

J.E. PATUREL,
paturel@msem.univ-montp2.fr
HSM - Case MSE - Pl. E. Bataillon -
34095 Montpellier
Cedex 5 - France

I. BOUBACAR,
Groupe des Ecoles EIER-ETSHER
03 BP 7023 Ouagadougou, Burkina Faso.

A. L'AOUR
HSM - Case MSE - Pl. E. Bataillon
34095 Montpellier
Cedex 5 - France

EVOLUTION DE LA PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE EN AFRIQUE DE L'OUEST ET CENTRALE AU XXÈME SIÈCLE

ANNUAL RAINFALL ANALYSIS IN WEST AND CENTRAL AFRICA DURING THE 20TH CENTURY

Résumé

Il est clairement reconnu que toutes les régions d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale, sèches comme humides, ont été touchées par une diminution de la pluviométrie annuelle autour des années 1970. Mais au cours du XXème siècle, d'autres événements climatiques sont survenus. A partir de données de pluie, nous avons souhaité mettre en évidence les alternances pluviométriques qu'a pu connaître l'Afrique de l'Ouest et Centrale au cours du XXème siècle. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des outils d'analyse statistiques de séries chronologiques. Il apparaît que ces alternances de périodes sèches et humides ont eu une ampleur spatiale et temporelle ainsi qu'une intensité très variable. Au nord de l'équateur, les changements climatiques les plus nets sont des sécheresses alors qu'au sud de l'équateur, ce sont des épisodes plus humides. Au cours de la première moitié du siècle, les modifications ont eu tendance à correspondre à une augmentation de la pluviométrie annuelle alors que la tendance s'est inversée après, avec en point d'orgue à la fin des années 1960.

Mots clés: pluviométrie annuelle, sécheresse, Afrique de l'Ouest et Centrale

Abstract

It is well known that West and Central Africa was affected with a severe drought at the end of the sixties, last century. But during all this last century, these regions suffered of other drought events. This paper presents results of statistical analysis of annual rainfall data series on West and Central Africa. It appears that during the last century, there were periods of drought and pluviometric abundance but they are different in their intensity and in their spatial and temporal amplitude. Globally, above the equator, the more severe events were droughts; under the equator, these are more often periods of pluviometric abundance; however, the last half of the century was affected by the more severe drought that Africa knows from human memory.

Key word: annual rainfall, drought, West and Central Africa

INTRODUCTION

Toutes les régions d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale, sèches comme humides, ont été touchées par une diminution de la pluviométrie annuelle autour des années 1970 (Servat *et al.*, 1998).

Dans le cadre d'une collaboration scientifique, l'unité de recherche climatologique de l'Université d'East Anglia à Norwich (U.K.) nous a fourni des grilles de pluies mensuelles où la maille a une superficie d'un demi degré carré sur toute l'Afrique pour la période 1901-1998.

A partir de ces grilles, nous avons souhaité mettre en évidence les alternances pluviométriques qu'ont pu connaître l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique Centrale au cours du XXème siècle. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les données annuelles de pluie (P), ainsi que sur des outils d'analyse statistiques de séries chronologiques.

LES DONNÉES

Les coordonnées de notre fenêtre

d'étude sont les suivantes : 20S à 20N de latitude et 18W à 36E de longitude. Elle couvre l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique Centrale. Elle contient environ 5500 mailles.

Les principales sources de données de l'unité de recherche climatologique de l'Université d'East Anglia à Norwich sont les agences météorologiques nationales, le National Climatic Data Center (NCDC), la World Meteorological Organisation (WMO) et d'autres sources publiées (New *et al.*, 1999 et 2000). Ces données ont subi des contrôles de qualité et les stations n'y répondant pas ont été supprimées ou remplacées par des moyennes de séries. Les stations possédant moins de 20 années de mesures ont ainsi été exclues.

Les grilles de résolution $0.5^\circ * 0.5^\circ$ ont été constituées par interpolation Spline. Les valeurs négatives ont été contraintes à zéro et un diagnostic a permis d'éliminer les stations aberrantes.

LES MÉTHODES

La littérature consacrée à l'approche statistique de séries chronologiques de variables hydroclimatiques est particulièrement abondante. Le traitement statistique concerne d'une part la tendance, et d'autre part la détection des changements brusques des caractéristiques de loi de distribution des variables. C'est à la détection d'un changement brusque de la moyenne annuelle que nous nous sommes intéressés. Une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu (Lubès *et al.*, 1998). Deux méthodes statistiques de détection de rupture ont été retenues:

Test de Pettitt

Le test (Pettitt, 1979), réputé pour sa robustesse, est non-paramétrique et dérivé de la formulation du test de Mann-Whitney. L'absence d'une rupture dans la série chronologique X constitue l'hypothèse nulle H_0 .

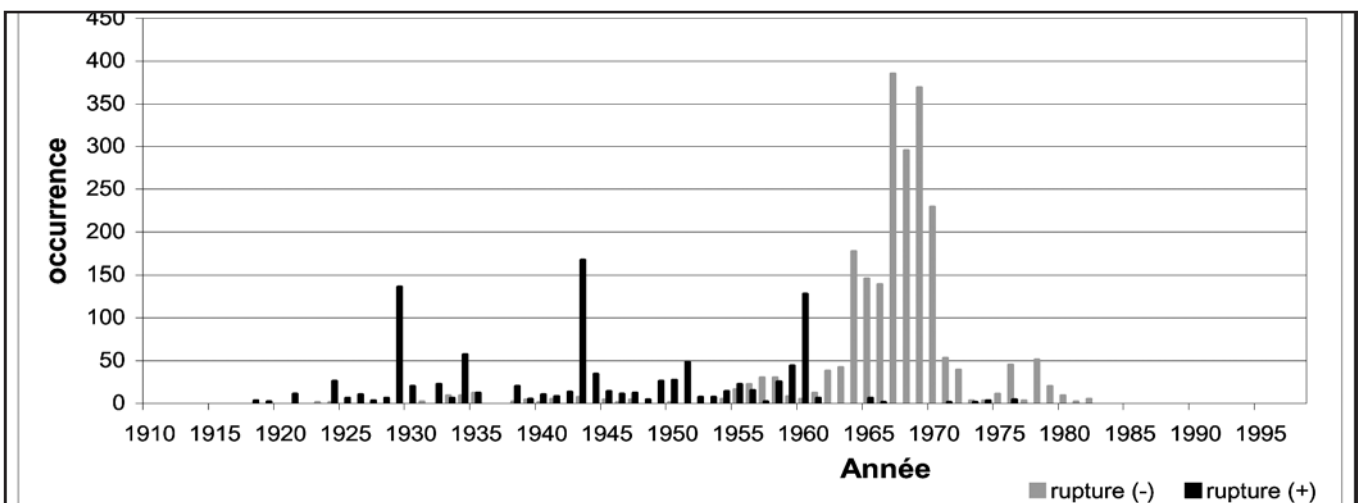


Figure 1 : occurrences des dates de rupture - résultats du test de Pettitt au seuil d'erreur de 10%

Procédure de segmentation de séries hydrométéorologiques

Cette méthode consiste à 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.

D'après les auteurs (Hubert *et al.*, 1989), cette procédure de segmentation peut être regardée comme un test de stationnarité. "La série étudiée est stationnaire" constitue l'hypothèse nulle de ce test. La stationnarité est en rapport avec la durée des observations. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, alors l'hypothèse nulle est acceptée. Aucun niveau de signification n'a été attribué à ce test.

RÉSULTATS

Regard critique sur les résultats obtenus

Avant d'aller au-delà, il nous

semble nécessaire de faire une critique des données utilisées et des résultats obtenus. Les premières installations de postes pluviométriques remontent en Afrique au milieu du XIX^{ème} siècle mais pendant de nombreuses décennies, ces postes ont été très peu nombreux. New *et al.* (2000) montre qu'à partir de 1920, l'Afrique de l'Ouest leur semble suffisamment bien couverte (le centre d'une maille de $0.5^\circ * 0.5^\circ$ est à moins de 450 kms d'une station de mesure). Pour l'Afrique Centrale, il faut attendre 1930, voire 1940 (vers 1950 sur le Congo). Donc, il est raisonnable de penser que des particularismes régionaux pluviométriques peuvent être lissés avant 1920 en Afrique de l'Ouest et avant 1940 en Afrique Centrale.

A ce propos, dans la bibliographie sur l'Afrique, il est fait souvent état d'une sécheresse sévère qui serait survenue vers 1913 et qui aurait touché des stations du Sénégal, Burkina Faso, Niger, Togo et Côte d'Ivoire. Elle n'est pas mise en évidence sur les grilles du CRU ; cela étant probablement lié à une couverture

lacunaire de la zone par des stations de mesure.

Test de Pettitt

Nous avons choisi de représenter les résultats du test statistiquement significatifs (resp. discernables) au seuil de signification (resp. seuil d'erreur) de 10%.

La figure 1 représente les occurrences des années de rupture en faisant la part des ruptures dues à une augmentation brutale ou dues à une diminution brutale de la moyenne des séries de pluviométrie annuelle de part et d'autre de la date de rupture.

Au cours du siècle, 4 repères apparaissent : les années 1929, 1943, 1960 et la période 1964-1970. Pour les 3 premières citées, le changement observé est une augmentation brutale de la moyenne de la pluviométrie annuelle que l'on enregistre sur 100 à 150 cellules. Pour la période 1964-1970, on observe une diminution brutale de la pluviométrie annuelle sur plus de 1 700 cellules, soit un nombre environ 15 fois plus élevé. Cela confir-

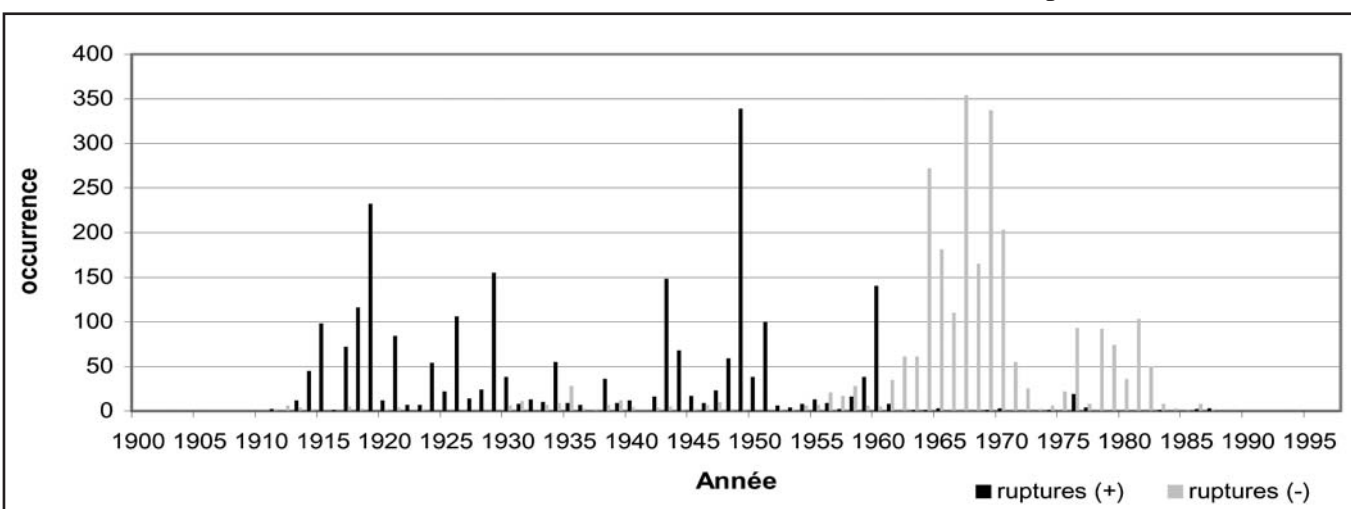


Figure 2 - occurrences des dates de rupture - résultats de la procédure de segmentation

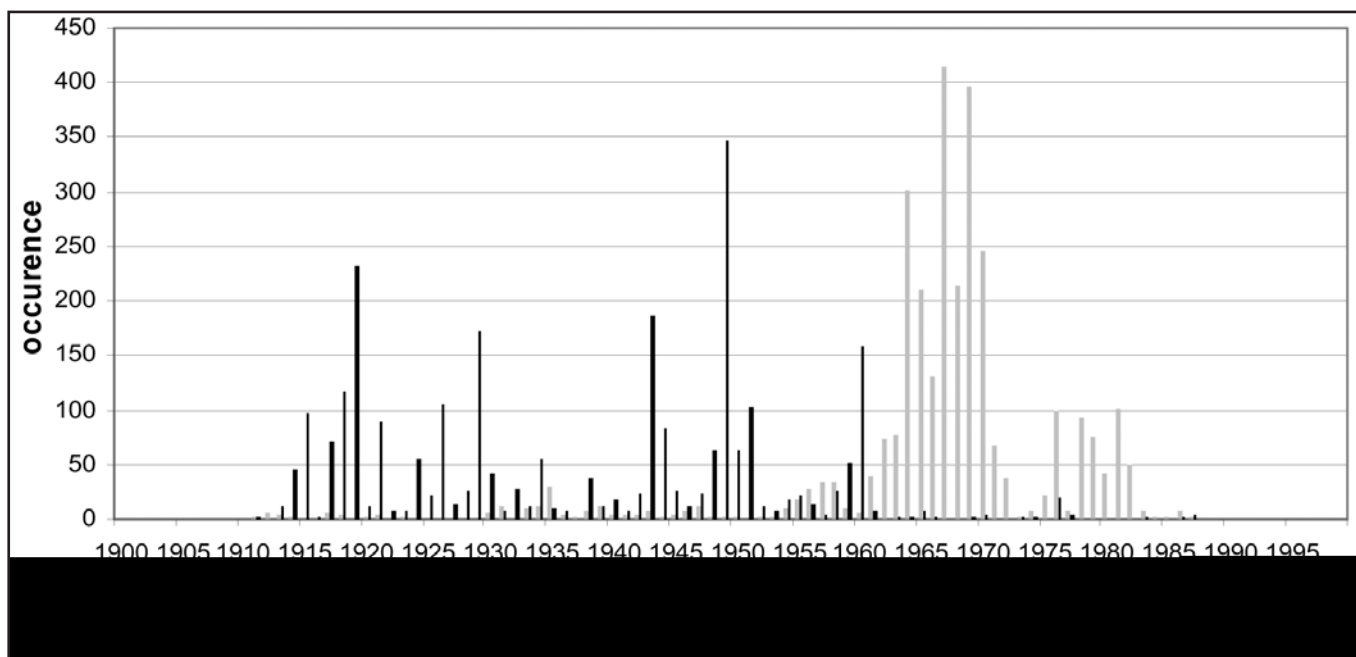


Figure 3 : occurrence des dates de rupture - résultats du test de Pettitt (seuil d'erreur = 10%) et de la procédure de segmentation

me bien le caractère exceptionnel du changement climatique qu'ont connu certaines zones de l'Afrique.

Les variations pluviométriques observées autour des années 1929, 1943 et 1960 touchent essentiellement la partie équatoriale de notre zone d'étude. La variation pluviométrique autour de la période 1964-1970 touche essentiellement la partie septentrionale de notre zone d'étude. L'hémisphère sud a connu globalement une augmentation de sa pluviométrie annuelle au cours de ce siècle. C'est l'inverse pour l'hémisphère nord.

Procédure de segmentation de séries

La figure 2 représente les occurrences des années de rupture en faisant la part des ruptures dues à une augmentation brutale ou

dues à une diminution brutale de la moyenne des séries de pluviométrie annuelle de part et d'autre de la date de rupture. Aux dates ou périodes de rupture détectées par le test de Pettitt, s'ajoutent d'autres dates de ruptures comme 1919, 1926 et 1949. Il semble que ces dates ou périodes de rupture sont distinctes des précédentes. Remarquons que la procédure donne des résultats qui sont plus répartis temporellement mais comme il est impossible d'attribuer à la méthode un seuil d'erreur, il est difficile d'en conclure si cette méthode est plus sensible ou non que le test de Pettitt.

SYNTHÈSE

Au cours du XXème siècle, sur les 5573 cellules que contient la fenêtre d'étude, au seuil d'erreur de 10%, le test de Pettitt a mis en évidence 1 rupture sur 3250

cellules. Pour sa part, la procédure de segmentation des séries a mis en évidence 1 ou plusieurs ruptures sur 3452 cellules. En croisant les résultats des 2 procédures, on peut identifier 3671 cellules où au moins 1 modification a été détectée. Les résultats de l'application des 2 méthodes sur l'ensemble des cellules de la zone ne diffèrent que sur environ 15% des cellules : pour 839 cellules, les dates de modification diffèrent de plus de 5 ans ; pour $\frac{3}{4}$ de ces cellules, un des tests n'a pas mis en évidence de changement. Ces différences sont liées à la sensibilité de chacune des méthodes et au fait que les seuils d'erreur associés aux 2 procédures diffèrent.

Les tests mettent en évidence 6 modifications nettes de la pluviométrie annuelle (figure 3) : vers 1919 (à la remarque près faite plus haut), vers 1929 (idem), vers 1943 (idem), vers 1949 et vers 1960 qui se traduisent par une augmentation de la pluvio-

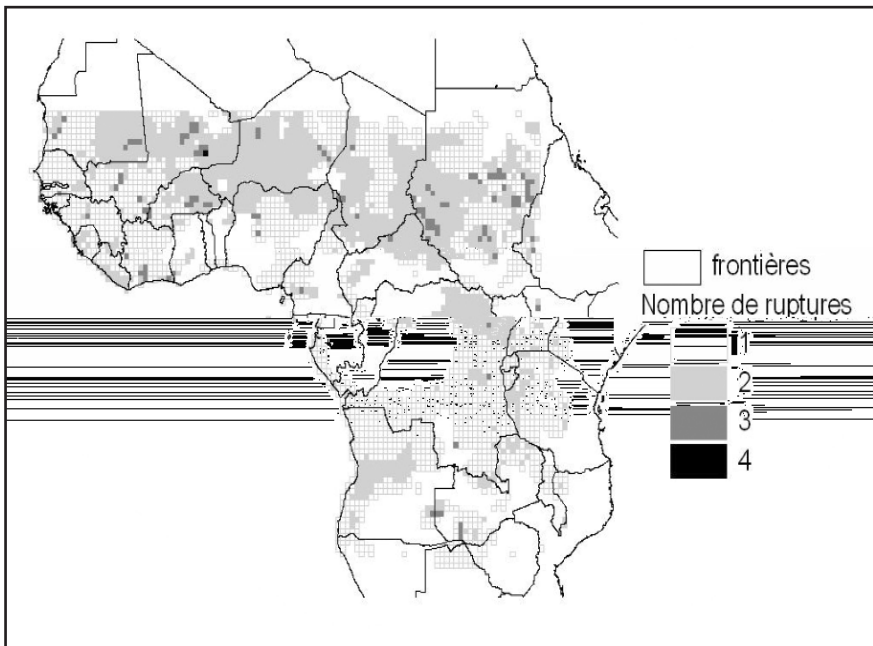


Figure 4 : nombre de ruptures détectées par le test de Pettitt (seuil d'erreur = 10%) et la procédure de segmentation

métrie annuelle ; à la fin des années 1960 qui se traduit par une diminution de la pluviométrie. Il est intéressant de noter que les 5 premières semblent assez ponctuelles dans le temps alors que la dernière apparaît comme plus étalée dans le temps.

Les modifications climatiques ont pu être nombreuses et n'ont pas eu les mêmes emprises comme le montrent les figures 4 et 5 :

- Dans la majeure partie des cas, aucune, 1 ou 2 ruptures ont été mises en évidence.
- Il est probable que les modifications observées en 1943 et 1949 résultent du même phénomène car les zones touchées sont voisines.
- En Afrique Centrale, les modifications les plus importantes sont survenues au cours de la première moitié du siècle avec une augmentation de la pluviométrie annuelle. Toutefois, la grande cuvette d'Afrique

Centrale n'a connu aucune modification significative.

- En Afrique de l'Ouest, la modification la plus significative est une diminution de la pluviométrie que l'on y enregistre depuis la fin des années 1960 et qui est très marquée. Elle a de plus une étendue qui ne semble pas avoir eu d'équivalent au cours du XXème siècle. Les pays comme le Ghana, le Togo, le Bénin et la partie maritime du Nigeria n'ont connu aucun changement notable.

- L'Afrique sahélienne a été la plus sujette à de nombreux changements au cours du siècle : dans son ensemble, elle a subi une augmentation de la pluviométrie vers 1940 puis une diminution vers 1970 ; sa partie centrale a subi une augmentation de la pluviométrie vers 1919 puis une diminution vers 1970

La figure 6 reporte les variations relatives de pluviométrie annuelle entre le début des années 40 et

des années 90, période où il nous semble sensé de comparer la pluviométrie annuelle. Il apparaît que la pluviométrie annuelle a subi une diminution nette en Afrique de l'Ouest, au " carrefour " du Tchad - Centrafrique - Soudan et au Soudan. Le nord de l'Angola et l'est de l'Aïr ont connu une augmentation de la pluviométrie annuelle. Ailleurs, la pluviométrie n'a pas connu de modifications relatives importantes.

En ce qui concerne l'Afrique de l'Ouest que nous connaissons mieux, les régions de la façade maritime du Sénégal (au nord de la Gambie) et d'une grande partie de la Mauritanie, du nord-ouest de la Côte d'Ivoire, et d'une bande qui s'étend de l'aval du delta central du Niger au nord du bassin du fleuve Sénégal ont une pluviométrie annuelle qui a diminué de 25 à 50% en moyenne. Les autres régions n'ont guère connu de changement global sur ces 60 dernières années.

CONCLUSION

Ce premier travail se base sur un ensemble de données qui est critiquable comme nous l'avons évoqué plus haut et les travaux qui suivront s'évertueront à combler ces lacunes ou défauts. Toutefois, il nous permet de mieux cerner ce qu'il s'est passé au cours du XXème siècle, en ce qui concerne la pluviométrie annuelle.

L'Afrique de l'Ouest et Centrale au cours du siècle dernier a connu des alternances de saisons sèches et humides qui ont eu une ampleur spatiale et temporelle

très variable. Au nord de l'équateur, les changements climatiques les plus nets sont des sécheresses alors qu'au sud de l'équateur, ce sont des épisodes plus humides. Au cours de la première moitié du siècle, les modifications ont eu tendance à correspondre à une augmentation de la pluviométrie annuelle alors que la tendance s'est inversée après, avec en point d'orgue la fin des années 1960 ■

Bibliographie

Hubert P., Carbonnel J.P., Chauouche A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de Afrique de l'Ouest. J. Hydrol. 110, 349-367.

Lubès H., Masson J.M., Paturol J.E., Servat E., 1998. Variabilité climatique et statistique. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Rev. Sci. Eau 11(3), 383-408.

New M., Hulme M., Jones P., 1999. Representing twentieth century space-time climate variability. Part I: development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. J. Clim. 12(3), 829-856.

New M., Hulme M., Jones P., 2000. Representing twentieth century space-time climate variability. Part II: development of a 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. J. Clim. 13(13), 2217-2238.

Pettitt A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist. 28(2), 126-135.

Servat E., Paturol J.E., Kouame B., Travaglio M., Ouédraogo M., Boyer J.F., Lubes-Niel H., Fristch J.M., Masson J.M., Marieu B., 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In: Water Resources Variability in Africa during the XXth Century (ed. by E.Servat, D. Hughes, J.M. Fritsch & M. Hulme) (Proc. Abidjan'98 Conference), 323-337, IAHS Publ. no. 252.

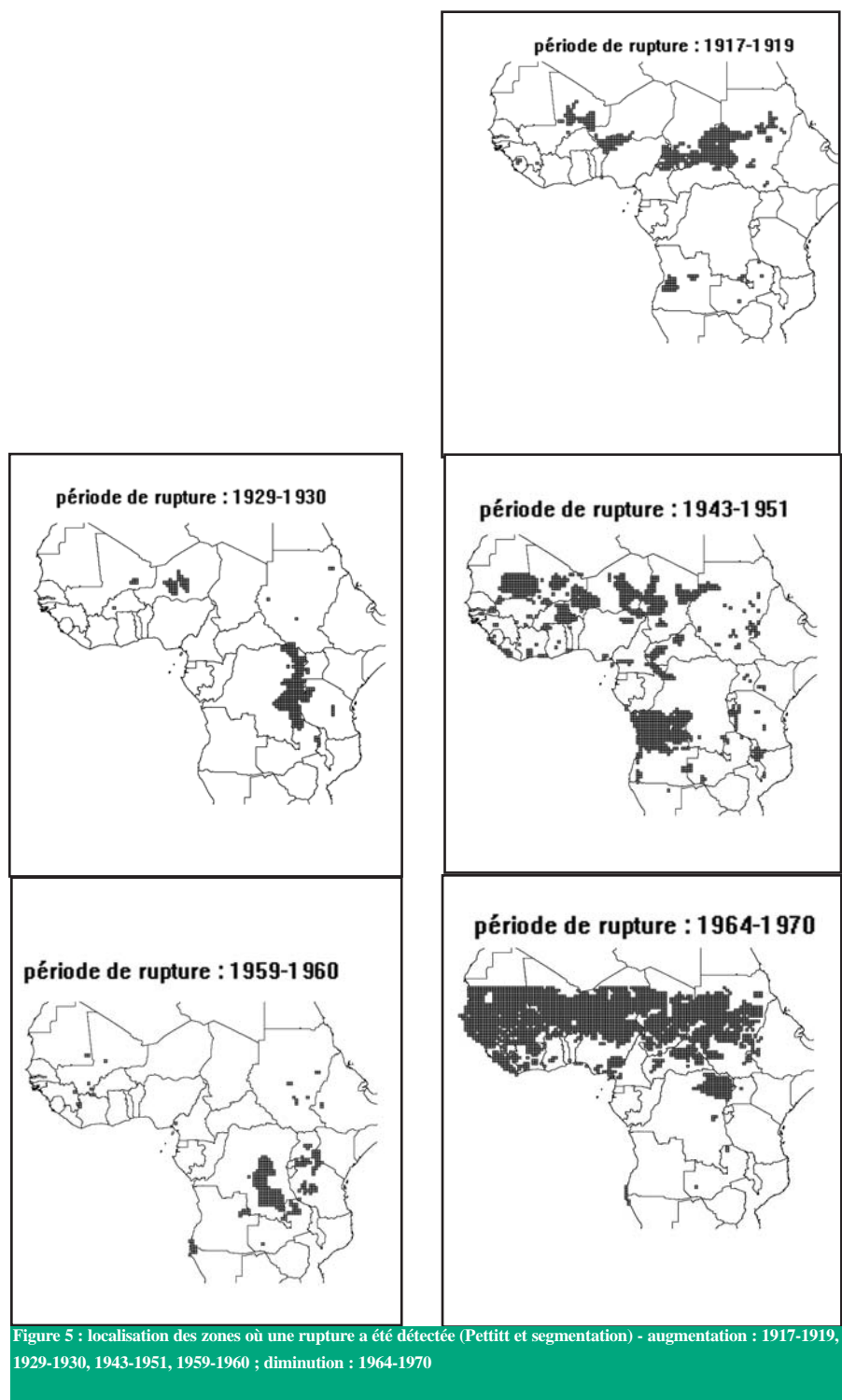


Figure 5 : localisation des zones où une rupture a été détectée (Pettitt et segmentation) - augmentation : 1917-1919, 1929-1930, 1943-1951, 1959-1960 ; diminution : 1964-1970

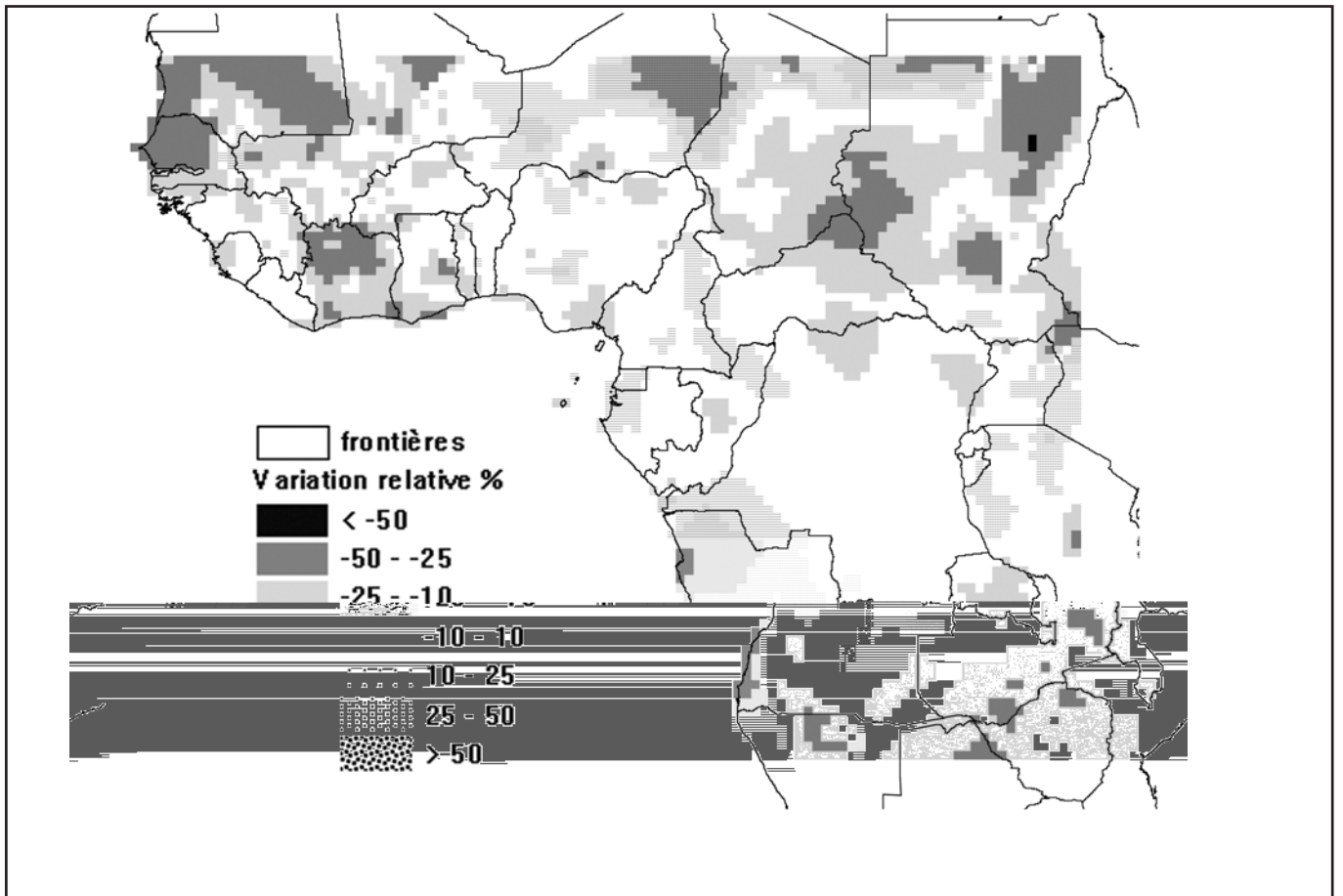


Figure 6 : variation relative de la pluviométrie annuelle entre le début des années 40 et 90