au cours de cette dernière décennie.

III - EVOLUTION DES DIFFERENTS PARAMETRES

III.1 - Insolation

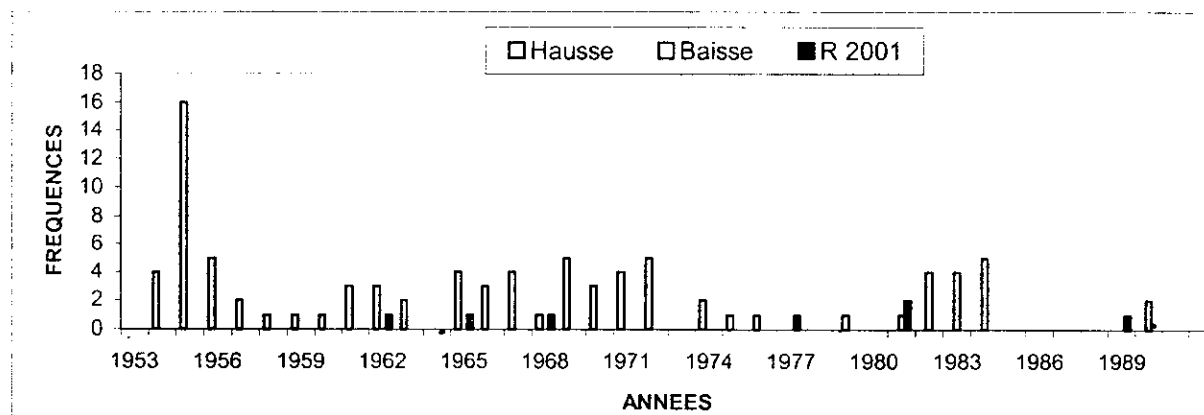
✕ DATES DE RUPTURE

La figure n°8 présente les résultats obtenus sur les séries courtes (depuis 1950) des données mensuelles avec leur tendance et les résultats des données annuelles (R2001). Elle montre qu'il y a quatre grandes périodes de ruptures, 1954-1957, 1960-1963, 1965-1972 et 1982-1984. Ce sont des périodes au cours desquelles on a détecté un changement dans les séries de données.

Les trois premières périodes de ruptures correspondent à hausse mais la dernière période de 1982 à 1984 correspond à une baisse.

A part la station de Po qui ne présente de ruptures qu'en 1990, toutes les autres stations ont eu des ruptures au cours de ces trois premières périodes. Les ruptures de 1982 à 1984, ont surtout apparu sur les séries chronologiques des stations de Fada N'gourma, Boromo et Bobo Dioulasso (Annexe II.1).

Tous les mois sont touchés et le mois le moins affecté est le mois d'Avril, qui ne présente qu'une seule année de rupture, 1955, à la station de Ouagadougou (Annexe II.1).



R 2001 : résultats de l'étude 2001

figure n° 8: Histogramme des dates de rupture dans les séries chronologiques mensuelles et annuelles d'insolation pour l'ensemble des stations

✕ EVOLUTION

Au niveau de l'ensemble des stations, l'insolation a augmenté des années 1950 à aujourd'hui (figure n°8). Mais on constate certaines fluctuations intermédiaires :

- des années 1950 à 1983, l'évolution est à la hausse
- de 1983 à aujourd'hui, une légère tendance à la baisse

L'évolution de l'insolation (figure n°9) se fait de façon uniforme sur tout le pays, ce qui fait que nous n'avons pas constaté un décalage des dates de rupture d'une région à l'autre.

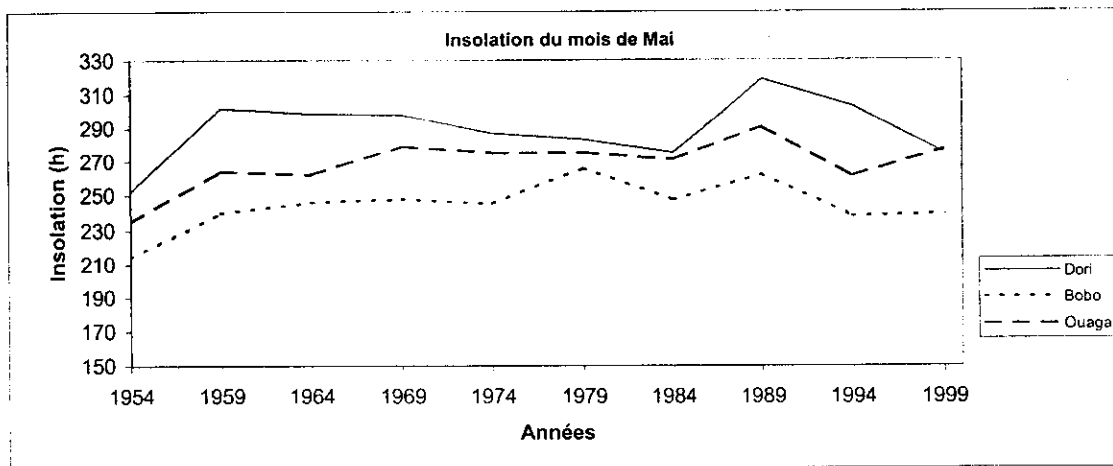


figure n° 9: Variation de l'insolation au mois de Mai

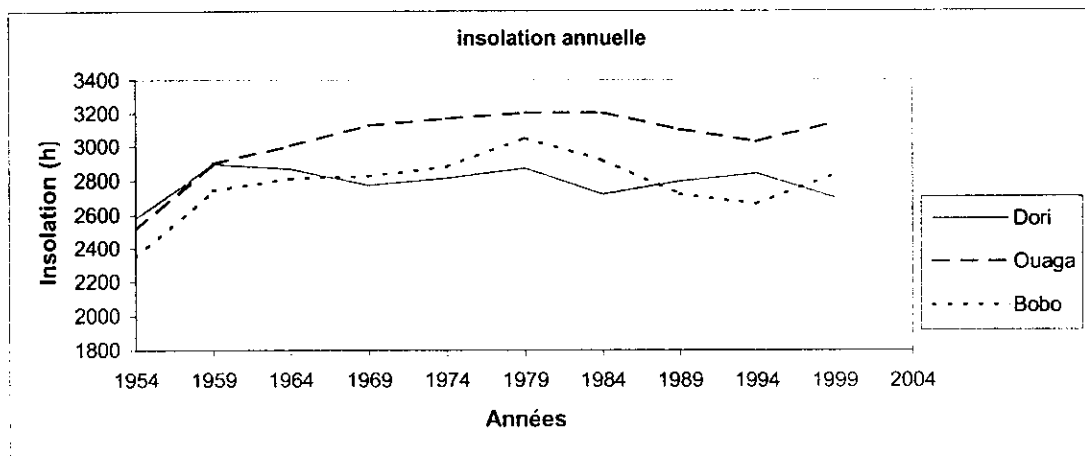


figure n° 10: Variation de l'insolation annuelle

III.2 - Température

III.2.1 – Température maximale

✘ DATES DE RUPTURE

L'histogramme des dates de rupture (figure n°11) nous donnent trois périodes de forte fréquence :

- -de 1957 à 1964
- -de 1967 à 1971
- - 1973 à 1982.

Ces périodes de ruptures varient d'une région à l'autre (Annexe II.2). Ainsi les ruptures au cours de la période de 1967 à 1971 apparaissent plus au Nord (Dori et Ouahigouya) pendant la saison pluvieuse. Quant aux deux autres régions (centre, Sud), les ruptures de 1973 à 1982 sont les plus importantes et apparaissent de plus pendant la saison des pluies (Annexe II.2).

Pour la saison sèche, le phénomène est plus accentué sur l'ensemble du pays pendant la période de 1973 à 1982. De même les ruptures de 1957 à 1964 sont plus abondantes pendant la saison sèche.

Dans l'ensemble nous constatons que les ruptures sont à la baisse pendant la saison sèche et à la hausse pour la saison des pluies.

Le mois de Mars est le moins touché par le changement, il n'a qu'une seule rupture en 1959.

Le changement de la température maximale est plus ressenti au Nord qu'au sud.

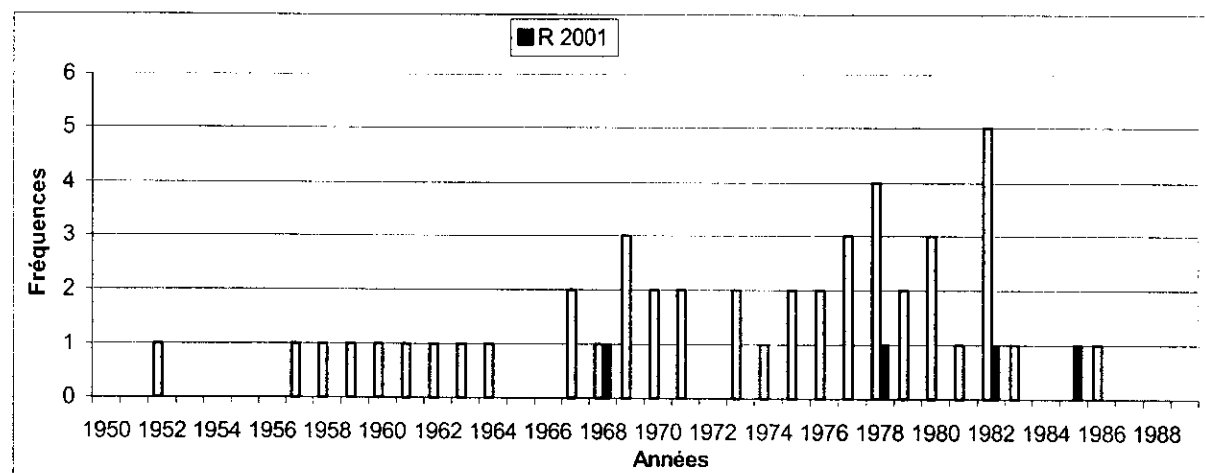


figure n° 11: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles et annuelles de la température maximale pour l'ensemble des stations

✕ EVOLUTION

La variation de la température maximale dépend des saisons.

Pour les mois de Décembre à Mars, la tendance était à la baisse des années 1950 aux années 1984 (figure n°12) mais depuis ces années jusqu'à aujourd'hui, l'évolution est à la hausse.

De Mai à Novembre, la tendance générale est à la hausse des années 1950 aux années 1984 (figure n°13) mais cette tendance s'est inversée depuis. Cette augmentation de température est surtout nette au mois d'Août, où on enregistre une hausse de 1°C par rapport aux années 1970.

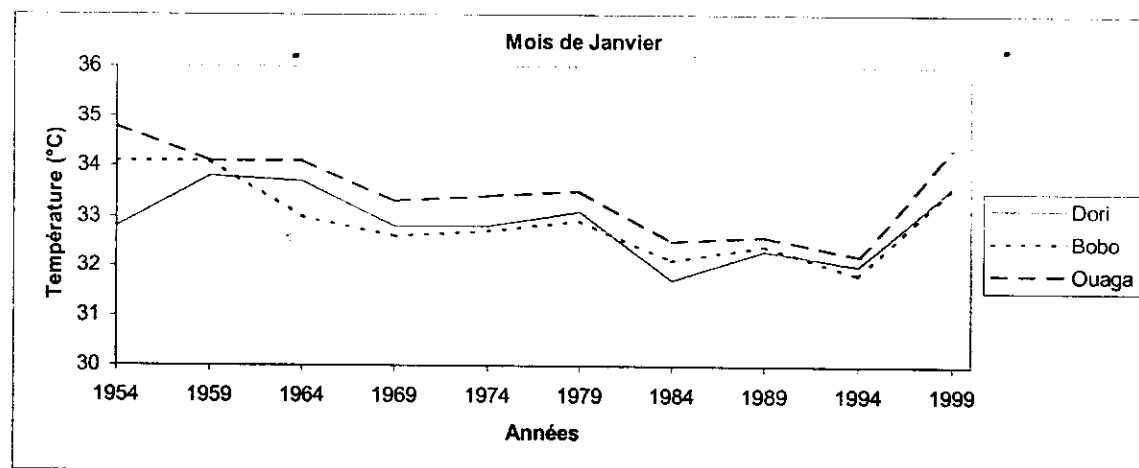


figure n° 12: Variation de la température maximale au mois de Janvier

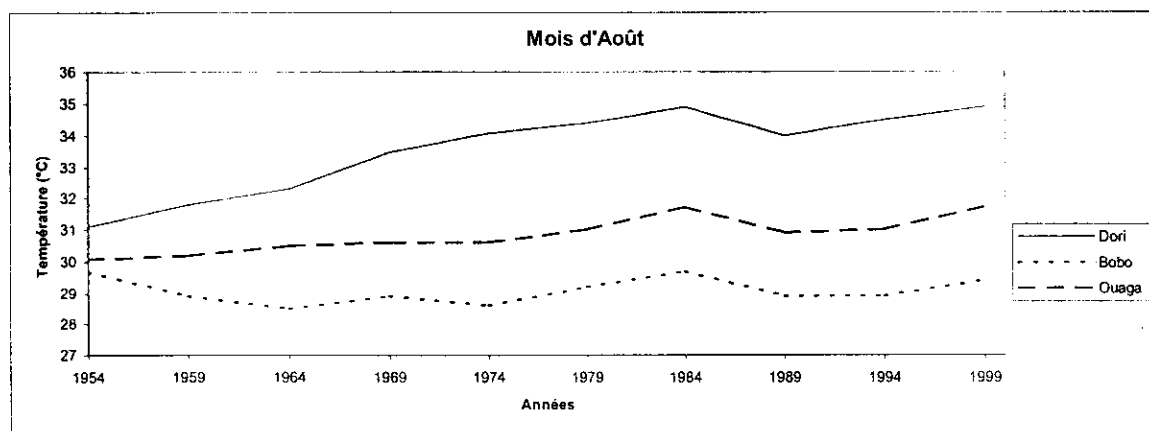


figure n° 13: Variation de la température maximale au mois d'Août

III.2.2 – Température moyenne

✕ DATES DE RUPTURE

Les périodes de plus fortes ruptures (figure n°14) sont, de 1967 à 1971 et de 1976 à 1982.

Les ruptures des séries de température moyenne dépendent des régions (Annexe II.3). Au Nord (Dori, Ouahigouya) les ruptures au cours de la période de 1967 à 1971 sont plus nombreuses. Mais au Centre et au Sud, ce sont les ruptures de 1976 à 1982 qui dominent.

Ces ruptures de 1967 à 1971 et de 1976 à 1982 ; sont plus accentuées pendant la saison des pluies dans les différentes régions, respectivement au Nord et dans les autres régions (centre. Sud).

Dans le Nord, toutes les ruptures ont une tendance à la hausse. Aussi au Sud et au Centre, les ruptures de 1967 à 1971, apparues pendant la saison des pluies, ont une tendance à la hausse.

Nous constatons que la période de Décembre à Février est moins affectée par ce changement. aussi la série de la station de Po n'a présenté aucune année de rupture (Annexe II.3).

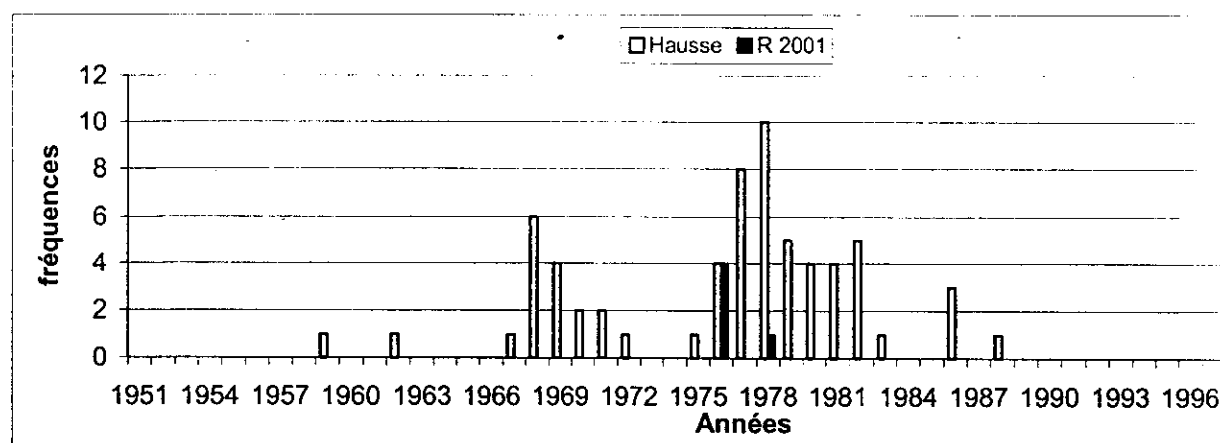


figure n° 14: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de la température moyenne pour l'ensemble des stations

✕ EVOLUTION

La température moyenne a augmenté des années 1950 aux années 1984 mais depuis on nous constatons une légère tendance à la baisse, sur l'ensemble du territoire Burkinabé (figure n°15). Le gradient Nord-Sud augmente aussi des années 1950 à nos jours (figure n°16), cette augmentation est surtout accentuée pendant la saison des pluies.

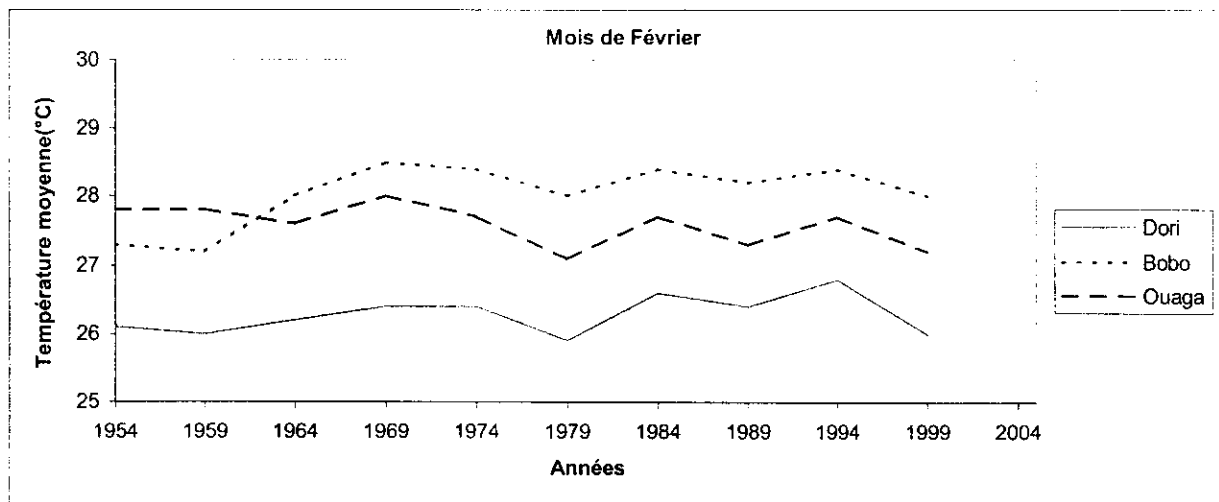


figure n° 15: Variation de la température moyenne au mois de Février

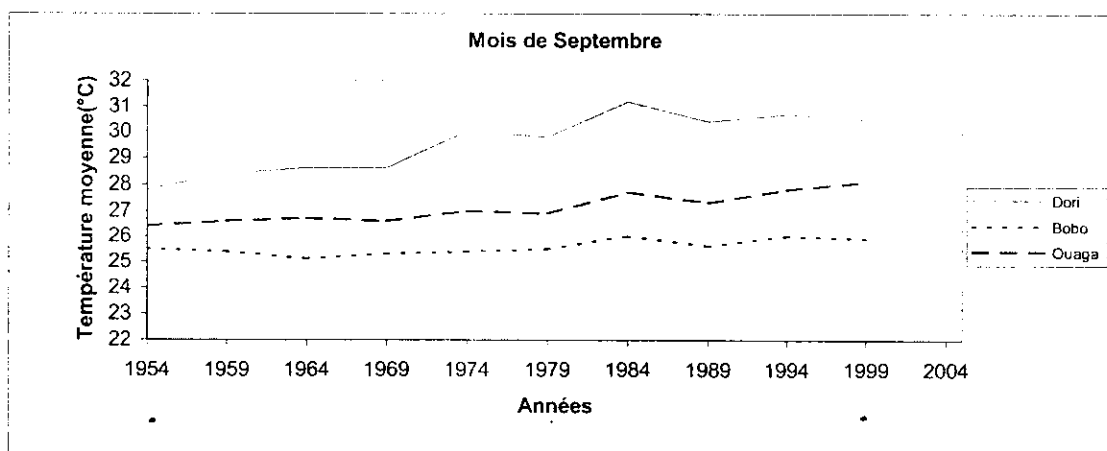


figure n° 16: Variation de la température moyenne au mois de Septembre

III.2.3 – Température minimale

✕ DATES DE RUPTURE

L'évolution de la température minimale est marquée par trois périodes de ruptures (figure n°17), de 1966 à 1968, de 1970 à 1971 et de 1975 à 1982.

Les ruptures de 1966 à 1968 apparaissent beaucoup plus pendant la saison sèche dans les régions du centre et du Sud du pays alors que dans le Nord ce sont les ruptures de 1975 à 1982 qui dominent au cours de cette saison (Annexe II.4).

Sur l'ensemble du pays les ruptures de 1976 à 1982 sont plus accentuées en saison des pluies.

Dans l'ensemble toutes les ruptures ont une tendance à la hausse . Seulement à la station de Gaoua, les ruptures survenues pendant la saison sèche ont une tendance à la baisse (Annexe II.4).

Nous constatons que tous les mois sont affectés par ce changement.

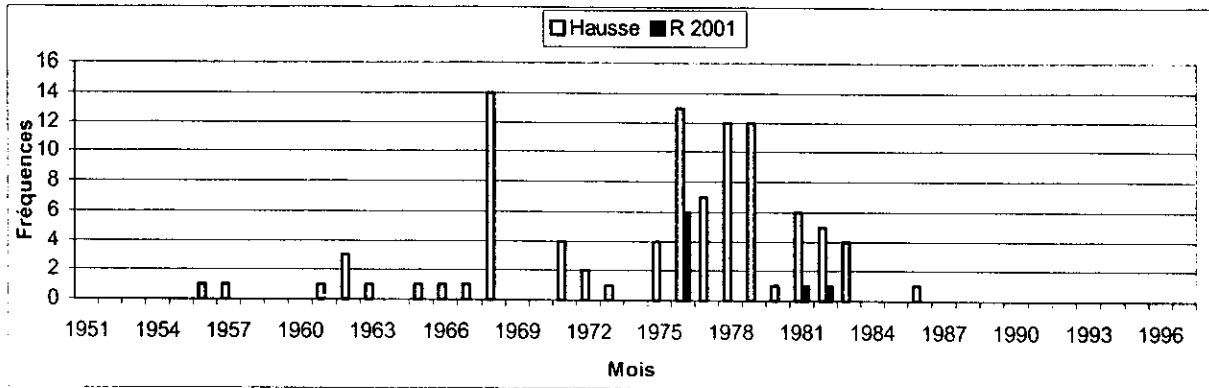


figure n° 17: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de la température minimale pour l'ensemble des stations

✕ EVOLUTION

Comme pour le cas précédent, la température minimale évolue à la hausse des années 1950 à aujourd'hui (figure n°18 et figure n°19)

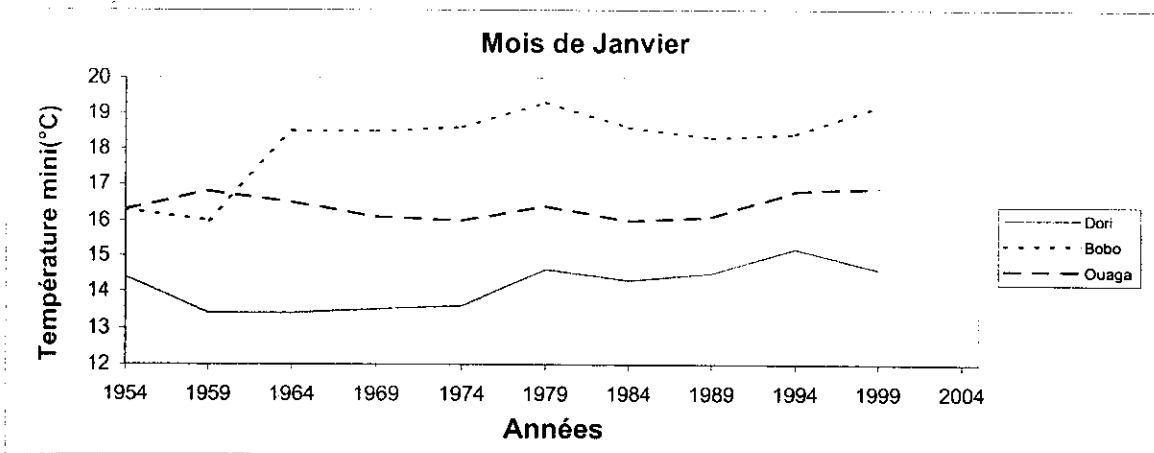


figure n° 18: Variation de la température minimale du mois de Janvier

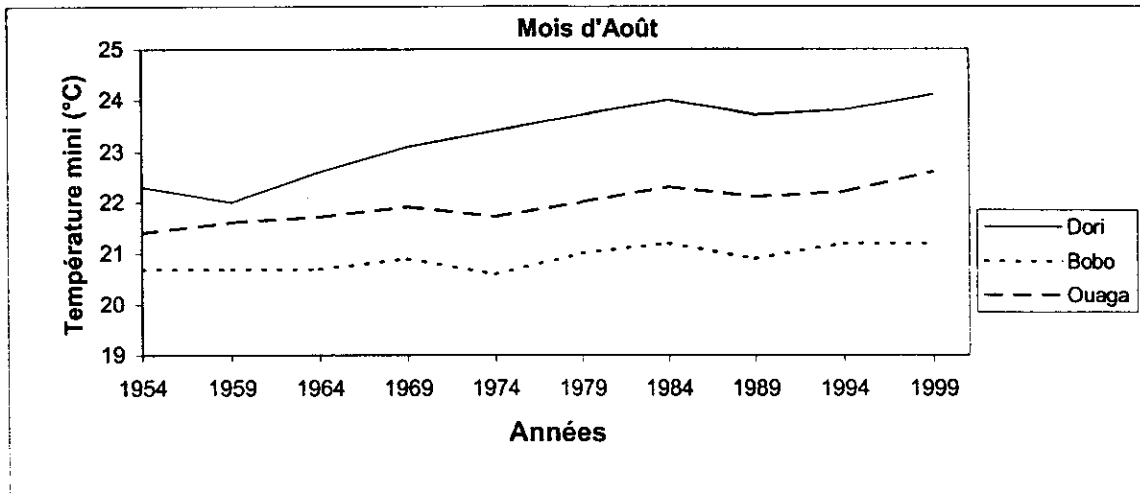


figure n° 19: Variation de la température minimale du mois d'Août

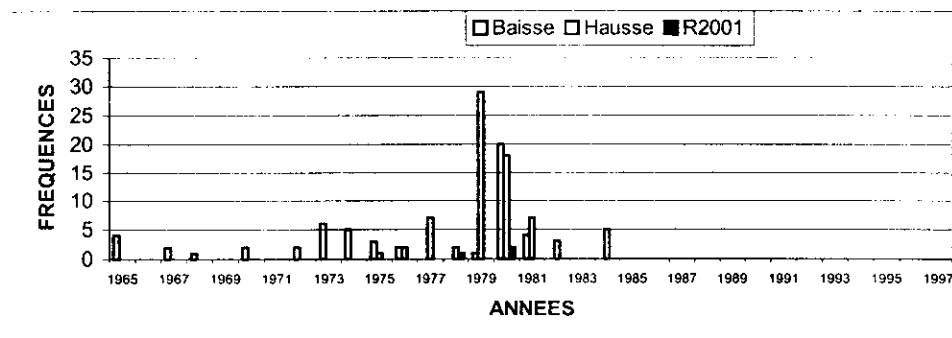
III.3 - Evapotranspiration

✗ DATES DE RUPTURE

L'application des tests de Hubert et Pettitt à des séries de données mensuelles, montre deux principales périodes de ruptures (figure n°20) de 1971 à 1974 et de 1977 à 1982.

Les ruptures de 1971 à 1974 apparaissent plus pendant la saison sèche et elles correspondent à une tendance à la baisse. Aussi, toutes les ruptures de 1977 à 1982, survenues pendant la saison sèche marquent une tendance à la baisse. Par contre, les ruptures de 1977 à 1982, apparues en majorité pendant la saison pluvieuse correspondent à une tendance à la hausse (Annexe II.5).

Tous les mois sont touchés mais la série de la station de Po n'a présenté aucune rupture (Annexe II.5).



R 2001 : résultats de l'étude 2001

figure n° 20: Fréquence des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des stations

✗ EVOLUTION

La variation de l'évapotranspiration potentielle dépend des saisons.

Ainsi, du mois de Novembre à Avril, c'est à dire pendant la saison sèche, l'ETP tend à diminuer sur l'ensemble du pays des années 1960 à nos jours. Cette diminution est plus accentuée à partir des années 1980 (figure n°21).

Pour les mois de Mai à Septembre, l'ETP augmente des années 1960 à aujourd'hui, cette augmentation est d'ailleurs plus accentuée à partir des années 1980 (figure n°22).

Ces deux périodes sont séparées par deux petites phases de transition, les mois d'Avril et d'Octobre, pendant lesquels nous constatons qu'au moment où l'ETP diminue dans la région du Nord, elle évolue en hausse dans le Sud du pays (figure n°23).

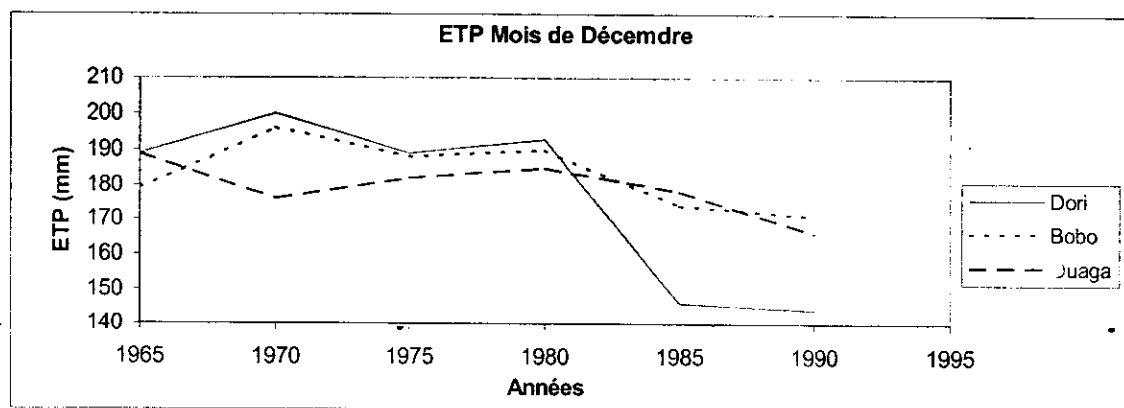


figure n° 21: Variation de l'ETP du mois de Décembre

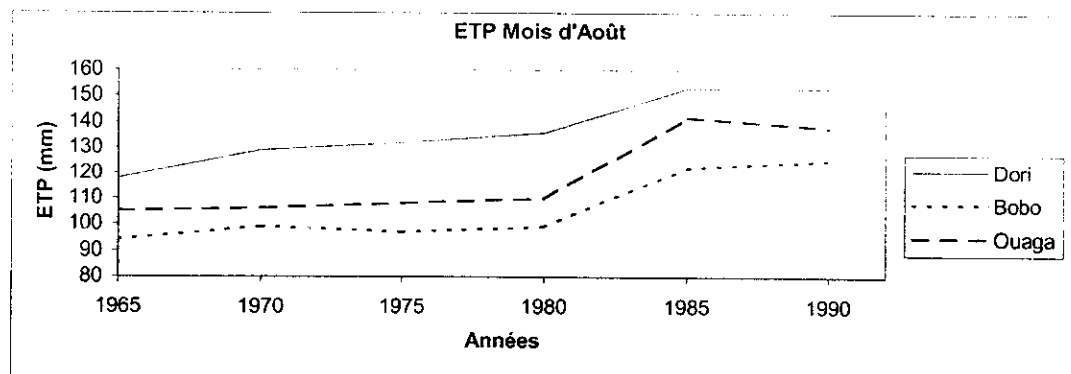


figure n° 22: Variation de l'ETP du mois d'Août

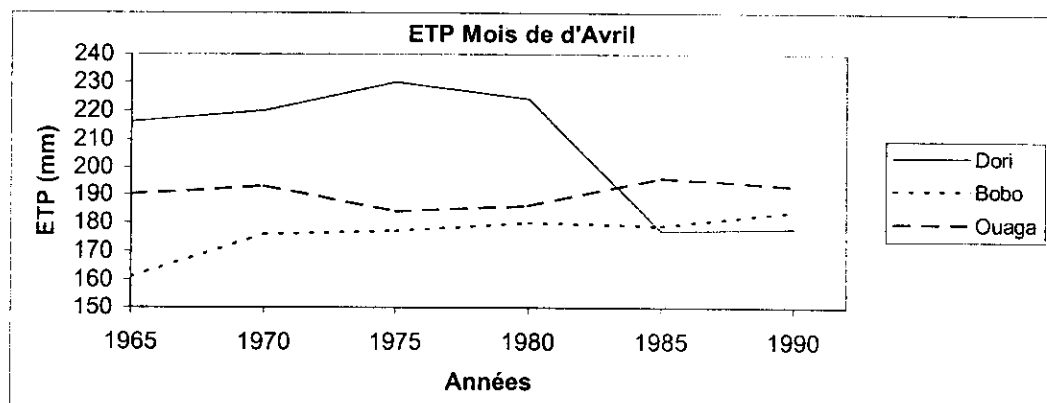


figure n° 23: Variation de l'ETP du mois d'Avril

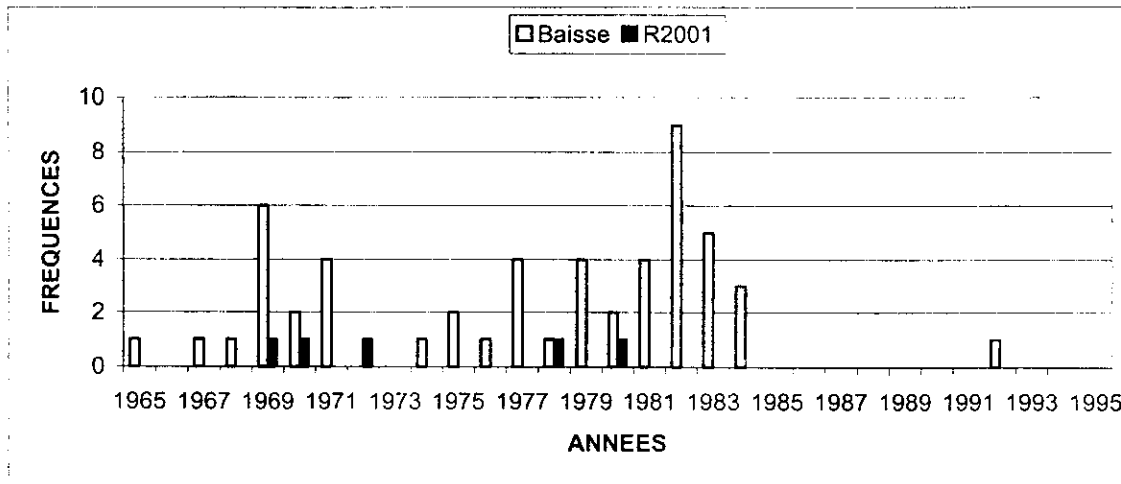
III.4 - Humidité

✕ DATES DE RUPTURE

L'histogramme des dates de ruptures (figure n°24) nous montre deux principales périodes de ruptures, de 1968 à 1971 et de 1975 à 1984.

Toutes les ruptures apparues dans les différentes séries d'humidité présentent une tendance à la baisse.

Les stations de Dédougou et Po sont peu touchées, elles n'ont chacune qu'une année de rupture, respectivement 1984 et 1992 (Annexe II.6)



R 2001 : résultats de l'étude 2001

figure n° 24: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de l'humidité pour l'ensemble des stations.

✕ EVOLUTION

La tendance générale de l'humidité était à la baisse des années 1960 aux années 1984, mais depuis cette date la tendance est à la hausse jusqu'à nos jours (figure n°26).

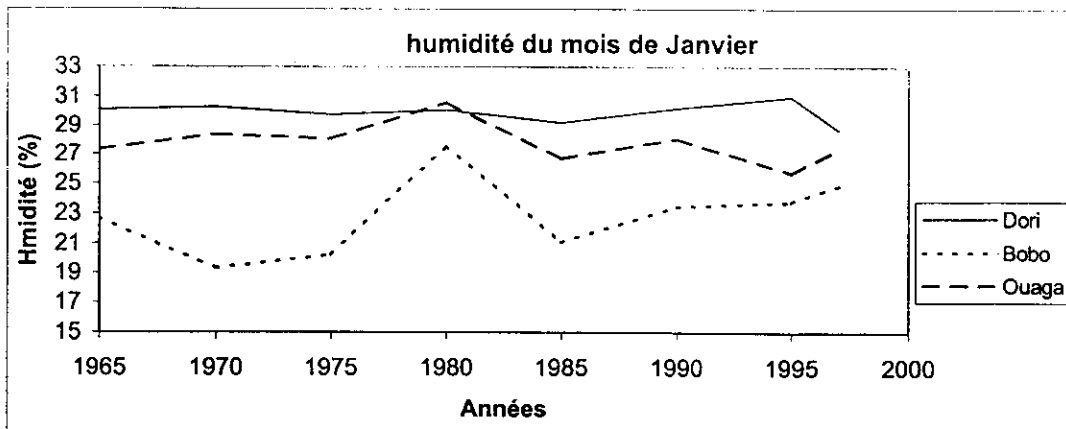


figure n° 25: Variation de l'humidité du mois de Janvier

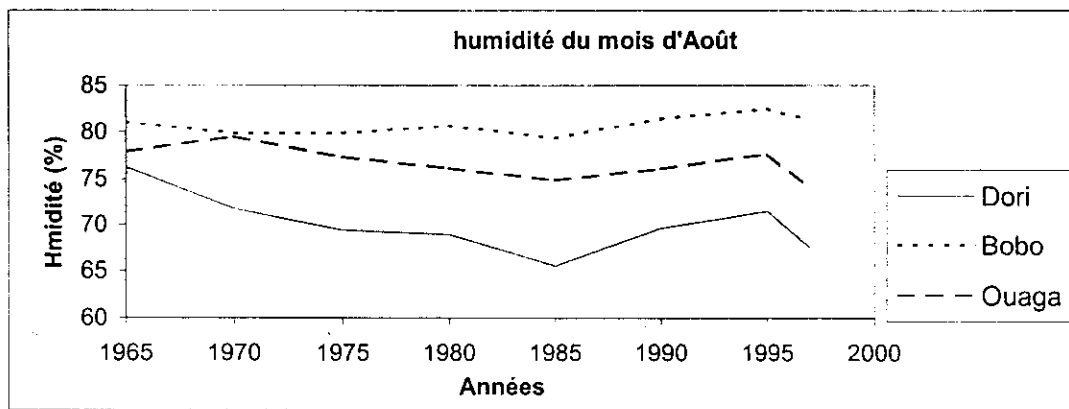


figure n° 26: Variation de l'humidité du mois d'Août

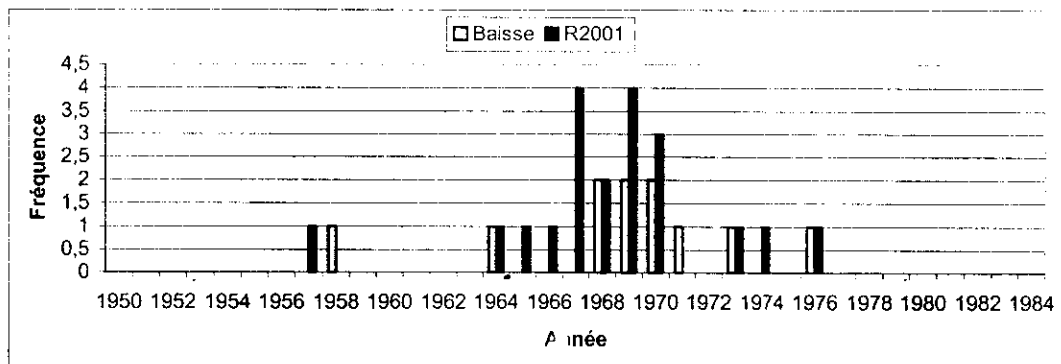
III.5 – Pluviométrie

III.5.1 - Pluviométrie annuelle

✕ DATES DE RUPTURE

Les ruptures apparaissent beaucoup plus au cours de la période de 1968 à 1971 (figure n°27), La majorité des stations sont touchées au cours de cette période, mais les séries chronologiques des stations de Gaoua et Ouagadougou présentent chacune une rupture respectivement en 1958 et en 1976 (Annexe II.8).

Toutes les dates de rupture marquent une tendance à la baisse (Annexe II.8).



R 2001 : résultats de l'étude 2001

figure n° 27: Histogramme des dates de rupture dans les séries de pluviométrie annuelle pour l'ensemble des stations

✕ EVOLUTION

La pluviométrie diminue sur l'ensemble du territoire des années 1950 à aujourd'hui (figure n°28). Cependant elle évolue à la hausse au cours de cette dernière décennie par rapport aux années 1980-1984.

Une baisse moyenne de 160 mm est enregistrée au niveau des différentes stations aux années 1980-1984, par rapport aux années 1950-1960.

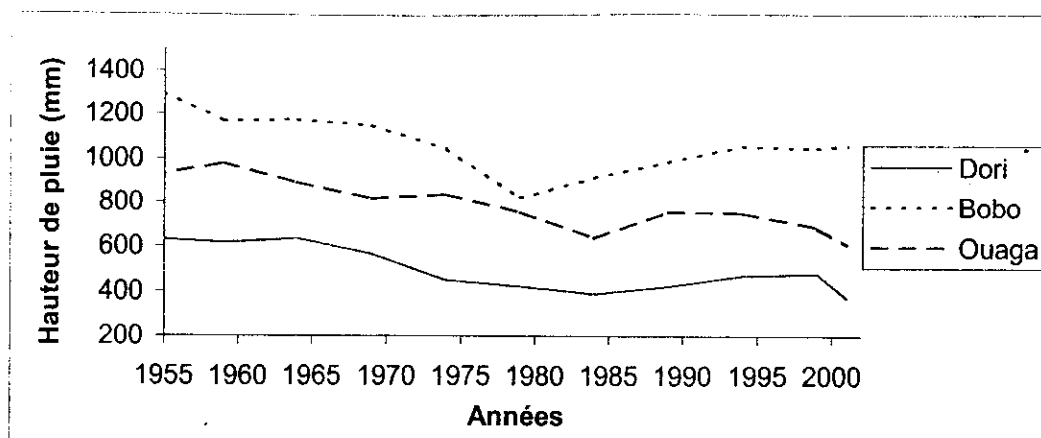
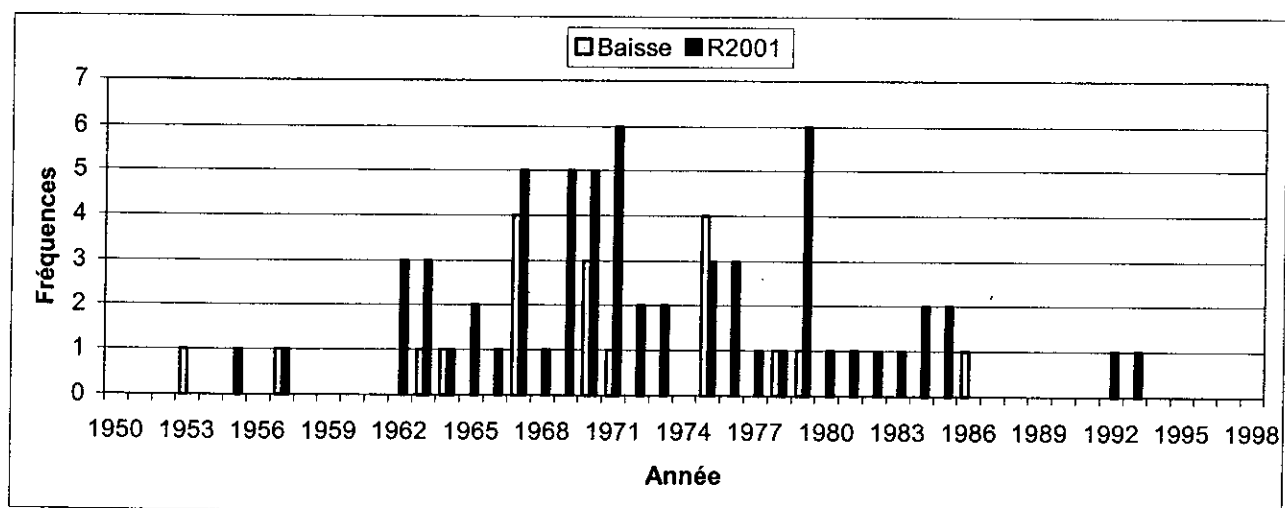


figure n° 28: Variation de la pluviométrie annuelle

III.5.2 - Pluviométrie mensuelle

✗ DATES DE RUPTURE

Les dates de rupture sont un peu dispersées, cependant les périodes de 1967 à 1970 et de 1975 à 1979, sont les plus marquées (figure n°29). De même que la pluviométrie annuelle, toutes les ruptures des séries de pluviométrie mensuelle correspondent à une tendance à la baisse. Les ruptures sont beaucoup plus accentuées pendant la saison des pluies. Cependant aucune rupture n'apparaît aux mois de Décembre à Avril (Annexe II.7).



R 2001 : résultats de l'étude 2001

figure n° 29: Histogramme des dates de rupture dans les séries chronologiques de pluies mensuelles pour l'ensemble des stations

✗ EVOLUTION

La tendance est à la baisse au niveau de toutes les stations et pour tous les mois des années 1950 à nos jours (figure n°30). Cette baisse est plus accentuée pendant les mois d'Août et

Septembre, où le déficit de 2000 par rapport aux années 1950, est respectivement de 91 et 71mm à la station de Fada.

Sur l'ensemble du pays, on constate un déficit de 47 mm en moyenne pendant les mois d'Août et Septembre par rapport à la période avant 1970.

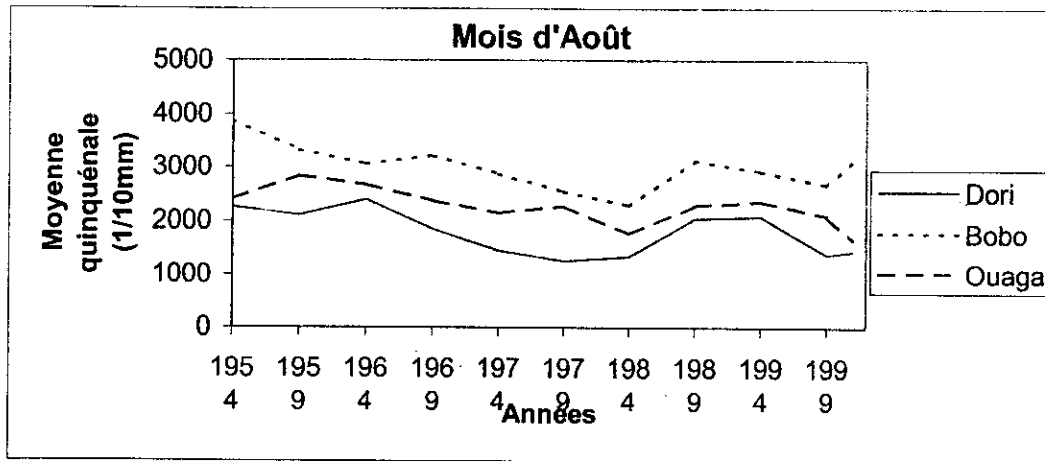


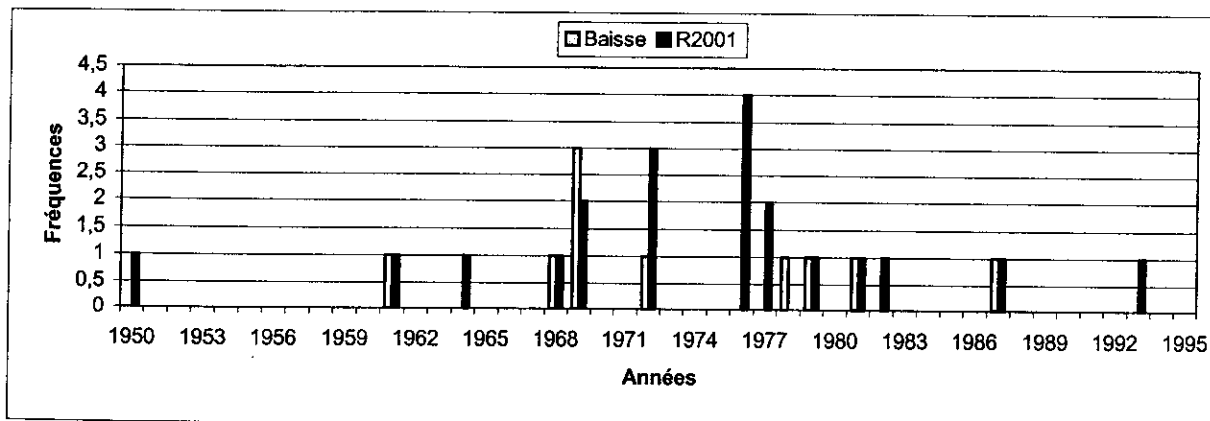
figure n° 30: Variation de la pluviométrie du mois d'Août

III.5.3 - Pluviométrie journalière

III.5.3.1 - Nombre annuel de jours de pluie

✗ DATES DE RUPTURE

Les dates de rupture sont plus marquées au cours de deux périodes 1968 à 1973 et de 1977 à 1983 (figure n°31). La tendance générale est à la baisse (Annexe II.8).



R 2001 :résultats de l'étude 2001

figure n° 31: Histogramme des dates de rupture des séries de nombre annuel de jours de pluie pour l'ensemble des stations

✗ EVOLUTION

Le nombre annuel de jours de pluie était en baisse (figure n°32), des années 1950 aux années 1980. Cette tendance a changé depuis 1985 jusqu'à nos jours. Mais comme la pluviométrie, le nombre de jours de pluie diminue du Sud vers le Nord. Nous avons une différence de 30 à 40 jours entre Bobo Dioulasso et Dori.

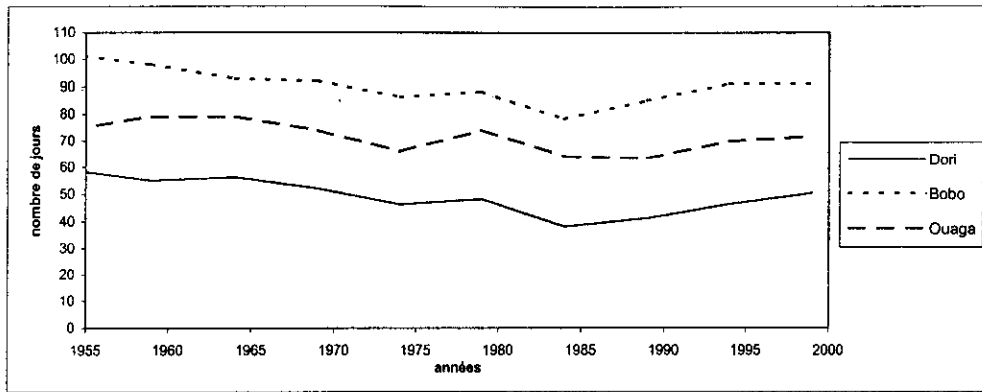


figure n° 32: Variation du nombre annuel de jours de pluie dans l'année

III.5.3.2 - Nombre mensuel de jours de pluie

Le nombre mensuel de jours de pluie varie de la même façon que le nombre annuel de jours de pluie, il tend à la baisse pour tous les mois.

Les séries chronologiques des stations de Ouagadougou et Dédougou n'ont présenté aucune date de rupture. Par ailleurs, toutes les ruptures des séries de la station de Po ont une tendance à la hausse.

III.5.3.3 - Nombre de jours de pluie dans la saison

De même que le nombre mensuel de jours de pluie, le nombre de jours de pluie dans la saison pluvieuse a diminué (figure n°33). Il a suivi la même évolution que le nombre annuel de jours de pluie.

Cette diminution des jours de pluie est en moyenne de 14 jours sur l'ensemble du pays des années 1960 à aujourd'hui.

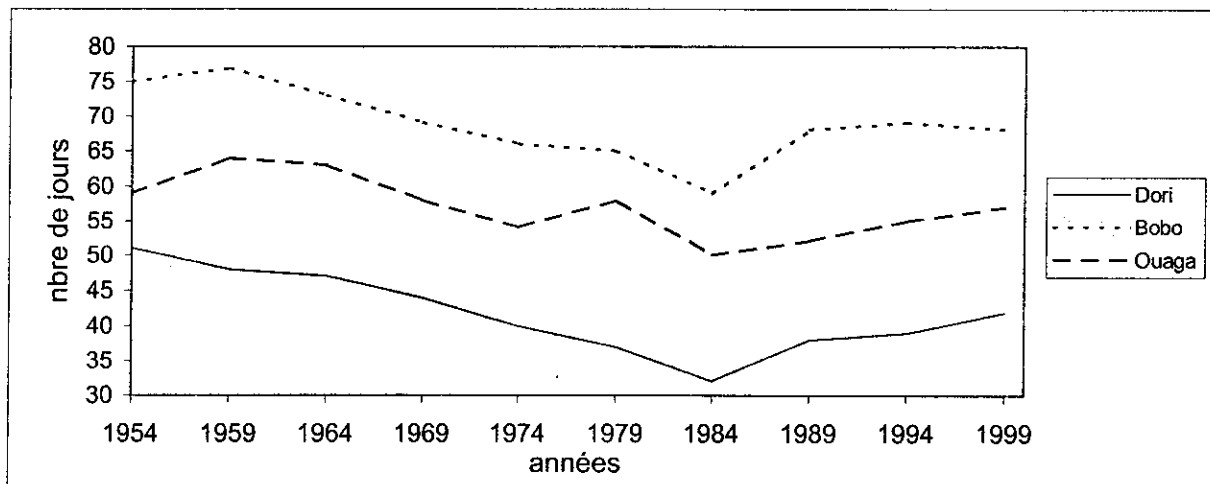


figure n° 33 : Variation du nombre de jours de pluie dans la saison

III.5.3.4 - Durée de la saison des pluies

La durée de la saison des pluies a évolué à la baisse de 1950 à 1989 (figure n°34), où elle a atteint son niveau le plus bas. Mais depuis 1990, nous constatons que la tendance est à la hausse.

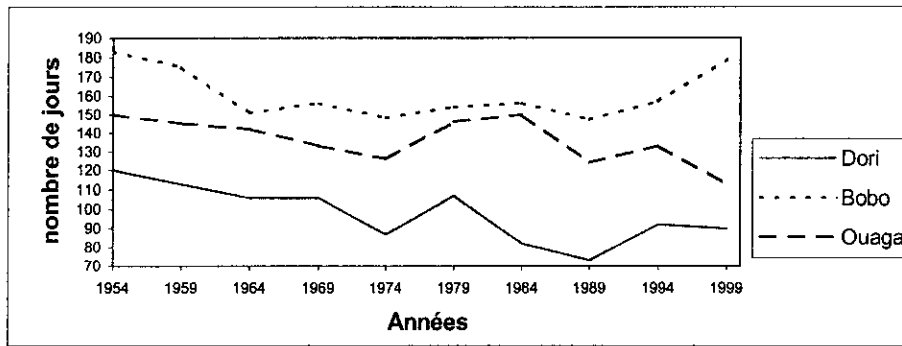


figure n° 34 : Evolution de la durée de la saison des pluies

III.5.3.5 - Début et fin de la saison des pluies

Nous n'avons pas détecté de rupture dans les deux séries, seulement la représentation graphique nous a permis de faire deux constats, qui sont :

- Pour le début de la saison des pluies, on assiste depuis 1970 à un retard de la pluie (figure n°35)
- La fin de la saison des pluies est de plus en plus précoce (figure n°36)

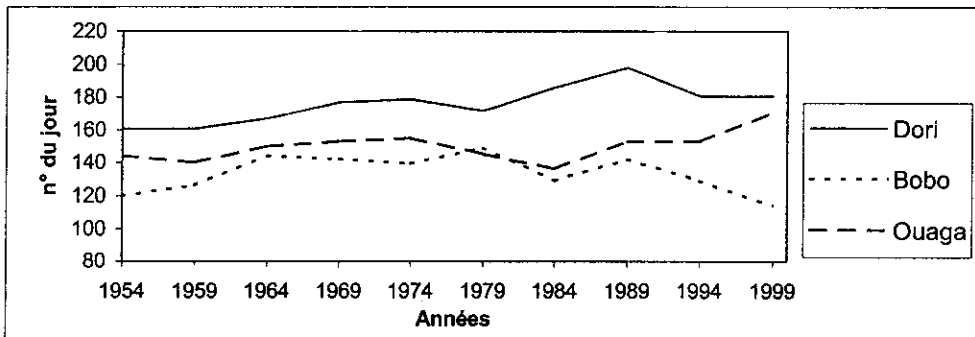


figure n° 35 : Variation du début de la saison des pluies

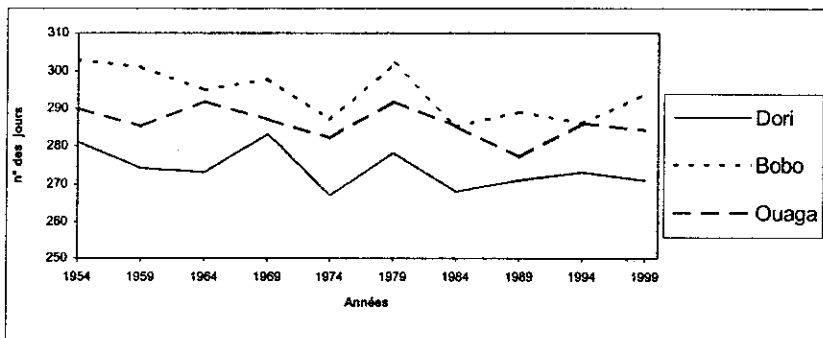


figure n° 36 : Evolution de la fin de la saison des pluies

III.5.3.6 - Catégorisation des pluies journalières

Nous avons effectué une catégorisation des pluies journalières en fonction de leurs hauteurs. Pour cela, nous avons constitué quatre classes du nombre de jours de pluies pour des hauteurs, de 0 à 2 mm, de 2 à 10 mm, de 10 à 20 mm et de 20 mm à plus.

✕ DATES DE RUPTURE

La période de rupture la plus marquée, est de 1966 à 1971 (figure n°37). ce qui correspond à la période de rupture des séries de pluies annuelles étudiées un peu plus haut.

La tendance est à la baisse pour les trois classes suivantes : 2 à 10 mm, 10 à 20 mm et 20 mm et plus (Annexe II.8).

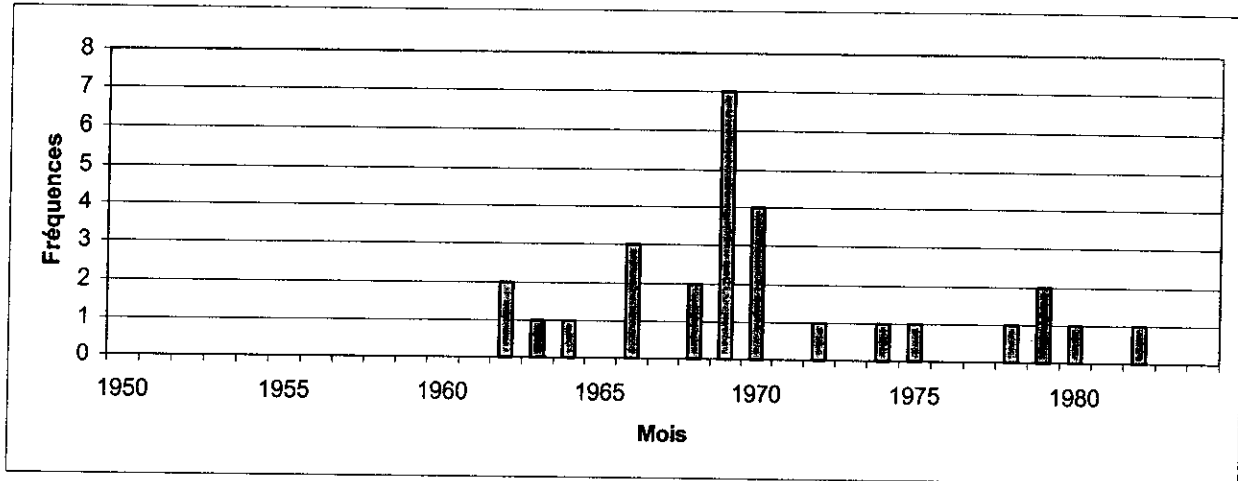


figure n° 37 : Histogramme des dates de rupture des séries chronologiques des classes du nombre de pluies pour l'ensemble des stations.

✕ EVOLUTION

Toutes les trois dernières classes évoluent à la baisse sur l'ensemble du territoire (figure n°38). Mais par contre la première classe, c'est à dire le nombre de jours de pluies dont la hauteur est comprise entre 0 et 2 mm, augmente (figure n°39).

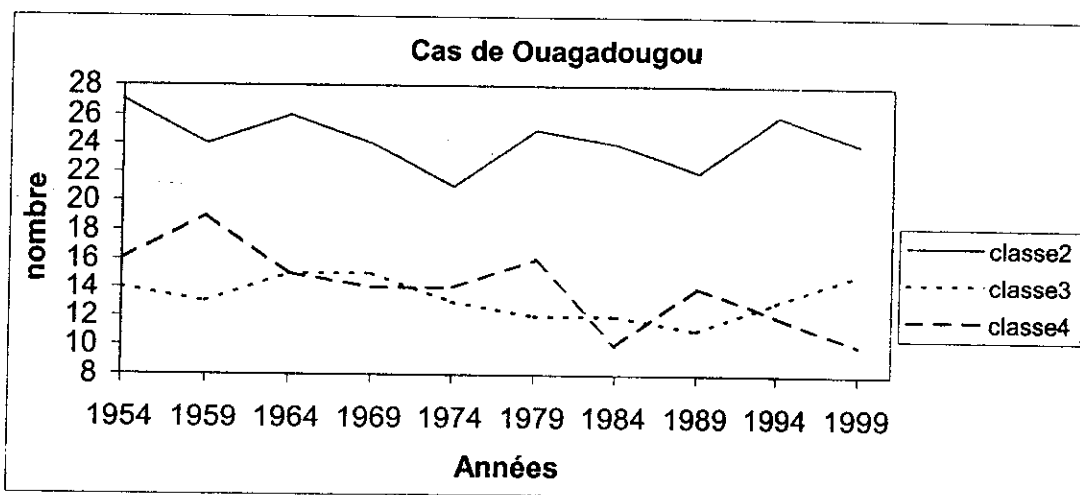


figure n° 38 : Variation des classes des hauteurs de pluies journalières

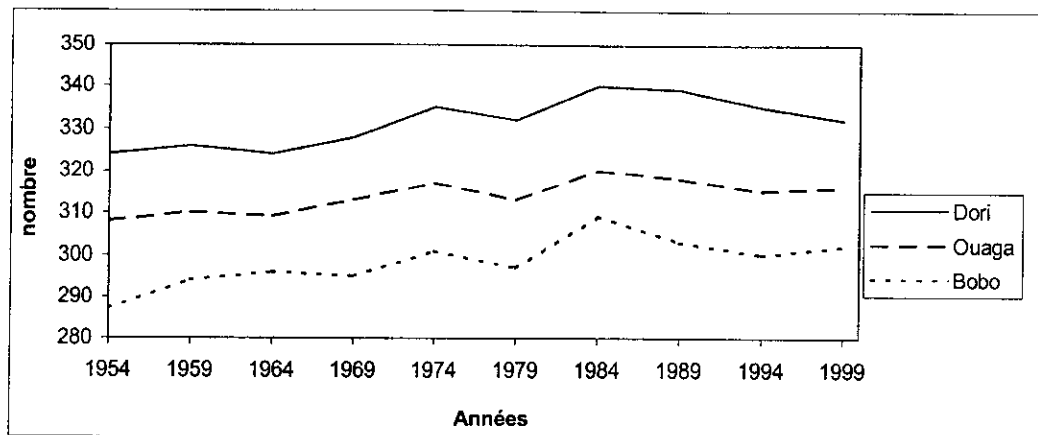


figure n° 39 : Variation du nombre de jours de la classe (0-2mm)

III.5.4 – Remarques

Nous remarquons quelques spécificités au niveau de certaines stations.

Ainsi au niveau de la station de Po nous constatons certaines variations (Annexe VI) :

- Augmentation du nombre annuel de jours de pluie
- Augmentation de la durée de la saison des pluies
- Augmentation du nombre de jours de pluie dont la hauteur est comprise entre 2 et 10 mm
- Augmentation du nombre de jours de pluie dans la saison

Cette augmentation du nombre de jours de pluie se confirme aussi au niveau du nombre moyen d'événements mais la hauteur moyenne d'un événement a diminué (Annexe IV.9).

Malgré cette augmentation du nombre de jours de pluie, nous constatons un déficit de la pluie de 14 % à la station de Po par rapport aux années avant 1970 (Annexe VI).

De même nous remarquons d'autres évolutions au niveau de certaines stations :

- Augmentation de la durée de la saison des pluies à la station de Boromo
- Augmentation du nombre de jours de pluie dans la saison à la station de Gaoua
- Augmentation de la durée de la saison des pluies à la station de Ouahigouya

Augmentation du nombre de jours de pluie dans la saison à la station de Ouahigouya

IV - INDICES DE SECHERESSE

IV.1 – Indice de Pluviosité

Le cumul des indices d'années successives, montre le changement de tendance de la pluviométrie autour de 1970 (figure n°40). Avant ces années on a une tendance humide, mais à partir de 1974 la tendance s'est inversée, avec une succession d'années déficitaires (figure n°41).

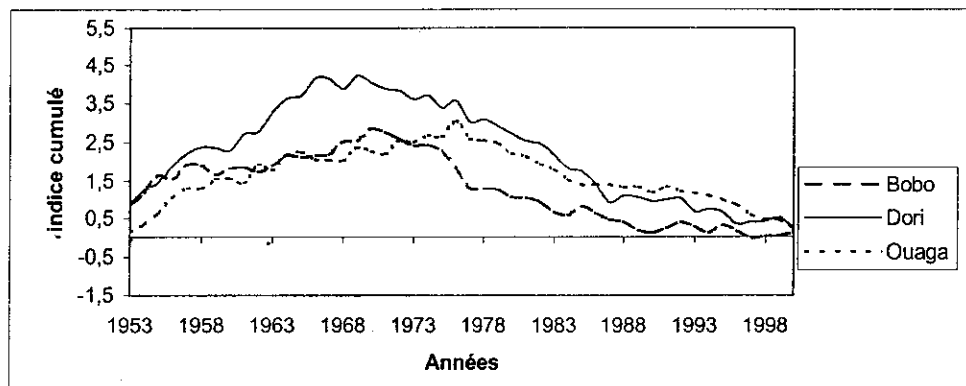


figure n° 40 : Cumul d'indice proportionnel à la moyenne

IV.2 - Indice de pluviométrie

L'évolution générale de la pluviométrie se caractérise par une succession d'années déficitaires depuis années 1970 (figure n°41) au niveau de toutes les stations (Annexe III).

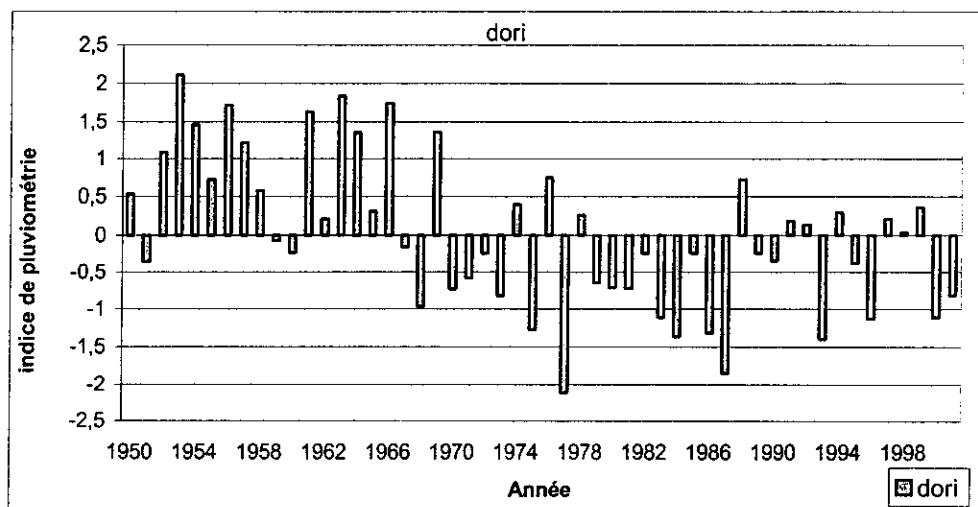


figure n° 41 : Indice de pluviométrie de la station de Dori

V - LOI DES FUITES

Nous avons étudié l'évolution des deux paramètres de la loi, le nombre moyen d'événements (figure n°42) et la hauteur moyenne d'un événement (figure n°43) au niveau de l'ensemble des stations.

Pour chacune des stations, nous avons déterminé ces paramètres pour deux périodes, de 1950 à 1970 et de 1971 à 2000 (Annexe IV).

Dans l'ensemble, le nombre moyen d'événements et la hauteur moyenne d'un événement ont diminué.

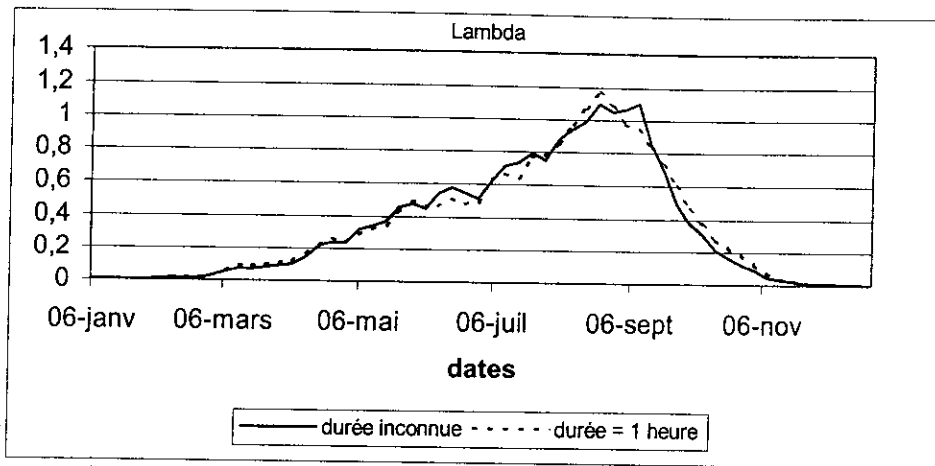


figure n° 42 : Nombre moyen d'évènements au niveau de la station de Bobo

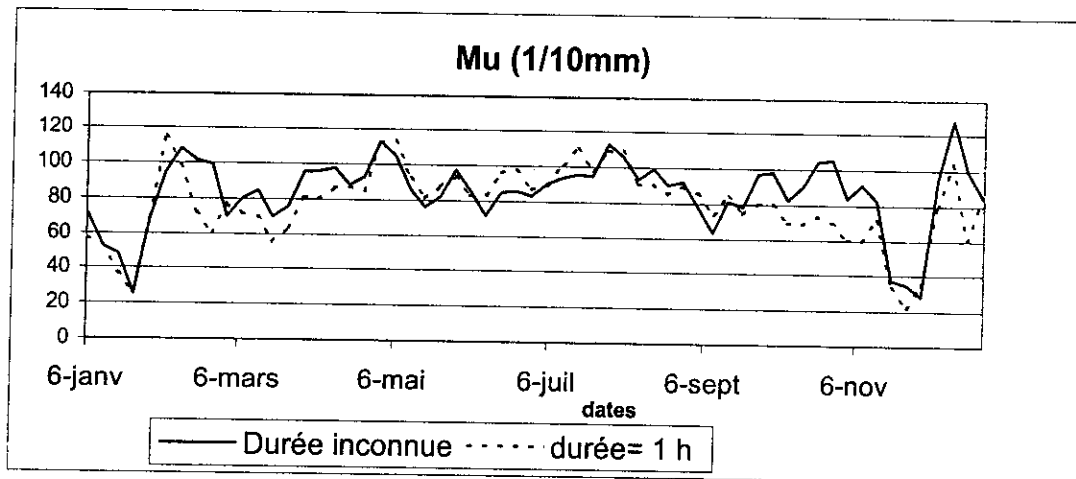


figure n° 43 : Hauteur moyenne d'évènements au niveau de la station de Bobo

VI - SYNTHÈSE DES RESULTATS

VI.1 - Dates de rupture

Pour l'ensemble des paramètres climatiques, les ruptures se produisent principalement autour de deux années 1970 et 1980 (tableau n°10).

Certaines séries de données présentent des ruptures autour de ces deux années, 1970 et 1980.

Ces séries chronologiques sont celles de :

- l'insolation,
- la température (maxi, moyenne, mini),
- l'ETP
- l'humidité
- la pluviométrie mensuelle
- le nombre annuel et mensuel de jours de pluies

D'autres par contre n'ont présenté de rupture qu'autour de 1970, ces séries sont :

- hauteur de pluie annuelle et mensuelle,

- le nombre de jours de pluie dans la saison des pluies
- la durée de la saison des pluies
- les différentes classes des hauteurs des pluies journalières

Toutes ces séries ont donc présenté des ruptures aux alentours de 1970.

| Paramètres | Périodes de rupture | Tendance |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| INSOLATION | 1954-1957 | Hausse |
| | 1960-1963 | Hausse |
| | 1965-1972 | Hausse |
| | 1982-1984 | Baisse (SS) |
| TEMPERATURE MAXIMALE | 1957-1964 | Baisse (SS) |
| | 1967-1971 | Hausse (SP) |
| | 1973-1982 | Hausse (SP); Baisse (SS) |
| TEMPERATURE MOYENNE | 1967-1971 | Hausse |
| | 1976-1982 | Hausse |
| TEMPERATURE MINIMALE | 1966-1968 | Hausse |
| | 1970-1971 | Hausse |
| | 1975-1982 | Hausse |
| ETP | 1971-1974 | Baisse (SS) |
| | 1977-1982 | Hausse (SP); Baisse (SS) |
| HUMIDITE | 1968-1971 | Baisse |
| | 1975-1984 | Baisse |
| PLUVIOMETRIE ANNUELLE | 1968-1971 | Baisse |
| PLUVIOMETRIE MENSUELLE | 1967-1970 | Baisse |
| | 1975-1979 | Baisse |
| NBRE ANNUEL DE JOURS DE PLUIE | 1965-1971 | Baisse |
| | 1975-1982 | Baisse |
| NBRE MENSUEL DE JOURS DE PLUIE | 1965-1971 | Baisse |
| | 1975-1982 | Baisse |
| CLASSE DU NOMBRE DE JOURS DE PLUIE | 1966-1971 | Baisse |

Baisse (SS) : tendance à la baisse pendant la saison sèche

Hausse (SP) : tendance à la hausse pendant la saison des pluies

tableau n° 10 : tableau de synthèse des périodes de rupture et de la tendance

VI.2 - Interaction entre les différents paramètres climatiques

VI.2.1 - Méthodologie

Cette analyse sera faite à l'échelle locale et à partir des paramètres de notre étude. Nous nous limiterons au territoire burkinabé sans essayer de considérer tous les facteurs du mécanisme climatique qui influence cette région.

Nous ferons une analyse du point de vue spatiale et temporelle de la variation des paramètres climatiques.

VI.2.2 Dates de rupture et tendance

Les paramètres climatiques dont nous venons d'étudier les séries chronologiques, peuvent être classés en deux groupes d'évolution différente :

- L'insolation et l'évapotranspiration présentent des ruptures autour des même dates, 1970 et 1980, et pendant les même saisons. Ces deux paramètres ont aussi les même tendances, une tendance à la hausse autour de 1970, et une tendance à la baisse autour de 1980.

Quant aux séries de température, la température minimale et moyenne présentent les même caractéristiques. Des ruptures avec une tendance à la hausse autour de 1970 et des ruptures avec une tendance à la baisse autour de 1980. Quant à la température maximale sa tendance dépend surtout des saisons, une tendance à la baisse pendant la saison de 1957 à 1964 et de 1973 à 1983 et une tendance à la hausse pendant la saison des pluies de 1967 à 1971 et de 1973 à 1982.

Dans l'ensemble les trois paramètres, l'insolation, l'ETP et la température qui constituent le premier groupe, évoluent à la hausse des années 1950 à nos jours. D'autres part, ces paramètres présentent la même variation au cours de l'année, un minimum en Août-septembre et un maximum en Mars-Avril (Annexe V).

- Le deuxième groupe, rassemble l'humidité et la pluviométrie. Les deux paramètres n'ont pas les même périodes de ruptures. Car à la différence de l'humidité qui présente des ruptures autour de 1970 et 1980, la pluviométrie ne présente de rupture qu'au voisinage de 1970. Ces paramètres ont une tendance générale à la baisse. Ils évoluent de la même façon au cours de l'année, un maximum en Août-Septembre et un minimum en Février-Mars (Annexe V).

Ces deux groupes évoluent d'une manière générale en sens inverse au cours de l'année et même dans leur variation spatiale (cf deuxième partie, II.1).

VI.2.3 Evolution spatiale et temporelle

Nous constatons qu'il y a deux paramètres climatiques qui peuvent être considérés comme les facteurs principaux de la variation climatique. Ces deux paramètres sont l'insolation et l'humidité.

Le premier l'insolation, représente le rayonnement solaire sur la surface du globe. Elle ne dépend dans une situation météorologique donnée que de l'intensité du rayonnement solaire.

L'insolation augmente du Sud vers le Nord au cours de l'année.

L'ETP, au même titre que l'insolation, augmente aussi du Sud vers le Nord.

L'humidité qui dépend de la l'air humide provenant de l'océan diminue du Sud vers le Nord du mois de Mars à Novembre. L'humidité comme nous l'avons dit un peu plus haut, varie dans le sens inverse de l'ETP, que ce soit au niveau de la variation spatiale et au niveau de l'évolution globale. Mais par contre la pluviométrie évolue dans le même sens que l'humidité.

AU niveau de l'évolution de tous les différents paramètres climatiques, le changement de pente des différentes courbes aux alentours de 1984 montrent l'interaction qui existe entre ces paramètres.

Ainsi, des années 1960 aux années 1984, l'insolation, la température moyenne et l'ETP (pendant la saison des pluies) ont évolué à la hausse et depuis la tendance est à la baisse. L'évolution de l'ETP pendant la saison sèche est caractérisée par une tendance à la baisse des années 1960 aux années 1984 et par une inversion de tendance après cette période.

Mais par contre pour l'humidité et la pluviométrie la tendance était à la baisse des années 1950 aux années 1984 et depuis, cette tendance est à la hausse.

Ces interactions entre les paramètres climatiques se remarquent au niveau de leurs évolutions au cours de l'année.

En effet l'évolution des courbes au niveau des trois stations (Dori, Ouaga et Bobo) (Annexe V) montrent que plus l'humidité augmente, plus l'ETP diminue. Cependant l'augmentation de l'humidité ne s'accompagne pas d'une diminution de la température. Car du mois de Mars jusqu'en Mai, l'humidité augmente et en même temps la température augmente aussi. Au cours de cette période, nous constatons que l'ETP diminue aussi au niveau des trois stations, mais à partir du mois de Mai cette diminution est plus accentuée à cause de la baisse de la température.

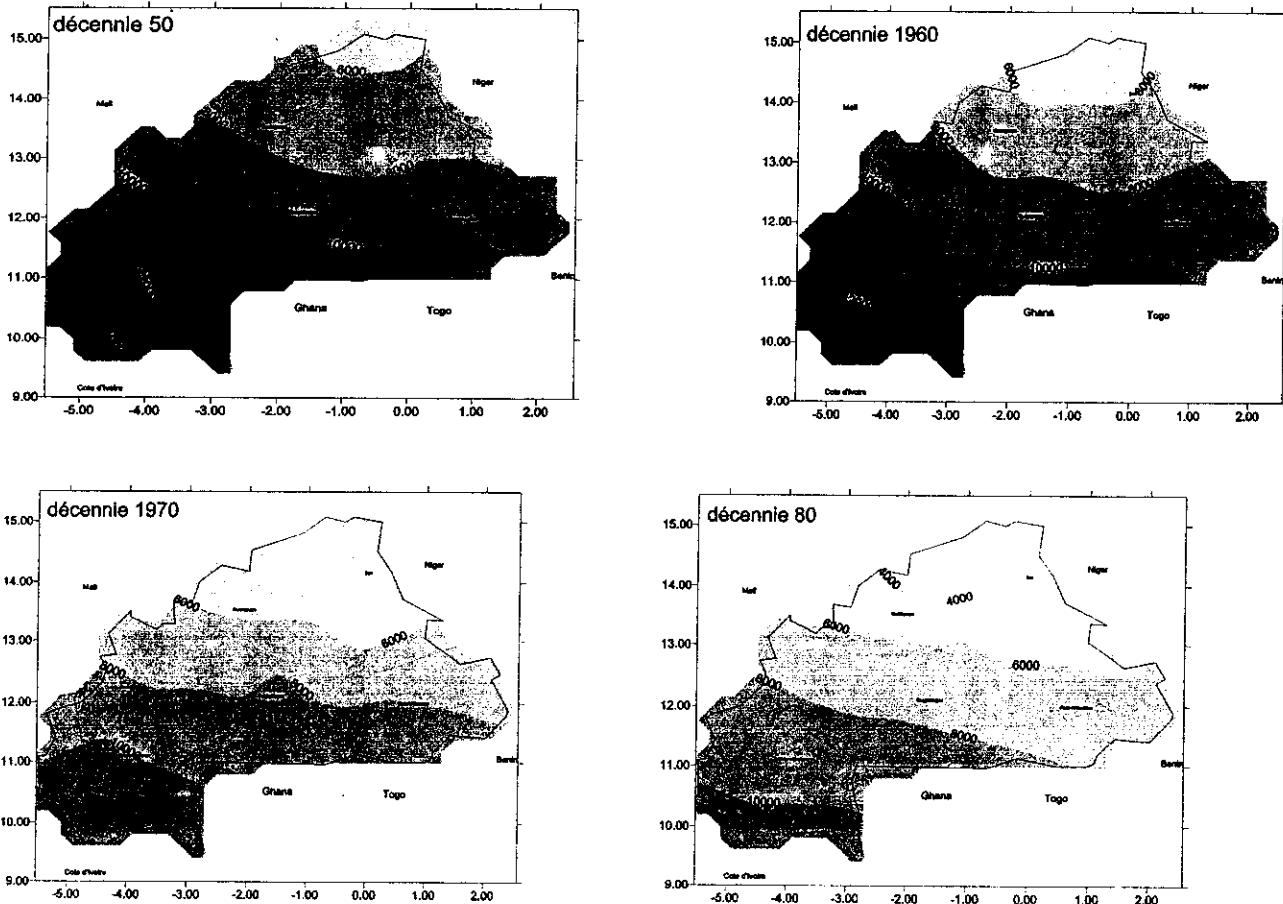
Une autre période qui caractérise cette interaction est la période du mois de Janvier à Mars, nous constatons une évolution de l'insolation et de l'humidité à la baisse au cours de cette période alors que la température moyenne augmente. Cette phase bien que brève mérite une étude un peu plus poussée, en tenant compte de tous les facteurs climatiques.

VI.3 - La pluviométrie

L'humidité est un des facteurs principaux de la pluviométrie. Comme on l'a vu un peu plus haut, une diminution de l'humidité engendre d'une manière générale une baisse de la pluviométrie. La variation de la pluie cumulée peut être due à la variation d'un certain nombre de ses caractéristiques dont, la hauteur de la pluie journalière, le nombre de jours de pluie et la durée de la saison des pluies. Ces paramètres pluviométriques évoluent tous d'une manière générale de la même façon que la pluviométrie.

Nous remarquons que la hauteur moyenne d'un événement a plus diminuer des années 1970 à aujourd'hui par rapport au nombre d'événements.

Dans l'ensemble toutes les caractéristiques de la pluviométrie ont évolué à la baisse des années 1970 à 1984. Ainsi nous avons assisté au cours de la seconde moitié du vingtième siècle à une migration des isohyètes du Nord vers le Sud. Cependant il y'a une petite amélioration de la pluviométrie au cours de la dernière décennie (figure n°44).



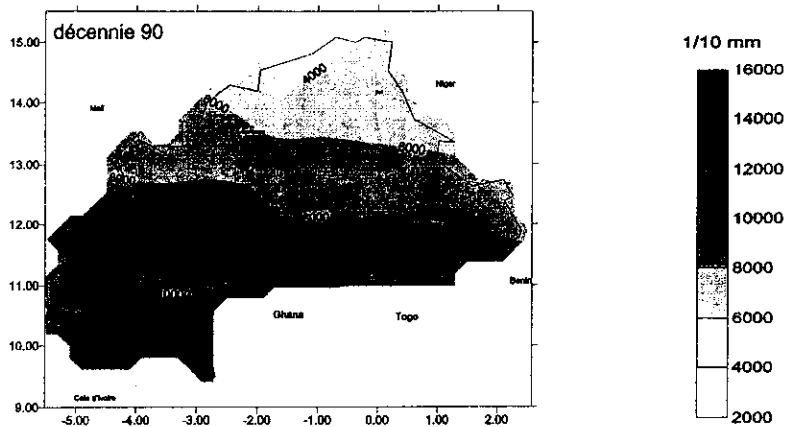


figure n° 44 : pluies moyennes inter-annuelles au cours des décennies 1950 à 1990 au Burkina Faso (in Patrel, note interne, 2001)

VI.4 - Conclusion partielle

Le rayonnement solaire, est la principale source d'énergie sur terre. Un équilibre s'établit entre l'énergie solaire qui arrive et le rayonnement émis par la Terre. La température à la surface de la terre s'ajuste de manière à maintenir cet équilibre entre énergie absorbée et énergie perdue. (Marie A, 2002)

Vers le moi d'Août la température diminue pendant que l'humidité augmente. Les pertes par évaporation seront réduites à leur minimum. C'est également pendant ce mois que se produisent les pluies maximales.

D'autre part, une plus grande quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère ne s'accompagne pas nécessairement de pluies plus abondantes. Réciproquement, une moindre humidité n'implique pas une réduction de la pluie. C'est la dynamique atmosphérique qui permet ou non ce déclenchement (Isabelle P et al , 1998).

SIXIEME PARTIE : CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude que nous avons effectuée à partir des données climatiques de dix stations synoptiques du Burkina Faso, les résultats obtenus permettent de caractériser le changement climatique produit dans ce pays.

Les résultats des différents tests statistiques sur les séries chronologiques des différents paramètres climatiques, à savoir, l'insolation, l'évapotranspiration, la température, l'humidité et la pluviométrie, montrent bien qu'un changement climatique a affecté le Burkina aux alentours des années 1970 puis aux alentours des années 1980.

Ce changement se caractérise dans l'ensemble par une augmentation de l'insolation, de la température et de l'évapotranspiration pendant la saison des pluies. D'autre part, il y a une diminution de l'insolation de l'évapotranspiration et de la température maximale pendant la saison sèche de.

L'évolution de l'humidité et de la pluviométrie se caractérise par une chute relativement importante des années 1970 aux années 1984.

Cette tendance à la baisse de la pluviométrie, s'accompagne d'une baisse des nombres de jours de pluies et d'une diminution de la durée de la saison des pluies.

Mais depuis 1984, il y a une légère tendance à la reprise de la pluviométrie tout en restant inférieur à la moyenne 1950-2000.

Les travaux effectués dans cette étude n'ont concerné que dix stations du Burkina. Il importe d'étendre cette étude à d'autres régions d'Afrique pour mettre un peu plus en relief l'apparition des dates de rupture dans les séries chronologiques des paramètres climatiques. Aussi, d'autres paramètres tel que la nébulosité, la pression, le vent peuvent être ajouter afin d'élargir le champ de l'étude.

Les résultats que nous venons d'obtenir, montrent bien que le climat n'est pas stable.

De ce fait, un important travail mérite d'être effectuer sur la mise à jour de certains coefficients qui entrent dans la détermination de certains paramètres climatiques (ETP, etc.) et hydrologiques (temps de base, temps de monté, crues centennale etc.) utilisés par les promoteurs des projets de développement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Demarrée G., 1990** : An indication of climatic change as seen from the rainfall data of Mauritanian station. *Theroet.Appl.Climatol.*42, 139-147
- Koupkonou A., 2001** : Détermination des ruptures dans les séries chronologiques de paramètres météorologiques : application aux stations du Burkina Faso. *Mémoire de fin d'étude EIER 2001*
- Hubert, P.&Carbonel J.P., 1987** : Approche statique de l'aridification de l'afrique de l'ouest . *J. hydrol.*95, 165-183
- Hubert P., Carbonel J.P., Chaouche A., 1989** : Segmentation des séries hydrométriques : application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J.hydrol.*110, 349-367
- Isabelle P., 1998** : Water Ressources Variability in Africa during the XXth Century. *IAHS n°252, 35-44*
- Marie A M., 2002** : Température moyenne à la surface de la Terre et effet de serre. *Centre National de la recherché scientifique (LGGE) Paris*
- Lamb P., 1983** : Subsaharan rainfall update for 1982: continued drought. *Journal of climatology*, n°3, 419-422
- Nicholson S.E., 1979** : Revised rainfall series for the west african subtropics *Monthly weather Review*, n°107, 620-623.
- Nicholson S.E., 1985** : subsaharan rainfall 1981-1984. *J.Clim.Appl.Met* 24,1388-1391
- Ouedraogo M., 2001** : Contribution à l'étude 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 3^{ème} cycle, Université Montpellier II, 255p*
- Oliviry J.C., 1983** : Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et ax Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah.ORSTOM, série hydrol.*20(1)
- Roche M., 1961** : Pratique des mesures et interprétation des résultats en climatologie et hydrologie. *Ecole nationale du génie rural (Paris)*
- Sircoulon J., 1976** : Es données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 ». *Cah.ORSTOM, Série Hydrol.* XIII(2)
- Sircoulon J., 1987** : Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en afrique de l'ouest depuis le début du 20ème siècle. In: The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water ressources (ed. By S.I.Solomon, M.Beran&W.Hogg) (*Proc Vancouver Symp, August 1987*), 13-25. *IAHS publ n°168*
- Tapsoa D., 1997** : Caractérisation événementielle des régimes pluviométriques ouest Africains et de leur recent changement. *Thèse 3^{ème} cycle, Université de Paris-XI (Orsay), 145p*

LISTES DES FIGURES

LISTES DES FIGURES

| | |
|--|----|
| figure n° 1 : situation géographique du Burkina Faso..... | 9 |
| figure n° 2 : régions climatiques du Burkina Faso | 12 |
| figure n° 3 : mécanismes climatiques en Afrique de l'Ouest..... | 14 |
| figure n° 4 : Structure schématique de l'atmosphère sur l'Afrique de l'ouest Pendant la saison des pluies | 14 |
| figure n° 5 : Coupe schématique nord-sud en Août de la troposphère au dessus de l'Afrique vers le méridien origine. | 14 |
| figure n° 6 : Exemple d'application du principe de la méthode | 21 |
| figure n° 7 : situation géographique des stations de mesure..... | 28 |
| figure n° 8: Histogramme des dates de rupture dans les séries chronologiques mensuelles et annuelles d'insolation pour l'ensemble des stations | 35 |
| figure n° 9:Variation de l'insolation au mois de Mai..... | 36 |
| figure n° 10: Variation de l'insolation annuelle..... | 36 |
| figure n° 11: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles et annuelles de la température maximale pour l'ensemble des stations..... | 37 |
| figure n° 12: Variation de la température maximale au mois de Janvier | 37 |
| figure n° 13:Variation de la température maximale au mois d'Août..... | 38 |
| figure n° 14: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de la température moyenne pour l'ensemble des stations..... | 38 |
| figure n° 15: Variation de la température moyenne au mois de Février | 39 |
| figure n° 16: Variation de la température moyenne au mois de Septembre..... | 39 |
| figure n° 17: Fréquence des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de la température minimale pour l'ensemble des stations | 40 |
| figure n° 18: Variation de la température minimale du mois de Janvier | 40 |
| figure n° 19: Variation de la température minimale du mois d'Août..... | 41 |
| figure n° 20: Fréquence des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des stations | 41 |
| figure n° 21: Variation de l'ETP du mois de Décembre | 42 |
| figure n° 22: Variation de l'ETP du mois d'Août..... | 42 |
| figure n° 23: Variation de l'ETP du mois d'Avril..... | 42 |
| figure n° 24: Histogramme des années de rupture dans les séries chronologiques mensuelles de l'humidité pour l'ensemble des stations..... | 43 |
| figure n° 25: Variation de l'humidité du mois de Janvier..... | 43 |
| figure n° 26: Variation de l'humidité du mois d'Août | 44 |
| figure n° 27: Histogramme des dates de rupture dans les séries de pluviométrie annuelle pour l'ensemble des stations | 44 |
| figure n° 28: Variation de la pluviométrie annuelle | 45 |
| | 63 |

| | |
|---|----|
| figure n° 29: Histogramme des dates de rupture dans les séries chronologiques de pluies mensuelles pour l'ensemble des stations..... | 45 |
| figure n° 30: Variation de la pluviométrie du mois d'Août..... | 46 |
| figure n° 31: Histogramme des dates de rupture des séries de nombre annuel de jours de pluie pour l'ensemble des stations..... | 46 |
| figure n° 32: Variation du nombre annuel de jours de pluie dans l'année..... | 47 |
| figure n° 33 : Variation du nombre de jours de pluie dans la saison..... | 47 |
| figure n° 34 :Evolution de la durée de la saison des pluies..... | 48 |
| figure n° 35 : Variation du début de la saison des pluies..... | 48 |
| figure n° 36 : Evolution de la fin de la saison des pluies..... | 48 |
| figure n° 37 : Histogramme des dates de rupture des séries chronologiques des classes du nombre de pluies pour l'ensemble des stations..... | 49 |
| figure n° 38 : Variation des classes des hauteurs de pluies journalières..... | 49 |
| figure n° 39 : Variation du nombre de jours de la classe (0-2mm)..... | 50 |
| figure n° 40 : Cumul d'indice proportionnel à la moyenne..... | 51 |
| figure n° 41 : Indice de pluviométrie de la station de Dori..... | 51 |
| figure n° 42 : Nombre moyen d'évènements au niveau de la station de Bobo..... | 52 |
| figure n° 43 : Hauteur moyenne d'évènements au niveau de la station de Bobo..... | 52 |
| figure n° 44 : pluies moyennes inter-annuelles au cours des décennies 1950 à 1990 au Burkina Faso (in Paturel, note interne, 2001)..... | 57 |

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| tableau n° 1 : Caractéristiques climatiques des différentes régions | 12 |
| tableau n° 2 : caractéristiques asymptotiques des deux distributions du modèle pour Δ connue..... | 25 |
| tableau n° 3 : caractéristiques asymptotiques des deux estimateurs du modèle pour Δ connue..... | 25 |
| tableau n° 4 : Coordonnées géographiques des stations synoptiques..... | 27 |
| tableau n° 5 : séries chronologiques d'insolation | 29 |
| tableau n° 6 : séries chronologiques de température | 30 |
| tableau n° 7 : séries chronologiques d'ETP..... | 30 |
| tableau n° 8: séries chronologiques d'humidité | 31 |
| tableau n° 9: séries chronologiques de pluviométrie | 31 |
| tableau n° 10 : tableau de synthèse des périodes de rupture et de la tendance..... | 53 |

ANNEXES

ANNEXES

| | |
|--|-----|
| ANNEXE I : Exemples des résultats de traitement des séries chronologiques avec Kronostat | 69 |
| Annexe I-1: Résultat d'analyse des séries chronologiques | 70 |
| Annexe I-2: Test de corrélation sur le temps..... | 71 |
| Annexe I-3 : Evolution de la variable U du test de Pettitt | 72 |
| Annexe I-4 : Segmentation de Hubert | 73 |
| | |
| Annexe II : Tableau des résultats des tests de Kronostat..... | 74 |
| Annexe II-1 :Tableau des résultats des séries d'insolation | 75 |
| Annexe II-2 :Tableau des résultats des séries de température maximale | 76 |
| Annexe II-3 : Tableau des résultats des séries de température moyenne | 77 |
| Annexe II-4:Tableau des résultats des séries de température minimale..... | 78 |
| Annexe II-5 : Tableau des résultats des séries d'évapotranspiration | 79 |
| Annexe II-6 :Tableau des résultats des séries d'humidité | 80 |
| Annexe II-7 :Tableau des résultats des séries de pluviométrie mensuelle | 81 |
| Annexe II-8 : Tableau du nombre mensuel de jours de pluie | 82 |
| Annexe II-9 :Tableau des résultats des séries des données annuelles..... | 83 |
| | |
| Annexe III : Résultats d'indices pluviométriques | 84 |
| | |
| Annexe IV : Paramètres de la loi des fuites | 86 |
| Annexe IV-1: Paramètres de la loi des fuites à la station de Dori..... | 87 |
| Annexe IV-2: Paramètres de la loi des fuites à la station de Ouahigouya | 88 |
| Annexe IV-3: Paramètres de la loi des fuites à la station de Bogandé..... | 89 |
| Annexe IV-4: Paramètres de la loi des fuites à la station de Dédougou..... | 90 |
| Annexe IV-5: Paramètres de la loi des fuites à la station de Ouagadougou | 91 |
| Annexe IV-6: Paramètres de la loi des fuites à la station de Fada..... | 92 |
| Annexe IV-7: Paramètres de la loi des fuites à la station de Boromo..... | 93 |
| Annexe IV-8: Paramètres de la loi des fuites à la station de Bobo Dioulasso | 94 |
| Annexe IV-9: Paramètres de la loi des fuites à la station de Po | 95 |
| Annexe IV-10: Paramètres de la loi des fuites à la station de Gaoua | 96 |
| Annexe IV-11: Modèle de description du régime pluviométrique | 97 |
| | |
| Annexe V : Courbes de variation des différents paramètres climatiques | 99 |
| Annexe V-1: Courbes des paramètres climatiques à la station de Dori..... | 100 |
| Annexe V-2 Courbes des paramètres climatiques à la station de Dori..... | 101 |
| Annexe V-3 Courbes des paramètres climatiques à la station de Dori..... | 102 |
| | |
| Annexe VI : Données pluviométriques..... | 103 |

Annexe I: Exemples des résultats de traitement des séries chronologiques avec Kronostat

Annexe I.1 Modèle de fiche résumant tous les résultats des tests Exemple : Station de Zorgho pour le paramètre pluie annuelle

Identification : 1200200099 ZORGHO; 12,250; -0,617

Variable étudiée : pluie cumulée en 1/10 mm pour l'année entière

Unité: 1/10 mm

Chronique de : 1956 à 1999

Test de normalité sélectionnée: Les données suivent une loi normale

Test de vérification du caractère aléatoire

Test de Corrélation sur le RANG

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 du variable de calcul: -3,5804

Tests de détection de rupture

Test de BUISSHAND et ellipse de contrôle

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%

Méthode non paramétrique de PETTIT

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 : 7,66E-04 en 1969

Méthode bayésienne de LEE et HEGHINIAN

Mode de fonction densité de probabilité à *posteriori* de la position de rupture:0,3156 en 1969

Segmentation de HUBERT

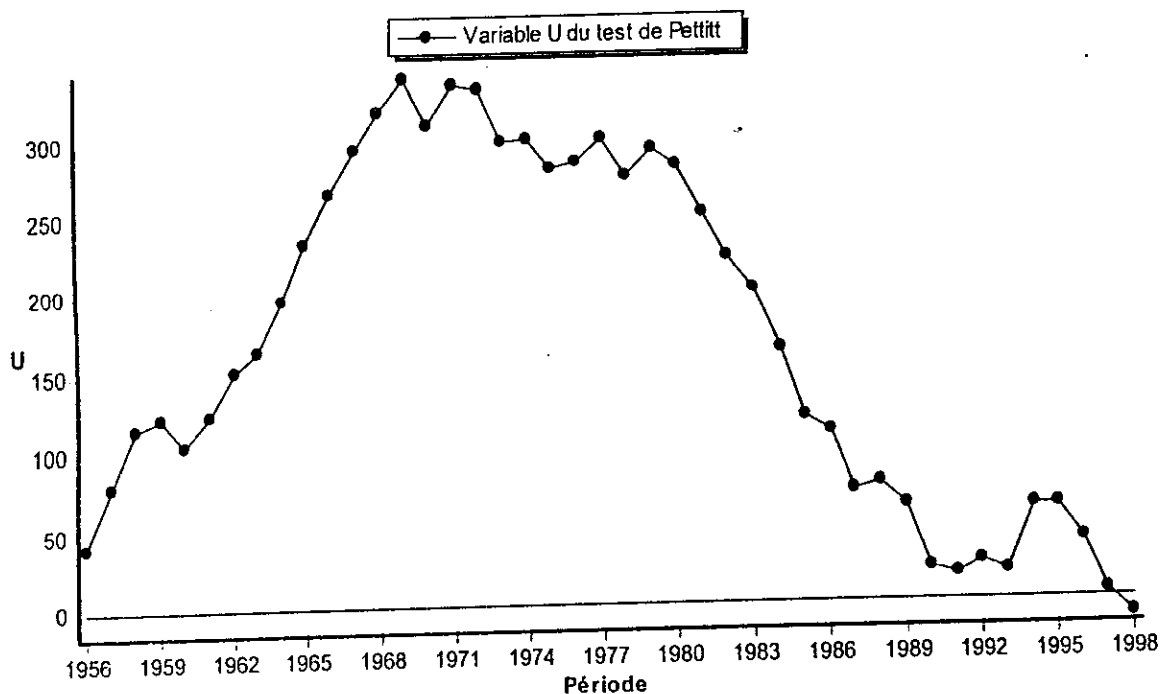
Niveau de signification du test de Scheffé:1%

| Début | Fin | Moyenne | Ecart type |
|-------|------|---------|------------|
| 1956 | 1969 | 8983 | 1074 |
| 1970 | 1999 | 7111 | 1287 |

Annexe 1.4. Méthode non paramétrique de PETTITT

:\nouv-fichier-plui\plui-an-stat-choisies\bf200081.sta

Identification 1200200081 ZORGHO; 12.250; -0.617
Variable étudiée pluie cumulée en 1/10 mm pour l'année entière
Unité 1/10 mm
Chronique de 1956 à 1999



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%

Annexe II: Tableaux des résultats des tests de rang, de rupture et coefficient de variation

Annexe II.1 : Résultats d'insolation

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDougou | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIULASSO | | PO | | GAOUA | | |
|------------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|--------|
| | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | Dates de rupture | V.R (%) | |
| Janvier | | A | 1972 | NA | -4,927 | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | A | 1976 | NA | -6,67 | | 1959 | NA | 6,18 | 14,23 | 1981 | A | -7,60 | 1979 | A | -7,29 | | | |
| Mars | 1985 | A | 1972 | NA | -8,53 | 1972 | A | -6,75 | | -11,55 | 1980 | NA | -7,79 | 1984 | NA | -12,84 | | | |
| Avril | | A | | A | | | 1955 | A | 3,73 | | | A | | | | | | | |
| Mai | 1954 | A | 1960 | A | 9,81 | 1966 | NA | 9,44 | -22,48 | 16,37 | 1990 | A | -12,05 | 1972 | NA | 7,21 | 1990 | A | -14,67 |
| Juin | | A | | A | | 1965 | NA | 6,90 | 17,93 | | 1973 | A | 11,04 | 1955 | A | 22,49 | | | |
| Juillet | | A | 1966 | NA | 9,69 | 1965 | NA | 15,94 | 25,41 | 6,85 | 1955 | A | 19,67 | 1963 | NA | 10,46 | | | |
| Août | 1967 | NA | 1967 | NA | 12,36 | 1967 | NA | 20,17 | 28,58 | 6,31 | 1977 | NA | 31,59 | 1971 | NA | 19,36 | | | |
| Septembre | 1955 | A | | A | | 1970 | NA | 11,27 | 15,52 | 9,67 | 1970 | NA | 16,22 | 1971 | NA | 10,33 | | | |
| Octobre | 1961 | A | | A | | | A | | -23,08 | | 1954 | A | 12,76 | 1954 | A | 10,63 | 1990 | NA | -8,21 |
| Novembre | 1952 | A | | A | | 1960 | NA | 6,99 | 8,97 | | 1954 | A | 11,46 | 1954 | NA | 3,95 | | | |
| Décembre | | A | 1969 | NA | -4,83 | 1960 | NA | 8,12 | 32,50 | -1,34 | 1983 | A | -10,84 | 1983 | NA | -8,13 | | | |

A: Aléatoire

NA: Non Aléatoire

V.R: Variation Relative

Annexe II.2 : Résultats de la température maximale

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDOUGOU | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIOULASSO | | PO | | GAOUA | | | | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|------|----|-------|
| | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | | | |
| Janvier | | A | 1980 | NA | -5,10 | 1980 | NA | -5,06 | 1980 | NA | -4,96 | | | 1970 | A | -4,43 | 1963 | NA | -3,66 | 1980 | A | -8,78 |
| Février | | A | 1973 | NA | -2,81 | 1973 | NA | -3,15 | 1973 | NA | -2,48 | | | | A | | 1960 | NA | -1,96 | | A | |
| Mars | | NA | | A | | | A | | 1959 | NA | -3,01 | | | | A | | | | | | A | |
| Avril | 1978 | NA | | A | | | A | | | NA | | 1978 | NA | 2,99 | NA | 3,99 | | | | | A | |
| Mai | 1979 | NA | | A | | | A | | 1982 | NA | 3,02 | 1982 | NA | 3,45 | NA | | | | | | A | |
| Juin | 1969 | NA | 1957 | A | 0,84 | | A | | | NA | 1,25 | 1988 | NA | 2,58 | NA | -5,91 | | | | 1982 | NA | 2,76 |
| Juillet | 1964 | NA | | A | | | A | | | NA | 2,21 | 1981 | NA | 2,53 | A | | | | | 1984 | A | -3,22 |
| AOût | 1967 | NA | 1967 | NA | 4,70 | | NA | | | 1977 | 2,92 | 1977 | NA | 2,80 | A | | | | | | A | |
| Septembre | 1970 | NA | 1969 | NA | 4,36 | 1979 | NA | 2,62 | 1975 | NA | 3,18 | 1976 | NA | 2,23 | NA | 1,70 | | | | 1975 | NA | 2,90 |
| Octobre | 1971 | NA | 1969 | NA | 3,22 | | A | | 1977 | NA | 2,78 | | A | | A | | | | | | A | |
| Novembre | | A | | A | | 1961 | NA | -2,7005 | 1959 | NA | -2,715 | | NA | -3,325 | A | | | | | | A | |
| Décembre | | A | 1983 | NA | -3,1503 | | A | | | A | | | A | | A | -1,298 | 1983 | A | | | A | |

A: Aléatoire
 NA: Non Aléatoire
 V.R: Variation Relative

Annexe II. 3: Résultats de la température moyenne

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDOUGOU | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIOULASSO | | PO | | GAOUA | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|-------|
| | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | |
| Janvier | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | 1991 | NA | -5,43 |
| Février | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | 1992 | A | -5,78 |
| Mars | 1968 | NA | 1977 | NA | 2,40 | A | | A | 1968 | NA | 4,64 | 1977 | NA | 2,76 | A | A | | | |
| Avril | 1968 | NA | 1979 | NA | 2,94 | 1978 | NA | 2,72 | 1972 | NA | 2,68 | 1978 | NA | 3,34 | A | A | 1978 | NA | 2,78 |
| Mai | 1968 | NA | | NA | | 1982 | NA | 3,08 | 1982 | NA | 3,64 | 1982 | NA | 3,85 | A | A | 1981 | NA | 2,96 |
| Juin | 1969 | NA | 1968 | NA | 1,89 | | NA | 2,73 | | A | | 1980 | NA | 2,30 | A | A | 1979 | NA | 1,62 |
| Juillet | 1969 | NA | 1978 | NA | 2,51 | 1980 | NA | 2,44 | | A | | 1979 | NA | 2,57 | A | A | 1979 | NA | 1,78 |
| Août | 1967 | NA | 1971 | NA | 3,86 | 1981 | NA | 1,89 | 1977 | NA | 2,28 | 1977 | NA | 2,35 | A | A | 1977 | NA | 1,33 |
| Septembre | 1970 | NA | 1970 | NA | 4,24 | 1979 | NA | 2,61 | 1975 | NA | 3,32 | 1971 | NA | 2,13 | NA | NA | 1979 | NA | 2,52 |
| Octobre | 1971 | NA | 1969 | NA | 3,23 | | A | 1,77 | 1977 | NA | 2,60 | 1976 | NA | 2,06 | A | A | 1978 | NA | 1,70 |
| Novembre | | A | 1977 | NA | 4,63 | 1959 | A | -3,75 | 1982 | A | 3,06 | | A | 1,74 | A | A | | | |
| Décembre | | A | | A | | | A | | | A | | A | | 2,96 | A | A | 1983 | NA | -5,43 |

A: Aléatoire
 NA: Non Aléatoire
 V.R: Variation Relative

Annexe II.4: Résultats de la température minimale

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDOUGOU | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIULASSO | | PO | | GAOUA | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang |
| Janvier | 1976 | NA | 8,33 | NA | NA | A | A | A | 1976 | NA | 5,88 | A | 1962 | NA | 12,35 | A | 1980 | NA | |
| Février | 1979 | NA | 7,98 | NA | 10,36 | 1966 | NA | A | 1966 | NA | 7,52 | NA | 1962 | NA | 13,65 | A | 1992 | NA | |
| Mars | 1977 | NA | 9,00 | NA | 9,36 | 1968 | NA | NA | 1968 | NA | 6,95 | NA | 1968 | NA | 7,19 | NA | 12,16 | A | |
| Avril | 1965 | NA | 6,99 | NA | 7,08 | 1972 | NA | NA | 1979 | NA | 3,95 | NA | 1976 | NA | 4,65 | NA | 1976 | NA | |
| Mai | 1968 | NA | 5,63 | NA | 4,80 | 1968 | NA | NA | 1982 | NA | 4,47 | NA | 1976 | NA | 3,62 | NA | 1979 | NA | |
| Juin | 1968 | NA | 6,97 | NA | 4,84 | 1968 | NA | NA | 1979 | NA | 2,72 | NA | 1972 | NA | 2,46 | NA | 1979 | NA | |
| Juillet | 1978 | NA | 6,03 | NA | 3,33 | 1976 | NA | NA | 1978 | NA | 1,98 | NA | 1978 | NA | 2,47 | NA | 1979 | NA | |
| Août | 1967 | NA | 6,07 | NA | 3,06 | 1981 | NA | NA | 1976 | NA | 2,18 | NA | 1976 | NA | 2,17 | NA | 1978 | NA | |
| Septembre | 1971 | NA | 7,06 | NA | 0,36 | 1979 | NA | NA | 1975 | NA | 3,12 | NA | 1975 | NA | 2,60 | NA | 1978 | NA | |
| Octobre | 1971 | NA | 7,06 | NA | 5,95 | | NA | NA | | A | 2,07 | NA | 1976 | NA | 1,83 | A | 1978 | NA | |
| Novembre | 1977 | NA | 4,48 | NA | 5,46 | | A | A | 1977 | NA | 6,37 | A | 1963 | NA | 4,04 | A | | A | |
| Décembre | | NA | | NA | 10,837 | | A | A | | NA | | A | 1963 | NA | 6,4883 | A | | 1973 | NA |

A: Aléatoire

NA: Non Aléatoire

V.R: Variation Relative

Annexe II.5 : Résultats de l'ETP

| STATIONS MOIS | DORI | | | OUAHIGOUYA | | | DEDOUGOU | | | OUAGADOUGOU AERO | | | FADA N'GOURMA | | | BOROMO | | | BOBO-DIOULASSO | | | PO | | | GAOUA | | |
|------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------|
| | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang | Dates de de rupture | V. R (%) | Test sur le rang |
| Janvier | 1980 | -28,34 | NA | 1980 | -14,87 | NA | 1973 | NA | 1984 | NA | -13,79 | NA | 1980 | NA | -25,93 | NA | 1975 | NA | 1981 | NA | -9,71 | NA | 1971 | NA | 1971 | NA | -8,91 |
| Février | 1980 | -30,34 | NA | 1973 | -15,30 | NA | 1972 | NA | 1980 | NA | -11,05 | NA | 1980 | NA | -26,10 | NA | 1973 | NA | 1981 | NA | -14,82 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | -16,27 |
| Mars | 1980 | -28,93 | NA | 1973 | -15,84 | NA | 1972 | NA | 1980 | NA | -11,28 | NA | 1980 | NA | -22,40 | NA | 1973 | NA | 1980 | NA | -10,93 | NA | 1981 | NA | 1981 | NA | -15,35 |
| Avril | 1980 | -20,12 | NA | 1973 | -8,02 | A | | A | | A | | | 1980 | NA | -11,28 | NA | | A | 1972 | NA | 10,98 | NA | 1976 | NA | 1976 | NA | 5,03 |
| Mai | | | A | 1982 | -18,88 | A | 1984 | A | 1979 | NA | 17,15 | NA | 1984 | NA | 13,95 | NA | 1981 | NA | 1986 | NA | 21,46 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | 26,10 |
| Juin | 1968 | 16,79 | A | 1980 | 19,14 | A | 1984 | NA | 1980 | NA | 33,87 | NA | 1984 | NA | 26,56 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | -28,12 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | 44,62 |
| Juillet | 1980 | 20,86 | A | 1980 | 37,22 | NA | 1980 | NA | 1979 | NA | 35,60 | NA | 1980 | NA | 26,66 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | 38,45 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | 44,37 |
| Août | 1976 | 12,26 | NA | 1977 | 28,13 | NA | 1980 | NA | 1977 | NA | 30,65 | NA | 1977 | NA | 11,56 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | 27,16 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | 27,56 |
| Septembre | 1970 | 8,89 | NA | 1979 | 14,44 | NA | 1979 | NA | 1979 | NA | 12,97 | NA | 1975 | NA | 6,49 | NA | 1979 | NA | 1980 | NA | 9,80 | NA | 1979 | NA | 1979 | NA | 12,53 |
| Octobre | 1980 | -17,83 | NA | 1973 | -7,83 | NA | | A | | A | | | 1981 | NA | -9,21 | NA | | A | | | | | | | | A | |
| Novembre | 1980 | -24,30 | NA | | | A | 1973 | NA | 1981 | NA | -8,89 | NA | 1980 | NA | -18,09 | NA | 1966 | NA | 1981 | NA | -7,95 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | -9,96 |
| Décembre | 1979 | -24,67 | NA | 1974 | -10,84 | NA | 1970 | NA | 1982 | NA | -8,21 | NA | 1980 | NA | -23,67 | NA | 1976 | NA | 1980 | NA | -8,37 | NA | 1980 | NA | 1980 | NA | -14,47 |

A: Aléatoire

NA: Non Aléatoire

V.R.: Variation Relative

Annexe II.6 : Résultats d'humidité

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDOUGOU | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIOULASSO | | PO | | GAOUA | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---|--------|--|---|------|---------------|-------|-------|---|-------|
| | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | | | | | | | | | | |
| Janvier | | A | | A | | A | | A | 1965 | NA | -12,73 | | A | | A | 1992 | 16,06 | 1992 | A | -14,21 | | A | 1992 | A | 33,70 | | | |
| Février | 1996 | A | 1983 | A | | -23,25 | 1983 | NA | | | | | A | | A | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | A | 1982 | A | | -14,24 | | A | | | | | A | | A | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | A | 1983 | A | | -20,63 | | A | | | | | A | | A | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | 1982 | NA | 1982 | A | | -14,50 | 1984 | A | 1982 | NA | -17,85 | 1982 | NA | -5,94 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | 1969 | NA | | A | | | | A | 1969 | NA | -7,74 | 1969 | NA | -5,36 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | 1980 | NA | 1981 | NA | | -6,61 | 1981 | NA | | | | 1979 | NA | -2,46 | | | | | | | | | | | | | | |
| Août | 1971 | NA | PR | A | 1984 | -8,88 | 1976 | NA | 1971 | NA | -3,41 | 1974 | NA | -3,85 | 1984 | NA | 1,92 | | | | | | | | | | | |
| Septembre | 1977 | NA | 1979 | NA | | -8,37 | 1979 | NA | 1971 | NA | -3,92 | 1971 | NA | -3,67 | | | | | | | | | | 1977, 1968 | NA | -1,58 | | |
| Octobre | 1970 | NA | 1979 | A | | -11,78 | | A | 1982 | NA | -7,38 | | A | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | A | 1980 | NA | | -18,58 | | A | 1969 | NA | -13,70 | 1969 | A | -10,77 | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | A | 1978 | NA | | -27,21 | 1978 | NA | 1977 | NA | -12,42 | | A | | | | | | | | | | | | | 1991 | A | 25,95 |

A: Aléatoire

NA: Non Aléatoire

V.R: Variation Relative

Annexe II.7: Résultats de la pluviométrie mensuelle

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDOUGOU | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIOULASSO | | PO | | GAOUJA | | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|
| | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang |
| Janvier | | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A |
| Février | | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A |
| Mars | | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A |
| Avril | | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A | | | A |
| Mai | | | | A | | | A | 1957 | NA | -48,41 | | | A | 1953 | A | -46,00 | | | A |
| Juin | 1962 | A | -67,74 | | | 1971 | A | -26,62 | 1972 | NA | -28,97 | | | | A | | | | A |
| Juillet | 1978 | NA | -25,09 | | | 1971 | A | -18,39 | 1972 | NA | -5,55 | | | | NA | | | | A |
| Août | 1967 | NA | -30,80 | | | 1967 | NA | -28,53 | 1977 | A | -17,34 | | | | A | -27,26 | 1971 | | A |
| Septembre | 1971 | NA | -34,36 | | | 1970 | NA | -31,76 | 1979 | NA | -28,51 | | | | NA | -25,55 | 1975 | | A |
| Octobre | | | | | | | A | | 1977 | NA | -16,95 | | | | A | | | | A |
| Novembre | | | | | | | A | | | A | | | | | A | | | | NA |
| Décembre | | | | | | | A | | | A | | | | | A | | | | A |

A: Aléatoire
 NA: Non Aléatoire
 V.R : Variation Relative

Annexe II.8 : Résultats du nombre mensuel des jours de pluie

| STATIONS MOIS | DORI | | OUAHIGOUYA | | DEDOUGOU | | OUAGADOUGOU AERO | | FADA N'GOURMA | | BOROMO | | BOBO-DIOLASSO | | PO | | GAOUA | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|
| | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) | Dates de rupture | V. R (%) |
| Janvier | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A |
| Février | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | NA | | NA |
| Mars | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | NA | | A |
| Avril | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | NA | | A |
| Mai | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | NA | 91,46 | A |
| Juin | 1967 | NA | -28,62 | | | A | | A | 1979 | NA | -16,01 | | 1970 | NA | -12,72 | | NA | A |
| Juillet | 1975 | A | -15,57 | | | NA | | A | | A | | | | A | | 1984 | NA | 89,98 |
| Août | 1965 | NA | -25,1 | | | NA | 1971 | NA | -16,692 | 1970 | NA | -18,26 | 1971 | A | -10,4607 | 1982 | NA | 87,03 |
| Septembre | | A | | | | A | 1969 | NA | -22,00 | 1979 | NA | -29,88 | 1969 | NA | -20,77 | 1968 | NA | -15,11 |
| Octobre | | A | | | | NA | | A | | A | | | 1967 | NA | -45,1 | | NA | A |
| Novembre | | A | | | | NA | | A | | A | | | 1962 | A | -66,98 | | NA | A |
| Décembre | | A | | | | A | | A | | A | | | | A | | | A | A |

A: Aléatoire
 NA: Non Aléatoire
 V.R: Variation Relative

Annexe II.9 : Résultats des données annuelles

| STATIONS | Pluie annuelle | | | Nbre annuel de jours de pluie | | | Classe 1 (0-2mm) | | | Classe 2 (2-10mm) | | | Classe 3 (10-20 mm) | | | Classe 4 (20mm à plus) | | |
|--------------------|------------------|------------------|----------|-------------------------------|------------------|----------|------------------|------------------|----------|-------------------|------------------|----------|---------------------|------------------|----------|------------------------|------------------|----------|
| | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) | Dates de rupture | Test sur le rang | V. R (%) |
| DORI | 1969 | NA | -28,36 | 1969 | NA | -19,22 | 1969 | NA | 3,10 | 1970 | NA | -29,30 | 1970 | A | 70,79 | 1966 | NA | -36,52 |
| OUAHIGOUY A | 1968 | NA | -27,72 | 1961 | NA | 6,29 | 1969 | NA | 1,67 | | A | | | A | | 1967 | NA | -29,20 |
| BOGANDE | 1968 | NA | -18,36 | 1972 | NA | -9,98 | 1964 | NA | 2,52 | 1972 | NA | -19,41 | 1962 | A | -19,74 | 1965 | NA | -17,71 |
| DEDOUGOU | 1970 | NA | -23,11 | 1987 | NA | 17,77 | 1968 | NA | 2,35 | | A | | | A | | 1971 | NA | -25,85 |
| OUAGA | 1976 | NA | -22,03 | 1969 | NA | -11,30 | 1970 | NA | 2,04 | | A | | | A | | 1978 | NA | -27,00 |
| FADA N'GOURMA | 1969 | NA | -22,23 | 1979 | NA | -12,49 | 1969 | NA | 3,06 | 1963 | NA | -22,73 | | A | | 1969 | NA | -27,94 |
| BOROMO | 1971 | NA | -8,83 | 1969 | NA | -11,56 | 1969 | NA | 2,63 | 1968 | NA | -16,62 | 1980 | A | -19,99 | | A | |
| BOBO- DIOULASSO | 1970 | NA | -20,05 | 1968 | NA | -10,13 | 1970 | NA | 3,27 | 1968 | NA | -14,31 | | A | | | A | |
| PO | 1973 | NA | -27,64 | 1981 | NA | 27,28 | | A | | | A | | | A | | | A | |
| GAOUA | 1958 | A | 10,33 | 1978 | NA | -8,74 | 1975 | NA | 2,82 | 1974 | NA | -20,10 | | A | | | A | |

A: Aléatoire

NA: Non Aléatoire

V.R : Variation Relative

Tableau de synthèse des périodes de ruptures et de tendance

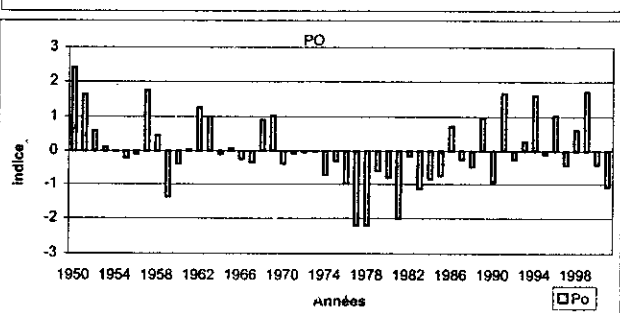
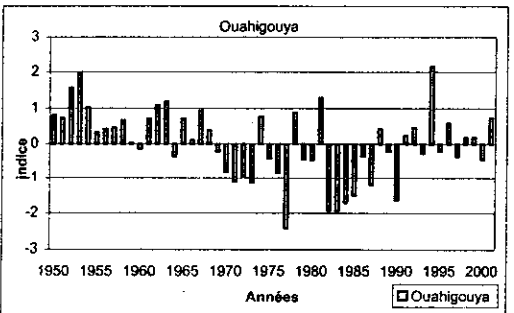
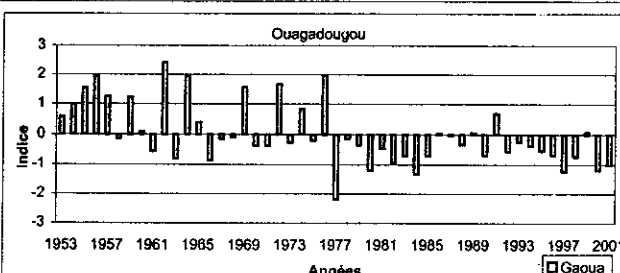
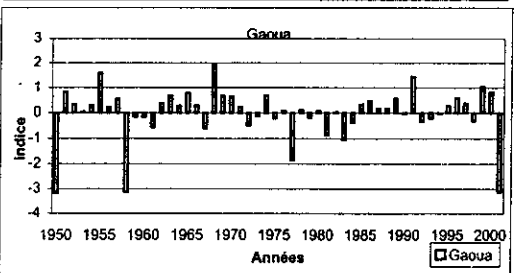
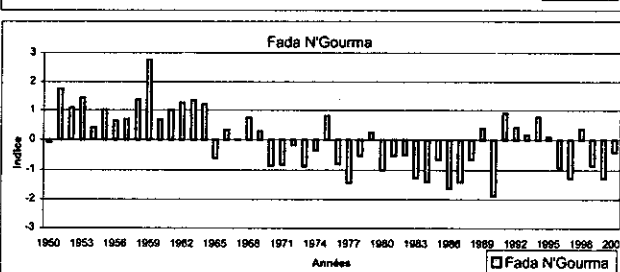
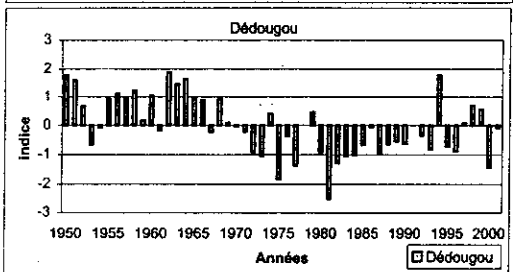
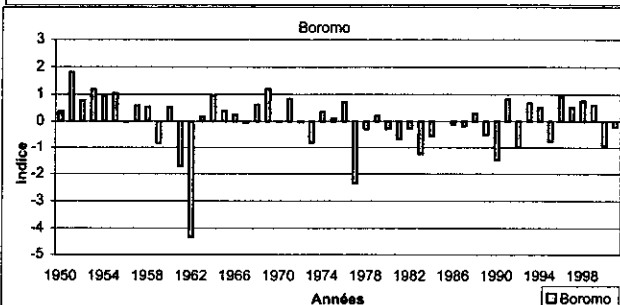
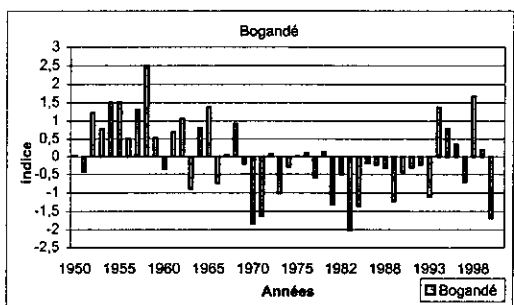
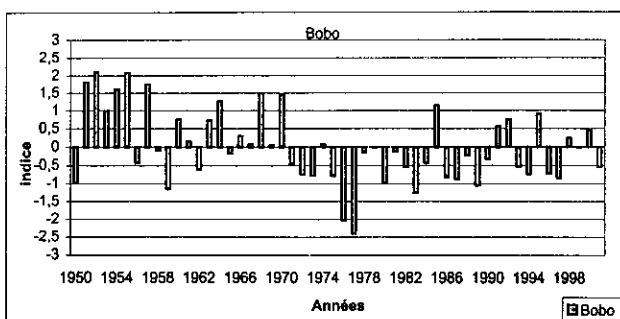
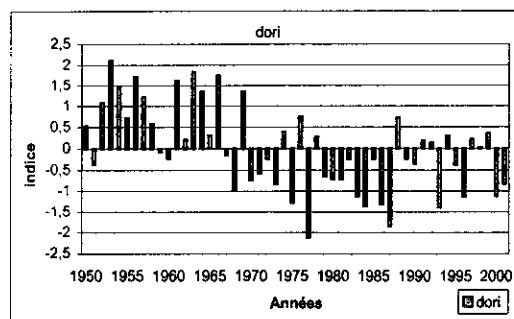
| Paramètre | Période de rupture | Tendance |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| INSOLATION | 1954-1957 | Hausse |
| | 1960-1963 | Hausse |
| | 1965-1972 | Hausse |
| | 1982-1984 | Baisse (SS) |
| TEMPERATURE MAXIMALE | 1957-1964 | Baisse (SS) |
| | 1967-1971 | Hausse (SP) |
| | 1973-1982 | Hausse (SP); Baisse (SS) |
| TEMPERATURE MOYENNE | 1967-1971 | Hausse |
| | 1976-1982 | Hausse |
| TEMPERATURE MINIMALE | 1966-1968 | Hausse |
| | 1970-1971 | Hausse |
| | 1975-1982 | Hausse |
| ETP | 1971-1974 | Baisse (SS) |
| | 1977-1982 | Hausse (SP); Baisse (SS) |
| HUMIDITE | 1968-1971 | Baisse |
| | 1975-1984 | Baisse |
| PLUVIOMETRIE ANNUELLE | 1968-1971 | Baisse |
| PLUVIOMETRIE MENSUELLE | 1967-1970 | Baisse |
| | 1975-1979 | Baisse |
| NBRE ANNUEL DE JOURS DE PLUIE | 1965-1971 | Baisse |
| | 1975-1982 | Baisse |
| NBRE MENSUEL DE JOURS DE PLUIE | 1965-1971 | Baisse |
| | 1975-1982 | Baisse |
| CLASSE DU NOMBRE DE JOURS DE PLUIE | 1966-1971 | Baisse |

Hausse (SP): tendance à la hausse pendant la saison des pluies

Baisse (SS) : tendance à la baisse pendant la saison sèche

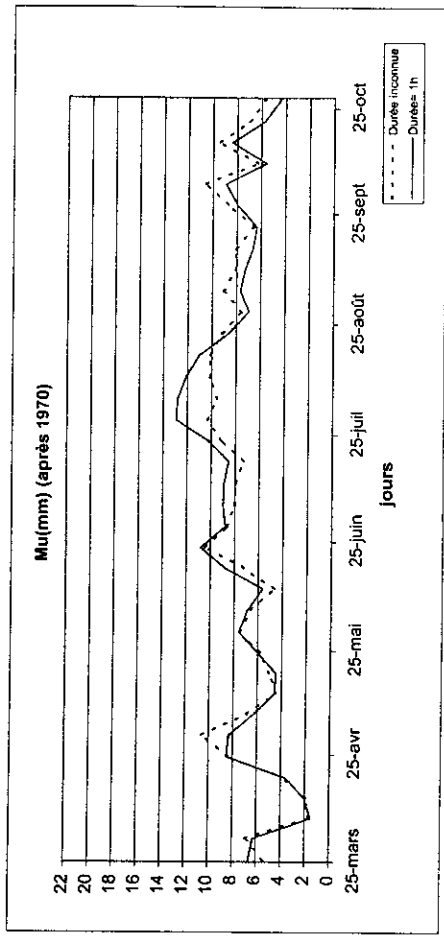
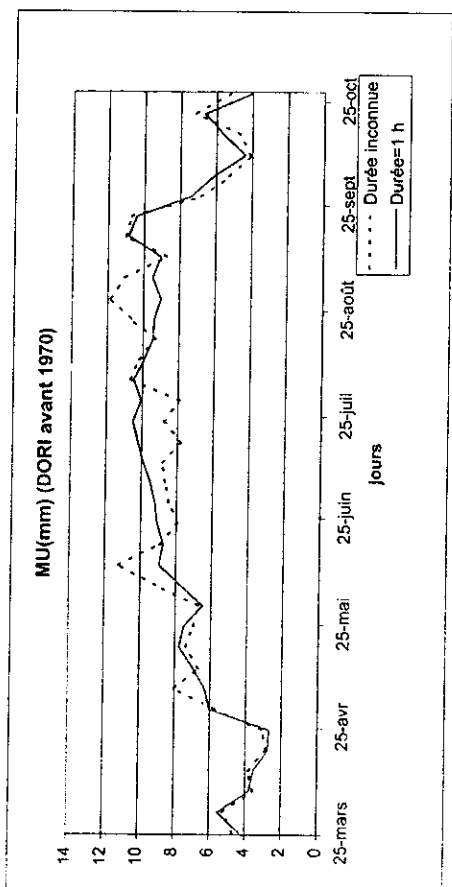
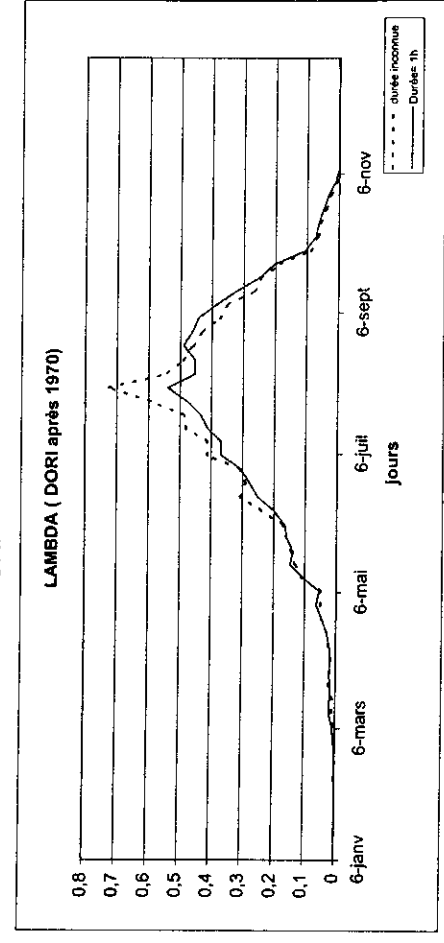
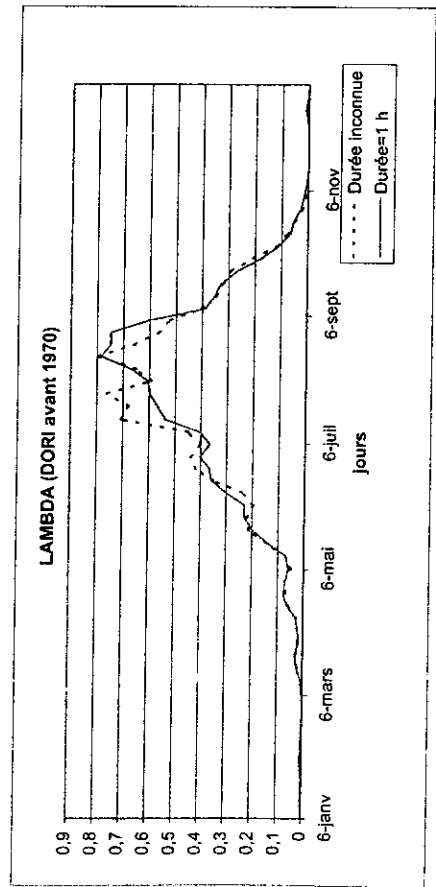
Annexe III: Résultats des indices pluviométriques

Annexe II : Résultats de l'indice pluviométrique au niveau de toutes les stations

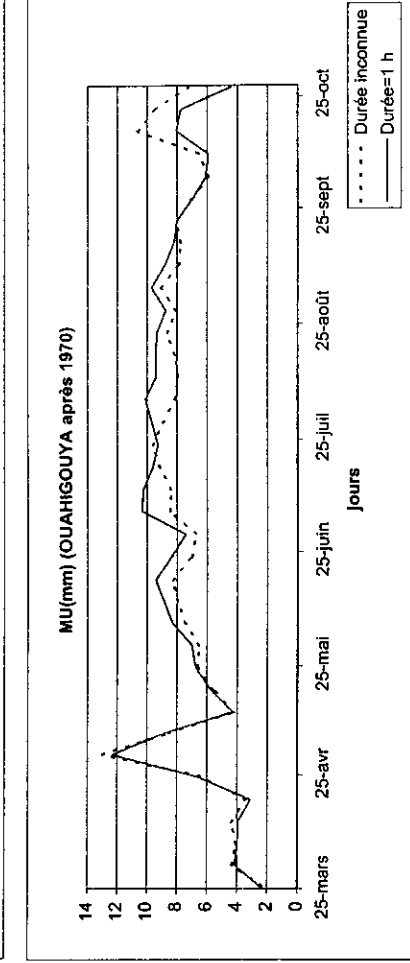
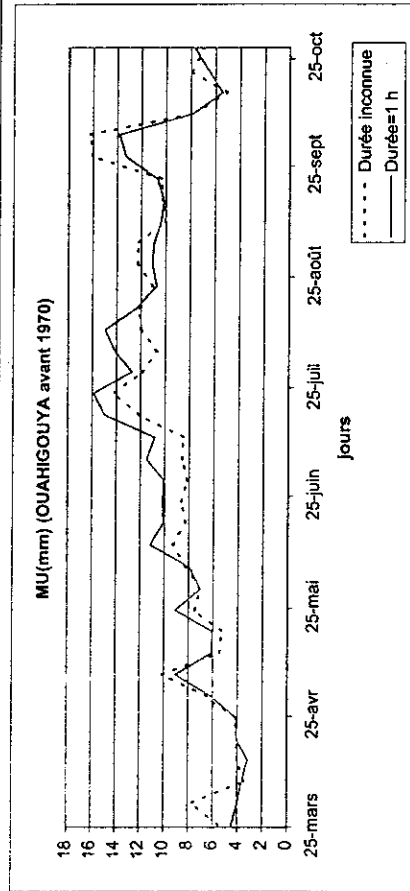
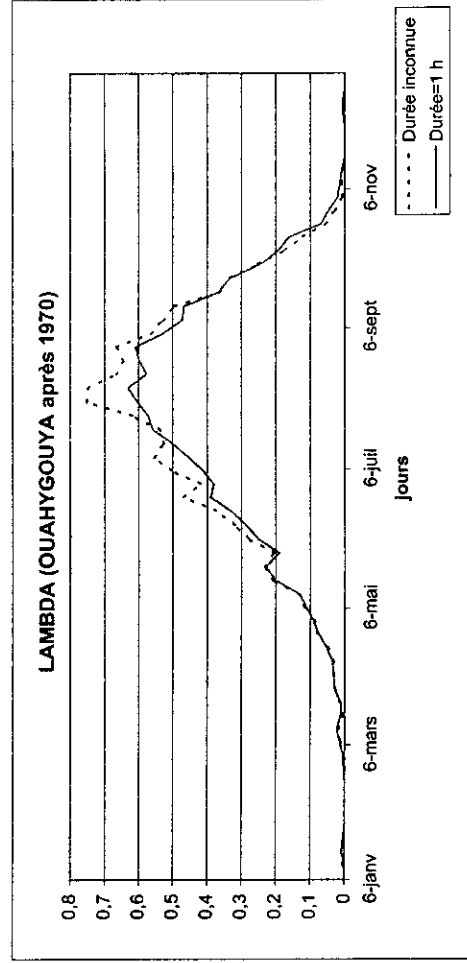
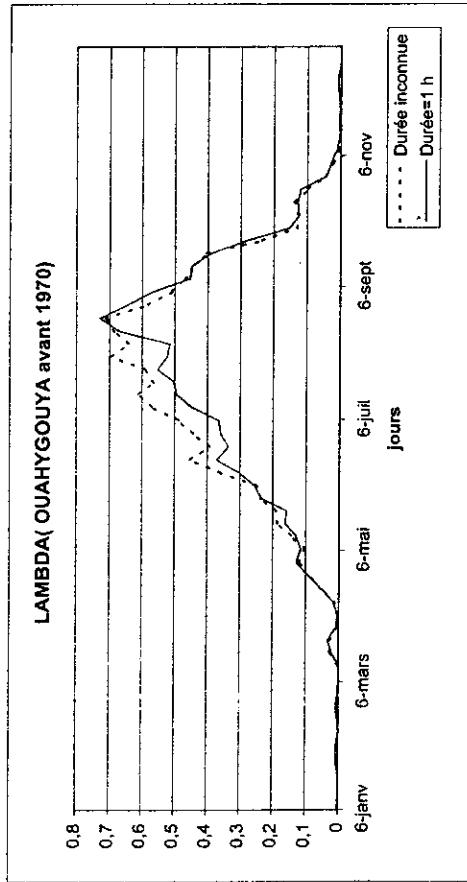


Annexe IV: Résultats de la loi des fuites et le modèle

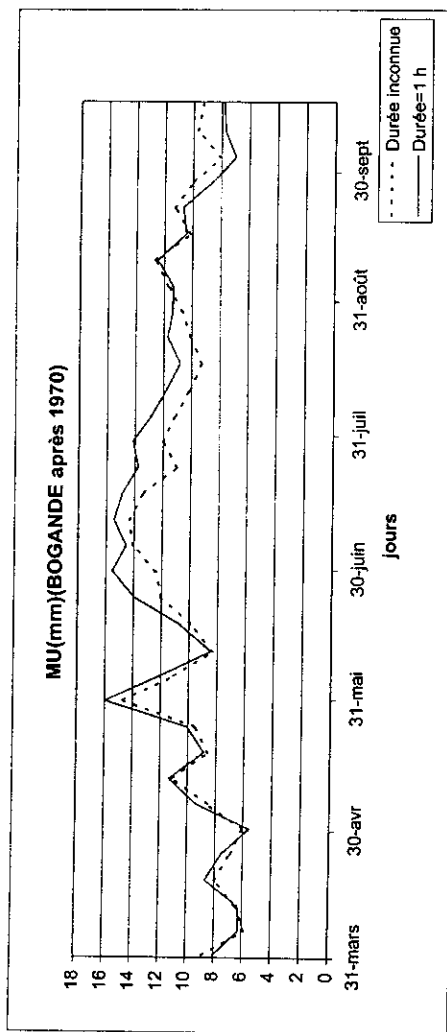
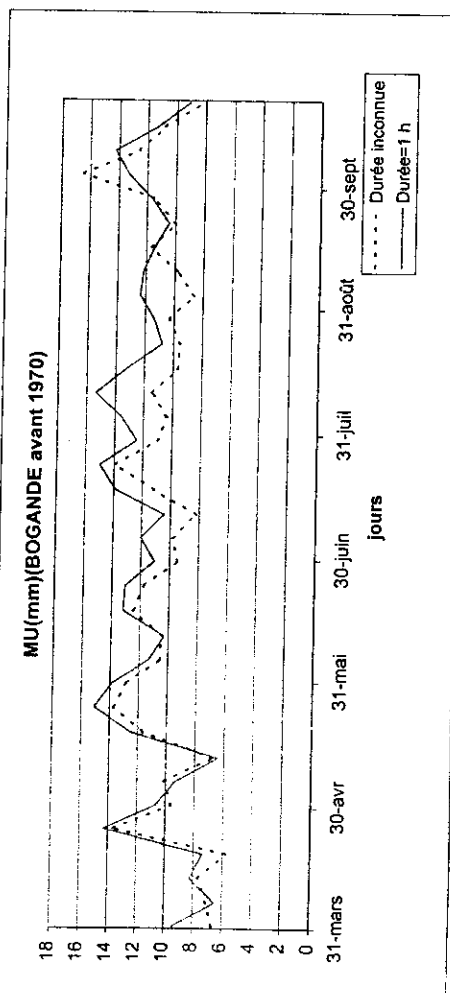
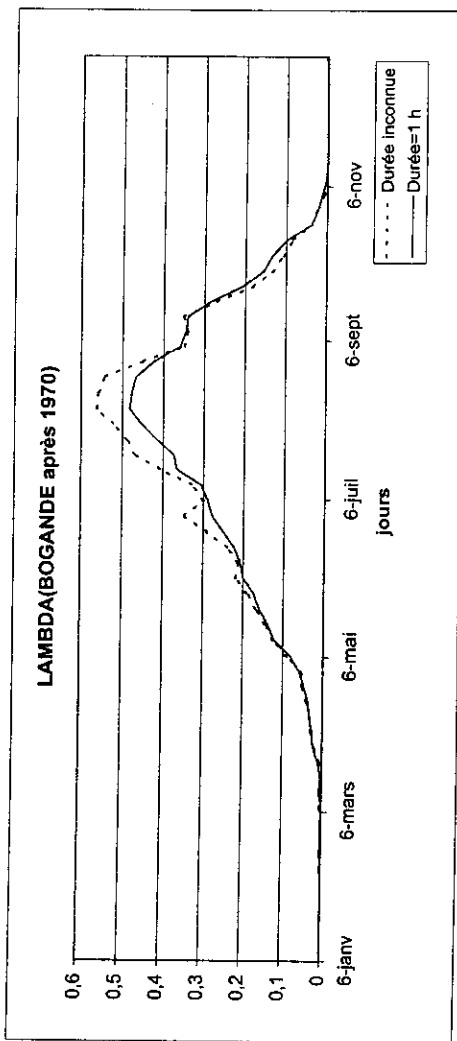
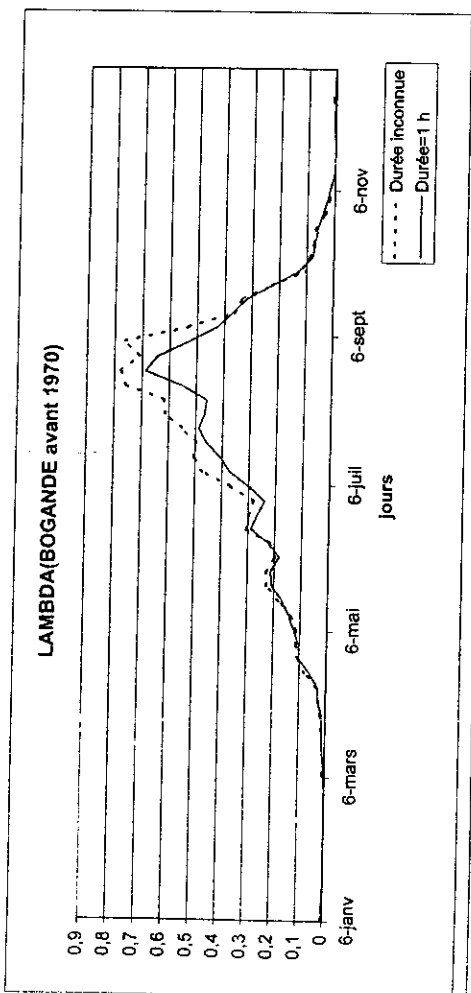
Annexe III.1: Paramètres de la loi des fuites à la station de DORI



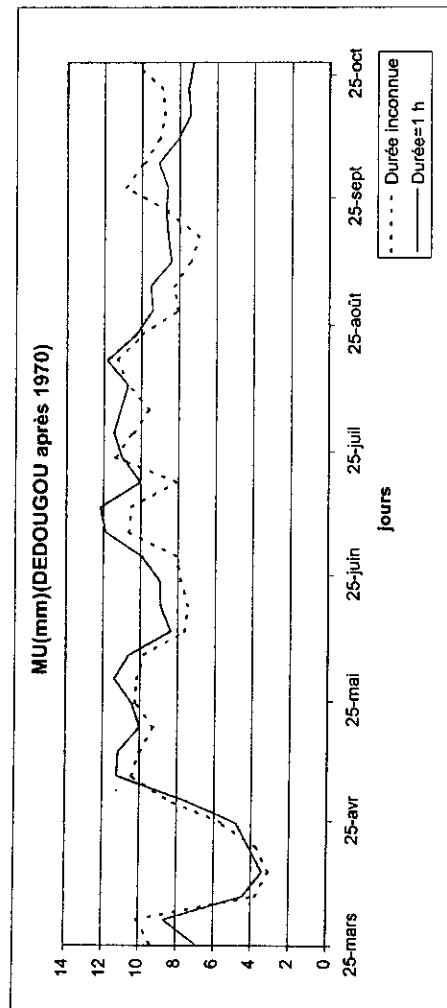
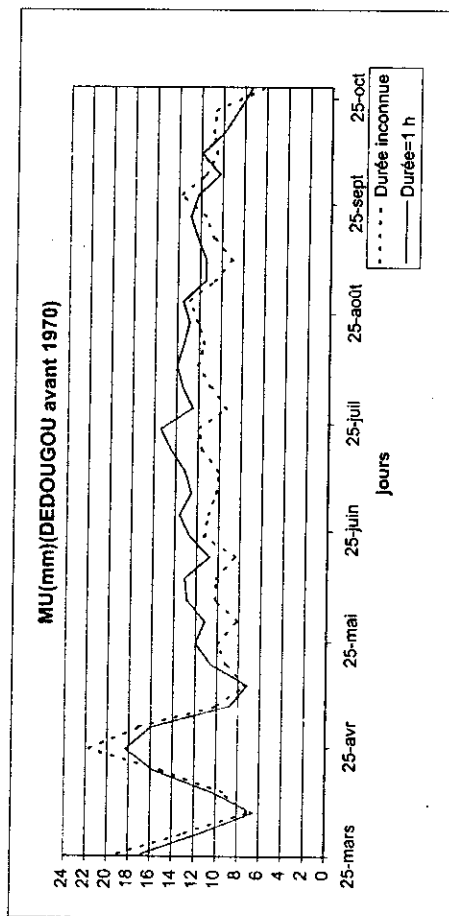
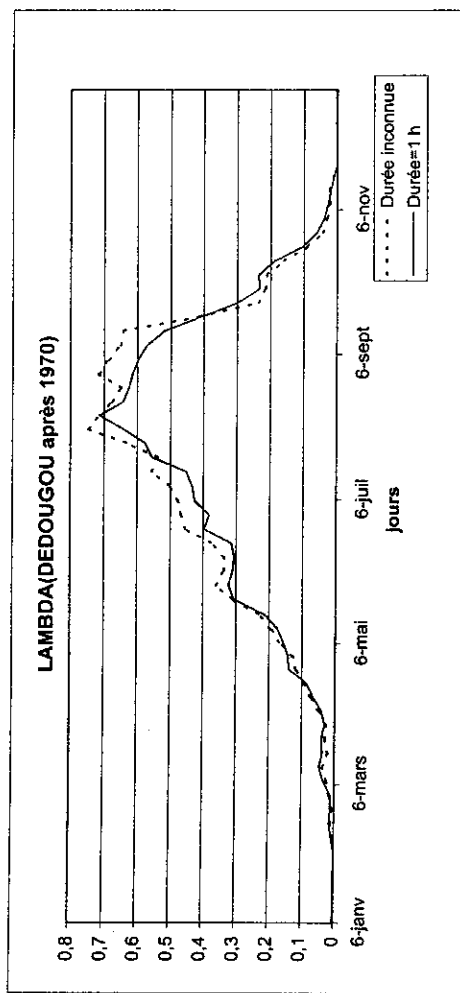
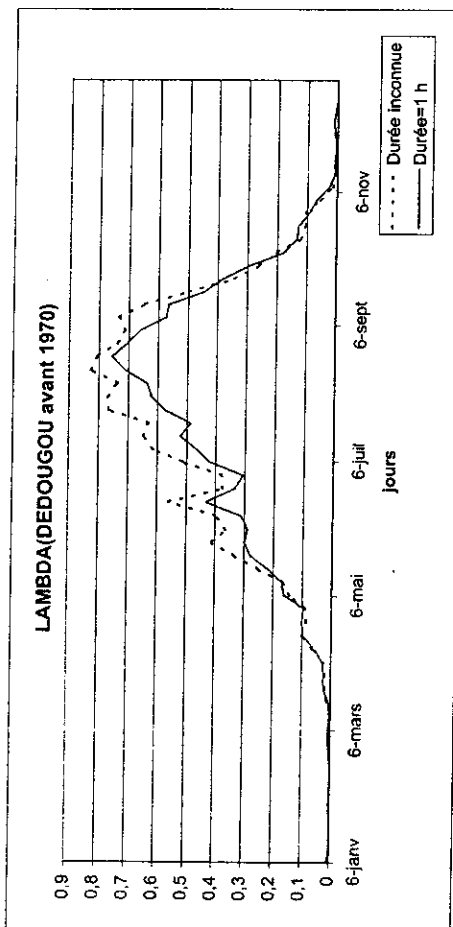
Annexe III.2: Paramètres de la loi des fuites à la station de OUAHIGOUYA



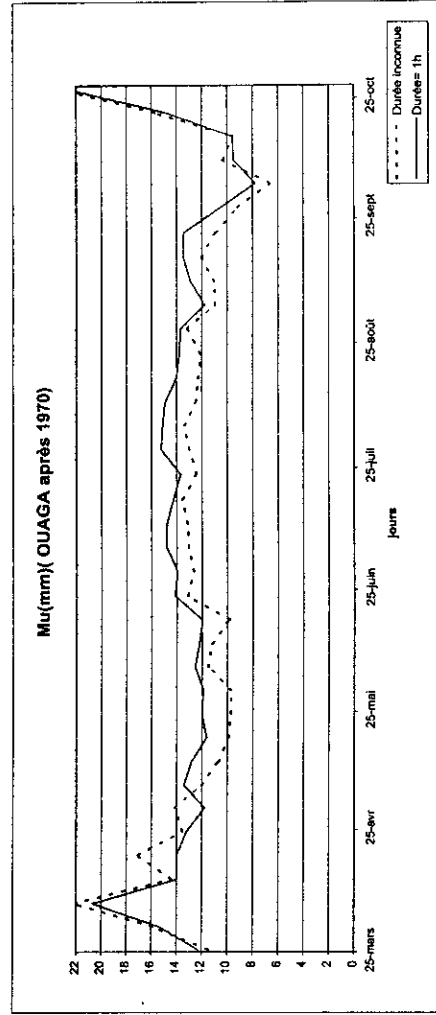
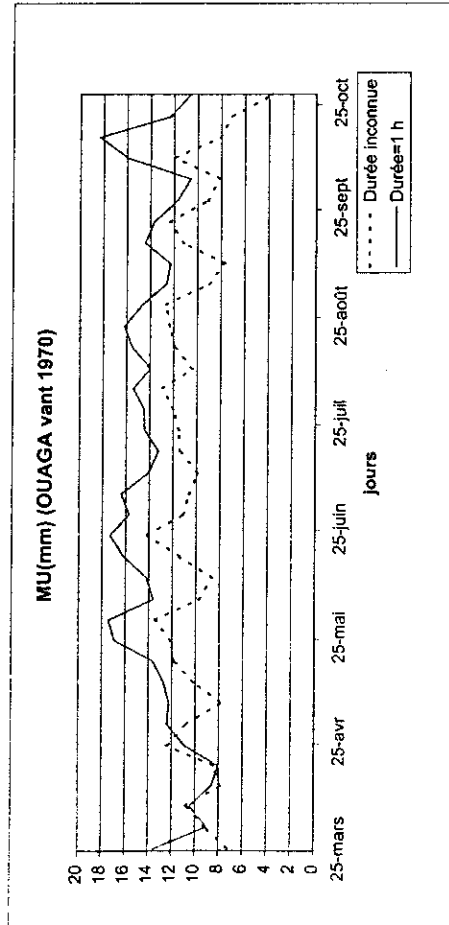
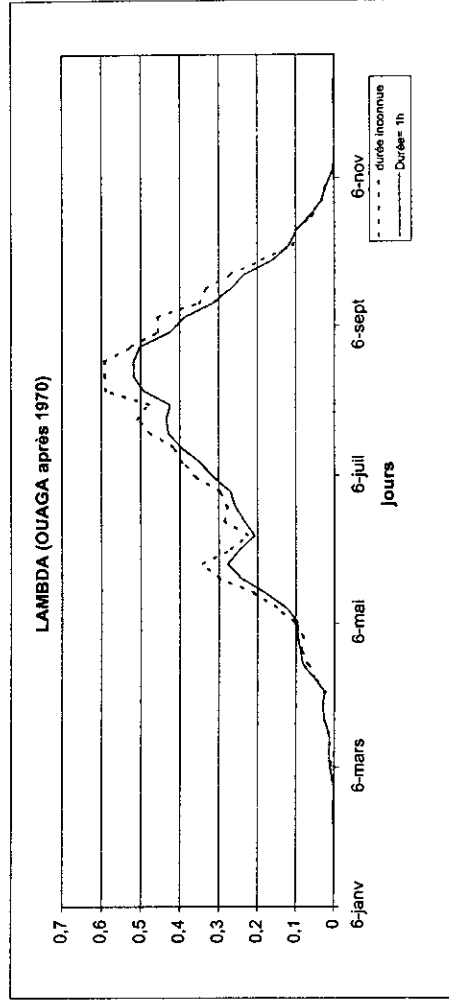
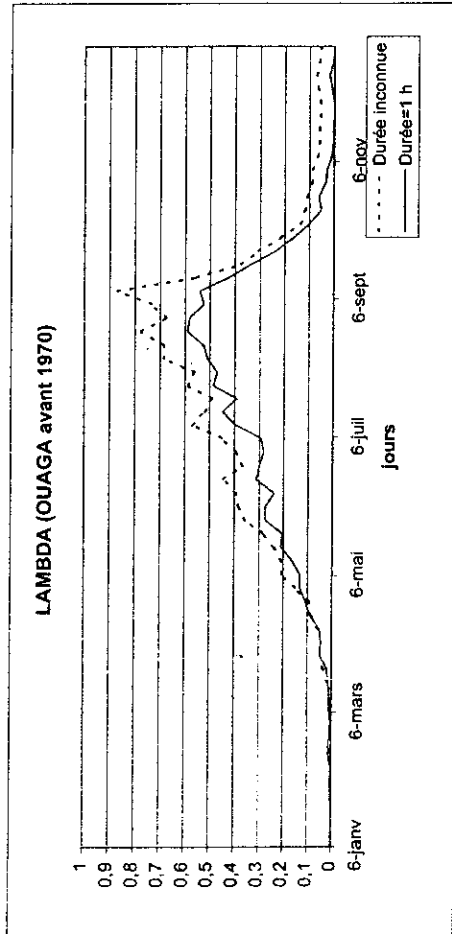
Annexe IM.3 : Paramètres de la loi des fuites à la station de BOGANDE



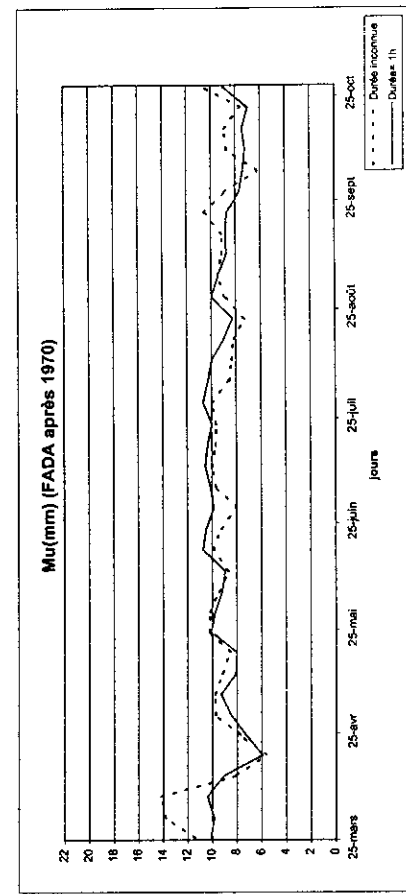
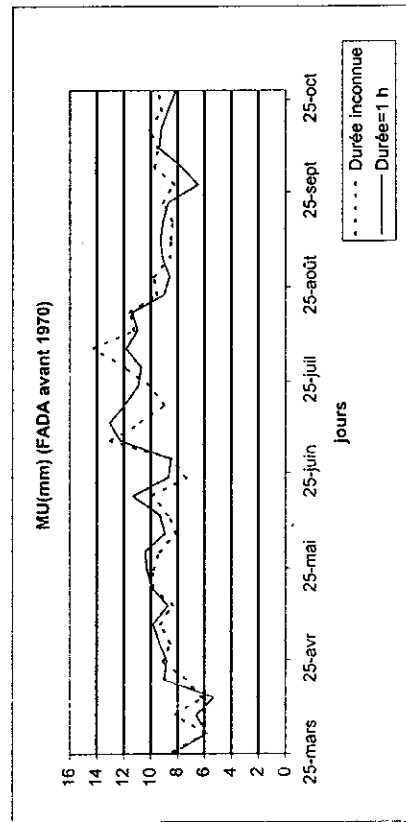
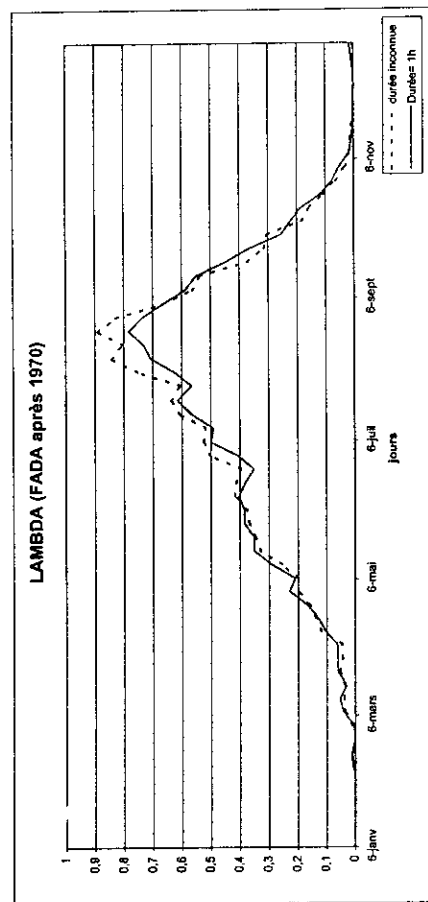
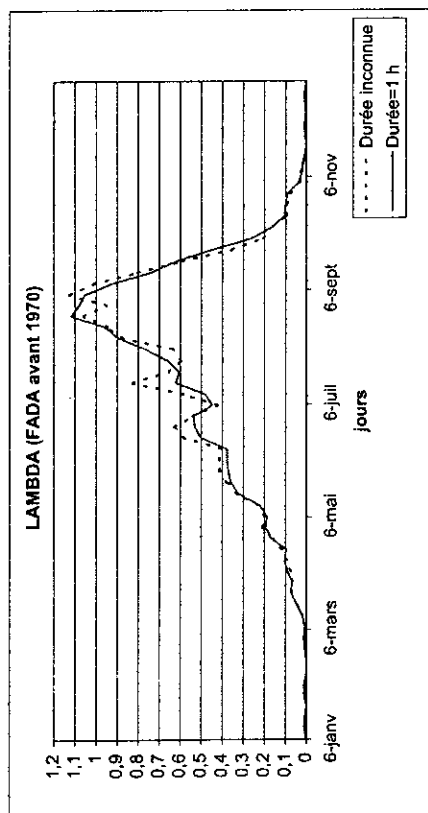
Annexe IM.4 : Paramètres de la loi des fuites à la station de DEDOUGOU



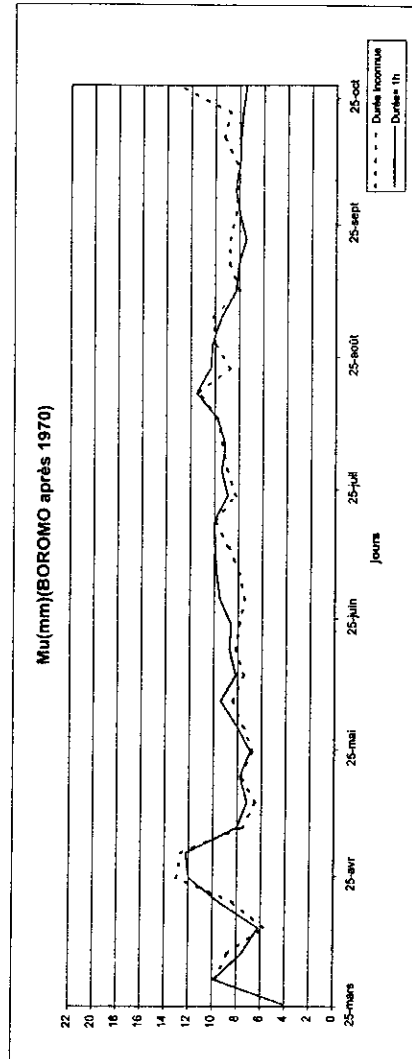
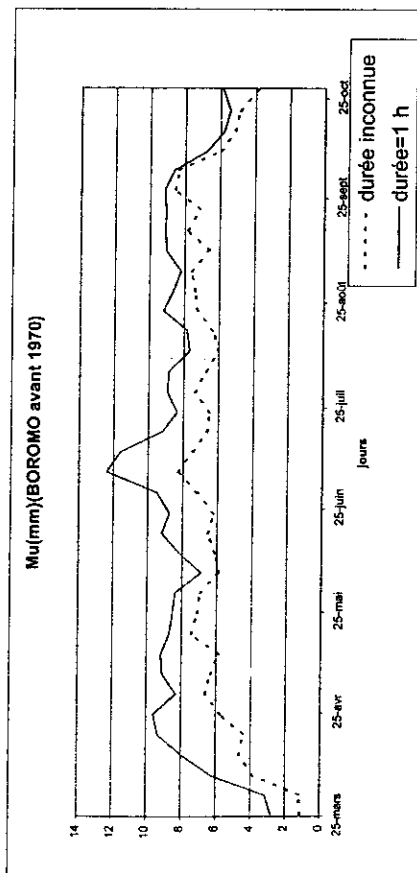
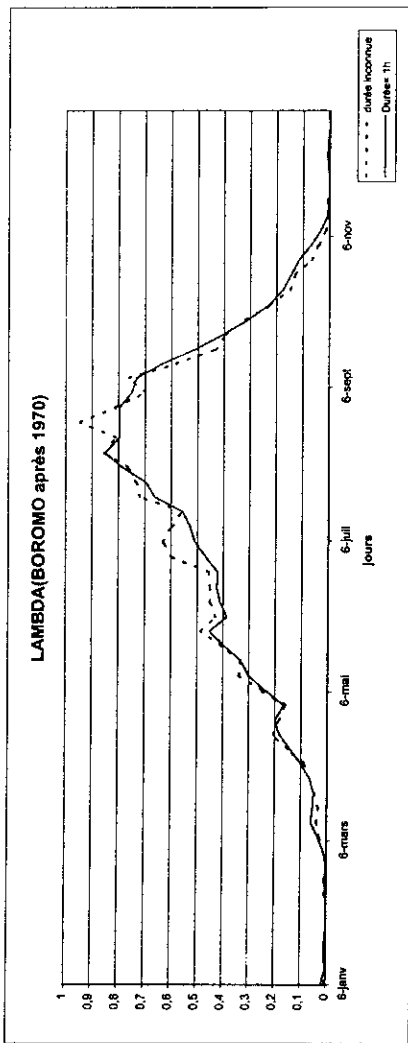
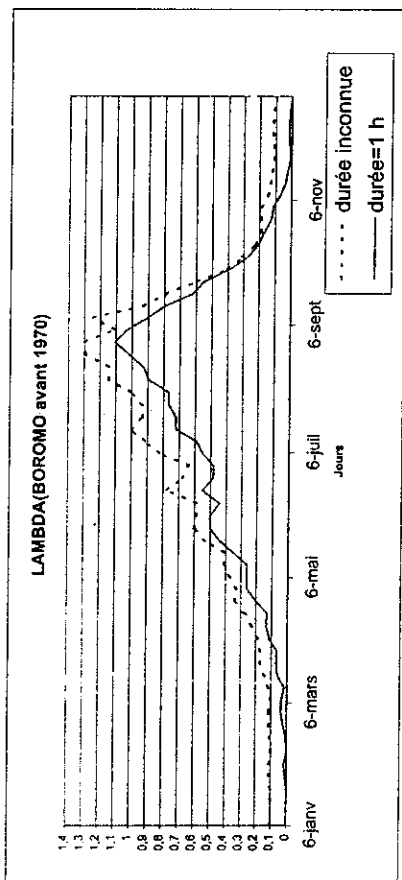
Annexe IV.5: Paramètres de la loi des fuites à la station de OUAGADOUGOU



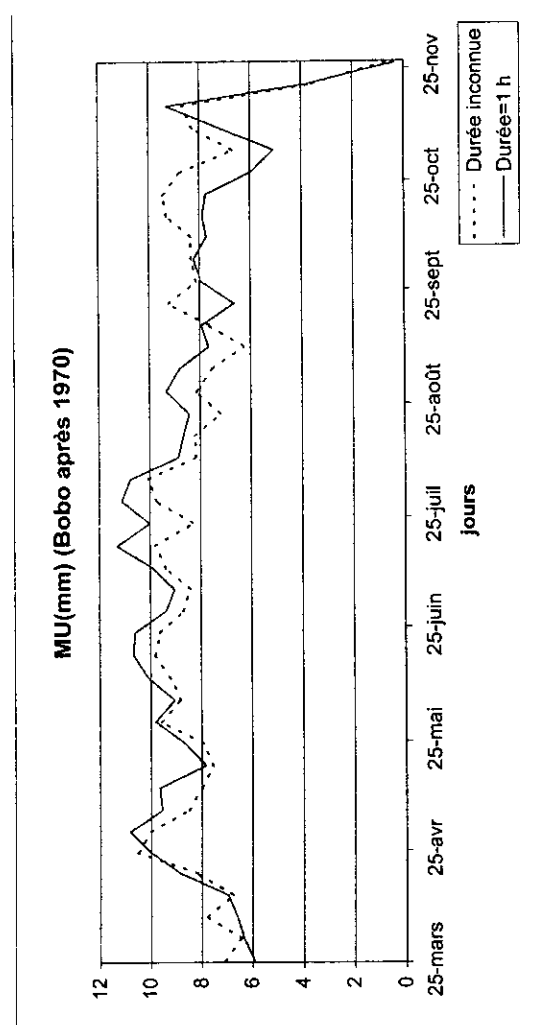
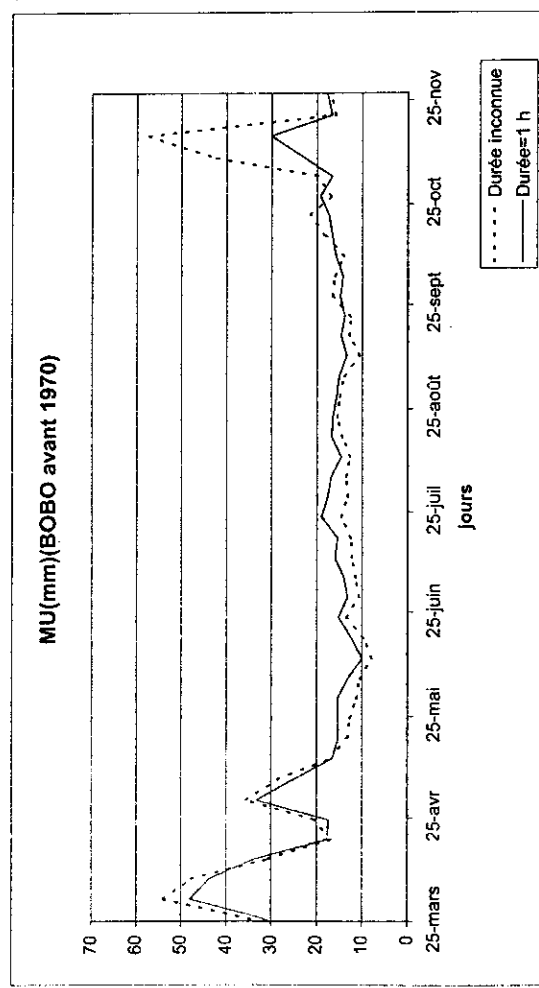
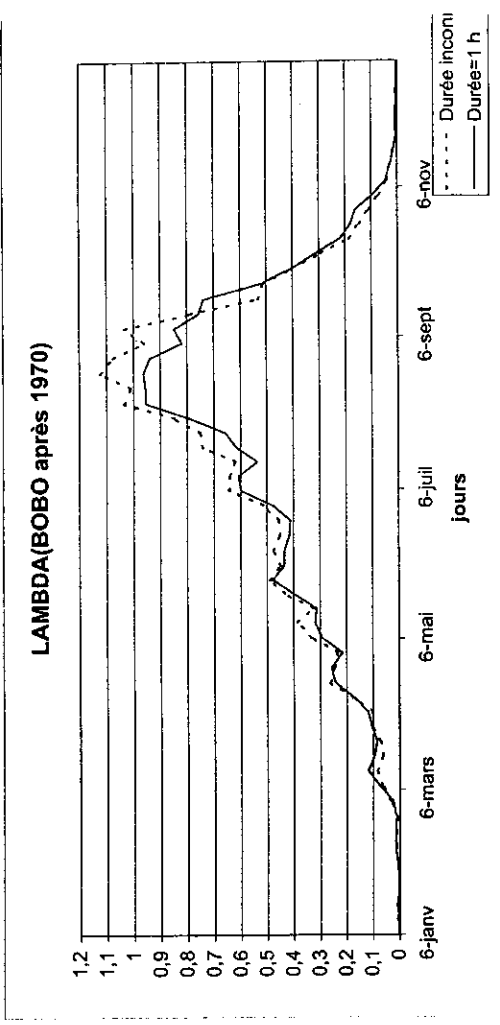
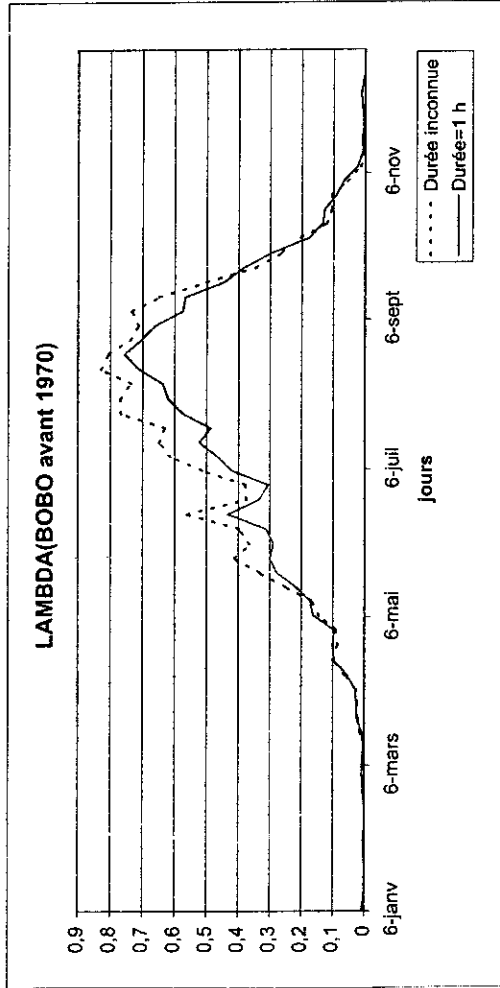
Annexe III.6: Paramètres de la loi des fuites à la station de FADA N'GOURMA



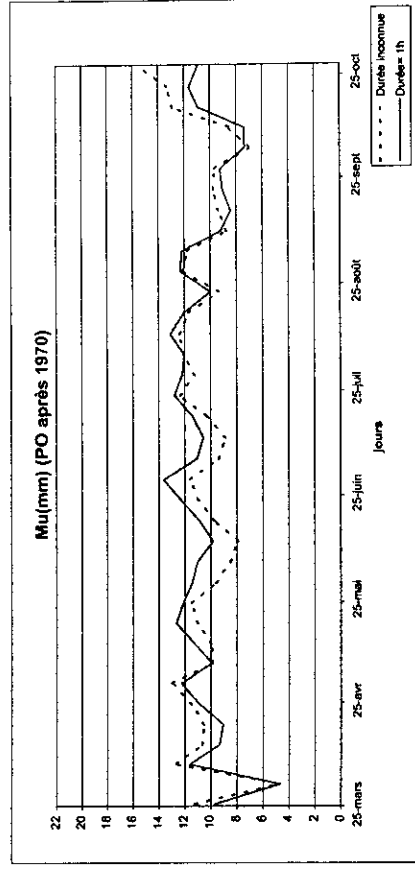
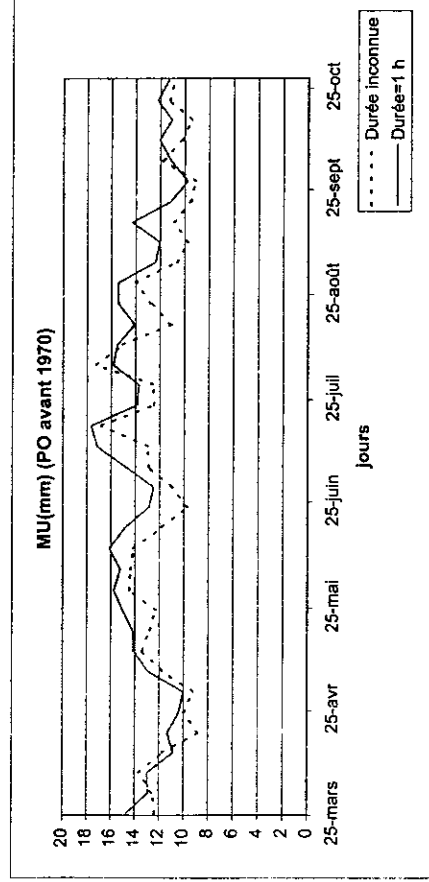
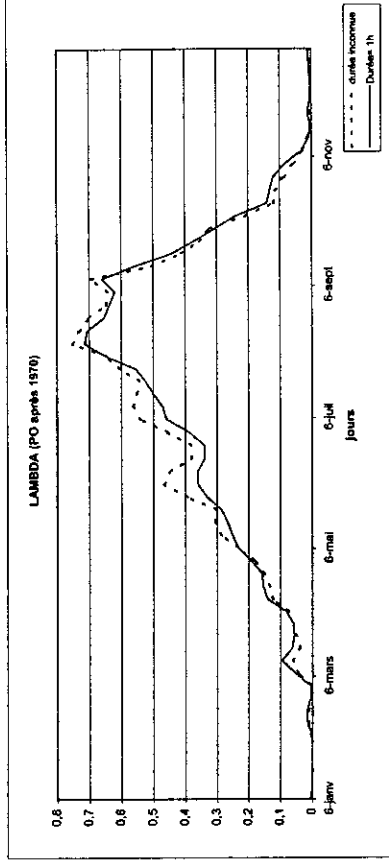
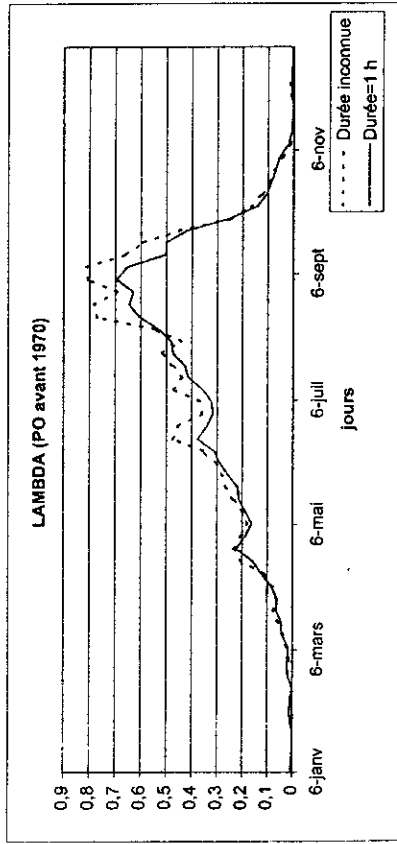
Annexe III.7: Paramètres de la loi des fuites à la station de BOROMO



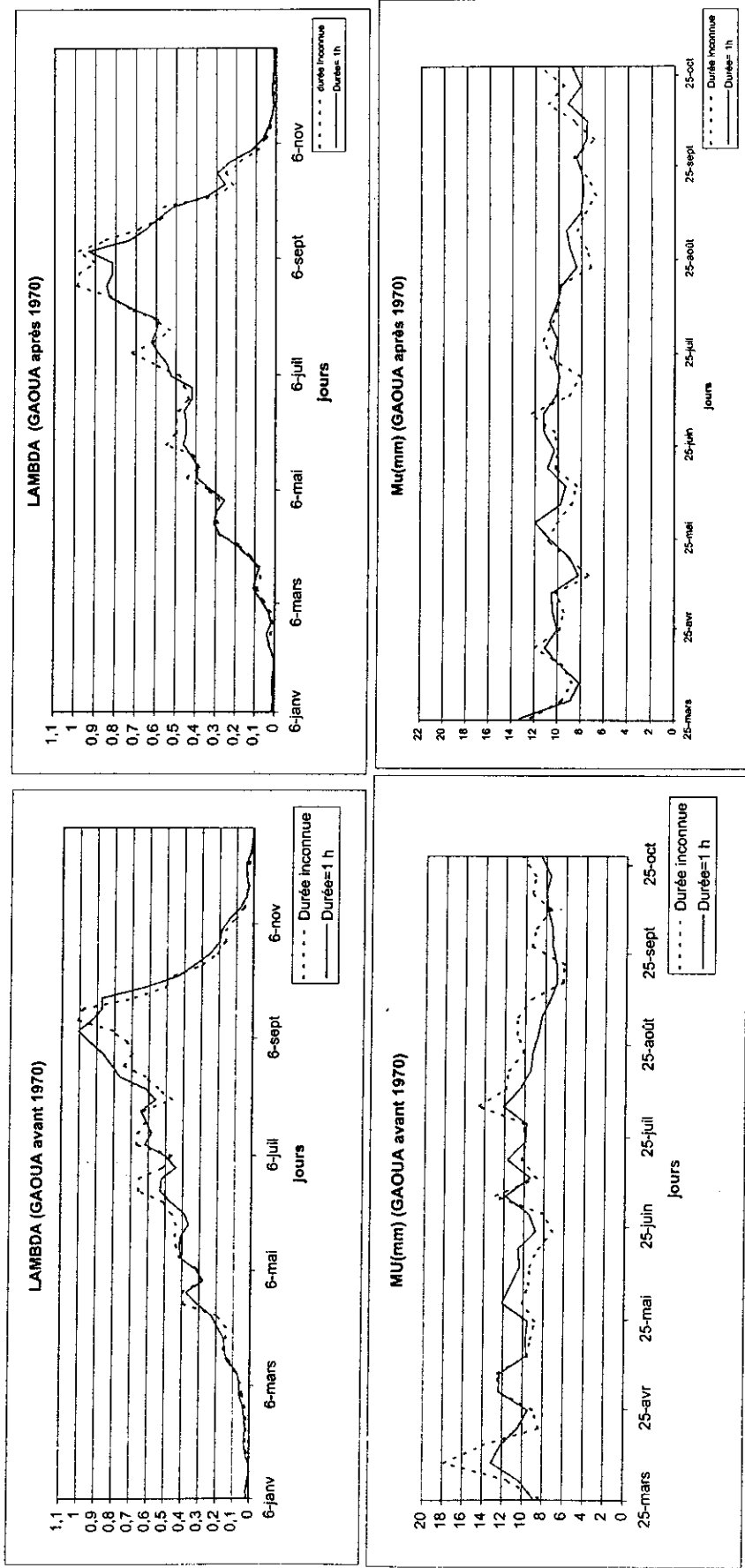
Annexe IV.8 : Paramètres de la loi des fuites à la station de BOBO DIOULASSO



Annexe **IM.9**: Paramètres de la loi des fuites à la station de PO



Annexe IM.10: Paramètres de la loi des fuites à la station de GAOUJA



Annexe IV-11: Modèle de description du régime pluviométrique**LES HYPOTHESES DE BASE**

Le modèle repose sur les hypothèses de la loi des fuites qui a été utilisé et validée pour décrire les régimes mensuels des pluies en Afrique de l'Ouest. Elles sont au nombre de trois :

- Le processus des occurrences est sans mémoire
- Les hauteurs par événement suivent une loi exponentielle
- Les processus d'occurrences et d'abondances des événements sont indépendants

FORMULATION MATHEMATIQUE

En définitive le modèle proposé est défini par deux vecteurs de 365 valeurs précisant les paramètres des distributions journalières des nombres et des hauteurs d'évènements, dont les formulations et les principales caractéristiques sont résumés dans le tableau

| Variable | Expression (Probabilité ou densité) | Espérance | Variance |
|---|---|-------------|-------------|
| Nombre, n, d'évènements au jour j (Loi de poisson) | $\text{Prob}(n) = \frac{\text{Exp}(-\lambda_j) \cdot \lambda_j^n}{n!}$ | λ_j | λ_j |
| Hauteur, c, d'évènements au jour j (Loi Exponentielle) | $C(c) = \text{Exp}\left(-\frac{c}{\mu_j}\right) \cdot \frac{dc}{\mu_j}$ | μ_j | μ_j^2 |

LES INFERENCEES

En supposant connus ses paramètres, ce modèle permet de générer des chroniques pluviométriques événementielles et donc de fournir de façon expérimentale la plupart des distributions classiquement utilisées : cumuls journaliers ou pluri-journaliers, datés ou non, valeurs extrêmes, etc....

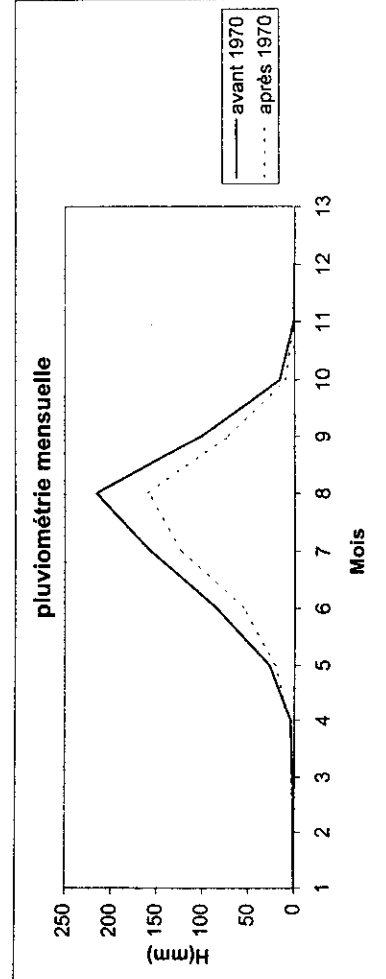
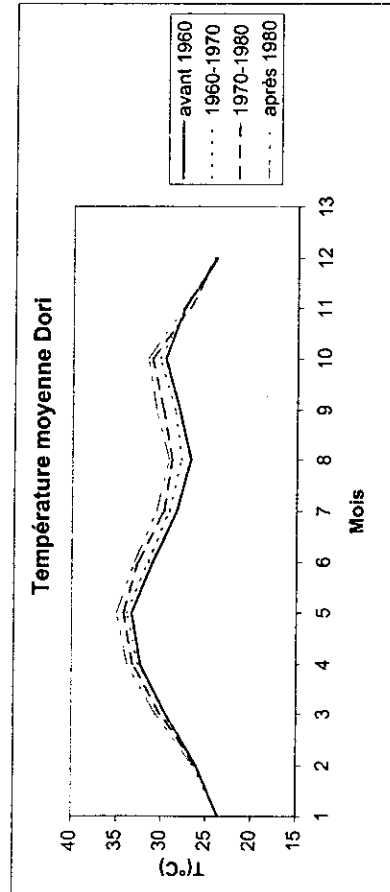
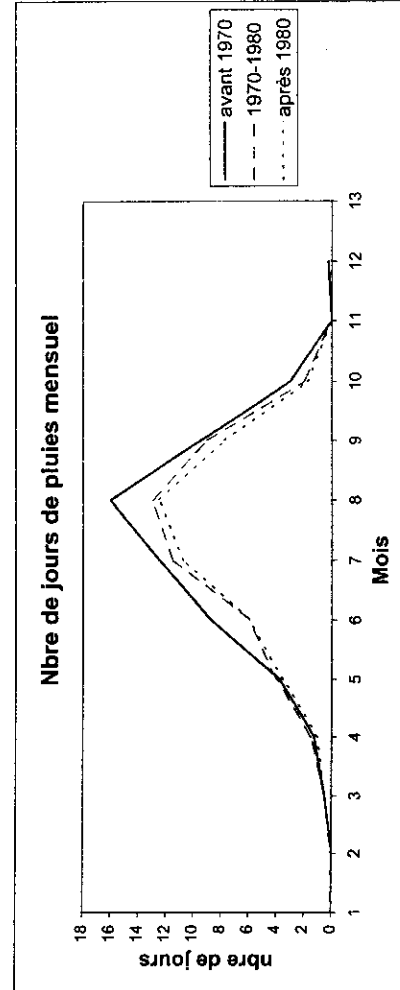
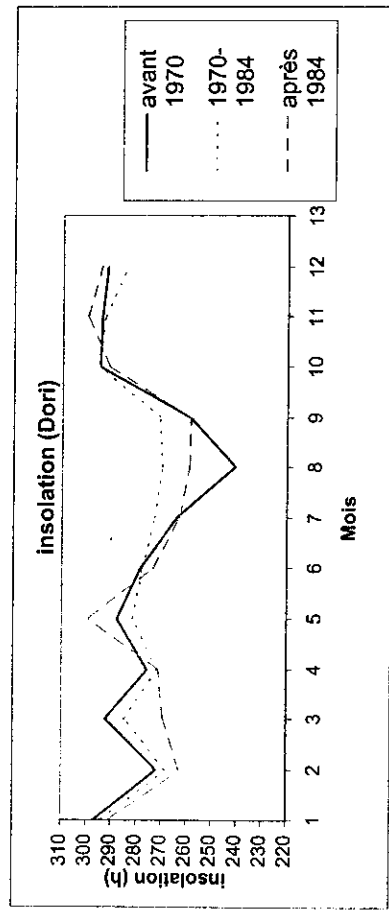
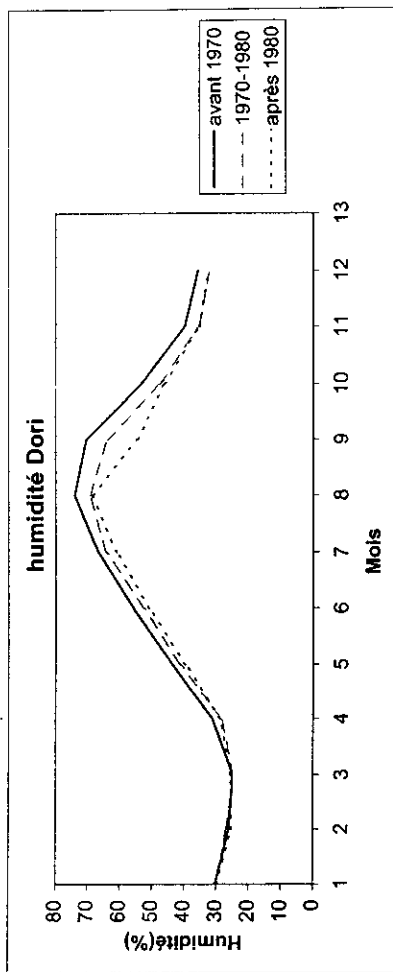
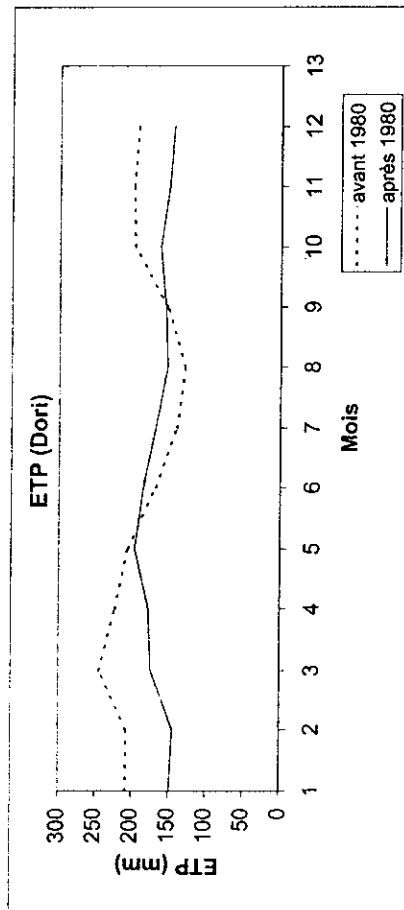
Ce type de modèle est de la famille des modèles développés dans l'étude de la théorie du renouvellement. Son application à la pluviométrie a fait également l'objet de nombreux travaux (Babuziaux, 1969 ; Ribstein, 1983 ; Le Barbé, 1985) qui permettent de préciser analytiquement les distributions d'un grand nombre de descripteurs de la pluviométrie. Nous avons résumé les principales caractéristiques d'un certain nombre d'entre elles.

| Variable, (nom de la loi) | Expression Probabilité ou densité | Espérance Variance |
|---|--|--|
| Nombre, n, d'évènements entre deux dates J1, J2 (Loi de poisson) | $Pr o(n) = \frac{Exp(-\Lambda) \cdot \Lambda^n}{n!}$ $\Lambda = \sum_{j_1}^{j_2} \lambda_j$ | Λ Λ |
| Nombre, n, d'évènements sachant le nombre de jours pluvieux Np. λ et μ constants | $Pro(n Np) = \frac{Exp(-Np \cdot \lambda) \cdot (Np \cdot \lambda)^n}{n! (1 - Exp(-\lambda))^{Np}} \cdot \Phi$ $\Phi = \sum_0^{Np} \left(\frac{i}{Np} \right)^n \cdot (-1)^{Np-i} \cdot \frac{Np!}{(Np-i)! i!}$ | $\frac{Np \cdot \lambda}{1 - Exp(-\lambda)}$ $\frac{Np \cdot \lambda}{1 - Exp(-\lambda)} \left(1 - \frac{\lambda}{Exp(\lambda) - 1} \right)$ |
| Cumul, c de Nv évènements (loi de Erlang) | $I(c) = \frac{1}{(Nv-1)!} \left(\frac{c}{\mu} \right)^{Nv-1} \cdot Exp\left(-\frac{c}{\mu}\right) \cdot \frac{dc}{\mu}$ | $Nv \cdot \mu$ $Nv \cdot \mu^2$ |
| Cumul, c, entre deux dates J1, J2 (Loi des fuites) μ constant | $Pr ob(c=0) = Exp(-\Lambda)$ $q(c) = \sum_1^{j_2} \frac{Exp(-\Lambda) \cdot \Lambda^i \cdot c^{i-1}}{i!(i-1)! \mu^i} \cdot Exp\left(-\frac{c}{\mu}\right) \cdot dc$ $\Lambda = \sum_{j_1}^{j_2} \lambda_j$ | $\Lambda \cdot \mu$ $2 \cdot \Lambda \cdot \mu^2$ |
| Cumul, c, sachant le nombre de jours pluvieux Np. λ et μ constants | $r(c) = \sum_1^{\infty} Pr o(i Np) \cdot \frac{c^{i-1} \cdot Exp\left(-\frac{c}{\mu}\right)}{(i-1)! \cdot \mu^i} \cdot dc$ | $\frac{Np \cdot \lambda \cdot \mu}{1 - Exp(-\lambda)}$ $\frac{Np \cdot \lambda \cdot \mu^2}{1 - Exp(-\lambda)} \cdot \left(2 - \frac{\lambda}{Exp(\lambda)} \right)$ |
| Hauteur maximale hx, entre deux dates J1, J2. (loi de GUMBEL censurée) μ constant | $Pr ob(hx < 0) = 0$ $Pr ob(h > hx) = Exp\left(-\Lambda \cdot Exp\left(-\frac{hx}{\mu}\right)\right)$ $\Lambda = \sum_{j_1}^{j_2} \lambda_j$ | |

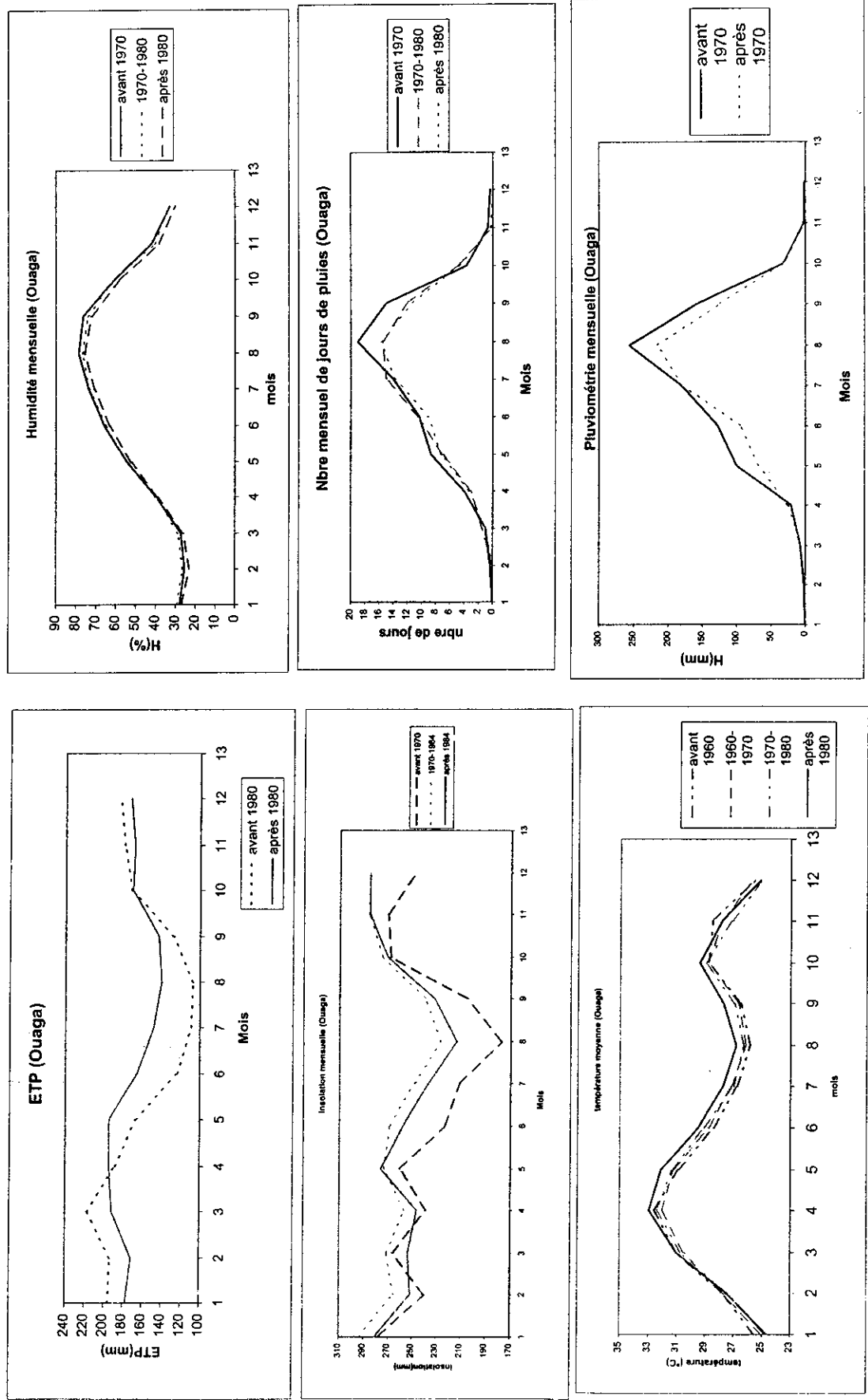
Expressions, moyennes et variances, des distributions de certains descripteurs des régimes pluviométriques

Annexe V: Courbes de variation des différents paramètres climatiques au cours de l'année

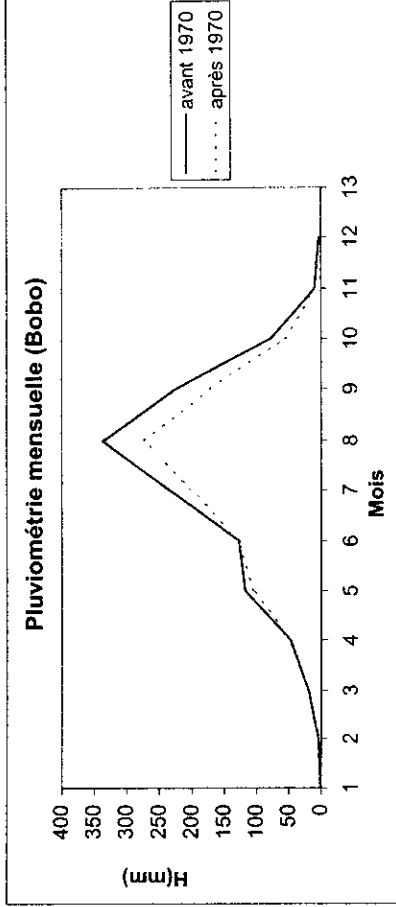
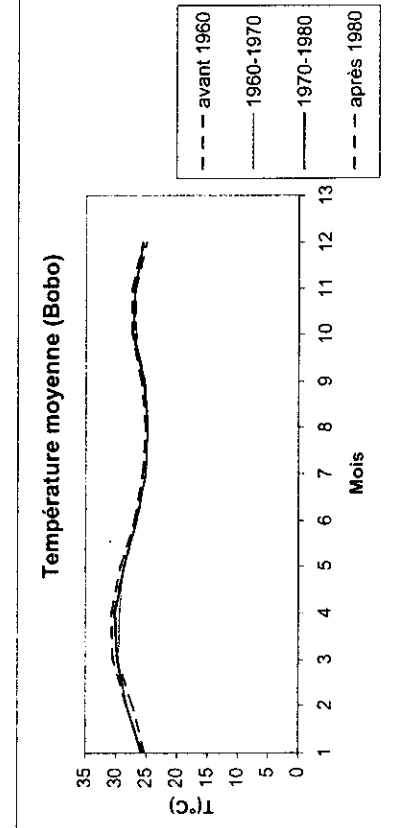
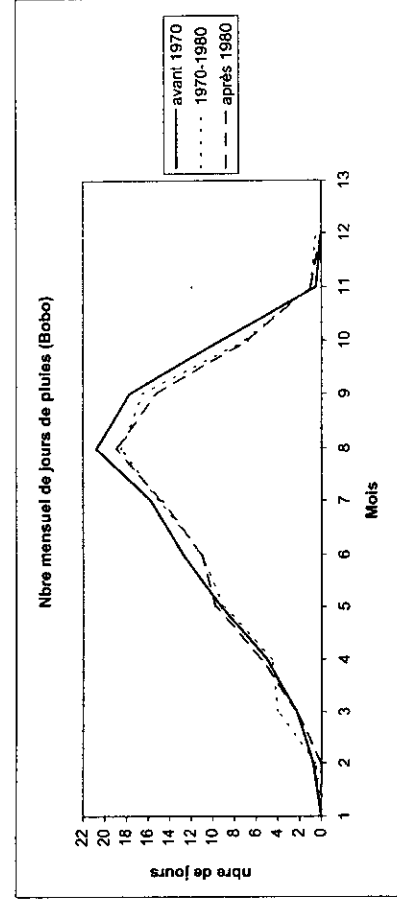
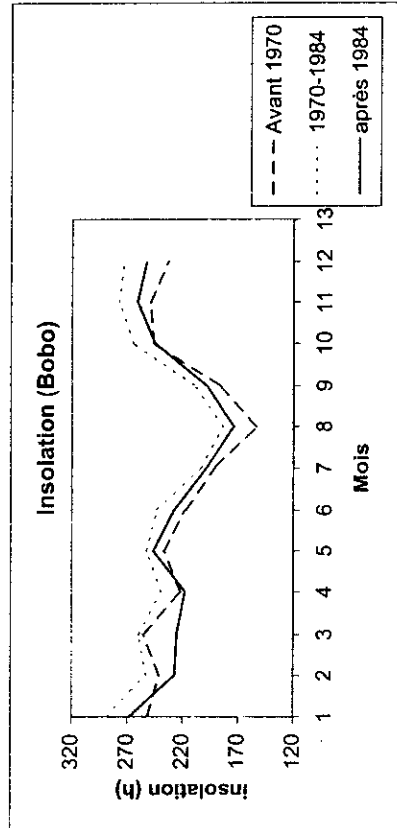
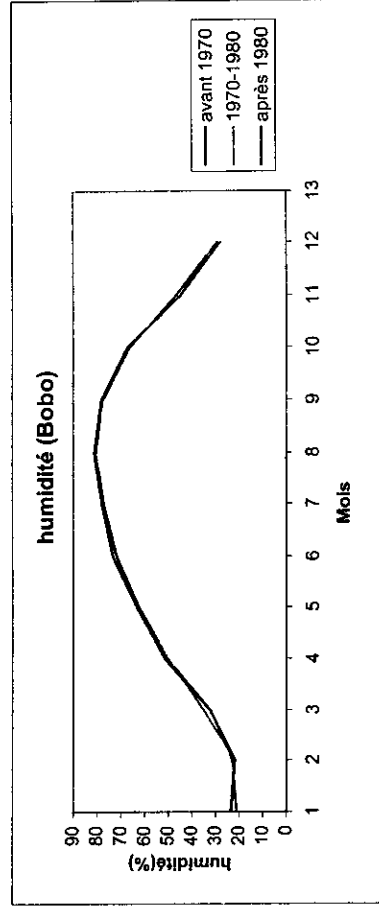
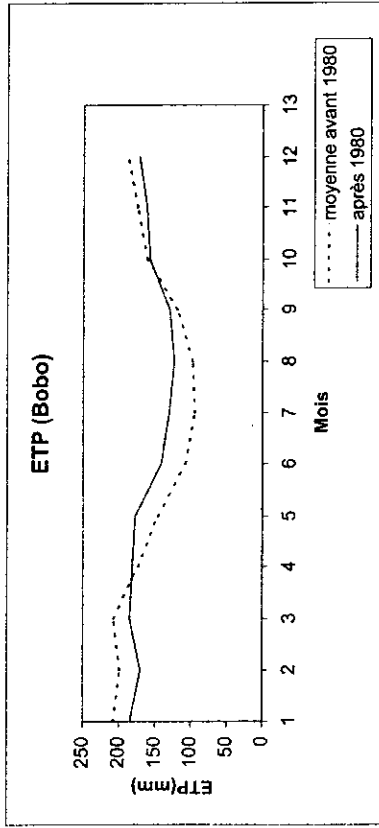
Annexe V.1: Courbes de variation des paramètres climatiques à la station de Dori



Annexe V.2: Courbes de variation des différents paramètres climatiques à la station de OUGADDOUGOU



Annexe V.3 : Courbes de variation des différents paramètres climatiques au niveau de la station de BOBO



Annexe VI: Données pluviométriques

Tableau : Pluviométrie annuelle

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | 1998:2001 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Variation R (%) | déficit (mm) | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------|------------|
| DORI | 631,6 | 614 | 630,9 | 564,8 | 451 | 423,6 | 393,6 | 426,2 | 473,9 | 479,9 | 375,45 | 610,33 | 431,95 | -29,23 | -178,38 | -29,23 |
| OUAHIGOUYA | 826 | 700,8 | 717,6 | 701,2 | 548 | 548,8 | 504,3 | 559,3 | 672,9 | 655,7 | 664,85 | 736,40 | 593,41 | -19,42 | -142,99 | -19,42 |
| BOGANDE | 722,4 | 803,3 | 676,3 | 679 | 526,7 | 633,7 | 484,7 | 561,5 | 627 | 701,5 | 538,95 | 720,25 | 582,01 | -19,19 | -138,24 | -19,19 |
| DEDOUGOU | 939,8 | 975,3 | 1027,3 | 916,7 | 765,5 | 720 | 595 | 729,2 | 826,1 | 816,7 | 696,2 | 964,78 | 735,53 | -23,76 | -229,25 | -23,76 |
| OUAGADOUGOU AERO | 917 | 978,4 | 888,6 | 816,7 | 837 | 757 | 637,5 | 757 | 750,7 | 686,8 | 607,95 | 900,18 | 719,14 | -20,11 | -181,04 | -20,11 |
| FADA N'GOURMA | 1014,8 | 1074,1 | 1043,5 | 891,5 | 770,8 | 813,9 | 719,8 | 743,5 | 879,2 | 786,1 | 733,55 | 1005,98 | 778,12 | -22,65 | -227,85 | -22,65 |
| BOROMO | 1088,5 | 935,1 | 706,2 | 979,6 | 896,3 | 818,4 | 763,2 | 862,9 | 864,5 | 965,5 | 788,15 | 927,35 | 848,42 | -8,51 | -78,93 | -8,51 |
| BOBO-DIOULASSO | 1323,4 | 1167,7 | 1174,2 | 1148,4 | 1046,9 | 821 | 915,8 | 983,9 | 1054,8 | 1048 | 1057,7 | 1203,43 | 989,73 | -17,76 | -213,70 | -17,76 |
| PO | 1136,5 | 966,8 | 1018,6 | 1002,6 | 896 | 692,6 | 747,2 | 954,9 | 1040,7 | 1059,2 | 795,5 | 1031,13 | 883,73 | -14,29 | -147,40 | -14,29 |
| GAOUA | 916,3 | 960,3 | 1050,6 | 1194,7 | 1072,1 | 895,3 | 888,8 | 1112,4 | 1063,7 | 1128,6 | 680,2 | 1030,48 | 977,30 | -5,16 | -53,18 | -5,16 |

Tableau : Nombre de jours de pluie annuelle

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne 1970:1980 | Moyenne après 1980 | Déficit(%) 1970 | Déficit(%) 1980 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| DORI | 59 | 55 | 56 | 52 | 46 | 48 | 38 | 41 | 46 | 50 | 56 | 47 | 44 | -15,32 | -6,91 |
| OUAHIGOUYA | 58 | 44 | 57 | 66 | 56 | 61 | 54 | 56 | 62 | 59 | 56 | 59 | 58 | 4,00 | -1,28 |
| BOGANDE | 49 | 53 | 50 | 46 | 44 | 48 | 37 | 39 | 42 | 55 | 49 | 46 | 43 | -6,50 | -6,87 |
| DEDOUGOU | 57 | 68 | 68 | 64 | 57 | 63 | 53 | 62 | 71 | 74 | 64 | 60 | 65 | -6,61 | 8,33 |
| OUAGA | 75 | 79 | 79 | 74 | 66 | 74 | 64 | 63 | 70 | 71 | 77 | 70 | 67 | -8,78 | -4,15 |
| FADA N'GOURMA | 78 | 81 | 84 | 73 | 73 | 79 | 63 | 66 | 69 | 75 | 79 | 76 | 68 | -3,80 | -10,20 |
| BOROMO | 92 | 86 | 82 | 89 | 75 | 82 | 70 | 74 | 80 | 82 | 87 | 79 | 77 | -10,03 | -2,55 |
| BOBO-DIOULASSO | 102 | 98 | 93 | 92 | 86 | 88 | 78 | 85 | 91 | 91 | 96 | 87 | 86 | -9,61 | -0,86 |
| PO | 60 | 54 | 67 | 69 | 60 | 53 | 63 | 76 | 76 | 84 | 63 | 57 | 75 | -9,60 | 32,30 |
| GAOUA | 91 | 99 | 95 | 102 | 93 | 92 | 84 | 88 | 87 | 90 | 97 | 93 | 87 | -4,39 | -5,68 |

| STATION | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| DORI | 326 | 324 | 328 | 335 | 332 | 340 | 339 | 335 | 332 | 326 | 336 | 3,02 |
| OUAHIGOUYA | 323 | 317 | 320 | 328 | 320 | 328 | 329 | 319 | 322 | 320 | 324 | 1,50 |
| BOGANDE | 317 | 321 | 325 | 328 | 324 | 335 | 331 | 328 | 321 | 321 | 327 | 2,04 |
| DEDUGOU | 307 | 309 | 309 | 316 | 315 | 324 | 317 | 316 | 312 | 310 | 316 | 2,13 |
| OUAGADOUGOU AERO | 310 | 309 | 313 | 317 | 313 | 320 | 318 | 315 | 316 | 310 | 317 | 2,04 |
| FADA N'GOURMA | 304 | 303 | 311 | 314 | 312 | 319 | 317 | 313 | 311 | 306 | 314 | 2,87 |
| BOROMO | 302 | 305 | 302 | 311 | 304 | 314 | 309 | 308 | 307 | 302 | 309 | 2,47 |
| BOBO-DIOULASSO | 294 | 296 | 295 | 301 | 297 | 309 | 303 | 300 | 302 | 293 | 303 | 3,27 |
| PO | 313 | 303 | 306 | 309 | 317 | 314 | 309 | 310 | 305 | 307 | 311 | 1,11 |
| GAOUA | 292 | 297 | 290 | 296 | 298 | 308 | 301 | 303 | 299 | 293 | 301 | 2,60 |

Tableau : Nombre de pluies journalières dont la hauteur est comprise entre 2 et 10 mm

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| OUAGADOUGOU AERO | 27 | 24 | 26 | 24 | 21 | 25 | 24 | 22 | 26 | 24 | 25 | 23 | -6,79 |
| DORI | 21 | 18 | 22 | 20 | 14 | 16 | 13 | 12 | 15 | 16 | 20 | 14 | -29,30 |
| OUAHIGOUYA | 20 | 19 | 24 | 22 | 18 | 25 | 21 | 16 | 24 | 21 | 21 | 21 | -2,85 |
| DEDUGOU | 24 | 26 | 23 | 24 | 24 | 23 | 19 | 22 | 23 | 25 | 24 | 23 | -5,73 |
| BOGANDE | 22 | 21 | 21 | 18 | 19 | 21 | 11 | 14 | 15 | 21 | 21 | 17 | -17,05 |
| FADA N'GOURMA | 32 | 29 | 27 | 22 | 27 | 24 | 19 | 23 | 23 | 27 | 28 | 24 | -14,43 |
| BOBO-DIOULASSO | 35 | 35 | 30 | 32 | 28 | 31 | 24 | 30 | 29 | 29 | 33 | 29 | -12,20 |
| BOROMO | 33 | 29 | 29 | 32 | 23 | 28 | 25 | 26 | 29 | 26 | 31 | 26 | -14,43 |
| PO | 22 | 17 | 27 | 24 | 23 | 23 | 26 | 23 | 22 | 27 | 23 | 24 | 5,79 |
| GAOUA | 34 | 35 | 32 | 37 | 36 | 31 | 25 | 26 | 29 | 29 | 34 | 29 | -15,65 |

Tableau : Nombre de pluies journalières dont la hauteur est comprise entre 10 et 20 mm

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| OUAGADOUGOU AERO | 14 | 13 | 15 | 15 | 13 | 12 | 12 | 11 | 13 | 15 | 15 | 13 | -12,32 |
| DORI | 9 | 9 | 8 | 8 | 9 | 10 | 6 | 7 | 7 | 10 | 9 | 8 | -6,25 |
| OUAHIGOUYA | 14 | 10 | 13 | 12 | 10 | 13 | 8 | 11 | 13 | 10 | 12 | 11 | -8,06 |
| DEDUGOU | 13 | 15 | 13 | 15 | 12 | 15 | 12 | 13 | 12 | 15 | 14 | 13 | -4,83 |
| BOGANDE | 11 | 13 | 12 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 10 | 10 | 12 | 10 | -14,91 |
| FADA N'GOURMA | 14 | 13 | 16 | 16 | 11 | 16 | 16 | 13 | 15 | 14 | 14 | 14 | -1,08 |
| BOBO-DIOULASSO | 21 | 16 | 18 | 18 | 17 | 20 | 14 | 16 | 16 | 17 | 19 | 16 | -14,78 |
| BOROMO | 19 | 19 | 19 | 16 | 16 | 19 | 13 | 14 | 15 | 15 | 18 | 15 | -13,77 |
| PO | 14 | 16 | 17 | 18 | 17 | 14 | 14 | 17 | 16 | 14 | 16 | 15 | -8,04 |
| GAOUA | 19 | 18 | 18 | 19 | 17 | 19 | 17 | 17 | 16 | 20 | 19 | 18 | -4,96 |

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| OUAGADOUGOU AERO | 16 | 19 | 15 | 14 | 14 | 16 | 10 | 14 | 12 | 10 | 16 | 13 | -3 |
| DORI | 11 | 11 | 12 | 9 | 7 | 8 | 6 | 7 | 8 | 7 | 11 | 7 | -4 |
| OUAHIGOUYA | 14 | 14 | 12 | 11 | 9 | 8 | 9 | 9 | 10 | 12 | 13 | 10 | -3 |
| DEDOUNGOU | 17 | 18 | 20 | 17 | 13 | 13 | 12 | 14 | 14 | 13 | 18 | 13 | -5 |
| BOGANDE | 13 | 13 | 12 | 11 | 8 | | | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 | -2 |
| FADA N'GOURMA | 17 | 19 | 19 | 16 | 13 | 14 | 11 | 13 | 14 | 13 | 18 | 13 | -5 |
| BOBO-DIOULASSO | 22 | 19 | 20 | 20 | 19 | 17 | 18 | 16 | 20 | 17 | 20 | 18 | -2 |
| BOROMO | 16 | 15 | 13 | 16 | 16 | 15 | 13 | 16 | 14 | 17 | 15 | 15 | 0 |
| PO | 22 | 19 | 18 | 17 | 16 | 12 | 12 | 16 | 17 | 20 | 19 | 16 | -4 |
| GAOUA | 19 | 21 | 19 | 19 | 17 | 17 | 14 | 22 | 17 | 18 | 20 | 18 | -2 |

Tableau : Nombre de jour de pluie dans la saison INRA

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| OUAGADOUGOU AERO | 65 | 67 | 65 | 57 | 52 | 61 | 54 | 50 | 55 | 51 | 63 | 53 | -15,79 |
| DORI | 50 | 46 | 42 | 38 | 33 | 35 | 26 | 27 | 31 | 35 | 44 | 31 | -28,22 |
| OUAHIGOUYA | 46 | 33 | 44 | 50 | 42 | 49 | 39 | 40 | 52 | 43 | 43 | 44 | 2,48 |
| DEDOUNGOU | 43 | 54 | 57 | 54 | 42 | 52 | 43 | 50 | 58 | 54 | 52 | 50 | -3,76 |
| BOGANDE | 39 | 42 | 37 | 31 | 36 | 40 | 29 | 29 | 31 | 41 | 35 | 35 | -1,44 |
| FADA N'GOURMA | 70 | 66 | 67 | 61 | 56 | 62 | 47 | 54 | 53 | 62 | 66 | 55 | -15,92 |
| BOBO-DIOULASSO | 92 | 86 | 78 | 73 | 70 | 71 | 64 | 71 | 76 | 80 | 82 | 72 | -12,96 |
| BOROMO | 78 | 73 | 63 | 75 | 59 | 72 | 58 | 58 | 66 | 72 | 73 | 64 | -12,03 |
| PO | 48 | 38 | 54 | 51 | 48 | 40 | 47 | 59 | 63 | 69 | 48 | 55 | 15,64 |
| GAOUA | 81 | 79 | 76 | 89 | 80 | 75 | 69 | 73 | 76 | 77 | 74 | 75 | 1,19 |

Tableau : Nombre de jour de pluie dans la saison, méthode L'aour

| STATION | 1950:1954 | 1955:1959 | 1960:1964 | 1965:1969 | 1970:1974 | 1975:1979 | 1980:1984 | 1985:1989 | 1990:1994 | 1995:1999 | Moyenne avant 1970 | Moyenne après 1970 | Déficit(%) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| OUAGADOUGOU AERO | | 145 | 142 | 133 | 126 | 146 | 150 | 124 | 133 | 113 | 141 | 131 | -7,24 |
| DORI | 120 | 113 | 106 | 106 | 87 | 107 | 82 | 73 | 92 | 90 | 109 | 89 | -18,53 |
| OUAHIGOUYA | 106 | 106 | 112 | 118 | 107 | 132 | 114 | 89 | 127 | 108 | 109 | 113 | 3,39 |
| DEDOUNGOU | 111 | 129 | 141 | 140 | 105 | 140 | 138 | 123 | 133 | 123 | 129 | 128 | -1,16 |
| BOGANDE | 119 | 112 | 98 | 97 | 112 | | | 88 | 102 | 102 | 105 | 104 | -0,71 |
| FADA N'GOURMA | 160 | 135 | 119 | 149 | 118 | 140 | 126 | 116 | 136 | 140 | 139 | 130 | -6,95 |
| BOBO-DIOULASSO | 183 | 175 | 151 | 156 | 148 | 154 | 156 | 147 | 157 | 179 | 166 | 157 | -5,88 |
| BOROMO | 155 | 146 | 128 | 153 | 136 | 164 | 146 | 131 | 147 | 168 | 141 | 147 | 4,17 |
| PO | 140 | 110 | 136 | 131 | 128 | 119 | 127 | 122 | 158 | 148 | 127 | 136 | 6,50 |
| GAOUA | 193 | 163 | 159 | 186 | 176 | 174 | 165 | 155 | 180 | 181 | 176 | 171 | -2,79 |