

République de Côte d'Ivoire

Union - Discipline - Travail

UNIVERSITE DE COCODY



UFR SCIENCES DE L'HOMME
ET DE LA SOCIÉTÉ
DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE

ANTENNE HYDROLOGIQUE
ABIDJAN

Thèse n° :108.....

Thèse
de Doctorat 3^e cycle en Géographie

*Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le
sud forestier ivoirien : recherche de corrélations entre
les variables climatiques et les variables liées aux
activités anthropiques*

Présentée et soutenue publiquement le 14 / 11 / 1997

Par

BROU Yao Téléspore

Sous la direction de :

HAUHOUOT Asseypo, Professeur Titulaire des Universités

Composition du Jury :

Président : HAUHOUOT Asseypo, Professeur Titulaire des Universités

Rapporteurs : Eric Servat, Chargé de recherche Hydrologue à l'ORSTOM
Koli Bi Zuéli, Maître-Assistant en Géographie

Examineurs : N'guettia Yao, Ph.D en Bioclimatologie
Koby Assa, Docteur d'Etat en Géographie

A la mémoire de mon père BROU Brou Joseph

trop tôt disparu

En hommage à ma mère
à ma petite soeur Brou aya,
et à Komenan Brou Michel

AVANT-PROPOS

Il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont oeuvré scientifiquement, matériellement, moralement et administrativement pour faire aboutir cette recherche.

Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde reconnaissance à M. Hauhouot Asseypo, Professeur titulaire des universités et Président de l'Université de Cocody qui préside mon jury. Il a accepté mon inscription en thèse, suscité et encouragé ce travail. La gratitude et l'admiration que je lui porte sont très grandes.

Je remercie M. Koli Bi Zuéli, Maître-Assistant au département de géographie de l'Université de Cocody et Responsable du laboratoire d'analyses des milieux naturels (LAMINAT). Il a assuré un suivi effectif de ce travail. Il a lu et relu mes manuscrits. Ses remarques judicieuses ont été une aide précieuse. Pour la bienveillance qu'il m'a toujours témoignée, je tiens à l'assurer de ma profonde reconnaissance.

Je souhaiterais exprimer ma profonde gratitude à M. Jean-Marie Fritsch, Directeur de Recherche à l'ORSTOM. Il m'a fait bénéficier d'un appui financier efficace de l'ORSTOM, appui sans lequel cette thèse n'aurait probablement pas pu s'achever.

Je suis particulièrement reconnaissant à celui qui a suivi pas à pas le déroulement de ce long chemin, M. Eric Servat, Chargé de recherche à l'ORSTOM et Responsable de l'Antenne Hydrologique d'Abidjan. Son encadrement technique au quotidien a contribué à créer les conditions indispensables à la réalisation de cette thèse. Remerciements et reconnaissances ne peuvent traduire exactement les sentiments que j'éprouve à l'égard de M. Emmanuel Paturel, Chargé de recherche à l'ORSTOM, qui a manifesté tout au long de ce travail tant d'attention et de délicatesse. Je suis redevable à M. Kouamé Brou, chargé de recherche au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et de l'Innovation Technologique de Côte d'Ivoire, avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler. Je n'oublierai pas d'exprimer ma gratitude à M. Jean-François Boyer et Mme Boyer, pour les services diverses qu'ils ont pu accomplir pour moi.

Je remercie M. N'guettia Yao, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie d'Abidjan (ENSA) d'avoir accepté de faire partie de ce jury de cette thèse. Il a entretenu un dialogue attentif depuis le début de ce travail. Je remercie également M. Kobi Assa Professeur au département de géographie d'avoir accepté d'être membre du jury. Pour l'enthousiasme et la disponibilité qu'il a manifestés devant ce travail, je lui dis merci.

J'ai bénéficié des membres de l'Antenne Hydrologique de l'ORSTOM d'Abidjan d'un accueil et d'un soutien amical. Je voudrais les remercier. Il s'agit de Aka Olivier et de Ouedraogo Mahaman, tous deux doctorants, auprès de qui je trouvais beaucoup d'explications en statistiques et beaucoup de sympathies. J'exprime aussi ma reconnaissance à M. Diallo qui acceptait volontiers chaque fois que besoin en était de m'apporter une aide. Je remercie également le vieux Dibi Konan, Blaise et Vincent pour leur sympathie et leur courtoisie.

Je rends un hommage particulier à tous les Maîtres, qui, avec M Jean-Charles Filleron, Professeur à l'Université Paul Valéry de Montpellier, m'ont formé aux disciplines de la géographie physique: Feu Pham Din Thieu enseignant de climatologie au département de géographie; Kra Yao, Maître-Assistant au département de géographie, Tiyégbo Touré assistant au département de géographie, Srohourou Bernard Ingénieur hydro-météo à l'ANAM. Je pense aussi à mes amis de l'IGT, principalement Anho Paul, Kouadio Bertin, Coulibaly Siendou, Kablan, Hauhaut Celestin, Apling Germain, Djué N'guessan et Emile.

Je voudrais enfin remercier tous mes parents, ainsi que mes compagnons de tous les jours; spécialement Komenan Brou, Kokobo Joseph, Andoli N'dri, Andoli Kouamé, Kacou Innocent, Brou Hervé, Odo Didier, Dibi Pauline, Diarra Lallah Marie-France, Coulibaly Brakissa, Kouadio Bertin, Brou Junior, Yao Raphaël, Antoine Kotoklo, N'gouandi Serge, N'guié Yapo Jean Baptiste, Adou Tahua et Lialli Pascal, Niango Abaca, Henri Pierre, Tra Bi Boniface et Ballé Louis.

ABSTRACT

The main objective of the study is to estimate rain variability in the forest covered part of the South of Ivory Coast and its interactions with the environment. More specifically, the analysis was aimed at researching relationships between local climatic transformations and changes both in agricultural practices and population for the last forty years.

The climatic study focused on the rainfall amounts and the number of rainy days on monthly and yearly bases. It is based first, on a set of methods used for interpolating and mapping data, and second, on statistical methods to detect breaks in time series. It was noted that during the last four decades the annual precipitation decreased significantly. This translated first, into a shift ,occurring during the transition period extending from 1966 to 1975, of the interannual mean values in the time series , second, into the shifting towards the South-West of the isohyets.

The analysis of the evolution of both cultural practices and demography allowed to highlight the pressure put upon the wet dense forest of Ivory Coast by rural populations. Actually, in 1955 the forest areas not subjected to agriculture covered 8.3 million hectares whereas in 1993 they covered only 1.5 million. The transformation of the forest areas into farmlands was made in three steps. First, the farmers migration to cultivate cocoa and coffee was oriented towards the South-East and Centre-East (the old cocoa loop), second, towards the Centre-East, and third, towards the South-East (pioneer front).

From the observations made during the last decades it emerges a certain parallelism between the great migrations of the agricultural activities and the changes of the rain patterns. In the same way, the shifting in cocoa and coffee production areas follows the shifting of the isohyets from the Centre-East towards both the Centre-West and the South-West of Ivory Coast.

The clearing of the dense primary forest for cultivation, whose characteristics and aspects are quite different, modifies the exchanges between vegetation and atmosphere. It was calculated that the albedo (the energy retroceded to the atmosphere) went from 12 % in 1955 to 15.5 % after 1970, which means that the energy available for evapotranspiration (recycling of rain water) decreased, thus entailing in turn a decrease of the land originated atmospheric vapour.

The study shows that forest clearing, the increase of agricultural production and the decrease of amounts of precipitation are phenomena which are, very likely, linked. But it is still difficult to differentiate between the causes and the effects.

SOMMAIRE

AVANT PROPOS

INTRODUCTION GENERALE

1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE

2. ETAT DES LIEUX ET PROBLEMATIQUE

3. METHODE GÉNÉRALE ET PLAN DE L'ETUDE

1. CONDITIONS INFLUENÇANT LES PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST ET APERÇU SUR LE CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA CÔTE D'IVOIRE FORESTIERE.....21

1.1 LES CONDITIONS INFLUENÇANT LES PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST22

1.2 LES GRANDS TRAITES DU MILIEU PHYSIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DE LA ZONE FORESTIERE IVOIRIENNE.....37

1.3 CONCLUSION.....46

2. ANALYSE DES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES.....47

2.1 CRITIQUE ET CARACTERISATION DES OBSERVATIONS51

2.2 EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN71

2.3 CONCLUSION.....116

3. LE SUD FORESTIER IVOIRIEN ET SA TRANSFORMATION PAR LES ACTIVITES HUMAINES118

3.1 DESCRIPTION DU PAYSAGE FORESTIER NATUREL120

3.2 DYNAMIQUE AGRICOLE ET TRANSFORMATION DU MILIEU124

3.3 CONCLUSION.....154

4. RECHERCHE DES INTERACTIONS ENTRE L'EVOLUTION DU COUVERT FORESTIER ET LA VARIABILITE CLIMATIQUE ENTRE 1950 ET 1993.....155

4.1 ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DES ACTIVITES AGRICOLES ET CELLE DE LA PLUVIOMETRIE.....157

4.2 ESSAI D'ANALYSE DES IMPLICATIONS CLIMATIQUES DE L'ANTHROPISATION DU MILIEU FORESTIER IVOIRIEN163

4.3 CONCLUSION.....187

CONCLUSION GENERALE

RESUME

L'objectif principal de l'étude est d'évaluer la variabilité pluviométrique dans le sud forestier ivoirien et ses interactions avec l'environnement. Plus spécifiquement, le travail a suivi une voie d'analyse orientée vers la recherche de relations entre les transformations climatiques locales et les dynamiques agricoles et démographiques, au cours des 40 dernières années.

L'étude climatique a porté sur les précipitations et les nombres de jours de pluie au pas de temps annuel et mensuel. Elle repose sur un ensemble de méthodes d'interpolation et de représentation cartographique des résultats ainsi que sur des méthodes statistiques de détection de ruptures dans les séries chronologiques. On a pu ainsi noter qu'au cours des quatre dernières décennies, la pluviométrie annuelle a baissé de façon importante. Cela s'est traduit dans les séries pluviométriques, par un changement de moyenne au cours d'une période charnière 1966-1975, et par un glissement des isohyètes vers le sud-ouest.

L'analyse de l'évolution des activités agricoles et démographiques a permis de mettre en évidence la pression exercée par les populations rurales sur les massifs de forêts denses humides de la Côte d'Ivoire. En effet entre 1955 et 1993, les espaces forestiers non soumis à l'agriculture sont passés de 8,3 à 1,5 millions d'hectares. La mise en culture des terres s'est faite en trois étapes. La migration des paysans pour la culture du café et du cacao est orientée d'abord vers le sud-est et le centre-est (ancienne boucle du cacao), ensuite vers le centre ouest et enfin vers le sud-ouest (front pionnier).

Des observations faites sur les dernières décennies, il ressort un certain parallélisme: -les grands mouvements migratoires de l'histoire de l'activité agricole se superposent au schéma de l'évolution de la pluviométrie; -le déplacement de la production cacaoyère et caféière suit le glissement des isohyètes au cours des dernières décennies, du centre-est vers le centre ouest et le sud-ouest de la Côte d'Ivoire.

Le remplacement de la forêt dense primaire par des cultures de caractéristiques et de physionomies différentes, modifient les échanges végétation/atmosphère. On a calculé en

effet que l'albédo (énergie rétrocedée à l'atmosphère) est passé de 12% en 1955 à 15,5% après 1970, période d'expansion de la déforestation. Ce qui signifie que l'énergie disponible pour l'évapotranspiration (recyclage des eaux de pluie) a baissé, donc une diminution des apports continentaux de vapeur d'eau à l'atmosphère.

L'étude montre en définitive que les phénomènes de déforestation, de densification de la production agricole et de diminution de la pluviométrie sont très certainement liés. Mais ces liens de causes à effet ne sont pas tous clairement discernables.

INTRODUCTION

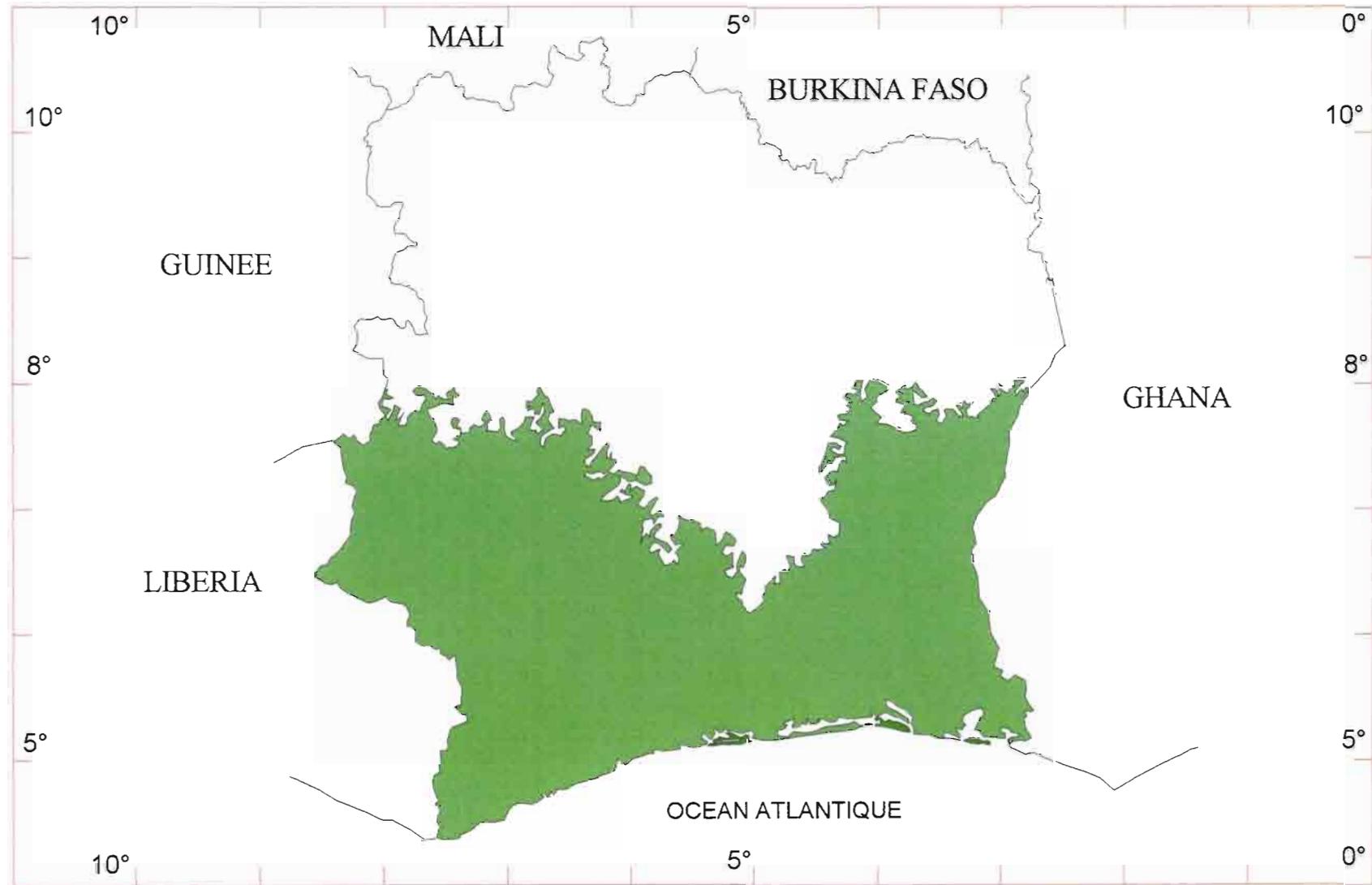
1- CADRE GENERAL DE L'ETUDE

L'Afrique de l'ouest comme beaucoup d'autres régions du continent africain, demeure largement tributaire des ressources agricoles. A ce titre, elle est très sensible aux aléas climatiques. Ces derniers se manifestent nettement au niveau de la pluviométrie à l'inverse, par exemple, de la variabilité thermique qui reste limitée. Une connaissance approfondie de la variabilité pluviométrique et de ses interactions avec l'environnement est donc nécessaire pour mieux gérer les ressources en eau. Dans cette perspective, l'Antenne Hydrologique de l'ORSTOM, à travers le programme ICCARE (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en AfRique de l'ouest et centrale non sahélienne) a entrepris une série de recherches ayant pour objet l'identification d'une éventuelle fluctuation climatique et ses conséquences sur les ressources en eau.

C'est dans le cadre de ce programme (ORSTOM-ICCARE) que s'inscrit le travail qui est présenté ici. **Le thème en est l'étude de la variabilité pluviométrique dans le sud forestier ivoirien et l'essai de mise en évidence des relations pouvant exister entre cette variabilité et les activités humaines (déforestation et déboisement).** Toutefois, il importe de mentionner que cette question des liens potentiels entre activités anthropiques et variabilité climatique s'est révélée délicate à traiter. Des observations plus nombreuses, de nature différente et complémentaire, auraient, à n'en pas douter, permis une meilleure compréhension des phénomènes. Cela n'enlève rien, cependant, à la consistance des relations temporelles et spatiales qui ont été trouvées dans le cadre de ce travail.

Le sud forestier ivoirien, espace de notre étude s'étend sur la partie méridionale de la Côte d'Ivoire. Sa limite nord correspond à la zone de savane préforestière, communément appelée "V Baoulé", localisée grossièrement entre les latitudes 7° et 8° nord dans ses branches ouest et est, et descendant jusqu'au parallèle 6° 2' dans sa partie centrale (*figure 1*).

Figure 1 : Situation du sud forestier ivoirien



Source : Guillaumet in Avenard et al (1971)

Echelle : 1 cm = 60 Km

2- ETAT DES LIEUX ET PROBLEMATIQUE

Les crises climatiques qui se sont succédées dans le temps constituent un phénomène marquant de l'histoire climatique mondiale. Jacquet (1990) rapporte qu'à différentes échelles de temps, le monde a connu des alternances de périodes chaudes et froides.

La variabilité de la pluviosité est l'une des conséquences qui accompagnent ces crises climatiques. Elle retient de plus en plus l'attention de beaucoup de chercheurs, sans doute parce qu'elle entretient des rapports étroits avec les éléments du milieu naturel, éléments régulièrement façonnés par les pratiques humaines.

Si on se réfère à Yao (1989), on peut dire que l'eau constitue en Afrique tropicale le facteur le plus limitant pour l'agriculture. Par conséquent tout changement dans la pluviosité et l'évaporation a des incidences certaines sur le développement agricole. A l'image de toutes les régions tropicales, la pluie constitue ainsi dans le sud forestier ivoirien la variable climatique la plus significative, car les saisons y sont déterminées en fonction des hauteurs de précipitations.

Il ressort de ce qui précède que l'étude de la pluviométrie dans une zone comme le sud forestier ivoirien s'impose. Une telle étude exige que l'on s'intéresse surtout aux variations spatiales et temporelles de cette variable climatique, ainsi qu'à la part prise par les facteurs anthropiques et environnementaux dans sa dynamique.

2.1 Variation spatiale de la pluviométrie

Leroux (1983, 1988), sur les limites des aires pluviométriques en Afrique tropicale indique que le seuil de 1500 mm se révèle apte à délimiter l'Afrique tropicale pluvieuse. En effet bien que s'individualisent des noyaux plus arrosés, l'essentiel des régions capables d'entretenir une couverture forestière sempervirente dispose de hauteurs de pluie supérieures à 1500 mm.

Cette dernière considération concerne bien le sud forestier ivoirien, dans la mesure où la quasi-totalité des études menées sur la Côte d'Ivoire intègre cet espace dans cette aire fortement arrosée. Il en est ainsi des tableaux climatologiques publiés par l'ANAM (Agence Nationale de l'Aviation civile et de la Météorologie) qui situent jusque-là le sud forestier ivoirien comme une région dotée d'un volume appréciable de précipitations annuelles : 1500 à 2300 mm par an. Gourou (1978) s'est attaché quant à lui à montrer la variation spatiale des hauteurs de pluie en Afrique occidentale. Il note l'abondance des pluies dans la région équatoriale et leur diminution en direction des tropiques. La quantité totale des pluies est d'autant plus importante que la saison des pluies est longue.

Dans une étude semblable réalisée en Côte d'Ivoire, et publiée par l'ORSTOM (1978), des auteurs font état de l'existence de gradients pluviométriques nord-sud et est-ouest. Ceux-ci montrent qu'en même temps que la chaleur s'accroît du sud au nord et que s'élargit l'amplitude des variations, on passe progressivement à des ambiances moins humides. Bella et al. (1988) font remarquer que l'orientation de ce gradient pluviométrique, est fonction de la période de l'année (tenant compte des saisons). Ils observent alors que les quantités précipitées ont une distribution spatiale globalement décroissante du sud au nord du 15 décembre au 31 juillet et du début du mois d'octobre au 15 décembre. Par contre, du 15 juillet au 30 septembre, cette distribution devient croissante lorsqu'on va du sud au nord du pays. Ces analyses révèlent la présence d'un deuxième gradient ouest-est, qui relève presque partout de quelques centaines de millimètres les chutes annuelles des confins occidentaux de la Côte d'Ivoire.

Les composantes majeures du gradient ont été dégagées par Van Rompaey (1993). Il définit le gradient comme constituant une transition graduelle dans l'espace. Son étude est fondée sur la procédure standard, en climatologie, de traitement des données sur une figure par interpolation des isohyètes, en utilisant toutes les données. Selon lui, ce gradient se caractérise par :

- la diminution des hauteurs totales de pluies de la côte libérienne à l'intérieur du pays;

- le changement du coefficient de variation (c'est-à-dire la variabilité dans le temps) de la pluviométrie annuelle. Ce coefficient est important (20 à 25%) sur la côte, plus faible (15 à 20%) dans le sud forestier ivoirien et se situe à 20% et même plus par endroit, (50%) dans la savane et la zone sahélienne;
- le changement dans la distribution des saisons passant, de bimodal en bordure du Golfe de Guinée à unimodal à l'intérieur.

Parmi les différents aspects de la pluviosité, les travaux de Molinier (1984), sur les sécheresses du nordest brésilien montrent que, la répartition annuelle des précipitations permet de mieux caractériser une région pluviométrique que les hauteurs précipitées annuellement.

L'ASECNA (1979) étudie pour sa part le climat de la Côte d'Ivoire à partir de régions géographiques présentant les mêmes caractéristiques climatiques. Cette étude tient compte du régime saisonnier et donc, en définitive du régime pluviométrique. Sur la base de ce principe, il est possible de distinguer :

- la zone climatique sud caractérisée par quatre saisons et qui présente des précipitations abondantes;
- la zone climatique centre (transition) et nord à deux saisons.

Bella et al. (1988) utilisent de préférence la notion de province climatique. Leurs analyses reposent sur le bilan de tous les aspects de la pluviosité en Côte d'Ivoire : cartographie de la répartition des précipitations annuelles, des précipitations aux saisons les plus significatives, fréquence des grosses averses.

D'autres méthodes existent, qui permettent de définir et de caractériser des régions pluviométriques. Il s'agit notamment de la méthode du vecteur régional mise au point par Hiez et al. (1977). Cette méthode a permis de dégager les grands traits des régimes des précipitations au Brésil et leurs variations sous l'aspect spatial mais aussi et surtout sous l'aspect temporel. Le vecteur régional calculé est utilisé comme valeur de référence.

En somme, on peut noter que ces travaux donnent des informations importantes pour la connaissance des différents aspects de la pluviosité en Afrique tropicale en général et dans le sud forestier ivoirien en particulier. Un des buts principaux de ces études est d'offrir une vision synthétique de la pluviométrie sous forme d'indications régionales et de typologie. Des régions sont définies grâce à des analyses simples ou multivariées. Par exemple Eldin (1971) fait la classification climatologique en se basant sur le "déficit hydrique climatique cumulé", qui cumule les déficits hydriques calculés en fonction de la hauteur de pluie mensuelle moins l'évaporation sur les mois consécutifs de saison sèche. Bella et al. (1988) ont fait quant à eux le découpage de la Côte d'Ivoire à partir de l'analyse en composante principale. Les études réalisées insistent surtout sur l'abondance des quantités d'eau précipitées et classent donc, sur cette base, le sud forestier ivoirien parmi les aires les plus arrosées du monde tropical africain. Un gradient pluviométrique est aussi mis en évidence qui se manifeste par la diminution des hauteurs de pluies de la côte vers l'intérieur et d'ouest en est.

Le problème qui se pose cependant est le suivant : par rapport au milieu forestier ivoirien, les études réalisées sont trop globales et par conséquent, ne mettent pas en évidence tous les détails relatifs à la distribution spatiale de la pluviométrie. La plupart des publications sont en effet effectuées dans le cadre globale d'étude couvrant toute la Côte d'Ivoire (ASECNA 1979; Bella et al., 1988), et considèrent de ce fait la zone d'étude comme une même zone climatique, avec quelques légères variations. Or à l'échelle locale ou du microclimat, des différences spatiales existent certainement qui doivent être notifiées.

Par ailleurs, la situation pluviométrique telle que présentée dans ces études se réfère à l'état moyen du climat (d'une période) fait sur une surface donnée. Le climat est alors identifié par la structure des moyennes statistiques de paramètres indicateurs de la pluviosité. Or avec le temps ces moyennes sont vite dépassées. Par exemple les isohyètes présentés par Eldin (1971) dans l'Atlas de la Côte d'Ivoire sont basés sur des séries d'observations des années 1945 à 1965. L'ANAM (1987) établit une figure à partir des données des années 1950 à 1980. Une mise à jour des conclusions s'impose. Cela est d'autant plus nécessaire que les études sur la question sont rares.

La planification du développement de la région forestière nécessiterait, pour être bien fondée, une connaissance approfondie et actualisée de ces paramètres, facteurs déterminants des activités économiques dans cette région qui vit aujourd'hui et vivra, encore demain, pour l'essentiel, de son agriculture.

Il s'agit donc pour nous de caractériser la répartition spatiale de la pluviométrie du sud forestier ivoirien à partir de la variable hauteur pluviométrique annuelle : cartographie et analyse de la répartition des précipitations annuelles, de la position des isohyètes et de leurs orientations ainsi que des limites des aires pluviométriques (régionalisation).

2.2 Variation temporelle de la pluviométrie

Les études concernant le climat tendent aujourd'hui non plus à décrire un état global d'équilibre, défini par la stationnarité des séries chronologiques, mais à réaliser une analyse à caractère dynamique du système fluide de l'atmosphère régulièrement influencé par son environnement. Sur le plan de la pluviométrie, cette dynamique se traduit par une baisse des quantités de pluies enregistrées depuis plusieurs années, ainsi que par une détérioration de l'alternance des saisons. Beaucoup d'études réalisées dans la zone intertropicale en général et dans le sud de la Côte d'Ivoire en particulier attestent de la validité de cette affirmation.

Ainsi dans une étude effectuée sur les tendances climatiques, Le Borgne (1990) rapporte que peu de pays de l'ouest africain peuvent prétendre avoir totalement échappé à une baisse notable des précipitations ou à une perturbation dans leur répartition saisonnière. L'auteur indique que la Côte d'Ivoire, pays de forêt et de savane arborée, a également été touchée par ces modifications climatiques. Servat et al. (1996) situent globalement le début de ce déficit pluviométrique entre 1965 et 1975. L'intérêt se porte aussi en plus de la durée, sur l'intensité et l'extension géographique de la variabilité pluviométrique actuelle. La baisse de la pluviométrie est alors mise en évidence par la translation, vers le sud, des isohyètes. Le Borgne (1990) a estimé que dans la région sahélienne par exemple la distance parcourue par les isohyètes dans le sens nord-sud est de 200 à 300 km pour

l'isohyète 100 mm, 100 à 150 km pour l'isohyète 500 mm et 100 km pour 1000 mm. Morelle (1983) a fait ce même constat. Ce dernier souligne qu'en règle générale, les isohyètes de cette région se trouvent déplacés en moyenne de 100 à 200 km vers le sud au cours de la sécheresse actuelle.

C'est dans cette même optique que Quincey (1987) a réalisé ses travaux sur le sud forestier ivoirien en utilisant cette fois-ci les déficits hydriques moyens (état de manque en eau des couverts végétaux). Il arrive à la conclusion qu'au cours des dernières décennies, les conditions pluviométriques du sud forestier ivoirien ont considérablement changé. L'étude montre en effet qu'à l'exception de la zone extrême ouest et d'une zone sud-est, le déficit hydrique moyen a augmenté de 200 à 400 mm dans le sud ivoirien entre 1950 et 1987. On peut mentionner aussi qu'au cours des années 70, le "V Baoulé" (zone de transition entre les domaines bioclimatiques Guinéen du sud et Soudanien du nord) s'évase et pénètre vers le sud. Ces résultats confirment ceux obtenus par Servat et al. (1997) sur la période 1950-1994.

De la même façon L'ASECNA (1979), à partir de la comparaison des relevés pluviométriques de 15 années (1961-1975) aux normales pluviométriques calculées sur 30 ans (période 1931-1960) a tiré les conclusions suivantes sur l'évolution de la pluviométrie en Côte d'Ivoire : au cours de la période 1961-1975, la pluviométrie a été "normale" de 1961 à 1969, avec des courbes pluviométriques représentant une grande variation d'une année à l'autre. A partir de 1969, l'amplitude des courbes diminue et les valeurs sont en général nettement inférieures à la normale.

Il faut souligner toutefois que le total pluviométrique n'est pas le seul aspect de la pluviosité susceptible de connaître un changement notable. Dans ce sens Sogbedji (1987) travaillant sur la pluviométrie du Togo méridional montre que contrairement à ce qui est couramment admis, le total pluviométrique annuel n'a pas varié. Selon l'auteur le changement climatique intervenu dans cette région se caractérise par un report sur la grande saison, des pluies de la petite saison. Dans ce cas il y a donc atténuation du régime pluviométrique bimodal vers un régime à tendance unimodale.

Olivry et al. (1991) ont porté quant à eux leur attention sur les variations spatiales de cette tendance à la diminution des hauteurs de pluie en Afrique tropicale. Ils rapportent qu'il existe des nuances spatiales qui doivent être notifiées. Ainsi, affirment-ils que les zones côtières très arrosées, de la Guinée au Nigeria paraissent en phase avec ce qui est observé dans la zone soudano-sahélienne (en valeur absolue, les déficits sont très importants). Plus à l'est, vers l'Afrique centrale, la tendance est d'abord beaucoup moins nette en bordure de l'océan Atlantique puis s'accroît de nouveau vers l'intérieur du continent, sans toutefois retrouver l'ampleur des régions du Golfe de Guinée. Mahé et Citeau (1993) ont indiqué finalement que le déficit diminue en direction de l'équateur pour n'être plus sensible en moyenne interannuelle dans le sud du Gabon et du Congo.

La mise en évidence de la variation spatiale et temporelle de la pluviométrie est basée sur le développement de plusieurs méthodes. On peut ainsi dire avec Bernier (1977) cité par Hubert et Carbonnel (1987) que la stationnarité des séries hydrométéorologiques a beaucoup préoccupé les chercheurs. Ces auteurs se réfèrent dans leurs études à Buishand (1982, 1984) qui a étudié et comparé plusieurs méthodes permettant de tester l'homogénéité des séries chronologiques. Pour lui la sécheresse qui perdure depuis une vingtaine d'années au Sahel d'Afrique de l'ouest amène nécessairement à s'interroger sur la validité des hypothèses relatives à la stationnarité et à l'indépendance qui fondent le calcul des normes hydrologiques et météorologiques. Il arrive à la conclusion que la non stationnarité des séries pluviométriques est admise. Vannisten et al. (1991) ont fait les mêmes réflexions. Pour arriver à ces résultats, ils ont mis au point une nouvelle méthodologie basée sur trois tests différents. Il s'agit :

- du test de Mann-Kendall (proposé par Sneyrr, 1975) qui permet de déceler l'existence d'une unique tendance globale au sein d'une série analysée;
- du test de Lombard (1988), à partir duquel on peut voir si le changement de moyenne au sein d'une série est significatif;
- du test de Pettitt (1979) qui est, par contre, capable d'estimer la position d'un

changement de moyenne dans une série ou sous-série, mais sans pouvoir en isoler plus d'un.

Il existe bien entendu plusieurs autres méthodes permettant de déceler la non stationnarité des séries chronologiques. Molinier et al. (1984) par exemple ont utilisé dans le cas de la région nord-est du Brésil, la moyenne mobile classique pour détecter les tendances et les points de ruptures dans les séries pluviométriques.

Demarée et Nicolis (1990) précisent que cette non stationnarité se traduit principalement par un changement abrupt de la moyenne au sein des séries que par une variation lisse (croissante ou décroissante) des valeurs prises par les événements qui la constituent.

En ce qui concerne l'étude de la sécheresse proprement dite, Mohan et al. (1991) ont proposé une méthode d'approche basée sur l'analyse de ses caractéristiques comme le début, la durée, l'extension et la sévérité. Ceux-ci se réfèrent à Dracup et al. (1980) qui ont exposé les différentes étapes :

- d'abord la détermination de la nature du déficit;
- ensuite l'identification des variables (hauteurs, débits);
- enfin l'identification de la période intégrale de temps : unité de temps.

Il ressort de ces différentes études que la plupart des chercheurs ont porté leur intérêt sur la dynamique des quantités précipitées. Les autres aspects de la pluviosité ont été souvent négligés. Il s'agit de l'évolution :

- de la répartition annuelle de la pluviométrie (régime pluviométrique) et des décalages possibles des débuts et fins de saisons;
- des pluies des périodes hors saisons des pluies;
- des fréquences d'apparition des événements à différentes échelles de temps.

Ces points ont été abordés par l'ORSTOM dans le cadre du programme ICCARE (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne).

Quant à la diminution de la pluviosité, plusieurs études l'ont mise en évidence. Toutefois il faut faire remarquer que l'une des caractéristiques des climats ouest africains est leur irrégularité interannuelle. Et si des années sèches peuvent se succéder, elles sont séparées par des séries d'années pluvieuses. Ce constat est attesté par Yao (1989) qui a étudié la pluviométrie de quelques stations du sud de la Côte d'Ivoire sur une période représentative (1948-1988). L'examen de ces chroniques pluviométriques ne permet ~~pas~~ pas de conclure à l'existence d'une tendance probante (Yao, 1989). Non seulement les années sèches ne se produisent pas toujours les mêmes années pour deux stations voisines, mais encore elles sont réparties dans le temps selon un mode aléatoire.

En définitive s'agit-il d'événements potentiellement inscrits dans la variabilité de notre climat actuel, ou bien peut-on y voir les prémices d'une modification climatique?

Il est question ici de faire l'étude de la dynamique des hauteurs pluviométriques annuelles et du nombre de jours de pluie interannuel. L'utilisation de tests de détection de ruptures permettrait de mettre en évidence les modifications éventuelles de la pluviométrie. La recherche des caractéristiques du déficit pluviométrique actuel constitue aussi une préoccupation importante. Ces caractéristiques sont relatives à la durée, l'extension spatiale, l'intensité et l'ampleur d'un secteur à un autre.

2.3 Importance des facteurs anthropiques dans la dégradation de la pluviosité

Pour certains auteurs une meilleure compréhension de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie autorise que l'on fasse référence aux facteurs cosmiques et atmosphériques. Dans cette perspective Buisson (1988), Mahé et Citeau (1993) ont par exemple mis en évidence le rôle important de la position de l'anticyclone de Sainte-Hélène sur les variations de la qualité du flux de mousson, observées en 1984, 1986 et 1987.

Au-delà des fluctuations naturelles d'origine dynamique, il est certain que les hommes modifient eux-mêmes les conditions locales de la pluviosité, en diversifiant les paysages par les brûlis, les défrichements, l'agriculture, les grands travaux publics. Pour Munn et Machta (1979), l'humanité modifie l'environnement depuis plusieurs milliers d'années, ce qui influence le climat de trois façons :

- en dégageant de la chaleur dans l'atmosphère;
- en faisant varier la composition de l'atmosphère, en particulier la concentration de la vapeur d'eau;
- en modifiant les propriétés physiques et biotiques des surfaces sous-jacentes.

Ces processus provoquent sans aucun doute des anomalies climatiques locales. Dans le cas des interactions végétation-atmosphère ils se rapportent à la question couramment abordée de l'impact de la déforestation sur l'albédo (radiation solaire directement réfléchi par le sol). Selon Leroux (1995), depuis le travail pionnier de Charney (1975), l'importance des paramètres des surfaces continentales sur les modèles de circulation générale a été observée lors des expériences de sensibilité de ces modèles. Charney et al. (1977), Laval et Picon (1986), Mintz (1984), Sud et al. (1984), Walker et Rowntree (1977), cités par Leroux (1995), montrent que des changements d'albédo, de stock en eau du sol ou de rugosité de surface affectent l'évapotranspiration, et modifient les champs de précipitation, de température et de vent.

L'hypothèse maintenant bien connue de Charney fut lancée dans un climat de polémique (Otterman 1974, 1975; Ripley, 1976). Selon l'auteur, une décroissance du couvert végétal augmente l'albédo de surface et en conséquence réduit la température de surface, entraînant une subsidence supérieure compensatoire inhibant les précipitations, ce qui a pour effet d'augmenter le stress hydrique sur la végétation, amplifiant le forçage initial. Ripley (1976) note que la réduction de la végétation diminue la quantité d'énergie disponible en surface mais provoque surtout une augmentation du rapport de Bowen (flux de chaleur sensible / flux de chaleur latente) en réduisant les possibilités d'évapotranspiration.

Selon Flohn cité par Munn et Machta (1979), l'augmentation de l'albédo depuis 6 000 ans devrait avoir provoqué une baisse de $0,13^{\circ}\text{C}$ de la température d'équilibre de la surface du globe, tous les autres facteurs restant constants. Se basant sur le modèle de Hummel et Reck, Munn et Machta (1979), expliquent que si l'étendue des terres arables augmentait de 1%, l'albédo passant de celui de la terre noire (0,07) à celui des récoltes (0,25) pendant un tiers de l'année, la température superficielle de la terre diminuerait de 1°C . En tenant compte des modifications récentes du couvert végétal en Côte d'Ivoire et au Liberia, Gornitz et NASA (1985) ont calculé que l'albédo du sud forestier ivoirien a augmenté d'environ 6%. Ces derniers auteurs n'ont cependant pas tenu compte des surfaces dénudées par défrichements ou par aménagements de routes et d'habitations. En outre dans les calculs, la valeur d'albédo couramment utilisée pour un champ de cacao est de 16% contre 13% pour la forêt, sans tenir compte de l'âge et de la vigueur des plantations. Selon Van Rompaey (1994), une plus grande différence entre forêts et terres agricoles doit exister puisqu'elles apparaissent en teintes plus foncées sur images satellites.

Un autre problème important concerne les interactions entre la végétation et l'atmosphère. Les observations faites par Monteny (1986, 1988, 1989) et les modèles réalisés par Jousseume et al. (1986) et Druyan et Koster (1989) ont bien montré l'importance du recyclage de l'eau dans l'alimentation du flux de mousson de vapeur d'eau. Monteny (1988, 1989), dans une étude en milieu tropical humide, indique que le sud forestier ivoirien participe activement au maintien d'un équilibre climatique dont le moteur est la circulation atmosphérique. Selon l'auteur, la forêt dense crée des conditions favorables permettant un important recyclage de l'eau et son transport vers les régions situées plus au nord en relation avec le mouvement de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC).

Les résultats des modèles réalisés prouvent que la forêt des milieux tropicaux humides de l'Afrique, de par sa structure verticale aérienne et souterraine, injecte l'équivalent de 55 à 75% des précipitations annuelles dans l'atmosphère, ce qui permet aux paramètres physiques de la masse d'air (humidité et température) en provenance de l'océan de se reconstituer.

Anhuf (1993) a tiré des conclusions semblables concernant les conséquences de la destruction de la végétation sur le bilan hydrique climatique à l'échelle régionale. Selon lui, la destruction ou la dégradation des forêts tropicales entraînent l'altération durable d'éléments importants de l'équilibre naturel : l'albédo, la température près du sol, l'humidité de l'air, le ruissellement superficiel et l'évapotranspiration. Des études comparatives conduites par Cahan et Duval (1963) et Eichler (1987) dans des zones forestières intactes et défrichées, ont mis en évidence une élévation significative de la température à 2m du sol de 3 à 5°. Ceci est dû pour ces derniers à l'augmentation relative de la chaleur perceptible dégagée sous l'effet du rayonnement solaire, à cause de la moindre capacité d'évaporation du milieu.

Ainsi pour ces auteurs, toute modification de la surface forestière perturbe non seulement les échanges de chaleur et de vapeur d'eau au cours de l'année mais affecte également la répartition des eaux de pluie.

Or le déboisement des forêts tropicales a été très important au cours des dernières décennies. Pardé (1960), citant les données de l'Inventaire Forestier Mondial de la FAO effectué en 1958, attribuait à l'Afrique 734 millions d'hectares, à l'Amérique 918,7 millions et à l'Asie 375,5 millions. Vingt ans plus tard, en fin 1980, les estimations de surfaces arrêtées dans le cadre du projet FAO-PNUE sur l'évaluation des ressources forestières tropicales indiquaient des valeurs de 216,65 millions d'hectares pour les forêts tropicales de l'Afrique, de 678,65 millions pour celles de l'Amérique et de 305,5 millions pour celles de l'Asie, soit un total d'un peu plus de 1 200 millions.

Ces chiffres montrent qu'au cours de ces deux décennies, la forêt tropicale dense aurait diminué des deux tiers en Afrique, d'un quart en Amérique et d'un cinquième en Asie. Huguet (1982) a calculé quant à lui des valeurs de déforestation moyennes (perte nette 4,1 millions ha/an) qui, rapportées aux 1 201 millions d'ha alors existants, laissent trois bons siècles devant nous avant l'éradication des forêts denses tropicales.

Sur les états riverains du Golfe de Guinée, Van Rompaey (1993) affirme qu'il y a un siècle et à l'ouest du Dahomey (actuel Bénin), la forêt dense était estimée à 40 millions d'hectares. Ce qui reste maintenant de ce bloc forestier, dit de "Haute Guinée" se trouve au Liberia et dans les parties méridionales de la Côte d'Ivoire et du Ghana. Schmidt (1990) cité par Chatelain (1995) rapporte pour sa part que la Côte d'Ivoire connaît un des plus forts taux de déboisement au monde (6,5%), l'homme ayant réduit le couvert forestier jusqu'à 1/5 de l'originel. Les estimations faites par la DCGTx (Direction et Contrôle des Grands Travaux) en 1993 révèlent que la superficie totale des zones forestières ivoiriennes non soumises à l'agriculture a régressé de 6,8 millions d'hectares dans la zone d'étude, passant de 8,3 à 1,5 millions d'hectares entre 1955 et 1988.

Il s'est agi dans ce cas d'une déforestation accélérée. Les causes de cette situation alarmante sont multiples. Elles sont à rechercher, selon le plan directeur forestier 1988-2015, Schwartz et Lluardo (1977, 1982), dans :

- l'exploitation forestière abusive sans aucun souci de régénération naturelle;
- une population à forte croissance démographique pratiquant une agriculture extensive et donc, à la recherche permanente de nouvelles terres cultivables.

A partir des modèles d'interaction végétation-atmosphère de Charney et Monteny (1975, 1988), on peut supposer que cette déforestation rapide a eu des incidences certaines sur la pluviométrie du sud de la Côte d'Ivoire. Ainsi pour les défenseurs de cette hypothèse, continuer à déboiser constitue une menace potentielle pour l'environnement. Cependant, selon Munn et Machta (1979), les scénarios contiennent de nombreuses incertitudes et ont avancé des arguments pour montrer que l'importance du problème a peut être été exagérée. Une des idées fortes de ce courant est que l'atmosphère est stable et résiste aux causes de changement. Le climat est resté stable depuis plusieurs milliers d'années, ce qui permet de penser que les mécanismes de rétroaction peuvent suffire à compenser le réchauffement par effet de serre.

Pour Rougerie et Filleron (1990, 1994), l'équilibre du milieu tropical n'est pas rompu. Cela tient du fait que la forêt dense primaire a été remplacée, non pas par des savanes, mais par

des champs vivriers et des vergers de caféiers et de cacaoyers, par des forêts d'hévéas ou par des plantations de palmier, par des friches et des forêts secondaires. Il faut noter à ce propos que selon Filleron (1994), ces vergers jouent aussi un rôle sur le plan de la pluviométrie, bien que leur contribution ne soit pas égale à celui d'un bois naturel. La différence des apports des couverts végétaux cultivés et de ceux de la forêt dans le maintien du climat est bien souvent minimisée. Ainsi, selon cet auteur le remplacement de la forêt par des cultures ou des savanes entraînerait tout au plus avec une diminution de l'évapotranspiration de 100 mm, une chute de 5% du total pluviométrique. Fränze (1974), cité par Rougerie (1990) a tiré des conclusions similaires en Amazonie. Il révèle que le passage d'un pan de la forêt amazonienne à des terres cultivées n'a rien modifié de la pluviométrie (2100 mm dans les deux cas), tout en abaissant l'évapotranspiration (de 1000-1100 mm à 850-950 mm). Bien plus, Suchel (1986) observe que l'appauvrissement des savanes de l'Adamaoua (au Cameroun) par une longue tradition pastorale n'empêche pas ce plateau d'être plus arrosé que les régions voisines, dont la végétation est plus dense.

En revanche, Rougerie (1990) pense qu'on peut se mettre d'accord sur le fait que la suppression des forêts entraîne une modification de la nature et du régime des précipitations. L'auteur pense que sur les espaces défrichés, les nuages de convection sont moindres, les "incidents pluviométriques" sont moins nombreux, mais l'intensité de chaque pluie augmente.

Il importe donc, en dernier ressort de se montrer extrêmement prudent dans l'interprétation du rôle des interventions humaines dans la baisse de la pluviosité actuelle. Il apparaît raisonnable d'envisager leur influence beaucoup plus à l'échelle des microclimats.

Au titre de cet épineux problème des conséquences des modifications du couvert végétal sur l'atmosphère, il faut aussi poser le problème de la rareté des travaux effectués, dans l'ensemble sur le milieu forestier ivoirien.

Sur la base de ces constats, il serait important de repréciser la relation dégradation de la forêt -baisse de la pluviosité. Nous mettrons en évidence les éléments qui font partie de

l'interaction et à partir de là nous étudierons la part prise par chacun des éléments dans la baisse de la pluviosité dans le secteur d'étude.

Les préoccupations de cette recherche peuvent se résumer dans **l'objectif principal** : il s'agit de faire le point sur l'évolution générale et récente de la situation pluviométrique du sud forestier ivoirien et ses rapports avec l'environnement forestier. **L'hypothèse principale** qui découle de cette préoccupation peut être formulée comme suit: les quantités d'eau enregistrées dans le sud forestier sont en baisse; cette baisse fragilise fortement les équilibres naturels forestiers tropicaux; elle peut être mise en relation avec les facteurs cosmiques et les facteurs anthropiques.

Dans le détail, **trois objectifs spécifiques** sont assignés à cette étude. Il s'agit :

- 1- A partir de l'analyse des moyennes interannuelles, de déterminer les caractéristiques climatiques des différentes stations pluviométriques du sud forestier ivoirien.
- 2- En s'appuyant sur une longue série d'observations, de dégager l'évolution annuelle et mensuelle des variables pluviométriques dans la zone d'étude.
- 3- De montrer la part prise par la déforestation et l'implantation des grandes aires culturelles dans l'évolution pluviométrique enregistrée au cours des quatre dernières décennies.

Les hypothèses spécifiques sont :

- 1- Le domaine forestier ivoirien peut se subdiviser en sous-espaces pluviométriques, ayant chacun ses caractéristiques propres.
- 2- La pluviométrie du milieu forestier du sud de la Côte d'Ivoire se dégrade fortement. L'observation des séries pluviométriques montre une fluctuation et une baisse de la pluviométrie au cours de ces 40 dernières années.
- 3- Les pratiques et les activités humaines ont des conséquences sur la pluviométrie de la zone d'étude : les modifications pluviométriques locales sont certainement

liées à l'augmentation, au glissement des zones de culture et de la déforestation de la région sud-est en direction du sud-ouest, au cours des quarante dernières années.

3-METHODE GENERALE ET PLAN DE L'ETUDE

3.1 Méthodologie générale

La caractérisation d'éventuelles fluctuations d'ordre climatique en Afrique de l'Ouest non Sahélienne repose entre autres analyses sur l'étude de séries chronologiques de données de pluie à différents sites de mesures, les plus nombreux possibles, sur des périodes les plus longues possibles (Lubès et al, 1994).

Les méthodes statistiques d'analyse pluviométrique utilisées dans ce travail concernent l'exploitation d'une seule série de données. Ce type d'analyse est qualifié d'analyse ponctuelle. Des cartographies donnant un panorama "*régional*" ou "*zonal*", c'est-à-dire impliquant plusieurs postes pluviométriques, font l'objet d'une analyse spatialisée.

L'explication des fluctuations climatiques détectées est abordée sous l'angle des interactions végétation-atmosphère par l'étude diachronique pluie/déforestation par région et par secteur et par l'estimation des paramètres climatiques variant avec la modification du milieu naturel: ETR (évapotranspiration réelle), albédo (fraction d'énergie rétrocedée à l'atmosphère).

L'aspect dynamique n'est pas abordé ici, parce que sur les 28 stations retenues pour l'étude, seules 4 (situées pour la plupart sur le littoral) sont équipées pour effectuer des radiosondages.

3.2 Organisation de l'étude

Cette méthodologie générale permet donc:

- * de préciser d'abord les conditions influençant les précipitations en Afrique de l'ouest et de donner un aperçu sur le cadre géographique du sud forestier ivoirien. La description des facteurs des précipitations, vise à mettre en évidence les mécanismes atmosphériques et

géographiques (relief, végétation, etc.) qui président à la formation du régime pluviométrique dans le sud forestier ivoirien. La présentation de la zone d'étude donne quant à elle une meilleure connaissance du cadre de réalisation des phénomènes étudiés.

* de proposer ensuite une analyse des observations pluviométriques, au sens d'une évolution spatiale et temporelle. L'étude des différences spatiales permet de voir si le sud forestier ivoirien est organisé en sous-espaces pluviométriques. L'analyse temporelle repose sur un ensemble de méthodes d'interpolation et de représentation cartographique des résultats ainsi que sur des méthodes statistiques de détection de ruptures au sein des séries chronologiques. Ces méthodes statistiques permettent de mettre en évidence une fluctuation climatique éventuelle, dans l'ensemble du sud forestier ivoirien au cours de la période 1950-1990.

* de cerner également la dynamique du milieu forestier du sud de la Côte d'Ivoire. Dans cette partie du travail, on s'attache à définir d'une part les organisations naturelles et leurs composantes: par "*naturel*", il faut entendre un milieu peu perturbé par l'action humaine. D'autre part on cherchera à suivre la dégradation de l'écosystème forestier du sud de la Côte d'Ivoire, à travers l'évolution spatiale et temporelle des activités agro-démographiques au cours des quatre dernières décennies.

* de rechercher enfin les liens éventuels entre cette régression des superficies forestières et l'évolution climatique actuelle. Un premier niveau d'analyse nous conduit à voir si l'évolution dans le temps du couvert forestier (à travers l'extension des aires culturales) se superpose à celle de la pluviométrie. Un deuxième niveau d'analyse vise à étudier l'évolution de certains paramètres physiques qui créent le lien entre la végétation et l'atmosphère. Il s'agit de l'évapotranspiration (recyclage des eaux de pluie), albédo (fraction de l'énergie solaire réfléchi dans l'atmosphère). Ces paramètres varient en fonction du type de couvert végétal. Deux périodes ont été choisies: la période autour de 1950, caractérisée par un faible taux de défrichement dans le secteur étudié et la période après 1970, marquée par une déforestation accélérée.

RESUME DE LA METHODE

Problèmes	Hypothèses	Objectifs	Variables	Méthodologie et technique	Expression des résultats
Sous espaces pluviométriques du sud forestier ivoirien	Le domaine forestier ivoirien peut se subdiviser en sous-espaces pluviométriques, ayant chacun ses caractéristiques propres.	Mettre en évidence les particularités de chaque station, et dégager des nuances ou associations possibles entre chacune d'elles	Pluviométrie annuelle	Exploitation des caractéristiques statistiques descriptives (moyenne, valeur minimum et maximum, coefficient de variation, etc.) Utilisation de la méthode de l'analyse en composantes principales.	Tableaux, cartes des régions pluviométriques, graphiques de l'ACP (analyse en composantes principales)
Evolution de la pluviométrie dans le sud forestier ivoirien	La pluviométrie du sud forestier ivoirien est marquée par une fluctuation et une baisse au cours de ces quarante dernières années	Dégager l'évolution des variables pluviométriques annuelles et mensuelles dans la zone d'étude.	Pluviométrie annuelle, mensuelle Nombre annuel et mensuel de jours de pluie	Etude à caractère ponctuel menée à partir d'analyses statistiques, permettant de détecter des ruptures dans les séries chronologiques de données de pluie. Etude à caractère régional axée sur des tracés comparatifs de courbes d'isovaleurs, sur les 4 dernières décennies.	Tableaux, graphiques des tests de détection de ruptures, cartes d'évolution des isohyètes, des courbes d'isovaleurs d'indices pluviométriques et du nombre de jours de pluie
Relations entre la baisse de la pluviométrie et la déforestation dans un contexte de variabilité climatique	Les modifications pluviométriques locales sont certainement liées à l'augmentation, au glissement des zones de culture et de la déforestation de la région sud-est en direction du sud-ouest, au cours des quarante dernières années.	Mise en évidence des liens entre la déforestation et la variabilité climatique dans le sud forestier ivoirien.	Déforestation, déboisement et exploitation agricole Albédo, Evapotranspiration, Gradient pluviométrique	Etude du remplacement de la forêt dense primaire par d'autres types de couverts végétaux : caféiers et cacaoyers, champs vivriers, plantations d'hévéas, de cocotiers, de palmiers, d'ananas, friches et forêts secondaires. Etude comparative de l'évolution de la pluviométrie et des grands mouvements de l'histoire de l'économie agro-forestière au cours des quatre dernières décennies. Etude de la variation spatiale et temporelle des apports de quantités de vapeur d'eau évapotranspirées par l'écosystème forestier dans l'atmosphère au cours des quatre dernières décennies : Evapotranspiration réelle (ETR), albédo, gradient pluviométrique.	Tableaux, graphiques d'évolution des cultures, cartes forestières, cartes d'évolution du gradient pluviométrique

PREMIERE PARTIE

**CONDITIONS INFLUENÇANT LES PRECIPITATIONS EN
AFRIQUE DE L'OUEST ET APERÇU SUR LE CADRE
GEOGRAPHIQUE DU SUD FORESTIER IVOIRIEN**

objectif

Deux types de conditions influencent les précipitations dans le sud forestier ivoirien : les conditions atmosphériques et les conditions géographiques qui imposent des modifications locales (ASECNA, 1979). Avant donc d'analyser dans le détail, la pluviométrie dans le milieu forestier ivoirien, ce qui sera fait dans la deuxième partie, il nous a semblé indispensable de décrire certains de ces facteurs qui sont ici prépondérants.

Il s'agira d'examiner la circulation atmosphérique en Afrique occidentale, les différents centres d'action et éléments qui déterminent avec les facteurs régionaux et locaux ou géographiques (relief, végétation), l'ordonnement pluviométrique.

La description du milieu physique et socio-économique du sud forestier ivoirien est aussi abordée, pour donner une meilleure connaissance sur le cadre de réalisation des phénomènes climatiques qui seront décrits.

1.1 LES CONDITIONS INFLUENÇANT LES PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST

Par sa position en bordure du Golfe de Guinée le sud forestier ivoirien a une pluviométrie sensible aux modifications de l'océan Atlantique : de septembre à mai, les températures de surfaces de la mer sont très élevées; les basses pressions permanentes qui y règnent autorisent une importante évaporation; - la circulation atmosphérique au niveau de la mer draine les masses d'air humide vers le continent;- de juillet à août, on observe des remontées d'eau froide, les vents s'intensifient pendant cette période.

Le but de ce chapitre est de mettre en évidence les mécanismes qui président à la formation du régime pluviométrique et des saisons en Côte d'Ivoire forestière. Pour comprendre et expliquer le temps qu'il fait dans la zone d'étude, il est indispensable de se placer à l'échelle de l'Afrique de l'ouest et d'étudier le système synoptique de la succession

des types de temps qui affectent cette vaste région. Nous faisons ici référence aux travaux de Pagney (1973), Leroux (1980) et Donheur (1985).

Le mécanisme de défilement et de l'agencement des saisons au cours de l'année sur l'Afrique occidentale est commandé dans les basses couches de l'atmosphère par une circulation des masses d'air autour des "centres d'actions". Ces centres de hautes pressions subtropicales émettent des vents au sol : les alizés boréal et austral qui soufflent vers les zones de basses pressions, en particulier vers les zones équatoriales.

L'étude commencera donc par l'examen de la circulation atmosphérique dans le domaine tropical africain, avant d'analyser l'évolution spatiale et temporelle de ces structures et ses conséquences sur l'ordonnement pluviométrique dans le sud forestier ivoirien. Enfin nous exposerons rapidement certains facteurs atmosphériques régionaux qui en dehors de la situation classique imposent des altérations au climat de la région.

1.1.1 LES FACTEURS GÉNÉRAUX (Pagney, 1973; Leroux, 1980)

1.1.1.1 Circulation atmosphérique en Afrique occidentale

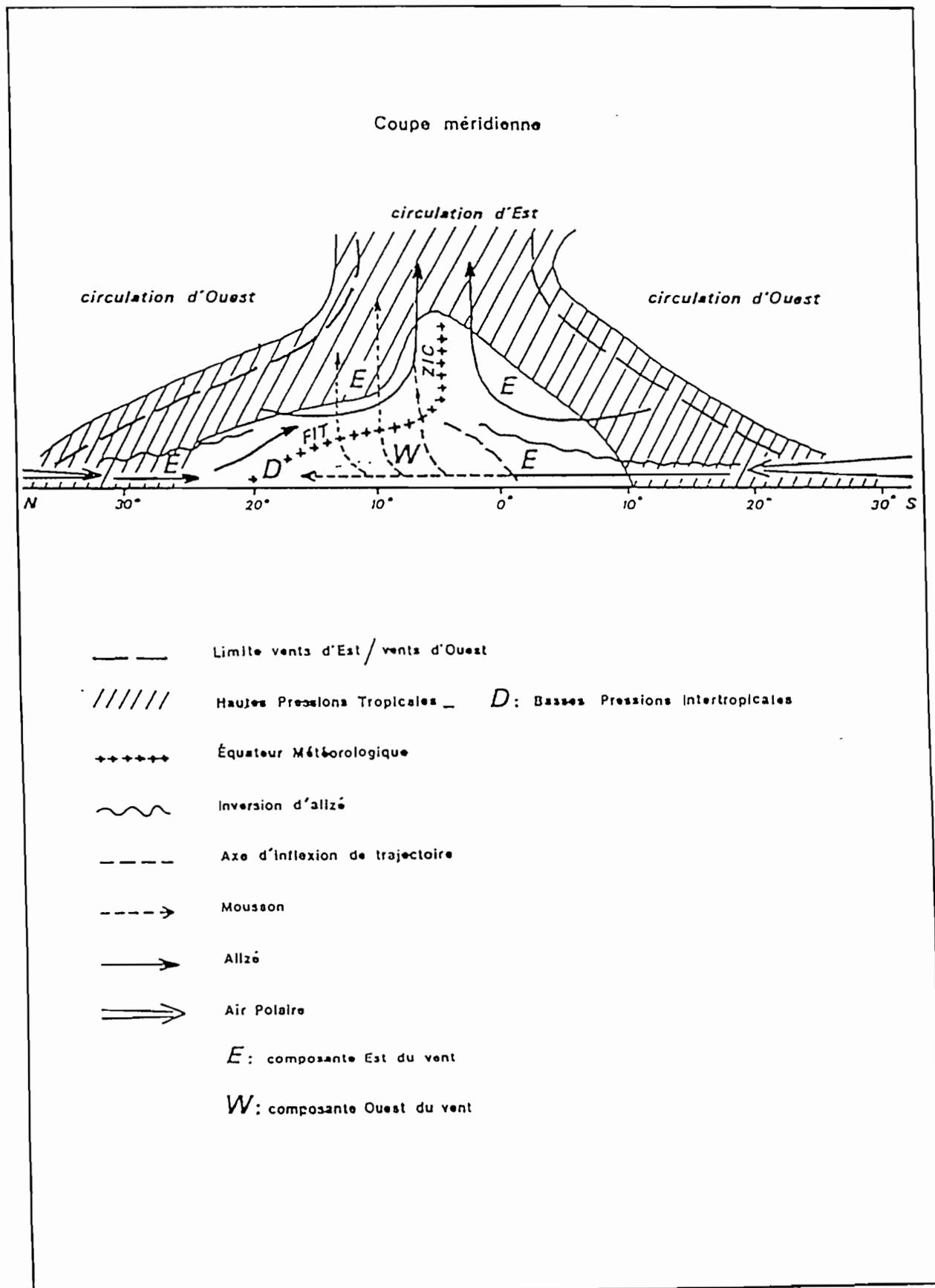
1.1.1.1.1 Les centres d'actions et l'équateur météorologique

a) Les hautes pressions subtropicales

La ceinture des hautes pressions subtropicales est due à la fois à des causes thermiques (influence du substratum, répartition océans-continent) et à des causes dynamiques (action du jet-stream subtropical).

Dans les couches supérieures de l'atmosphère, les hautes pressions sont engendrées par l'ascendance de l'air au-dessus de la zone de convergence intertropicale (*figure 2*). Il s'agit là du principe de fonctionnement de la cellule de Hadley (convergence-ascendance).

Figure 2 : Structure de l'atmosphère tropicale africaine au cours de l'été boréal



Source : Leroux (1980)

Dans les couches moyennes, les hautes pressions subtropicales sont d'origine dynamique car formées par les mouvements subsidents engendrés par le jet-stream subtropical.

Dans les basses couches, les hautes pressions sont dues principalement à des facteurs géographiques : influence thermique du substratum, distribution des terres et des océans, orographie. Les deux ceintures anticycloniques se fractionnent en noyaux. L'Afrique de l'ouest est influencée au niveau de l'hémisphère boréal en hiver par deux noyaux anticycloniques : celui des Bermudes, et celui des Açores. Dans l'hémisphère sud, il s'agit de l'anticyclone de Sainte Hélène et celui des Mascareignes.

b/ Les basses pressions intertropicales

Elles se situent dans l'espace compris entre les ceintures de hautes pressions subtropicales. Elles n'intéressent que les moyennes et les basses couches de l'atmosphère. Si elles ont une origine dynamique (rencontre de flux venant des hautes pressions subtropicales), elles ont aussi une origine thermique : leur maximum d'intensité se trouve sur les continents où elles se fractionnent en noyaux dépressionnaires : basses pressions thermiques pelliculaires, en été boréal, sur le Sahara et l'Arabie.

c/ L'équateur météorologique

L'équateur météorologique a été défini comme une barrière donnant à chaque hémisphère une certaine autonomie énergétique. Il est aussi la limite entre les circulations méridiennes liées aux régimes d'hiver et d'été. Sa trace au sol matérialise la dépression intertropicale.

Au-dessus de l'Afrique de l'ouest, l'équateur météorologique est appelé :

- dans les couches moyennes, ZIC (zone intertropicale de convergence). Sa configuration verticale permet le développement des mouvements ascendants et joue un grand rôle dans la distribution des précipitations;
- dans les basses couches et au sol, FIT (front intertropical). Il prend une position souvent très inclinée. Si cette configuration permet une grande surface de contact entre les masses d'air, par contre elle empêche généralement les mouvements

ascendants puisqu'il y a cisaillement à son niveau : séparation des flux d'est (Alizés) et d'ouest (Mousson d'été).

1.1.1.1.2 Les principaux flux

Ils se situent à deux niveaux : d'une part dans les basses couches de l'atmosphère (au niveau de la mer), il s'agit alors des Alizés et de la Mousson; d'autre part en altitude, il s'agit alors des Jets-stream et de la circulation d'est.

a/ Dans les basses couches de l'atmosphère

Au niveau de la mer, on distingue :

Les Alizés

La Côte d'Ivoire forestière est soumise à l'influence de l'Alizé continental appelé Harmattan. Il a une forte composante d'est, c'est un flux marqué par la sécheresse et des écarts diurnes importants de température. Les Alizés sont des flux qui restent dans l'hémisphère géographique où ils ont pris naissance. Ils sont issus des hautes pressions subtropicales et se dirigent vers l'équateur météorologique. Ce sont des vents permanents, mais ils ont des directions et des vitesses variables. Si l'on considère ce qui se passe dans l'hémisphère boréal, les alizés se dirigent d'abord vers l'équateur météorologique, ils ont donc une dominante nord-est. Puis ils s'écoulent presque parallèlement à celui-ci, ils ont donc une composante très affirmée. Enfin ils s'éloignent en direction des tropiques où ils ont une direction sud-ouest. Leur vitesse dépend de la vigueur des échanges méridiens, en particulier de l'afflux d'air d'origine et de caractéristiques "polaires". On distingue plusieurs types d'Alizés suivant la nature du substratum au-dessus duquel leur trajectoire les a conduits. Dans ce flux, le fait remarquable est "l'inversion d'Alizé". Cette inversion présente à la fois des discontinuités - de température (froid sous l'inversion, plus chaud au-dessus des discontinuités d'humidité) - d'humidité (forte humidité sous l'inversion, faible au-dessus des discontinuités de mouvements verticaux) - de turbulence (turbulence sous l'inversion, subsidence au-dessus). Cette subsidence provoque le non développement des formations nuageuses et empêche le transfert de l'humidité vers les couches supérieures de l'atmosphère.

La Mousson

La Mousson est définie comme un flux originaire d'un hémisphère qui s'intègre dans la circulation de l'autre hémisphère géographique. Ce flux n'est autre que l'alizé de l'hémisphère austral dévié sur sa droite par la force de coriolis après franchissement de l'équateur. Le phénomène est d'autant plus net qu'en été boréal, en Afrique de l'ouest, l'équateur météorologique se trouve loin à l'intérieur des terres, vers la dépression saharienne. Le changement de direction n'entraîne pas d'interruption dans l'écoulement du flux. Aussi l'axe qui sépare la circulation d'alizé d'est, de la mousson d'ouest, est appelé "axe d'inflexion de trajectoire". La mousson est porteuse d'humidité et représente un potentiel précipitable.

b/ Dans les couches moyennes de l'atmosphère

En altitude on distingue :

La circulation d'ouest

Le flux d'ouest concerne le jet subtropical boréal, qui migre en latitude avec l'ensemble des éléments structuraux. Le jet se situe environ au niveau de pression 200 millibars, à 12 000 m d'altitude. La circulation d'ouest se contracte en été, avec la remontée du jet subtropical vers le pôle, vers 45° de latitude nord. Elle se dilate en hiver, le courant migrant vers les basses latitudes, autour de 30° de latitude nord (sa vitesse étant plus rapide en hiver qu'en été).

La circulation d'est

La circulation d'est s'organise en noyaux plus ou moins individualisés et de vitesses variables. Au-dessus de l'Afrique occidentale, deux courants peuvent être identifiés :

- le jet d'est tropical ou Tropical Easterly Jet en abrégé TEJ se situe environ au niveau de pression 150 millibars à 15 000 m d'altitude et provient d'Asie du sud-est. Il est bien individualisé, surtout au cours de l'été boréal, et se déplace en latitude, avec l'ensemble des structures précédentes, de 25° nord en août, à 12° sud en février. Sa vitesse est variable : de 19 à 65 km/h, et peut se fractionner en plusieurs tronçons;

- le jet d'est d'Afrique occidentale : c'est un courant d'est qui circule sur l'ensemble de l'Afrique occidentale dans les couches moyennes de l'atmosphère, entre 4 000 et 3 000 m d'altitude, au niveau des pressions 800 et 500 millibars. Ce courant d'est présente un noyau de vents forts, désigné par les météorologistes sous le nom de jet d'est d'Afrique occidentale, en abrégé J.E.A.O. La valeur maximale moyenne de ce noyau de vents forts est de l'ordre de 14 mètres/seconde (moins de 60 kilomètres/heure). Cependant son importance est évidente lorsque nous savons que les masses d'air nuageux à fort développement vertical se forment dans les couches moyennes de l'atmosphère. En cours d'année, le Jet d'est d'Afrique occidentale subit des variations en latitude et en longitude, ainsi que des modifications de vitesse.

1.1.1.2 Evolution spatiale et temporelle de l'équateur météorologique

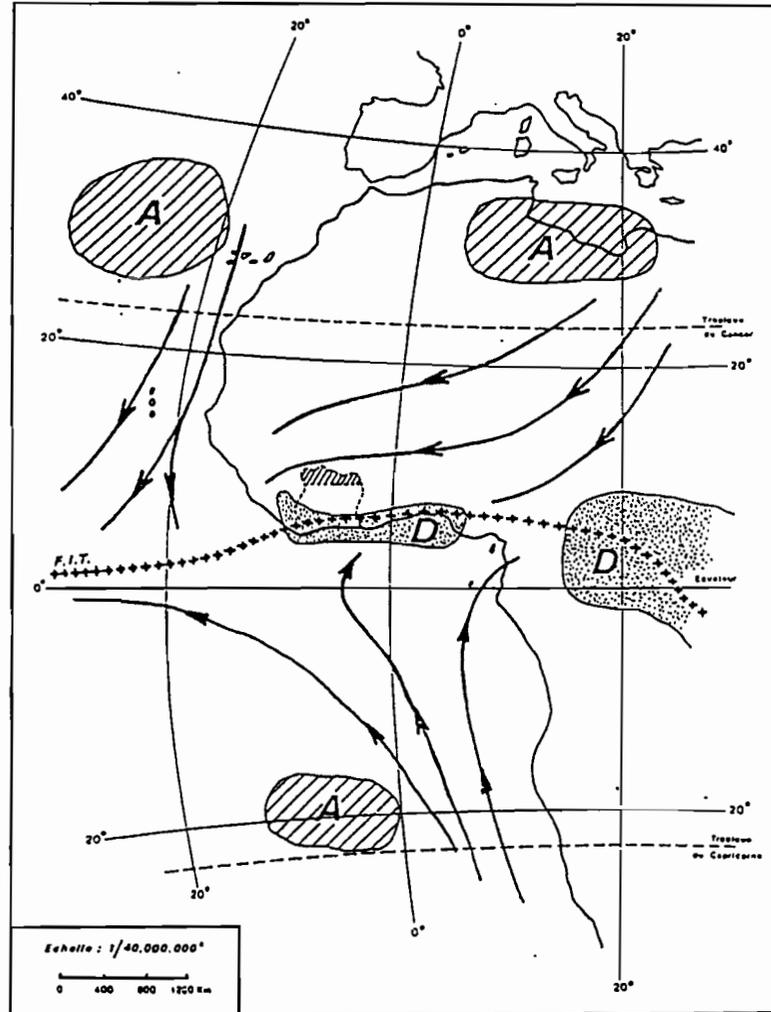
1.1.1.2.1 Evolution moyenne du FIT

Le balancement du système des alizés est lié à une variation d'énergie de ces centres d'action, elle-même liée au mouvement apparent du soleil de part et d'autre de l'équateur. Ainsi la haute pression de Sainte Hélène pendant l'hiver austral (juin-juillet), envahit le littoral de l'Afrique occidentale repoussant la convergence des alizés, le FIT vers le nord aux latitudes 20-25°N (*figure 3*). En décembre, janvier et février les hautes pressions boréales (anticyclones des Açores et de Libye) envahissent l'Afrique tropicale, rejetant la zone de convergence vers le sud à la latitude 5°N (*figure 3*).

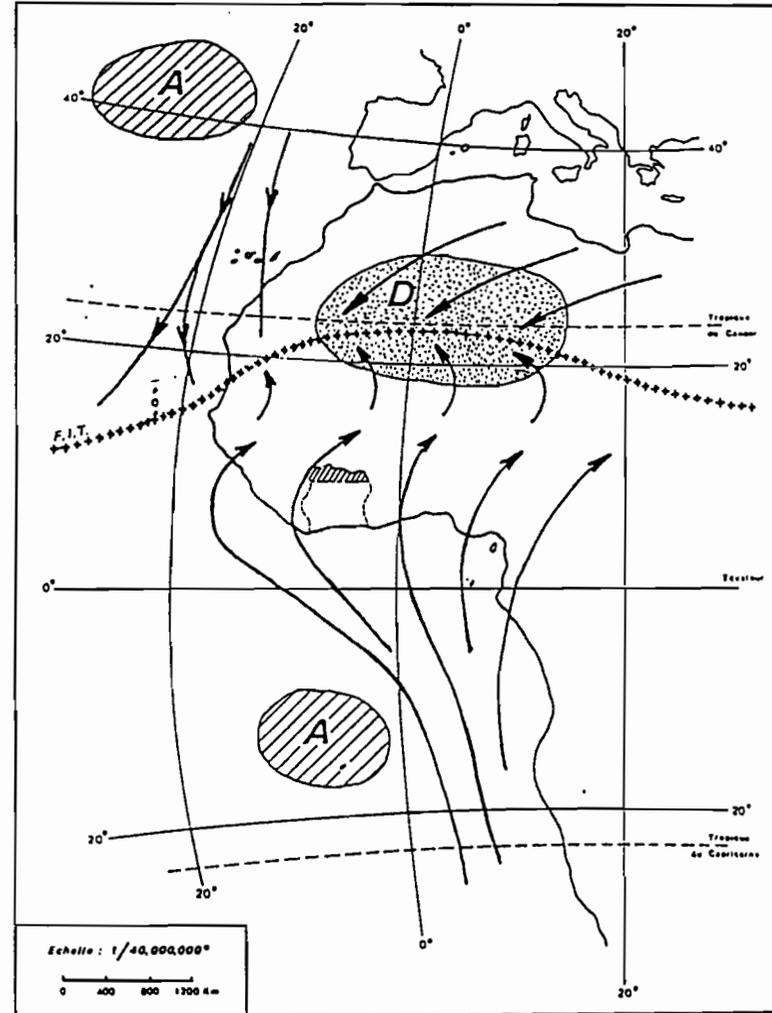
On peut distinguer schématiquement au sud du FIT 4 zones de convergence variable. Avec la zone située au nord du FIT où règnent les alizés boréaux, ce sont donc cinq zones principales qui se déplacent parallèlement au FIT lui-même et qui par leur défilement sur la région vont engendrer la succession des différents types de temps ou saisons.

Figure 3: Les flux en janvier et en juillet sur l'Afrique occidentale

Janvier



Juillet



Source : Leroux (1980)

Les caractéristiques de différentes zones (A, B, C, D ,E) sont données dans le *tableau 1*.

Tableau 1 : Caractéristiques de la zone de convergence intertropicale (d'après Eldin, in Avenard et al., 1971)

Désignation et épaisseur	Caractéristiques des masses d'air	Type de temps provoqués	Type de saison en Côte d'Ivoire forestière
ZONE A	Forte subsidence des basses couches	Alizés boréaux continentaux Air sec chaud le jour, froid la nuit. Brume sèche	intérieur de la grande saison sèche. Période d'harmattan
FRONT INTERTROPICAL			
ZONE B 300 à 350 Km	Convergence très faible	Beau temps, bonne visibilité, brouillards matinaux. Stabilité atmosphérique.	Grande saison sèche
ZONE C 500 à 550 Km	Forte convergence	Averses orageuses. Formation des lignes de grains. Coups de vent.	Intersaison
ZONE D 450 à 550 Km	Convergence modérée	Forte humidité Ciel chargé de nuages bas et moyens. Pluies continuelles	Saison des pluies (grande et petite)
ZONE E	Divergence faible	Ciel gris, homogène pluies rares	Petite saison sèche

En janvier quand le FIT atteint sa position la plus méridionale, entre 5° et 6° de latitude nord, la Côte d'Ivoire entière est soumise à un régime d'harmattan, vent de secteur nord-est (zone A). La trace au sol du FIT n'atteint le littoral (5° 20') qu'une dizaine de jours par an.

Pendant le mois de février et mars lorsque le FIT est plus au nord entre 6° et le 8° N, compte tenu de sa pente faible, l'épaisseur de la mousson reste peu importante et il est courant dans le sud forestier ivoirien d'observer de la "brume sèche" en altitude. La

présence de la zone B sur la région est nette; c'est toujours la saison sèche, avec quelques pluies et surtout des brouillards matinaux.

Ensuite, on assiste à une remontée progressive du front intertropical en latitude pour atteindre pendant le mois d'avril les voisinages du 11° parallèle nord. La Côte d'Ivoire forestière est alors dans la zone C. C'est une zone de forte convergence caractérisée par des averses orageuses, des coups de vent et par le passage de grains. Le défilement de cette zone correspond à la période d'avril, mois intermédiaire entre la saison sèche et la saison des pluies : on parle d'intersaison orageuse. Les pluies sont très abondantes et généralement excédentaires si bien que, cette période est rattachée en partie à la grande saison des pluies.

De mai à juillet, la région forestière ivoirienne subit le passage de la zone D, caractérisée par une convergence modérée, génératrice, avec le concours de la mousson chargée de vapeur d'eau, de pluies quasi continues, qui malgré des intensités moins fortes qu'en zone C, finissent par être très abondantes.

Le FIT continue ensuite sa remontée vers le nord pour atteindre en août sa position la plus septentrionale entre 19° et 22° de latitude nord. Du mois d'août au mois de septembre, la zone E s'étend sur notre région. C'est une zone de convergence nulle ou même légèrement négative (divergence). De ce fait la présence de la mousson ne se traduit que par quelques rares pluies et peu abondantes, c'est ce qui explique en partie l'existence de la petite saison sèche.

Entre le mois d'août et celui de janvier, le FIT redescend en latitude, plus vite que la remontée, provoquant un deuxième passage de la zone C et D sur la région forestière ivoirienne : c'est la petite saison des pluies pendant les mois d'octobre et de novembre.

1.1.1.2.2 Fluctuation et perturbation dans le mouvement du FIT

Le schéma explicatif des saisons qui vient d'être présenté correspond au déplacement moyen du FIT, c'est-à-dire au climat le plus fréquemment observé. Il a été établi en

supposant que le FIT se déplace de façon continue soit vers le nord, soit vers le sud, tout en restant parallèle à l'équateur et en fonction du balancement de la dépression thermique saharienne. Il convient de dire que les choses ne se passent pas toujours ainsi.

Tout d'abord le FIT ne coïncide que rarement avec un parallèle, mais présente fréquemment des ondulations plus ou moins amples. D'autre part, le FIT se déplace souvent par oscillations autour d'une position moyenne. Aussi n'est-il pas rare de constater, au cours d'un mois donné, des déplacements du FIT tantôt vers le nord, tantôt vers le sud sur une bande correspondant à 3 ou 4 degrés de latitude (330 à 440 Km); ce qui entraîne une alternance des différents types de temps au cours d'un même mois, en un même lieu.

En dehors de ces déformations ou oscillations du FIT, on peut trouver des perturbations assez importantes. Les situations que l'on trouve sont les suivantes :

- quand les hautes pressions issues des Açores ou d'Europe occidentale s'étendent en une vaste dorsale sur l'Afrique du nord, le Sahara et la Libye, le FIT est refoulé vers le sud;
- au contraire, lorsque la dépression Saharienne se renforce entre l'anticyclone des Açores et celui de Libye, il peut se produire des appels de moussons repoussant le FIT vers le nord;
- lorsqu'un couloir dépressionnaire, plus ou moins nord-sud, se forme sur le continent Africain, entre l'anticyclone des Açores et celui de Libye, reliant la dépression occidentale aux basses pressions intertropicales, des masses d'air polaires s'écoulent par ce couloir vers le Sahara pouvant atteindre le Mali et même la Côte d'Ivoire où elles provoquent de petites chutes de pluies en pleine saison sèche entre janvier et février;
- les champs de pressions au sein de l'anticyclone de Sainte Hélène déterminent la puissance de la mousson. La puissance du champ de pression peut baisser à cause

de l'élévation de la température de la surface de la mer conduisant au réchauffement de l'air sus-jacent;

- normalement lorsque les hautes pressions australes (anticyclone de Sainte Hélène) remontent sur la côte méridionale d'Afrique de l'ouest, pendant les mois de juillet et août, elles repoussent le FIT encore plus au nord et permettent ainsi l'installation de la petite saison sèche au sud du 8ème parallèle nord. La zone E qui est responsable de cette saison est une zone de subsidence. C'est une période de l'année qui est caractérisée par la remontée des eaux froides : on parle de phénomène d'upwelling. Cette situation a comme conséquence de baisser la température de surface de l'océan et de réduire par ricochet l'évaporation. On assiste en ce moment à une diminution du taux d'humidité contenue dans l'air, freinant de ce fait la saturation des amas nuageux.

1.1.2 LES FACTEURS REGIONAUX ET LOCAUX (ASECNA, 1979; Donheur, 1980)

1.1.2.1 Situation de "ligne de grain"

La ligne de grain est une perturbation qui se déplace d'est en ouest. Elle résulte d'un conflit entre la mousson des basses couches et le flux d'est supérieur qui essaie de s'introduire dans ces basses couches. Ce phénomène se développe dans la faible épaisseur de mousson qui se situe près de la structure du FIT.

Les lignes de grains qui sont des manifestations très caractéristiques de l'Afrique de l'ouest trouvent leurs explications dans le fait que, dans le flux d'Alizé d'est apparaissent des pulsations, noyaux d'accélération provoqués par des expulsions d'air polaire provenant d'un passage de front polaire extérieur à notre domaine. Ces pulsations induisent des ondulations dans le flux d'est, caractérisées par des thalwegs mobiles. Ces ondulations et thalwegs associés permettent l'irruption de noyaux de vent d'est (froids) dans le flux de mousson (humide). Le flux d'est qui a tendance à descendre oblige le flux de mousson à s'élever. La situation d'opposition demeure jusqu'au point de rupture. La mousson s'élève

alors rapidement, d'une manière turbulente, avec formation de nuages à grand développement vertical, entraînés par le flux d'est. Cette confrontation du type "front froid" donne naissance à des précipitations assez importantes, mais variables, tant dans leur intensité que dans leur répartition spatiale.

L'importance des précipitations et la "vie" du grain dépendent de l'épaisseur de la mousson concernée, et de la vitalité du noyau d'est dans ce courant de mousson. Généralement, ces grains d'est sont de courte durée : une à deux heures, mais une "traîne" de faible pluie peut durer plusieurs heures. Leur fréquence d'apparition est très variable, elle va de un à deux jours, à plus d'une dizaine de jours.

Dans notre domaine d'étude, les "lignes de grains" sont responsables des intersaisons pluvieuses.

1.1.2.2 Les effets côtiers

1.1.2.2.1 Upwelling et Pilling-up

Au voisinage des côtes les courants de dérive ont des conséquences particulières suivant que la déviation se fait vers la côte ou vers le large. Dans le cas de l'hémisphère nord, un flux parallèle à une côte orientée nord-sud, permet d'envisager les deux situations :

- un régime de nord souffle sur les côtes, le courant marin résultant est dirigé vers le sud-ouest; les eaux de surface sont entraînées vers le large. Il y a formation d'une dépression marine qui se traduit par une circulation verticale caractérisée par des remontées d'eau froide en surface dans les régions côtières. Ce phénomène d'advection d'eau froide en surface est connu sous le nom d'upwelling; les vents qui sont à l'origine sont appelés "vents de reflux". Il a pour effet de limiter le réchauffement des eaux côtières dans le Golfe de Guinée;
- un régime de sud souffle sur les côtes, le courant marin résultant est dirigé vers le nord-est, les eaux de surface sont advectées vers la côte, il y a formation d'un anticyclone marin qui entraîne une circulation verticale caractérisée par des

advections d'eau chaude en surface dans les régions côtières. Ce phénomène d'advections d'eau chaude en surface est appelé pilling-up. Les vents qui en sont à l'origine sont dits "d'afflux".

1.1.2.2 Les rapports terre-mer et leurs conséquences

Les rapports terre-mer interviennent tout d'abord sur les températures par la masse même des continents et des océans, et par leurs réactions différentielles à l'égard de l'accumulation calorifique. L'inertie thermique des mers et la sensibilité aux variations de température des terres s'expliquent par le fait que, la chaleur spécifique de l'eau est à peu près égale à deux fois celle de la terre. Ce qui veut dire que la même quantité de chaleur appliquée dans le même temps aux deux milieux, voit le premier (eau) se réchauffer sensiblement deux fois moins que le second (terre). On peut en déduire que le sol se refroidit deux fois plus vite.

Les échanges atmosphériques du type brise de terre, brise de mer et aussi type mousson représentent des conséquences du rapport thermique terre-mer. Sous l'action de la chaleur solaire, l'eau s'échauffe beaucoup moins au cours de la journée que la terre. Celle-ci présente alors un centre chaud au-dessus duquel l'air est léger et s'élève, centre de basses pressions thermiques qui aspire l'air plus dense de l'Océan. Ainsi apparaît la brise de mer et des précipitations. La situation inverse s'établit la nuit (la mer est plus chaude car la terre se refroidit rapidement du fait de l'intensité du rayonnement nocturne). Cette situation impose la brise de terre, plus faible que son inverse.

1.1.2.3 L'influence des reliefs

Le relief a une influence directe sur la répartition et sur la quantité des précipitations, principalement par effet de foehn. Il est nécessaire de considérer le relief de toute l'Afrique occidentale pour expliquer les anomalies zonales constatées dans la répartition des pluies en Côte d'Ivoire.

a) La Dorsale guinéenne

Les massifs montagneux de l'ouest de la Côte d'Ivoire constituent l'avancée orientale d'un vaste ensemble montagneux centré sur la Guinée et désigné sous le nom de dorsale guinéenne. Cette dorsale est pratiquement parallèle à la côte. Il est évident que ce vaste massif montagneux va s'opposer à la pénétration normale du flux de mousson sur le continent. Il y aura accumulation des masses nuageuses sur les régions au vent (plaines et plateaux de Guinée, de Sierra Leone, du Liberia et extrême sud-ouest de la Côte d'Ivoire) et soulèvement des masses d'air sur les régions montagneuses, par conséquent de fortes précipitations. Par contre les régions situées sous le vent de la chaîne montagneuse seront nettement moins arrosées; c'est le cas en Côte d'Ivoire, de la région s'étendant au nord du massif de Man.

a) La Chaîne Togolaise et le Plateau d'Ashanti

A l'est de la Côte d'Ivoire, existe une autre dorsale, orientée nord-sud et formée par les monts Atakora, la chaîne togolaise et le plateau ghanéen d'Achanti. Cette barrière naturelle, en s'opposant à la pénétration du flux de mousson, va provoquer un phénomène identique. De ce fait les régions sud-ghanéenne et sud-est de la Côte d'Ivoire seront particulièrement bien arrosées. Ainsi s'explique la forte pluviosité de la basse côte entre la localité d'Abidjan et la frontière du Ghana.

1.2 LES GRANDS TRAITS DU MILIEU PHYSIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DE LA ZONE FORESTIERE IVOIRIENNE

La description du milieu physique se réfère à l'étude publiée par Avenard et al. (1971) sur le milieu naturel de la Côte d'Ivoire.

1.2.1 MORPHOLOGIE (Avenard, 1971)

A l'image de toute la Côte d'Ivoire, le sud forestier ivoirien présente un modelé peu contrasté. Seule la région montagneuse de l'ouest constitue un obstacle important. Au-delà de cette relative monotonie, 4 types de reliefs se partagent la zone d'étude (*figure 4*) :

* La retombée orientale de la dorsale guinéenne. C'est une chaîne montagneuse dont les altitudes culminent à plus de 1000 m. Ce bloc montagneux comporte deux massifs :

- le massif du Nimba et sa bordure qui forme la frontière entre la Côte d'Ivoire, la Guinée et le Liberia. Il s'élève à 1700 m;

- le grand ensemble du massif de Man qui inclut les massifs des Dans et des Touras. Son altitude varie de 500 à 1000 m avec quelques surélévations comme le Mont Tonkui, 1189 m.

* Les glacis qui se développent approximativement entre les 6° et 8° de latitude nord (exception faite de la région ouest). Le trait dominant de ce relief est l'abaissement sensible en direction de la mer, de 300m vers 200m d'altitude. Les surfaces restent à peu près tabulaires, mais les interfluves s'effilochent et les collines et vallonnements deviennent plus fréquents au fur et à mesure que l'on va vers le sud. Ces glacis s'établissent principalement sur des surfaces granitiques, aplanies, gravillonnaires à l'ouest et schisteux à l'est. La limite sud de cet ensemble se situe au niveau de la courbe d'altitude 200m.

* Le pays des collines, des vallons, des buttes avec des plateaux mal élaborés qui s'élèvent entre 150 et 120m. Cet ensemble se localise au sud du 6ème parallèle nord. Les altitudes varient entre 0 et 200m. Le socle essentiellement schisteux est parfois parsemé de couleurs granitiques.

* La frange littorale se compose de bas plateaux, de petites baies et plages de sables ainsi que des principales lagunes. Elle repose sur un substrat en majeure partie schisteux à l'est, et granitique à l'ouest.

1.2.2 VEGETATION (Guillaumet et Adjonhoun, in Avenard et al., 1971)

La zone étudiée appartient au domaine guinéen, subdivisé en 4 secteurs : ombrophile, mésophile, littoral et montagnard (*figure 4*).

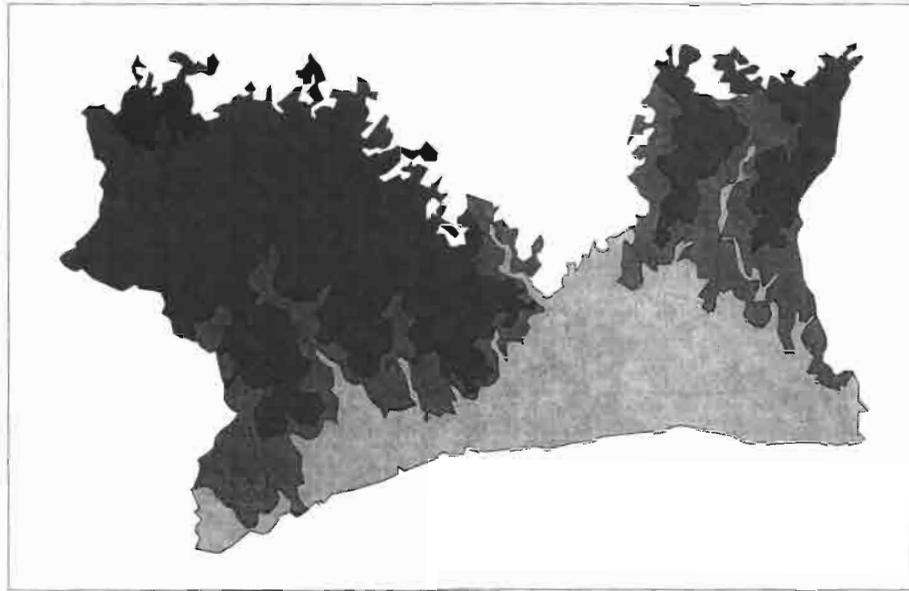
Cette classification est basée aussi bien sur les formations prédominantes dans le paysage que sur leur dynamisme actuel. Les caractéristiques sont définies dans *le tableau 2*.

Tableau 2 : Classification de la végétation (d'après Guillaumet et Adjonhoun, in Avenard et al., 1971)

Divisions phytogéographiques	Types de couverts végétaux
Secteur ombrophile	Forêt dense humide sempervirente
Secteur mésophile	Forêt dense humide sémi-décidue et savane guinéenne
Secteur littoral	Mosaïque de climax édaphique
Secteur Montagnard	Forêt dense humide de montagne

Figure 4 :

Carte hypsométrique du sud forestier ivoirien

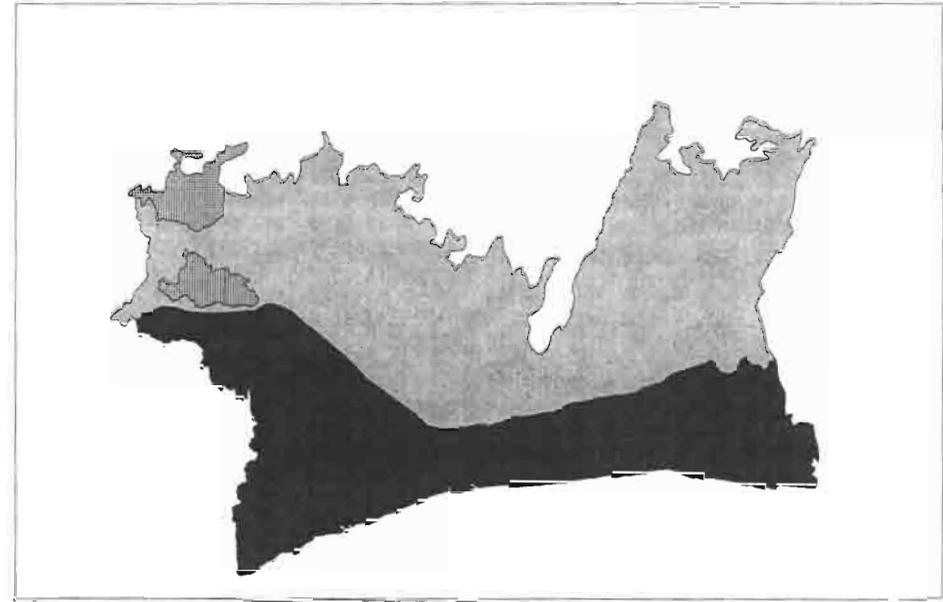


Echelle : 1 cm = 65 Km

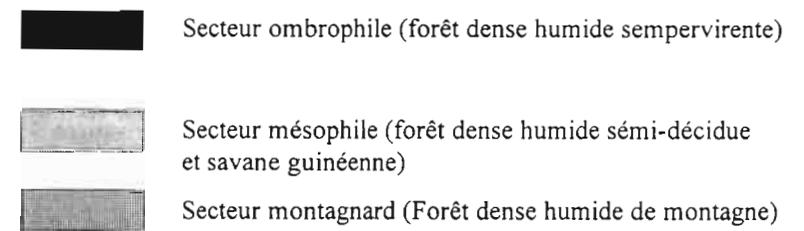


Source : Avenard (1971) in milieu naturel de la Côte d'Ivoire

Carte de végétation du sud forestier ivoirien



Echelle : 1 cm = 65 Km



Guillaumet et al. (1971) in milieu naturel de la Côte d'Ivoire

Les formations végétales comportent des variantes, qui sont fonction du substrat sur lequel elles reposent :

- dans le secteur ombrophile : sur les sols issus de schistes de texture fine se développe le type à *Diospyros* spp. et *Mapania* spp. Par contre sur les sols à substrat granitique plus sableux à sable grossier se développe le type à *Eremospatha africana* et *Diospyros manii*. Toutefois on note dans ce secteur des savanes prélagunaires dont le maintien est lié non à la nature du sol, mais à l'action de l'homme (occupation du sol et feux de brousse);
- dans le secteur mésophile : le type fondamental à *Celtis* et *Triplochiton scléroxylo*n recouvre indifféremment les sols issus de schiste et de granite.

1.2.3 SOL (Perraud in Avenard et al., 1971)

Cinq types de sol sont rencontrés en Côte d'Ivoire : les sols ferrallitiques, les sols ferrugineux, les sols bruns eutrophes, les sols hydromorphes et les sols podzolisés.

Le sud forestier ivoirien est principalement composé de sols ferrallitiques. Ce sont des sols souvent caractérisés par la présence importante d'un horizon riche en éléments grossiers. Selon l'importance de la pluviométrie annuelle, on peut distinguer différentes sous-classes de sols ferrallitiques. En Côte d'Ivoire forestière où il pleut plus de 1700 mm, les sols ferrallitiques sont fortement désaturés. La prédominance de sol ferrallitique dans cette zone n'exclut pas l'existence de sols bruns eutrophes et d'une petite proportion de sols ferrugineux.

Aptitude culturale des sols

La qualité des sols ainsi que leur capacité à supporter différentes gammes de cultures varient d'un secteur à un autre :

- le secteur Ombrophile a une richesse chimique très faible et en particulier, une désaturation importante ainsi qu'une réaction acide de l'horizon de surface (plus acide en profondeur). La conséquence est que cela abaisse le niveau de fertilité de

cette zone et interdit les cultures arbustives exigeantes comme le cacaoyer et le caféier (quand elles sont intensives). En revanche les cultures arborées moins exigeantes comme l'hévéa, le palmier à huile, ou le reboisement d'acajou, niangon etc., trouvent dans ce secteur une aire climatique optimale pour leur développement;

- le secteur mésophile dispose par contre d'une richesse plus élevée des horizons humifères, avec un climat encore suffisamment humide. Ces conditions rendent cette région très fertile et apte à presque toutes les cultures tropicales. L'ancienne boucle du cacao dans l'est et la région en pleine expansion de Daloa, Issia, Sinfra, Oumé, Bouaflé dans l'ouest, témoignent bien de la capacité de ces sols à supporter une large gamme de culture;

1.2.4 CLIMAT

1.2.4.1 Pluviométrie

Nous donnerons un bref aperçu des régimes pluviométriques rencontrés en Côte d'Ivoire forestière. Les moyennes interannuelles sur 43 ans (1950-1992) calculées pour l'ensemble de cette zone tournent autour de 1700 mm de hauteur de pluie (*tableau 3*). Les précipitations diminuent progressivement dans le sens sud-ouest, nord-est.

Le régime pluviométrique rencontré est de type équatorial de transition. C'est un régime à 4 saisons alternées, nettement différenciées par la durée et les hauteurs pluviométriques enregistrées. On note 2 saisons humides et 2 saisons sèches. Le maximum des précipitations se situe en mai-juin. Ce régime pluviométrique ne s'applique pas au compartiment ouest du pays, où les reliefs sont les plus importants. On distingue dans ce secteur 2 saisons : une sèche relativement courte de novembre à février et l'autre humide de mars à octobre avec un maximum en septembre. Les pluies annuelles varient de 1600 à 1800 mm.

Tableau 3 : Répartition mensuelle des pluies (mm) de quelques stations allant du littoral aux régions intérieures du sud forestier ivoirien de 1950 à 1992 (données ANAM, Agence Nationale de l'Aviation civile et de la Météorologie)

Régions	Stations	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	déc	Tot.
Littoral	Abidjan	21	49	110	159	319	607	201	32	69	166	149	92	1974
	Adiaké	28	68	117	154	300	534	197	59	108	196	149	65	1975
	Tabou	56	44	88	138	423	547	187	133	244	191	185	147	2383
Intérieur	Abengourou	10	48	136	156	180	206	124	73	135	172	52	24	1317
	Daloa	12	65	110	143	147	162	105	145	223	150	47	21	1331
	Gagnoa	27	66	127	166	185	214	93	83	168	168	97	43	1438
Ouest	Man	11	51	107	153	148	189	191	262	299	155	43	20	1628
	Moyenne de la zone	23	56	113	153	243	351	157	112	178	171	103	58	1720

1.2.4.2 Evapotranspiration potentielle

La détermination de l'ETP par la formule de Penman a été réalisée par l'ANAM (tableau 4).

Tableau 4 : Evapotranspiration potentielle en mm de quelques stations allant du littoral aux régions intérieures du sud forestier ivoirien de 1977 à 1995 (données ANAM)

Régions	Stations	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	déc	Tot.
Littoral	Abidjan	118	128	135	138	124	101	96	90	101	120	126	116	1393
	Adiaké	109	123	129	128	115	92	86	84	89	108	116	105	1284
	Tabou	109	117	123	122	104	92	92	87	92	111	113	105	1267
Intérieur	Abengourou	116	132	144	137	129	112	101	99	105	112	113	109	1409
	Daloa	120	129	134	131	124	108	98	97	104	111	110	101	1367
	Gagnoa	106	116	102	122	109	95	87	88	97	109	102	94	1227
Ouest	Man	110	123	128	127	119	105	95	96	104	111	108	101	1327
Savane	Korhogo	152	166	176	173	156	145	127	124	128	138	139	142	1766

Afin de pouvoir comparer ces données à celles des autres régions du pays, les valeurs mensuelles de la station de Korhogo dans le nord du pays, en zone de savane arborée sont incluses.

Les valeurs interannuelles sont estimées sur l'ensemble du sud forestier ivoirien entre 1200 et 1400 mm. Elles représentent 60 à 85% des quantités d'eau précipitées annuellement.

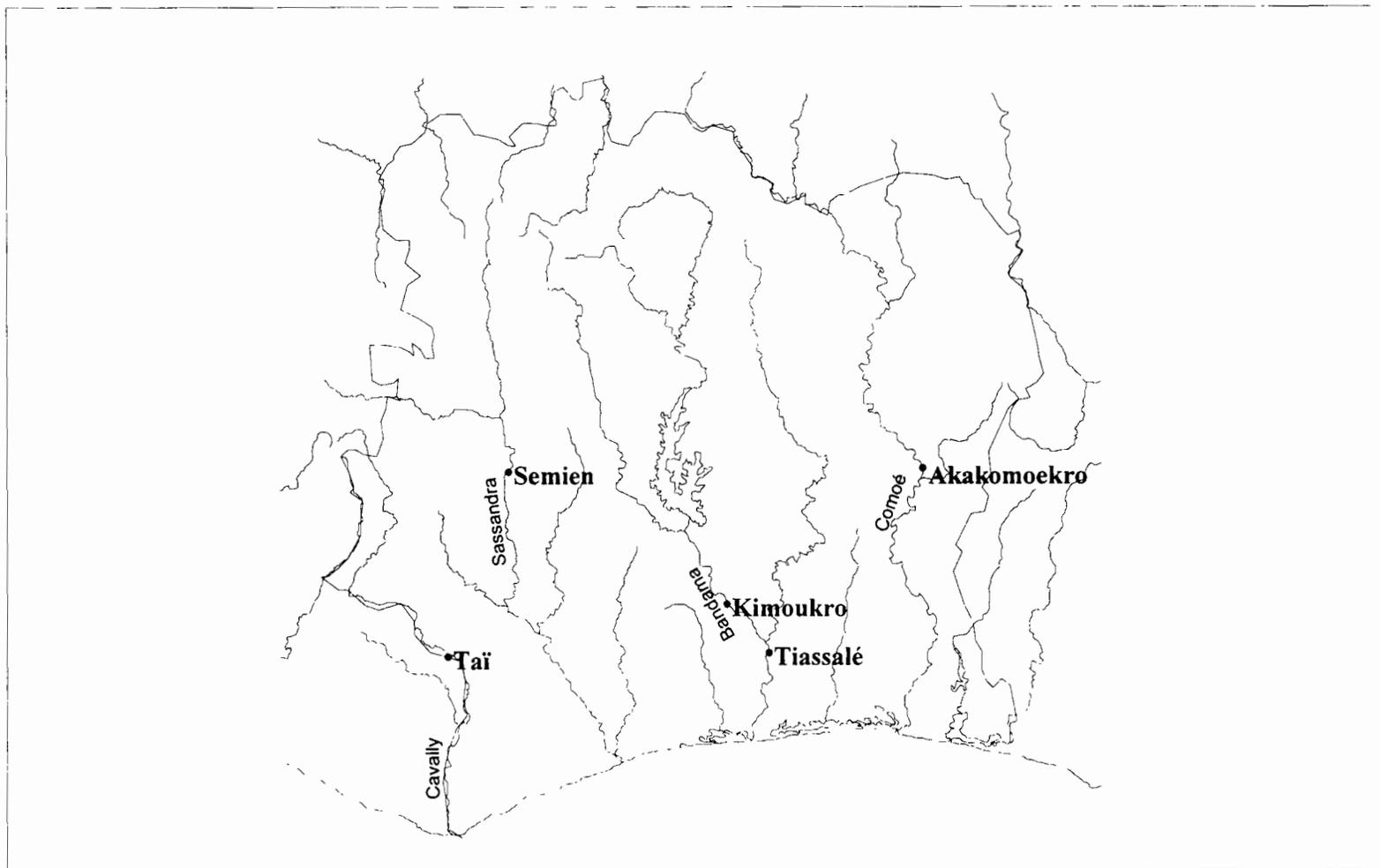
1.2.5 **HYDROGRAPHIE** (Girard, Sircoulon et Touchebeuf, in Avenard et al., 1971)

La Côte d'Ivoire forestière dispose d'un réseau hydrographique assez dense (*figure 5*). Il est composé de 4 fleuves principaux (le Cavally, le Sassandra, le Bandama, la Comoé), de fleuves côtiers (le Tabou, le San-Pedro, le Niounirou, le Boubo, la Mé et la Bia et l'Agneby).

Les fleuves prennent naissance plus au nord de la zone d'étude. Ils subissent donc d'autres influences. Les débits des cours d'eau sont essentiellement liés au régime des précipitations. Au niveau du sud forestier ivoirien, les régimes rencontrés sont de type équatorial de transition et montagnard :

- le régime équatorial de transition, présente 2 pointes de crues annuelles. La première, la plus importante se situe en juin et la seconde en septembre. Une période de basses eaux est identifiable quant à elle en août-septembre et une autre plus marquée de décembre à mars;
- Le régime de montagne s'observe à l'extrême ouest, dans la région de Man. La saison des moyennes et hautes eaux s'y installe d'avril à octobre. Les crues sont maximales en septembre et les étiages, qui restent soutenus, ont lieu en janvier-février.

Figure 5: Carte du reseau hydrographique de la Côte d'Ivoire



Source : OCP (1987)

Echelle : 1 cm = 60 Km

1.2.6 POPULATION ET ECONOMIE

Selon le recensement de 1988, le sud forestier ivoirien compte 8 103 406 habitants, dont 4 484 935 ruraux. On distingue dans cette population :

- des autochtones : les Mandé du sud (Dan, Gouro, Gagou) dans l'ouest, les Krou (Wê, Bété, Dida) dans le sud-ouest et les Akan (Lagunaires, Agni, Akié, Abey) dans l'est et le sud-est;
- des allochtones c'est-à-dire les populations qui se sont installées pendant ces dernières décennies (surtout avec l'économie de plantation), qui viennent d'autres régions ou de l'étranger : les Baoulé (du Centre), les Dioula (du nord), les Guinéens, les Burkinabés, les Maliens et autres.

L'activité économique fondamentale de cette population demeure la production agricole et forestière. En effet, ici à côté des activités de ramassage, pêche et chasse, l'homme cultive pour sa consommation quotidienne, le riz, le manioc, la banane et le taro, caractérisés par une jachère forestière de plus en plus réduite. L'introduction du café et du cacao, principales cultures d'exportation a donné lieu à l'établissement de vergers fixes. Des particuliers, collectivités et sociétés, ont entrepris des plantations de type industriel : ananas, bananier, hévéa, palmier à huile, agrumes dans la région d'Abidjan et autour des grands centres urbains.

1.3 CONCLUSION

Dans cette première partie de notre travail, on peut dire que :

Les conditions atmosphériques et géographiques se conjuguent dans le sud forestier ivoirien pour déterminer les précipitations. Les conditions atmosphériques ont une part prépondérante dans la mesure où elles commandent les précipitations. Ces conditions sont dictées spécialement par la nature des centres d'action, l'origine et les caractères des flux et enfin, les perturbations pluvieuses. Les conditions géographiques créent des nuances spatiales importantes. Il s'agit des altérations induites soit par des masses d'air spécifiques, soit par des influences orographiques ou des conditions locales particulières. Le sud forestier ivoirien s'inscrit bien dans ce schéma.

La zone d'étude, par sa végétation, son relief et son réseau hydrographique présente un environnement bioclimatique favorable. A ce potentiel, s'ajoute le poids d'une population agricole importante, dynamique et mobile. Toutes ces conditions apparaissent comme des éléments capables de modifier de façon incontrôlée le milieu naturel forestier. Cependant la pluviométrie découlant de ce cadre présente de nombreuses particularités. Nous allons les examiner dans la deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE

ANALYSE DES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES

Objectif

L'objectif de cette seconde partie consiste à mettre en évidence les particularités de chaque station, et de dégager des nuances ou associations possibles entre chacune d'elles. Un premier panorama pluviométrique du sud forestier ivoirien pourra être ainsi dressé. La démarche repose sur l'exploitation des caractéristiques statistiques descriptives (moyenne, valeur minimum et maximum, coefficient de variation, etc.) et sur l'utilisation de la méthode de l'analyse en composantes principales.

Chaque série pluviométrique étant considérée du point de vue statistique comme une "*chronique*", on cherchera également à lui ajuster un type de distribution de manière à en connaître les caractéristiques principales.

Cette étude vise en outre, la connaissance de l'évolution spatiale et temporelle de la pluviométrie. Les variables analysées sont les hauteurs pluviométriques et le nombre de jours de pluie, au pas de temps annuel et mensuel.

La mise en évidence d'éventuels accidents climatiques reposera sur deux types d'approches:

- une étude à caractère ponctuel menée à partir d'analyses statistiques, permettant de détecter des ruptures dans les séries chronologiques de données de pluie;
- Une étude à caractère régional axée sur des tracés comparatifs de courbes d'isovaleurs, sur les 4 dernières décennies.

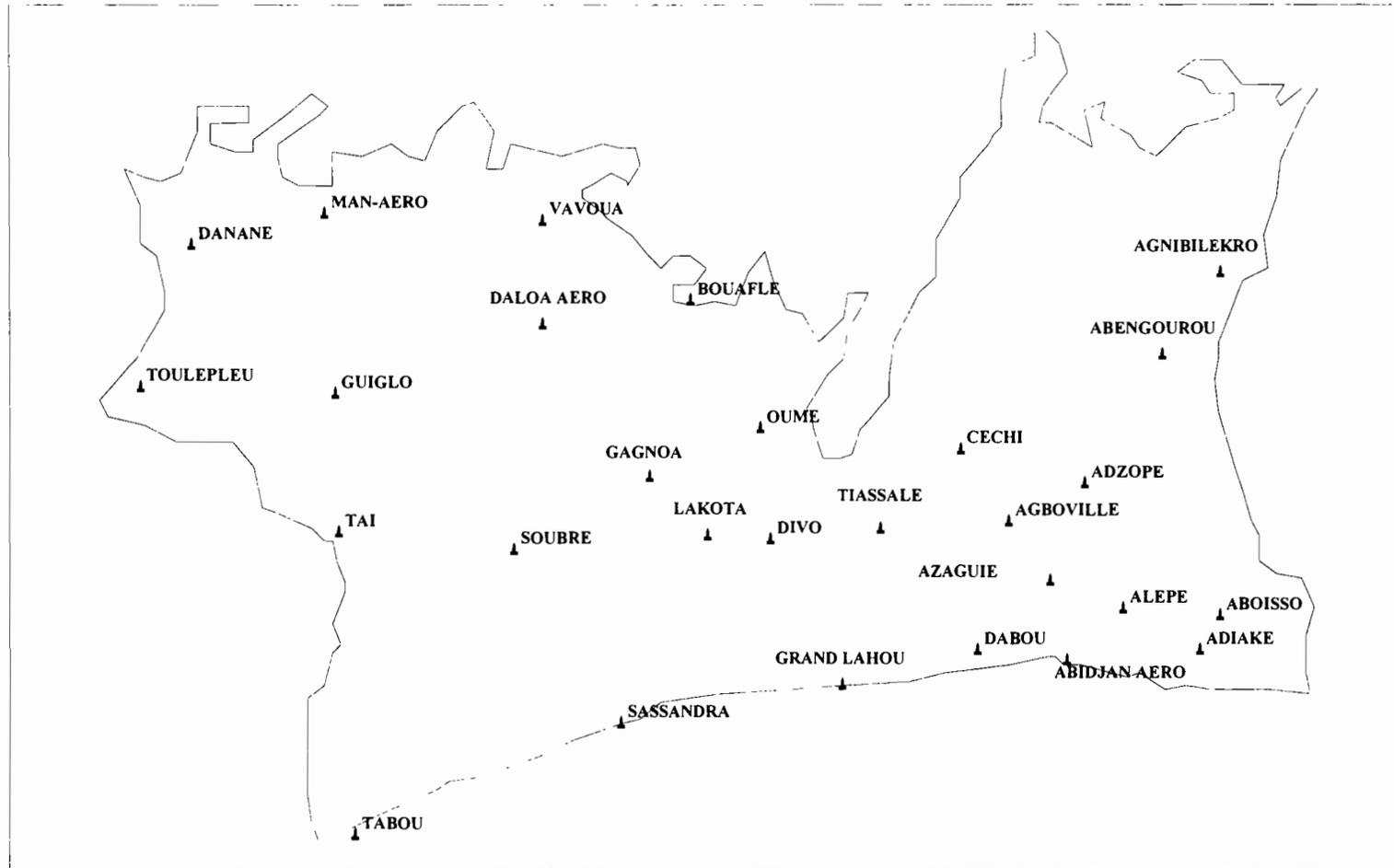
Le plus souvent possible, nous avons essayé de donner ces résultats sous forme de tableaux permettant les comparaisons. De même, nous avons tracé un grand nombre de graphiques (annexe I) qui permettent de voir l'évolution temporelle des phénomènes.

Les postes pluviométriques retenus sont présentés dans *le tableau 5 et la figure 6*

Tableau 5 : Coordonnées géographiques, altitudes et date d'implantation des postes pluviométriques retenus

Stations	Latitude (décimale)	Longitude (décimale)	Altitude (m)	Implantation
Abengourou	6,72	-3,48	201	1919
Abidjan Aéro	5,25	-3,93	7	1936
Aboisso	5,47	-3,20	34	1921
Adiaké	5,30	-3,30	35	1944
Adzopé	6,10	-3,85	125	1944
Agboville	5,92	-4,22	54	1923
Agnibilekro	7,12	-3,20	221	1944
Alépé	5,50	-3,67	33	1919
Azaguié	5,63	-4,02	80	1933
Bouaflé	6,98	-5,75	187	1924
Cechi	6,27	-4,45	112	1950
Dabou	5,30	-4,37	5	1952
Daloa agricole	6,87	-6,47	276	1966
Danané	7,25	-8,15	365	1947
Divo	5,83	-5,37	152	1946
Gagnoa	6,13	-5,95	205	1919
Grand-Lahou	5,13	-5,02	4	1921
Guiglo	6,53	-7,47	217	1924
Lakota	5,85	-5,67	200	1945
Man-Aéro	7,40	-7,52	340	1922
Oumé	6,37	-5,42	207	1944
Sassandra	4,95	-6,08	62	1922
Soubré	5,78	-6,60	134	1940
Tabou	4,42	-7,37	20	1919
Taï	5,87	-7,45	123	1924
Tiassalé	5,88	-4,83	20	1921
Toulepleu	6,57	-8,40	270	1924
Vavoua	7,37	-6,47	260	1953

Figure 6 : Postes pluviométriques retenus



Réalisée par Brou Yao T.

Echelle : 1 cm = 37 Km

2.1 CRITIQUE ET CARACTERISATION DES OBSERVATIONS

2.1.1 CRITIQUE ET CORRECTIONS DES DONNEES

L'une des difficultés de la recherche en climatologie dans nos pays réside dans la qualité et la valeur des données qui sont utilisées. Par conséquent, il faut se préoccuper de savoir où et sous quelles formes elles ont été recueillies pour juger de leur fiabilité.

Les données ont été collectées par l'ANAM (Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie) et par l'Antenne Hydrologique de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération). Elles ont été saisies et archivées en banque à l'aide du logiciel Pluviom (Raous et al., 1990). Les stations d'observation retenues sont vieilles d'au moins 30 ans; elles sont donc représentatives selon les normes de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale).

La critique des données a été possible grâce à l'utilisation combinée de la méthode des doubles cumuls et de celle du vecteur régional.

2.1.1.1 Critique des données basée sur la méthode des doubles cumuls

Dans la pratique, les données sont réunies en paires et pointées sur un graphique. L'axe des Y représente le total cumulé pour la station considérée et l'axe des X le total cumulé de la station dont les données sont disponibles et considérées comme homogènes. On pense qu'avec l'addition de valeurs successives, les erreurs aléatoires auront tendance à s'annuler entre elles et que la relation linéaire sera renforcée par la répétition. Toute variation importante de la pente ou de la tendance de la courbe résultante révèle une rupture de l'homogénéité.

Le contrôle de la qualité des données s'effectuera surtout à partir de la méthode du vecteur régional qui est beaucoup plus robuste, dans la mesure où le référentiel ne se limite pas à une station voisine mais prend en compte l'information régionale.

2.1.1.2 Critique des données basée sur la méthode du vecteur régional

Le vecteur régional (Hiez, 1992) est défini comme "une série chronologique d'indices pluviométriques, hydrométriques, ou autres, issus de l'extraction de l'information la plus "probable" (au sens de la plus fréquente), contenue dans les données d'un ensemble de stations d'observation groupées par région".

Cette méthode repose sur trois principes fondamentaux :

- une région homogène est constituée par l'ensemble des postes d'observation soumis au même régime pluviométrique;
- les totaux pluviométriques des stations d'une même région vérifient la règle de la pseudo-proportionnalité. Cela se traduit par le fait que, dans une représentation graphique, les vecteurs élémentaires restent sensiblement parallèles à la même direction, c'est-à-dire que leurs coordonnées gardent un rapport quasi-constant ($x_i/y_i = x_{i-1}/y_{i-1}$);
- l'information la plus plausible est celle qui se répète le plus fréquemment.

La technique consiste à présenter les mesures de la pluviométrie régionale sous une forme synthétique, toute l'information contenue dans chacun des postes pluviométriques ayant ainsi contribué à l'élaboration du vecteur régional. Basée sur le principe du maximum de vraisemblance, la méthode proposée repose donc, essentiellement, sur l'estimation de la valeur modale des données et sur un procédé original d'extraction du vecteur de référence à partir de la matrice des observations, par itérations successives sur les lignes (les années) et sur les colonnes (les stations).

La critique des données est axée sur une démarche équivalente à celle des "doubles cumuls", qui consiste à représenter graphiquement les écarts relatifs cumulés (année par

année) entre 2 stations. Dans la méthode du vecteur régional, ce travail fait intervenir l'écart logarithmique entre les données de la station considérée et celles fournies par le vecteur, lequel constitue par définition la valeur de référence. Ceci revient à comparer, pour une station donnée, la valeur observée à la valeur probable (produit de la valeur modale de la station par l'indice annuel du vecteur).

A partir de cette comparaison, il est possible de mettre en évidence l'existence éventuelle des anomalies isolées et des erreurs systématiques. Lorsqu'une valeur est anormalement élevée ou faible au sein d'une séquence, elle représente une anomalie locale possible (à prendre en considération) ou une erreur grossière (à éliminer). Une erreur systématique se rapporte au contraire à un groupe de plusieurs valeurs successives peu différentes entre elles et présentant des écarts significatifs par rapport au vecteur régional. Le critère d'hétérogénéité choisi pour cette analyse est de 25%.

La division de l'espace d'étude en régions, préalable à la mise en oeuvre de la méthode, s'est faite en référence aux travaux de Eldin (in Avenard et al, 1971). Ce découpage fait apparaître 4 zones ayant des régimes pluviométriques supposés homogènes : côte est, côte ouest, secteur montagnard, et l'ensemble équatorial de transition/équatorial de transition atténuée. La qualité des données a été évaluée en comparant le vecteur régional à toutes les stations de la zone. On trouvera en annexe II, les graphiques des différents vecteurs ayant servi à la critique.

Le *tableau 6* ci-après récapitule les résultats de la critique des données. Il indique pour chaque station, les données manquantes, la proportion occupée par les erreurs systématiques et les anomalies, sur la période d'observation.

Tableau 6 : Anomalies et erreurs systématiques détectées par la méthode du vecteur régional dans la zone d'étude considérée

Stations	Type	Période d'observation	Années incomplètes (%)	Erreurs Systématiques (%)	Anomalies (%)
Abengourou	SYN	1936-1992	3,5	0,0	1,8
Abidjan Aéro	AGRB	1919-1992	6,8	0,0	0,0
Aboisso	P	1921-1993	9,6	3,0	1,5
Adiaké	SYN	1944-1993	2,0	4,1	18,4
Adzopé	P	1944-1992	4,1	0,0	4,3
Agboville	CILM	1923-1993	25,4	0,0	5,7
Agnibilekro	P	1944-1992	6,1	0,0	6,5
Alépé	P	1919-1993	52,0	0,0	8,3
Azaguié	P	1933-1992	16,7	0,0	2,0
Bouaflé	P	1924-1992	1,4	0,0	2,9
Cechi	P	1950-1992	20,9	0,0	0,0
Dabou	P	1952-1993	14,6	0,0	0,0
Daloa agricole	P	1919-1992	10,8	0,0	1,5
Danané	CLIM	1947-1992	17,4	0,0	21,1
Divo	P	1946-1992	4,3	6,7	0,0
Gagnoa	AGRB	1919-1993	9,3	0,0	1,5
Grand-Lahou	P	1921-1993	8,3	7,6	9,1
Guiglo	P	1924-1993	11,4	0,0	11,3
Lakota	P	1945-1992	4,2	0,0	0,0
Man-Aéro	SYN	1922-1992	1,4	0,0	0,0
Oumé	P	1944-1992	4,1	0,0	12,8
Sassandra	SYN	1922-1993	5,6	0,0	0,0
Soubré	P	1940-1992	3,8	0,0	3,9
Tabou	SYN	1919-1992	13,7	3,2	4,8
Taï	P	1924-1992	42,9	0,0	17,5
Tiassalé	CLIM	1921-1992	19,7	0,0	1,8
Toulepleu	P	1924-1993	8,6	14,1	18,8
Vavoua	P	1953-1993	9,8	0,0	2,7

P = poste pluviométrique CLIM = station climatologique SYN = station synoptique
AGRB = station agroclimatologique

Sur l'ensemble des 28 stations retenues pour l'étude, 7% des données seraient entachées d'erreurs, le pourcentage d'anomalies étant, lui, largement supérieur.

Les anomalies ou erreurs isolées varient d'un site d'observation à un autre :

- 1,5 à 6,5% pour les stations d'Abengourou, Aboisso, Adzopé, Agboville, Agnibilekro, Daloa, Gagnoa, Soubré, Tabou, Tiassalé et Vavoua;
- 8,3 à 12,8% pour les stations d'Alépé, Grand-Lahou et Oumé. Les anomalies les plus significatives sont notées à Adiaké, Danané, Taï et Toulepleu avec des taux allant de 17,5 à 21%;
- très peu de stations enregistrent 0%. Il s'agit d'Abidjan, Cechi, Dabou, Divo, Lakota, Man.

Les erreurs systématiques sont en revanche peu fréquentes : seules les stations d'Aboisso, Adiaké, Divo, Grand-Lahou, Tabou, Toulepleu enregistrent un taux d'erreur relativement important.

Une analyse par type de station montre que les réseaux synoptiques et agroclimatologiques présentent des données significativement de meilleure qualité que celles fournies par les autres postes, exception faite du pourcentage élevé d'anomalies au niveau de la station d'Adiaké.

De façon générale, ces valeurs détectées entachées d'erreurs sont dues dans certains cas à de mauvaises observations ponctuelles dont les causes peuvent être multiples : observateur peu consciencieux ou mal formé, erreurs de transcription ou de saisie. Dans d'autres cas (erreurs systématiques), les causes sont à rechercher dans les changements de localisation du poste ou simplement dans la modification de son environnement mais aussi dans l'utilisation d'instruments non standardisés ou inadéquats (éprouvette non adaptée au pluviomètre).

L'examen des séries d'observation pluviométriques de la zone d'étude révèle aussi l'existence de données manquantes. En effet sur 1715 stations-années observées pour l'ensemble des 28 postes pluviométriques, on en compte 1503 complètes et 213 incomplètes. Ces derniers constituent 12,4% du total des "*stations années*" observées.

Ce taux relativement élevé d'années incomplètes signifie qu'un nombre important d'années comportent des relevés absents au niveau journalier, voire mensuel. On constate que ces lacunes sont assez fréquentes dans les postes pluviométriques où les données sont enregistrées par des agents de circonstance (agent de sûreté, instituteur, secrétaire etc.). Ceux-ci s'absentent généralement pendant leurs congés, ou abandonnent tout simplement les enregistrements pour d'autre raison, entraînant là un arrêt momentané des relevés. Les exemples de Taï et d'Alépé sont révélateurs. Les observations commencent à Taï en 1924 et s'interrompent en 1928, pour reprendre seulement en 1943 où elles s'établissent alors sur une longue durée. A Alépé elles commencent en 1919 et s'arrêtent en 1920; démarrent à nouveau en 1922 pour s'interrompre encore en 1925. La série de longue durée ne débute réellement qu'en 1956.

Au contraire les stations synoptiques, climatologiques et agroclimatologiques échappent généralement à ces critiques. Ici les relevés sont effectués par des spécialistes dont des assistants en météorologie et des techniciens supérieurs. Ces stations sont ouvertes 24h sur 24h et sont reconnues par l'OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie).

2.1.1.3 Correction des données

Les données ont été corrigées à l'aide de la méthode du vecteur régional (présentée dans les paragraphes précédents). La substitution des erreurs détectées par des données plus vraisemblables est rendue possible dans la méthode du vecteur régional à l'aide de la règle de pseudo-proportionnalité entre stations voisines. Un coefficient correcteur est alors affecté aux données dites erronées (*tableau 7*).

Tableau 7 : Correction des anomalies et erreurs systématiques détectées pour les données des stations étudiées du sud forestier ivoirien

Stations	Période	Type	coefficient correcteur	Stations	Période	Type	coefficient correcteur
Abidjan aéro	1990	A	1,74	Guiglo	1927	A	0,55
Aboisso	1941/1942	D	0,53		1928	A	0,75
	1945	A	0,52		1934	A	0,57
Adiaké	1950	A	0,74		1941	A	0,77
	1960	A	0,76		1943	A	0,73
	1982/1983	D	0,76		1956	A	1,39
Adzopé	1949	A	1,37		1958	A	0,77
	1971	A	1,51	Oumé	1945	A	1,41
Agboville	1946	A	1,42		1957	A	1,37
	1956	A	1,65		1982	A	1,5
	1987	A	0,74		1984	A	1,37
Agnibilekro	1962	A	1,33		1985	A	2,22
	1967	A	1,44		1992	A	1,35
	1991	A	1,33	Soubré	1943	A	0,65
Alépé	1959	A	0,64		1967	A	1,33
	1982	A	0,66	Tabou	1936/1937	D	0,70
Azaguié	1949	A	1,44		1988	A	0,66
Bouaflé	1927	A	1,29		1992	A	0,70
	1930	A	1,43	Tai	1957	A	1,28
Cechi	1951	A	1,28		1958	A	0,73
	1954	A	1,33		1982	A	0,71
	1977	A	1,57		1985	A	0,63
Daloa agri	1964	A	1,41		1986	A	0,75
Danané	1947	A	0,78		1987	A	0,64
	1952	A	1,28		1988	A	0,54
	1953	A	0,73	Tiassalé	1992	A	2,58
	1956	A	0,74	Toulepleu	1925	A	1,28
	1958	A	0,66		1932	A	0,64
	1960	A	0,69		1936	A	1,30
	1965	A	0,66		1938	A	1,31
	1968	A	1,41		1945	A	1,36
Danané	1988	D	0,72		1952	A	1,53
	1991/1992	D	0,72		1955	A	1,7
Divo	1950/1952	D	0,46		1964	D	1,72
Gagnoa	1925	A	1,89		1966/1968	D	1,72
Grand-	1923	A	0,47		1971	A	1,36
Lahou	1951	A	1,31		1980	A	1,31
	1956	A	0,68		1986	A	1,58
	1958	A	1,36		1987	A	1,3
	1963	A	1,37		1990	A	1,71
	1975	A	0,77	Vavoua	1970	A	0,75

A = anomalies D = déviations ou erreurs systématiques

Les stations de Danané, Grand-Lahou, Guiglo, Oumé, Taï, Toulepleu comptent un nombre relativement élevé de données erronées. Toutefois les corrections apportées ne modifient pas profondément les données brutes. L'interprétation des résultats reste donc la même.

2.1.2 CARACTERISATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

L'objet de cette partie est d'une part de caractériser chaque station puis de faire des associations pour définir des aires pluviométriques. Ces regroupements spatiaux seront aussi effectués à partir de l'analyse en composantes principales. Il s'agit, d'autre part, à partir des résultats des tests d'adéquation aux différents modèles de distribution théorique, d'identifier la loi statistique qui s'ajuste le mieux sur les séries pluviométriques. Ces lois statistiques seront par la suite utilisées pour estimer les périodes de retour en années sèches et humides pour les différentes stations pluviométriques.

2.1.2.1 Caractéristiques statistiques des séries pluviométriques

L'ensemble des caractéristiques statistiques descriptives a été reporté dans *le tableau 8*. Les calculs ont été effectués sur les précipitations annuelles. Les années incomplètes ne sont pas prises en compte.

Les moyennes interannuelles varient de 1197 mm (Vavoua, limite nord de la zone d'étude) à 2300 mm (Tabou, partie sud-ouest du pays). Entre les valeurs minimales et maximales, on note que l'écart absolu observé est souvent important (2160 mm à Sassandra, 2502 mm à Divo). Cette situation est le fait d'années exceptionnelles, tant déficitaires qu'excédentaires. Quant à la dispersion des données, elle est assez faible. Les valeurs du coefficient de variation le montrent bien : 0,19 à 0,30.

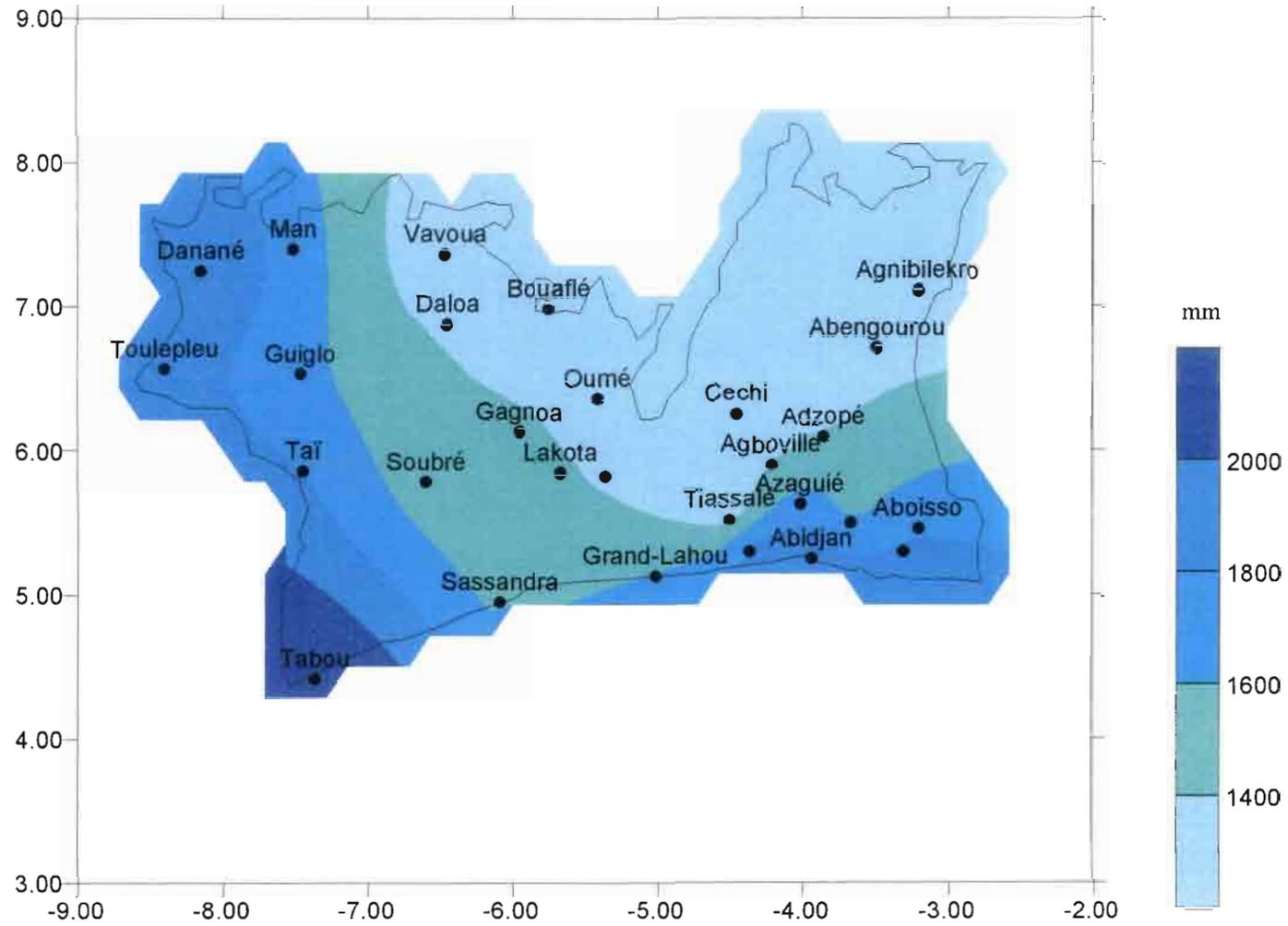
Tableau 8 : Valeurs caractéristiques de la pluviométrie annuelle des stations étudiées du sud forestier ivoirien

stations	moyenne interannuelle	minimum	maximum	coefficient de variation	coefficient de dissymétrie	coefficient d'aplatissement
Abengourou	1340	852	1994	0,19	0,55	3,39
Abidjan	1981	1267	3128	0,21	0,29	2,77
Aboisso	1778	1088	2948	0,21	0,60	3,65
Adiaké	1827	1110	3035	0,22	0,65	3,43
Adzopé	1401	706	2186	0,20	0,58	4,09
Agboville	1386	772	2001	0,18	0,37	3,24
Agnibilekro	1236	721	2571	0,26	1,84	8,84
Alépé	1572	1005	2308	0,23	0,51	2,88
Azaguié	1722	1068	2454	0,18	- 0,01	2,55
Bouaflé	1299	818	1929	0,20	0,36	2,79
Cechi	1323	793	2128	0,25	0,58	3,11
Dabou	1865	1050	2720	0,22	0,57	3,15
Daloa agri	1372	851	2119	0,18	0,54	3,29
Danané	2012	1266	3331	0,23	1,09	4,38
Divo	1375	860	2697	0,28	0,20	6,77
Gagnoa	1434	943	2098	0,17	0,57	3,22
Grand-Lahou	1615	787	3051	0,29	0,66	3,25
Guiglo	1651	1026	2445	0,16	0,54	3,73
Lakota	1425	861	2838	0,29	1,55	6,22
Man	1718	1150	3985	0,23	2,83	18,60
Oumé	1318	829	1816	0,16	0,46	3,31
Sassandra	1547	599	2760	0,28	0,24	3,07
Soubré	1481	840	2143	0,17	0,19	3,62
Tabou	2301	1322	3400	0,22	0,35	2,47
Taï	1797.5	1379	2491	0,15	0,47	3,31
Tiassalé	1277	751	2682	0,26	1,30	7,00
Toulepleu	1832	1011	2689	0,21	0,08	3,15
Vavoua	1197	742	1764	0,20	0,22	0,81

On peut distinguer 5 aires pluviométriques en tenant compte des hauteurs pluviométriques annuelles. La *figure 7* qui suit présente les aires pluviométriques en Côte d'Ivoire forestière :

- le littoral ouest (autour de Tabou) avec des précipitations supérieures à 2200 mm;
- le littoral est qui enregistre des précipitations allant de 1800 à 1900 mm (Dabou, Abidjan, Adiaké). La forte pluviométrie enregistrée sur les littoraux ouest et est peut s'expliquer par l'angle d'incidence des flux de masses d'air sur la côte (Aubreville, 1986). Celle-ci est orientée SW-NE et se trouve directement sous l'influence de la mousson (les masses d'air de secteur SW leur étant sensiblement perpendiculaires);
- Le littoral centre (Sassandra, Grand-Lahou) qui au contraire des parties ouest et est de la côte est orientée SW-NE, donc parallèle aux masses d'air de secteur SW. On dit qu'elle est sous le vent (Aubreville, 1986), et reçoit proportionnellement moins de précipitations : les moyennes interannuelles vont de 1500 mm (Sassandra) à 1600 mm (Grand-Lahou);
- la région ouest du pays (Danané, Man, Guiglo) où les pluies vont de 1700 à 2000 mm. L'influence du relief et du massif forestier de Taï est prépondérante dans cette zone. Les reliefs de la dorsale guinéenne, en s'opposant à la pénétration du flux de mousson et en provoquant le soulèvement des masses d'air humides, entretiennent la forte pluviométrie enregistrée sur ce territoire;
- sur le reste de la région d'étude c'est-à-dire, l'arrière-pays forestier, les précipitations sont moindres et vont en décroissant vers le nord de la zone d'étude : Divo (1500 mm), Oumé (1200 mm).

Figure 7: Aires pluviométriques dans le sud forestier ivoirien



Réalisée par Brou yao T.

La variation de la pluviométrie sur l'espace d'étude se fait suivant un gradient positif du nord-est vers le sud-ouest : en moyenne 1300 mm à Bouaflé, 1500 mm à Soubré et 2300 mm à Tabou.

2.1.2.2 Analyse en composantes principales (ACP)

Les aires pluviométriques qui ont été définies ci-dessus sont basées sur des moyennes interannuelles qui donnent une vue globale et masquent parfois des détails importants. Il est donc plus intéressant d'utiliser les séries pluviométriques pour caractériser les différentes stations pluviométriques et opérer des regroupements selon leurs affinités.

a) Principe de l'ACP

Lorsqu'il n'y a que 2 ou 3 caractères, il est plus facile de présenter, sur un graphique plan, l'ensemble des données. Le simple examen visuel de l'allure du nuage permet d'étudier l'intensité des liaisons et de repérer les individus ou groupe d'individus présentant des caractéristiques voisines. Mais dès que le nombre de caractères devient supérieur ou égal à 4, cela devient impossible.

L'analyse en composantes principales permet donc de regrouper les individus selon leur proximité dans l'espace à n dimensions des n caractères.

Le principe consiste à définir de nouveaux axes perpendiculaires sur lesquels les individus sont projetés. Ces axes sont appelés composantes principales et les coordonnées des individus ainsi projetés sont des combinaisons linéaires des caractères initiaux. Pour retenir le nombre final d'axes, on tient compte du pourcentage de variance expliquée par chaque axe.

Les résultats sont donnés sous forme de représentations graphiques, 2 individus ou 2 variables se ressemblant d'autant plus qu'ils sont proches l'un de l'autre.

b) Application de l'ACP

Nous avons effectué l'analyse en composantes principales des stations pluviométriques de la zone d'étude. Les stations présentant un grand nombre de données manquantes n'ont pas été prises en compte. On a donc distingué 20 stations et 20 années communes à ces stations qui s'étendent sur la période 1950 à 1990.

Le calcul des composantes principales donne les résultats suivants (*tableau 9*) :

Tableau 9 : Valeurs propres et inertie des axes

Composantes	Valeurs propres	% de variance	% cumulé
1	10,53	52,67	52,67
2	1,83	9,15	61,82
3	1,58	7,90	69,72
4	1,22	6,13	75,86
5	1,08	5,43	81,29

Les deux premières valeurs propres représentant environ 62% de l'inertie, nous résumons les données par les 2 premières composantes principales. L'inertie c'est le pourcentage de variance expliquée par l'ACP.

Les corrélations entre les composantes principales et les caractères initiaux sont contenues dans le *tableau 10* ci-après. Ce tableau montre bien que **la première composante principale** est corrélée négativement avec toutes les stations. Ce qui est remarquable est qu'elle caractérise mieux les stations de Gagnoa, Soubré, Divo, Bouaflé, Oumé, Toulepleu, Daloa, Guiglo, Adzopé, le lien étant très fort. En revanche la corrélation de cet axe est faible au niveau d'Abengourou, Abidjan, Adiaké, Agnibilekro, Lakota, Azaguié, Sassandra, Tabou. L'opposition de ces 2 groupes que l'on retrouve sur le tableau 10, est donc le trait dominant. **La deuxième composante principale** traduit essentiellement l'opposition entre 2 groupes de stations faiblement corrélées, l'un négativement et l'autre

positivement (*tableau 10*). Cette divergence se voit mieux entre le groupe Aboisso, Adiaké, Azaguié, Abidjan et le groupe Man, Guiglo, Daloa.

Tableau 10 : corrélation des principaux axes avec les stations

Stations	r (c1,xj)	r (c2,xi)
Abengourou	- 0,53	- 0,17
Abidjan	- 0,55	- 0,70
Aboisso	- 0,77	- 0,42
Adiaké	- 0,66	- 0,50
Adzopé	- 0,84	0,13
Agnibilekro	- 0,64	- 0,07
Azaguié	- 0,57	- 0,54
Bouaflé	- 0,83	0,16
Daloa	- 0,83	0,25
Divo	- 0,84	0,00021
Gagnoa	- 0,86	- 0,13
Guiglo	- 0,81	0,27
Grand-Lahou	- 0,76	0,22
Lakota	- 0,42	0,11
Man	- 0,76	0,28
Oumé	- 0,84	0,10
Sassandra	- 0,61	0,43
Soubré	- 0,83	- 0,05
Tabou	- 0,41	0,11
Toulepleu	- 0,81	0,16

Ces corrélations permettent d'interpréter les composantes principales et de repérer les groupes de stations liés entre eux ou opposés. On peut ainsi identifier 6 groupes (*figures 8 et 9*) :

1- Littoral est : Aboisso, Adiaké, Azaguié, Abidjan

2- Littoral centre : Sassandra, Grand-Lahou

3- Littoral ouest : Tabou

4- Région est : Agnibilekro, Abengourou

5- Région ouest : Man, Guiglo, Toulepleu, Daloa

6- Région intérieure : Adzopé, Gagnoa, Soubré, Divo, Oumé, Bouaflé, Lakota

Figure 8 : Cercle des corrélations

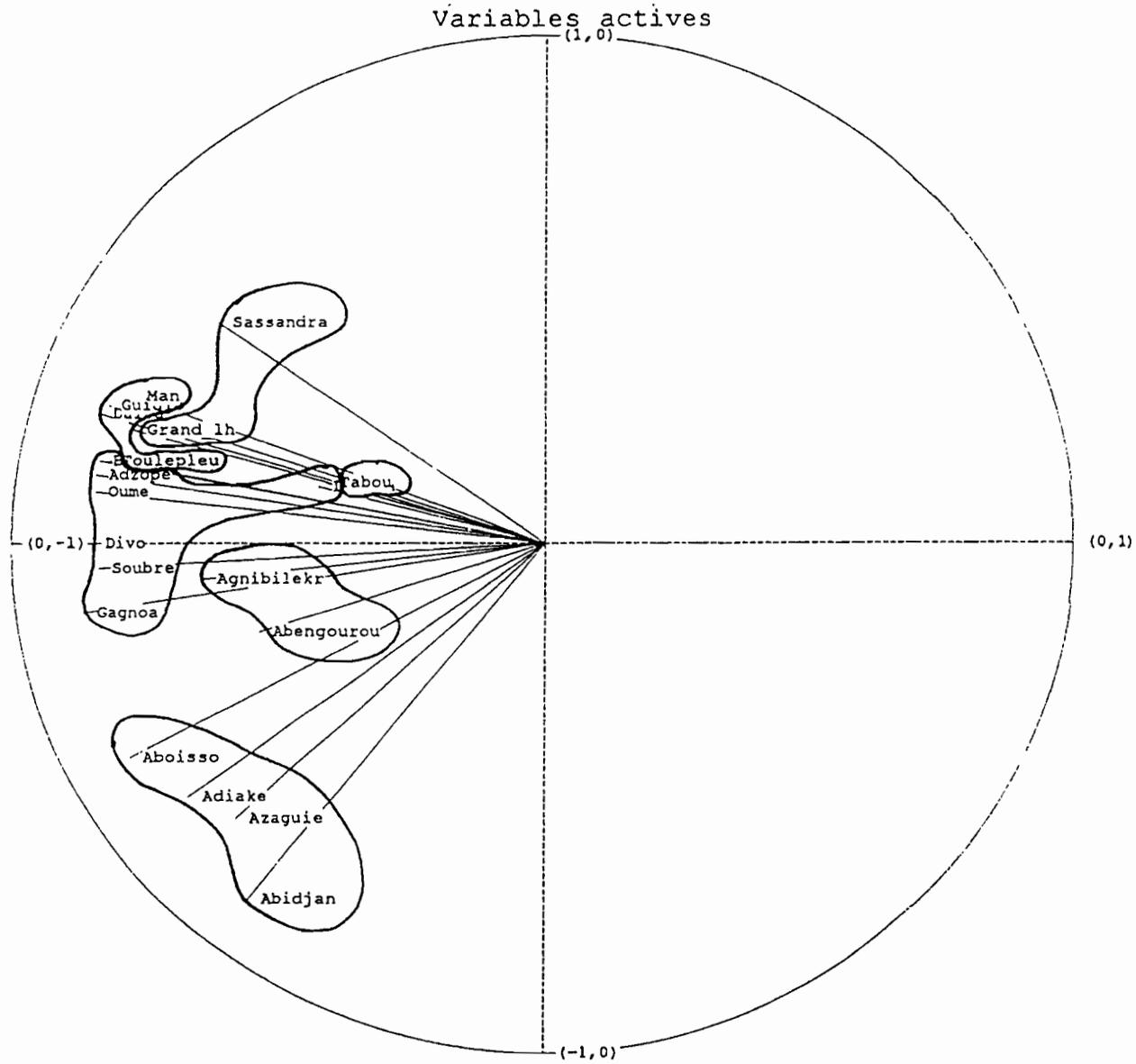
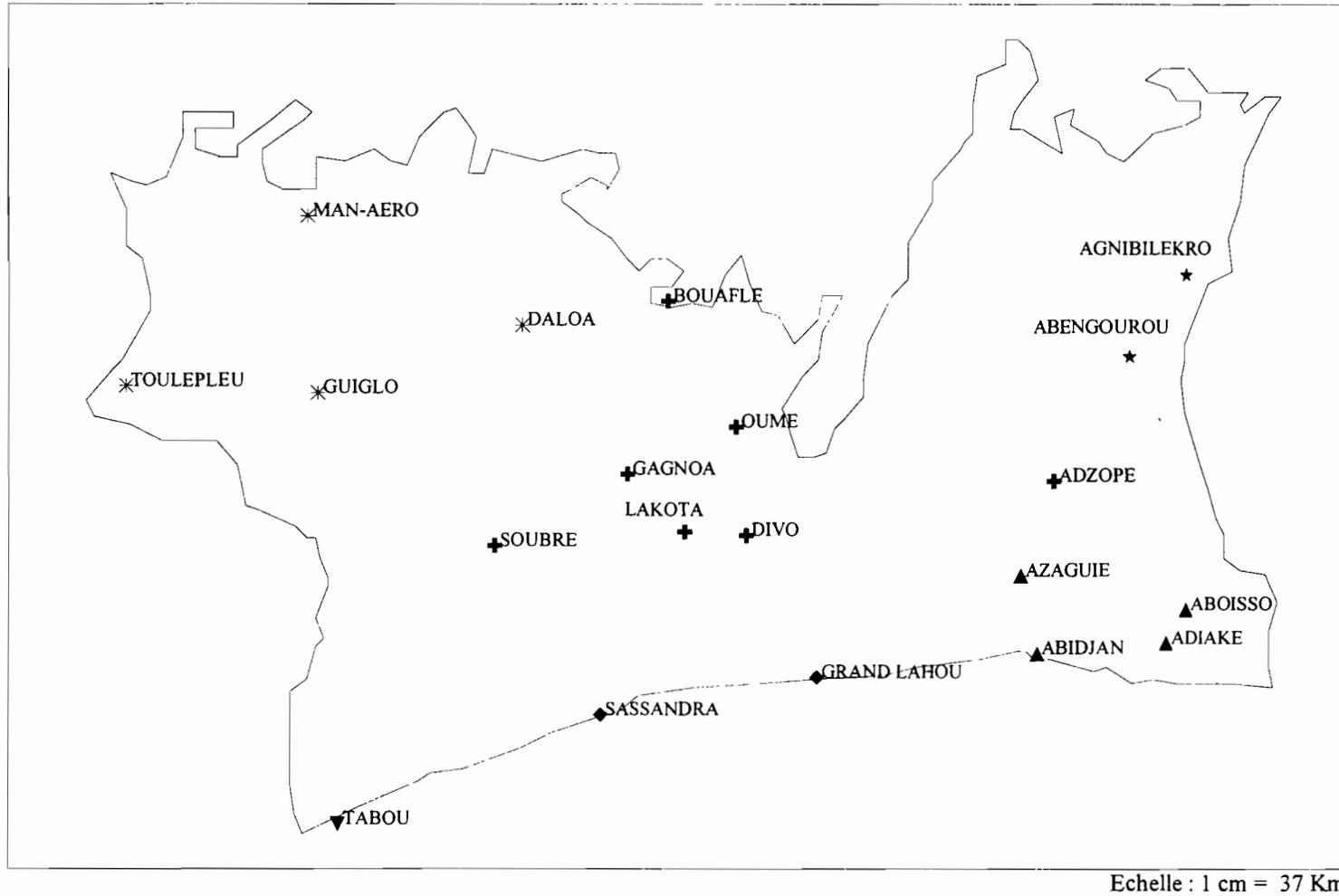


Figure 9 : Résultats de l'analyse en composantes principales réalisée sur les séries pluviométriques annuelles du sud forestier ivoirien : regroupement des postes pluviométriques



- ▲ Littoral est
- ▼ Littoral ouest
- ★ Région est
- ◆ Littoral centre
- + Région intérieur
- * Région ouest

Ce découpage se superpose à celui défini précédemment à partir des moyennes pluviométriques interannuelles. La différence vient de la division en 2 sous-espaces de la région intérieure. L'analyse en composantes principales a permis en effet d'individualiser au sein de ce vaste ensemble un groupe de stations localisées à l'est. Nous retiendrons ce découpage pour les analyses qui suivront.

2.1.2.3 Ajustement à un modèle, des distributions des hauteurs annuelles de pluie et estimation des périodes de retour en années sèches et humides

"Ajuster un modèle à une distribution empirique, c'est passer d'une variable observée, c'est-à-dire d'un cas particulier, à un modèle qui élimine les détails peu significatifs. La démarche consiste à faire l'hypothèse de la loi suivie par la distribution, tester la différence entre la distribution et cette loi, accepter cette loi comme modèle ou en chercher une autre" (Chadule, 1974). Si un ajustement est possible, la modélisation permet de généraliser et de prévoir l'évolution probable des phénomènes en faisant passer des fréquences observées aux probabilités. Lorsque plusieurs lois peuvent s'ajuster à une même distribution observée, il faut effectuer un choix en tenant compte du contexte et des conditions particulières. En climatologie, on admet en général que la distribution des hauteurs annuelles de pluie suit une loi normale.

Ainsi pour chaque station, on a recherché au moyen du logiciel Safarhy (Lubès et al., 1994) la loi statistique qui s'ajuste le mieux. Le jugement sur la qualité des ajustements a été basé sur les valeurs de test de χ^2 et de A_2 (Anderson in Lubès et al., 1994).

Les résultats des tests d'adéquation sont présentés en annexe III. Pour la loi normale, les paramètres utilisés sont la moyenne (m) et l'écart-type (σ). Quant aux paramètres de la loi Gamma, elles permettent d'obtenir la moyenne (m) et l'écart-type (σ), selon la relation : $m = \beta\alpha$ et $\sigma^2 = \beta^2\alpha$; α et β sont les deux paramètres de la loi Gamma. Les lois log. normale et racine carrée. normale, obéissent aux mêmes principes de mise en oeuvre que

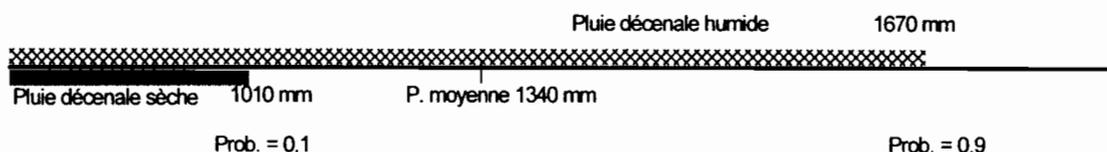
ceux de la loi normale, en utilisant la variable transformée respectivement en logarithme et en racine carrée. Il en va de même pour les lois log. normale et racine carrée normale.

Dans la majeure partie des cas le meilleur ajustement statistique s'est fait sur la loi de Gauss ou loi normale. L'examen des coefficients de dissymétrie et d'aplatissement dans les tableaux 4a et 4b montre que les distributions sont proches de la normalité. Ces coefficients tournent respectivement autour de 0 et 3. Dans les cas où les séries ne répondent pas aux conditions de la loi normale, c'est la loi Gamma qui a été utilisée pour l'ajustement. En effet la distribution Gamma peut convenir pour "modéliser" des variables qui sont bornées inférieurement par 0 et n'ont pas de limite supérieure.

Les ajustements étant réalisés, nous allons pouvoir les utiliser pour faire quelques prévisions. Nous allons déterminer en effet quelles sont les hauteurs annuelles probables de pluie pour certaines périodes (la *figure 10* en donne un exemple). Généralement, on choisit les valeurs suivantes :

- pluie décennale humide : hauteur de pluie qui se produit une fois tous les 10 ans en moyenne. Sa probabilité de non dépassement est de 0,9;
- pluie décennale sèche : hauteur de pluie qui se produit une fois tous les 10 ans en moyenne, sa probabilité de non dépassement est de 0,1;

Figure 10 : Probabilité de non dépassement des pluies décennales sèches et humides, l'exemple d'Abengourou



- pluie cinquantennale : hauteur de pluie qui se produit une fois tous les 50 ans en moyenne. La probabilité de non dépassement est de 0,98 pour la pluie cinquantennale humide et 0,02 pour la pluie cinquantennale sèche;

- pluie centennale : hauteur de pluie qui se produit une fois tous les 100 ans en moyenne. La Probabilité de non dépassement est de 0,99 pour la pluie centennale humide et de 0,01 pour la pluie centennale sèche.

Il est possible, pour un échantillon de 40 ans comme c'est le cas pour la plupart des séries pluviométriques traitées ici, de faire des prévisions sur des périodes de 50 ans et de 100 ans. Dans le cadre de cette étude, nous nous limiterons aux pluies décennales sèches et humides. Les hauteurs annuelles probables correspondantes pour chaque station sont regroupées dans le *tableau 11* ci-après.

Les pluies décennales correspondent aux faibles valeurs de la distribution. Pour les stations du littoral (excepté Sassandra et Grand-Lahou), ainsi que celles de l'ouest (sauf Man), les années sèches qui ont la chance de se produire une fois tous les 10 ans ont une hauteur de pluie comprise entre 1300 et 1700 mm. Quant aux années humides, on s'attend probablement à avoir une fois chaque décennie des précipitations allant jusqu'à 2500 mm et 3000 mm pour Tabou. Dans les régions intérieures, de faibles valeurs de précipitations annuelles (850 à 1150 mm) peuvent être enregistrées, en moyenne une fois tous les 10 ans. On estime aussi dans cette région qu'il est possible d'observer en moyenne une fois chaque décennie des précipitations annuelles importantes allant de 1500 à 2100 mm.

Tableau 11 : Hauteurs (mm) pour des périodes de retour décennale

Stations	Lois	Pluie décennale sèche	Pluie décennale humide
Abengourou	Normale	1010	1671
Abidjan aéro	Normale	1444	2519
Aboisso	Normale	1297	2260
Adiaké	Normale	1308	2346
Adzopé	Normale	1045	1763
Agboville	Normale	1059	1713
Agnibilekro	Gamma	878	1625
Alépé	Normale	1115	2031
Azaguié	Normale	1300	2126
Bouaflé	Normale	959	1640
Cechi	Normale	900	1747
Dabou	Normale	1344	2387
Daloa agri	Normale	1048	1697
Danané	Gamma	1489	2576
Divo	Gamma	1013	1827
Gagnoa	Normale	1119	1751
Grand-Lahou	Normale	998	2221
Guiglo	Normale	1318	1984
Lakota	Gamma	974	1918
Man	Gamma	1293	2175
Oumé	Normale	1042	1595
Sassandra	Normale	993	2102
Soubré	Normale	1155	1807
Tabou	Normale	1641	2962
Taï	Normale	1453	2141
Tiassalé	Log gamma	901	1705
Toulepleu	Normale	1350	2314
Vavoua	Normale	879	1498

2.2 EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN

2.2.1 METHODES DE DETECTION DE RUPTURE

Le plus souvent, le traitement statistique des séries hydrologiques porte essentiellement sur l'étude de la stationnarité et la synthèse des données sous différents paramètres statistiques (moyenne, écart type, etc.) (Nalbantis et *al.*, 1993). Plusieurs méthodes, disponibles dans la littérature, permettent l'analyse de ces phénomènes dans une série chronologique (Yevjevitch, 1972; Kottegoda, 1980; Kite, 1989).

Les tests utilisés dans ce travail sont ceux retenus dans le cadre du programme ICCARE (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne). Ils sont extraits de l'étude de Lubès et al. (1994). Leur choix se justifie par la robustesse de leur procédure et du fait qu'ils ont déjà été appliqués à des séries hydrométéorologiques observées en Afrique soudano-sahélienne (Bonneaud, 1994).

On cherche à vérifier le caractère aléatoire des séries de variables et à détecter une éventuelle rupture dans les séries chronologiques de ces variables.

2.2.1.1 Méthodes d'analyse du caractère aléatoire

L'analyse du caractère aléatoire des séries s'appuie sur l'examen de l'autocorrélogramme (Yevjevitch, 1972) et sur le test de corrélation sur le rang (Kendall et Stuart, 1943; WMO, 1966).

2.2.1.1.1 L'autocorrélation

L'étude de l'autocorrélation permet d'examiner généralement la périodicité éventuelle des événements et les liaisons entre les valeurs successives des variables considérées (Kottegoda, 1980). Dans notre cas, l'objectif est d'apprécier la dépendance linéaire des valeurs successives de séries pluviométriques à une station donnée. Cette démarche a pour

objet de détecter un éventuel effet de mémoire dans les séries de données (Hubert et al., 1986). La modélisation des variables traitées à partir des modèles autorégressifs ne sera pas envisagée ici.

Soit la série chronologique (x_i) , $i=1,\dots,N$, les x_i désignent les réalisations de la variable X observée à des pas de temps successifs égaux. Le coefficient d'autocorrélation r_k d'ordre k est donné par l'expression :

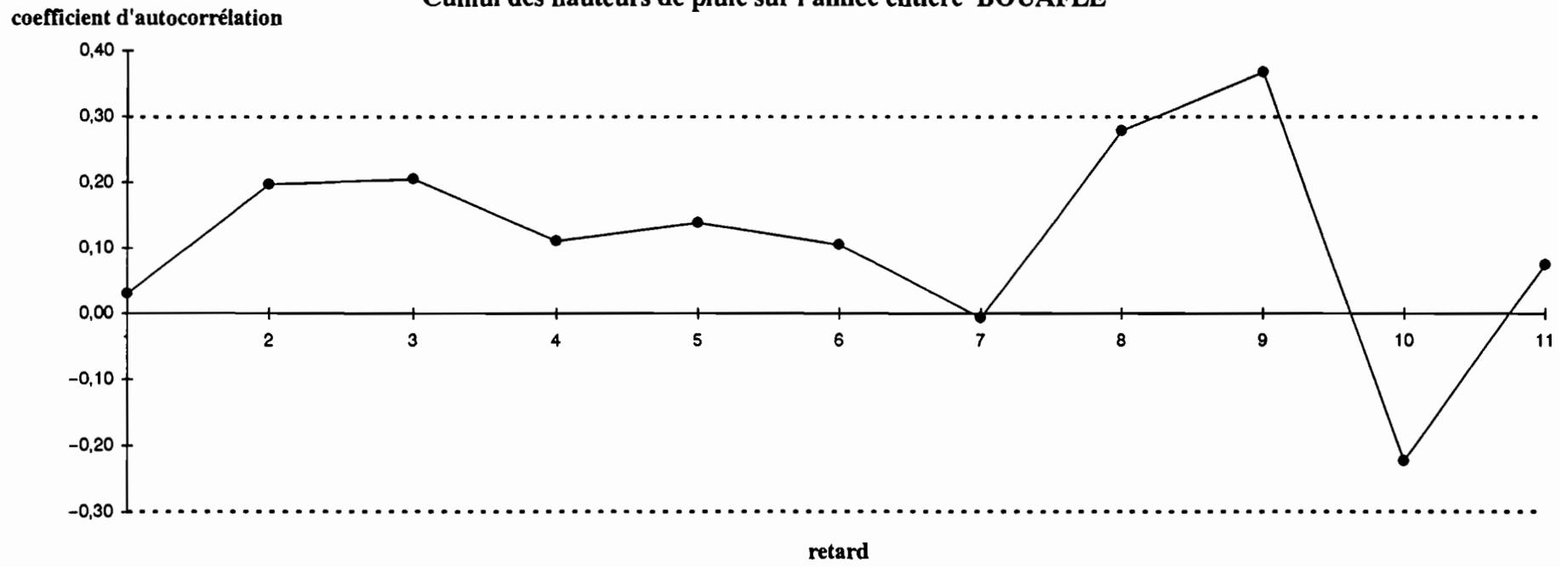
$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x}_1)(x_{i+k} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x}_1)^2 \sum_{i=1}^{N-k} (x_{i+k} - \bar{x}_2)^2 \right]}}$$

où k est le décalage, \bar{x}_1 la moyenne des $N-k$ premières observations et \bar{x}_2 la moyenne des observations (x_i) , $i=k+1,\dots,N$. Le graphique représentant le coefficient d'autocorrélation d'ordre k en fonction de k constitue l'autocorrélogramme.

Le coefficient d'autocorrélation d'ordre k est nul, pour N grand et k non nul, si la série chronologique est aléatoire (Chatfield, 1989). En fait, des coefficients d'autocorrélation estimés sur une série aléatoire peuvent s'éloigner de zéro. Les valeurs limites admissibles dépendent de la distribution théorique des valeurs de la série (Yevjevitch 1972). Pour une série aléatoire distribuée suivant une loi normale, le coefficient d'autocorrélation d'ordre k suit approximativement une distribution normale de moyenne nulle et de variance $1/N$.

Ces paramètres permettent de définir un intervalle de confiance aux coefficients d'autocorrélation successifs. Tout coefficient en dehors de cet intervalle est reconnu significativement différent de zéro. Toutefois, l'interprétation du graphique repose essentiellement sur le coefficient d'ordre 1. L'existence d'une dépendance linéaire des valeurs successives ou d'un effet persistant au sein de la série est fortement dépendant du niveau de signification atteint par ce coefficient d'autocorrélation d'ordre 1. Les autocorrélogrammes réalisés (exemple *figure 11*) sont comparés à celui d'une distribution normale de valeurs dépendantes avec un risque de première espèce de 5%.

Figure 11 : Autocorrélogramme des précipitations annuelles – Intervalle de confiance à 95%
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière BOUAFLE



Sur ces graphiques, les valeurs limites du coefficient d'autocorrélation sont représentées en pointillé. L'analyse de ce graphique requiert donc une distribution normale des valeurs de la série. Le choix unique de la loi normale se justifie par deux raisons essentielles. La première raison réside dans l'adéquation de différentes caractéristiques hydrologiques aux lois normales. La deuxième concerne les connaissances acquises sur les paramètres de l'autocorrélogramme de cette loi lorsque les valeurs successives sont dépendantes (Lubès et al., 1994)

2.2.1.1.2 Test de corrélation sur le rang

Le test de corrélation sur le rang est un test non paramétrique. L'hypothèse nulle de ce test est le caractère aléatoire de la série. L'hypothèse alternative admise est celle d'une tendance dans la série.

Etant donnée une série chronologique (x_i) , la mise en oeuvre de ce test repose sur le calcul du nombre de paires P pour lesquelles $x_j > x_i$ avec $j > i$ et $i=1, \dots, N-1$. Pour N grand et sous l'hypothèse nulle, la variable τ telle que

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

suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance σ_τ^2 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 :

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

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

2.2.1.2 Méthodes de détection de rupture

Une "rupture" peut être définie par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné (Lubès et al., 1994).

La détection de rupture dans les séries de données de pluie reposera sur le test de Pettitt (Pettitt, 1979), la statistique U de Buishand, (Buishand, 1982, 1984), la procédure bayésienne de Lee et Heghinian (Lee et al., 1977) et la segmentation de Hubert (Hubert et al., 1989).

Pour l'ensemble de ces méthodes, la non stationnarité des séries chronologiques est recherchée au niveau de l'existence d'une singularité traduite par un changement de moyenne. Toutefois l'approche d'Hubert repose sur la partition de la série initiale en "m" segments (procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques). Elle peut proposer de ce fait, des segmentations optimales à plusieurs ordres et pose le problème du choix du niveau de segmentation à retenir.

2.2.1.2.1 Test de Pettitt (1979)

L'approche de Pettitt est non paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle.

La mise en oeuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (x_i) $i=1$ à t et t+1 à N appartiennent à la même population. Ce test repose sur le calcul de la variable $U_{t,N}$ définie par :

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

où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ avec $\text{sgn}(Z) = 1$ si $Z > 0$; 0 si $Z = 0$ et -1 si $Z < 0$

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 :

$$Prob(KN > k) \approx 2 \exp(-6 k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque α de première espèce donnée, si la probabilité de dépassement estimée est inférieure à α , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment τ où est observé K_N .

2.2.1.2.2 Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série.

Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i=1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i, & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases}$$

Les ε_i sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance σ^2 . τ et δ représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne.

L'approche bayésienne présentée ici se fonde sur les distributions marginales a posteriori de τ et δ (Lee et Heghinian, 1977). La distribution a posteriori de τ est définie par :

$$P(\tau/x) = (N / (\tau(N-\tau)))^{1/2} (R(\tau))^{-(N-2)/2}, 0 \leq \tau \leq N-1$$

où $R(\tau)$ est égal à :

$$R(\tau) = \left[\sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_{\tau})^2 + \sum_{i=\tau+1}^N (x_i - \bar{x}_{N-\tau})^2 \right] / \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2$$

avec \bar{x}_N la moyenne de la série, \bar{x}_{τ} la moyenne des τ premières valeurs de la série et $\bar{x}_{N-\tau}$ la moyenne des $N-\tau$ dernières valeurs de la série.

Quant à la distribution a posteriori de δ , $p(\delta/x)$, elle est définie à partir de la distribution a posteriori de τ , $p(\tau/x)$, et de la distribution conditionnelle a posteriori de δ par rapport à τ , $p(\delta/\tau, x)$ par l'expression :

$$p(\delta/\tau) = \sum_{\tau=1}^{N-1} p(\delta/\tau, x) p(\tau/x)$$

Cette dernière distribution est une distribution de Student de moyenne.

$\delta_\tau = \bar{x}_{N-\tau} - \bar{x}_\tau$ et de variance $\sigma_{\delta/\tau}^2 = NH(\tau)/((N-2)\tau(N-\tau))$ avec $v=N-2$ degrés de liberté.

Nous nous limitons dans cette étude à la distribution a posteriori de τ . Lorsque la distribution est unimodale, la date de la rupture est estimée par le mode de la distribution a posteriori de τ avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible.

2.2.1.2.3 Segmentation de Hubert (1989)

La procédure de segmentation de Hubert a pour principe de répartir la série en m segments de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Pour un ordre donné, la segmentation retenue présente le plus faible écart quadratique entre la segmentation considérée et la série.

Soit une segmentation quelconque d'ordre m pratiquée sur la série initiale;

$i_k, k=1, 2, \dots, m$, le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du $k^{\text{ième}}$ segment;

$n_k = i_k - i_{k-1}$, la longueur du $k^{\text{ième}}$ segment;

\bar{x}_k la moyenne du $k^{\text{ième}}$ segment,

l'écart quadratique D_m entre la segmentation considérée et la série est donnée par l'expression :

$$D_m = \sum_{k=1}^m d_k$$

$$\text{où } d_k = \sum_{l=i_{k-1}+1}^{l=i_k} (X_l - \bar{X}_k)^2$$

Cette procédure peut être regardée comme un test de stationnarité où l'hypothèse nulle est "*la série étudiée est stationnaire*" (Hubert et al., 1989). 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 associé à cette méthode.

2.2.1.2.4 Statistique U de Buishand (1982, 1984)

La procédure de Buishand fait référence au même modèle que l'approche de Lee et Heghinian, τ et δ y ont la même signification. On teste l'hypothèse nulle ($\delta=0$) contre l'hypothèse alternative ($\delta \neq 0$).

En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture t , ce test est basé sur la statistique U définie par :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} (S_k / D_x)^2}{N(N+1)}$$

où $S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$ pour $k=1, \dots, N$ et D_x désigne l'écart type de la série.

Des valeurs critiques de la statistique U sont données par Buishand (1982) à partir d'une méthode Monte-Carlo. En cas de rejet de cette hypothèse, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test.

En complément de ces différentes méthodes, la construction d'une ellipse de contrôle (*figure 12*) permet d'analyser l'homogénéité de la série de (x_i) . La variable S_k , définie dans le cadre de la statistique U de Buishand, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance $k(N-k)N^{-1} \sigma^2$, $k=0, \dots, N$ sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des (x_i) . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des S_k . Lorsqu'une partie de cette série sort de l'ellipse pour le seuil de confiance retenu, la présence d'une rupture peut être considérée comme significative.

Au terme de la présentation des méthodes de détection de rupture, il est important de préciser que celles-ci proposent par moments des résultats divergents. Un plus grand intérêt est accordé aux résultats qui s'approchent de la tendance générale qui se dégage. Souvent, seule la procédure bayésienne de Lee et Heghinian identifie un moment de rupture probable. Le rejet de ce moment présumé de rupture est généralement lié à l'acceptation ou non du caractère homogène de la série par les autres approches, notamment celle de Pettitt. Les dates de rupture fournies sont des indicateurs du moment probable de rupture.

2.2.2 EVOLUTION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES

2.2.2.1 Résultats des tests de détection de ruptures

Nous avons effectué les tests sur les séries chronologiques de hauteurs précipitées annuelles, de 1950 à 1993. Nous avons fait le même traitement sur des séries plus longues en ajoutant les observations faites depuis l'origine de la station à 1950. La période d'observation obtenue avec ces séries chronologiques peut alors atteindre jusqu'à 60-70 ans. Cela nous permet d'apprécier l'ampleur du changement de la pluviométrie, s'il a lieu, au sein du siècle écoulé.

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques et d'un récapitulatif (voir annexe I). A titre d'illustration nous avons choisi ici la station de Bouaflé (*tableau 12 et figures 12 à 15, cf. figure 11 pour l'autocorrélogramme*). Les tests indiquent tous 1972 comme année de rupture à Bouaflé.

Tableau 12 : Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090005200 BOUAFLE**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.83613

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de rupture 1972

Probabilité de dépassement 2.40E-03

Méthode Bayésienne de Lee et Heghinia test effectué

Année supposée de rupture 1972

Probabilité d'une rupture : 0.315258

Segmentation de Hubert : test effectué

niveau de signification : 0.05

Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1950	1972	14015	2590,4
1973	1992	11096	2323,6

Indépendance des résidus acceptés

**Figure 13 : Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière BOUAFLE**

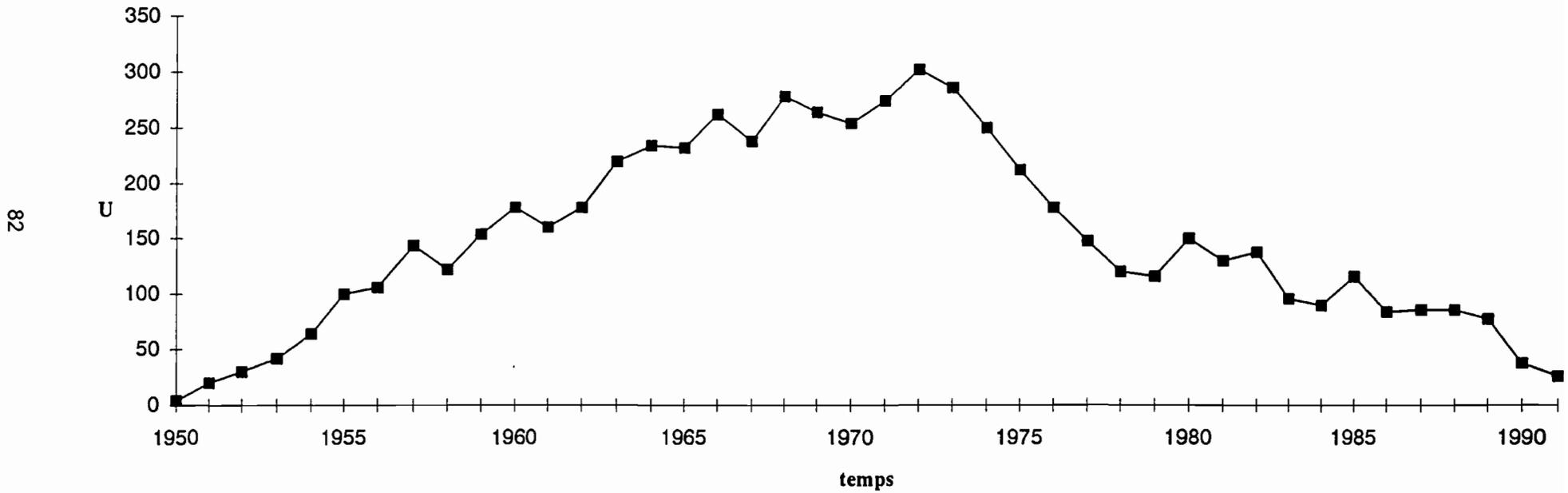
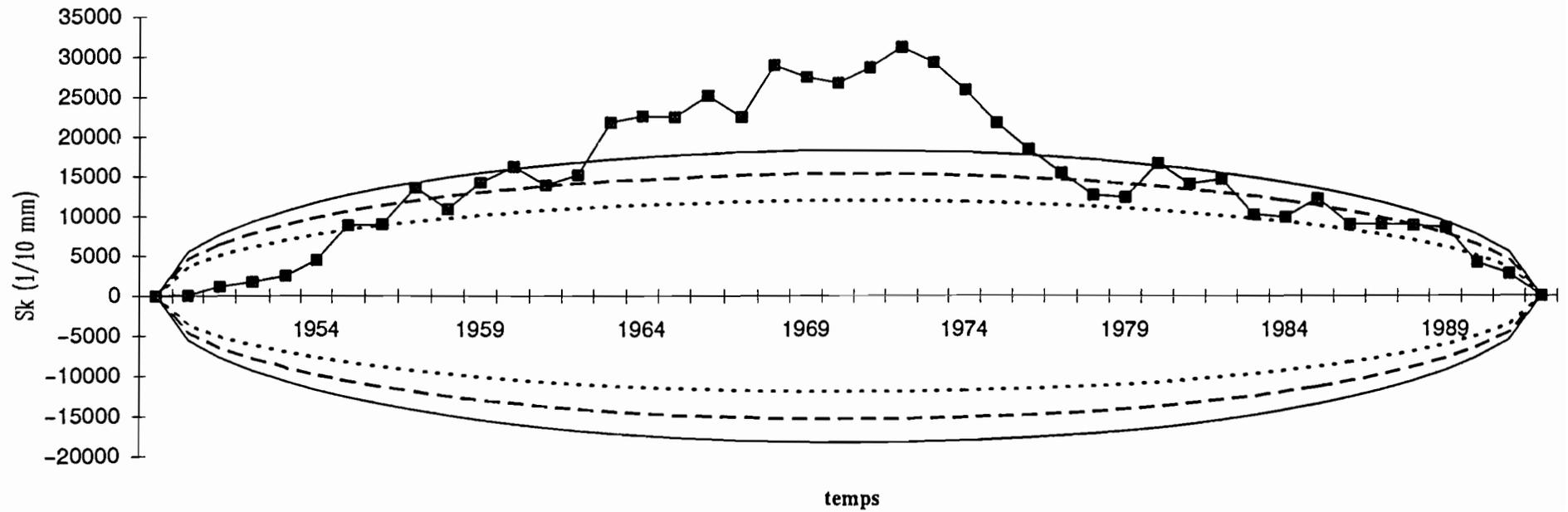
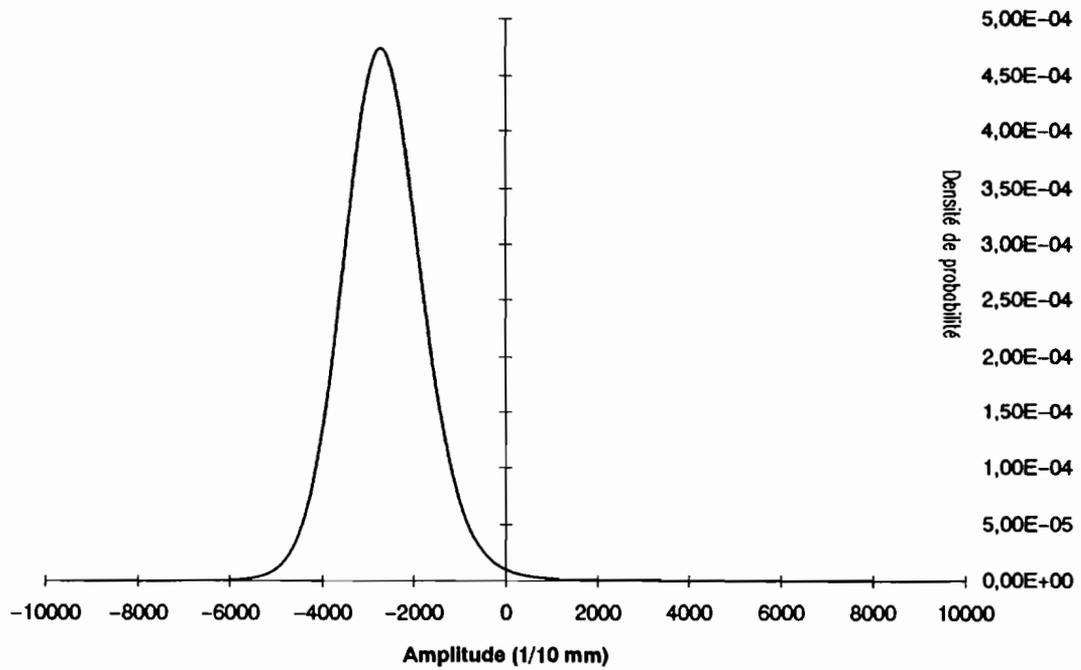


Figure 12 : Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière BOUAFLE

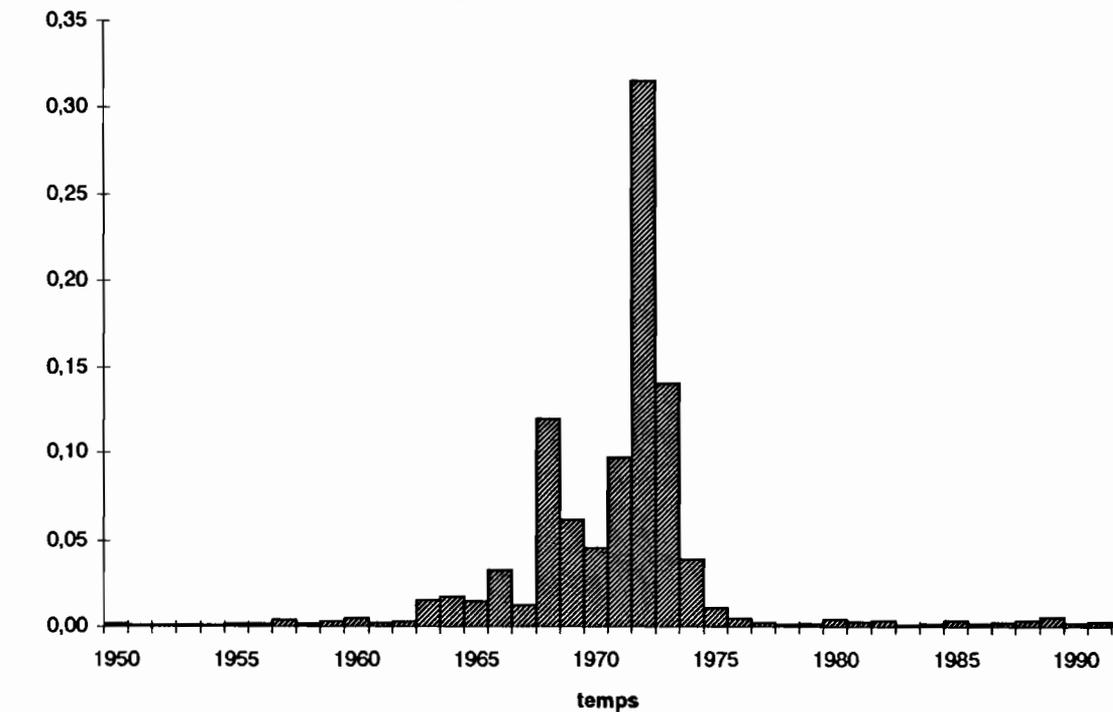
81



**Figure 14 : Procédure de Lee et Heghinian – Distribution a priori de l'amplitude d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**



**Figure 15 : Procédure de Lee et Heghinian – Distribution a posteriori de la position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière BOUAFLE**



Le *tableau 13* présente les résultats des tests en indiquant la date de rupture probable ou deux dates délimitant une plage durant laquelle il a pu y avoir rupture, dans le cas où les méthodes statistiques ne sont pas en accord.

Tableau 13 : Ruptures et caractéristiques des sous-séries des hauteurs pluviométriques annuelles, délimitées de part et d'autre de la date de rupture

Régions	Stations	longues séries (origine à 1993) Année de rupture	courtes séries (1950 à 1993) Année de rupture	courtes séries sous-séries 1 Moyenne	courtes séries sous-séries2 Moyenne	variation relative (%)
Littoral-est	Abidjan	1976	1976	2164	1729	20
	Aboisso	1968	1968	1848	1622	12
	Adiaké	1982	1970	2153	1709	20
	Azaguié	1976	1976	1849	1394	24
	Dabou	1976	1976	1995	1570	21
Littoral-centre	Sassandra	1971	1971	1613	1398	13
	Grand-Lahou	1979	1979	1671	1304	22
Littoral-ouest	Tabou	non	non			
Intérieur	Adzopé	1968	1968	1483	1290	13
	Alépé	1963	1963	1953	1440	26
	Bouaflé	1972	1972	1374	1109	20
	Cechi	1963	1963	1612	1170	27
	Divo	1972	1972	1462	1247	14
	Gagnoa	1966	1966	1500	1330	11
	Lakota	1970	1970	1630	1171	28
	Oumé	1976	1976	1402	1193	15
	Soubéré	1970	1970	1616	1277	21
	Tiassalé	1969	1968-69	1334	1099	20
Vavoua	1980	1980	1273	1020	20	
Est	Abengourou	non	non			
	Agnibilekro	non	non			
Ouest	Daloa	1963	1971-72	1432	1195	16
	Danané	1966	1966	2070	1878	9
	Man	1966	1966	1813	1545	14
	Toulepleu	1963	1963	1955	1636	16

L'examen du *tableau 13* et des graphiques (annexe I) montre d'une manière générale un changement de moyenne dans la série pluviométrique pour chacune des stations étudiées en dehors d'Abengourou, Agnibilekro et Tabou. Cela se traduit par une baisse de la pluviométrie depuis une vingtaine d'années. Toutefois, si la plupart des auteurs (Le Borgne, 1990; Servat et al, 1995) s'accordent à reconnaître que cet accident climatique s'est produit globalement autour de l'année 1970, on note que ce n'est pas toujours le cas pour les stations du sud forestier ivoirien. La rupture s'est produite pour certaines stations soit avant, soit après. L'analyse qui suit est basée sur les résultats obtenus à partir de l'exploitation des séries courtes, de 1950 à 1990.

2.2.2.1.1 Périodes de rupture

*** Rupture localisée autour de l'année 1960**

La diminution de la pluviométrie est observée sur une période charnière allant de **1960 à 1966**. Cette situation intéresse surtout le compartiment montagneux ouest du pays avec les stations de Man, Danané et Toulepleu. Le changement de moyenne dans les séries pluviométriques s'y est produit en 1966. Au même moment quelques stations de l'intérieur sont touchées. Il s'agit de Cechi (1963) et d'Alépé (1963).

*** Rupture localisée autour de l'année 1970**

La fin des années 60 correspond à une baisse des précipitations sur l'ensemble de la région intérieure de la zone d'étude. Le phénomène s'installe en 1968-1969 pour les stations d'Adzopé, Aboisso, Tiassalé et en 1970-1972 pour Divo, Daloa, Bouaflé, Lakota, Soubré, Tiassalé. Deux stations littorales sont concernées : Adiaké (1970) et Sassandra (1971).

*** Rupture localisée vers la fin des années 70**

Il faut attendre **la fin des années 70** pour observer une baisse de la pluviométrie sur le littoral ivoirien, comme en témoignent les stations d'Abidjan (1976), Dabou (1976) et Grand-Lahou (1979). Cette situation concerne aussi les stations de Oumé (1976) et de

Vavoua (1980), situées à la limite nord de la zone d'étude qui échappaient jusque-là à cette baisse notable.

* Rupture non identifiée

Certaines stations ne connaissent pas encore de rupture dans les séries pluviométriques de 1950 à 1990. Il s'agit de la station de Tabou (région la plus arrosée de la Côte d'Ivoire) située sur le littoral, dans le sud-ouest, d'Abengourou et Agnibilekro à l'est.

2.2.2.1.2 Ampleur de la baisse des précipitations

Il importe de savoir si la réduction des quantités d'eau précipitées a eu la même gravité partout. La variation relative $\left(\frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\bar{X}_1}\right)$, entre les 2 sous-séries obtenues par partition des séries initiales (en considérant le point de rupture) indique que le sud forestier ivoirien a ressenti la diminution des précipitations à des degrés divers (*tableau 13*).

- à l'ouest du pays, les variations sont inférieures à 17% : Danané (9%), Man (14%), (Daloa 16%), Toulepleu (16%);
- sur le littoral et les secteurs avoisinants, la diminution des précipitations est plus brutale. Les valeurs calculées tournent autour de 20% : Abidjan, Adiaké, Dabou, Grand-Lahou. Elles atteignent parfois 24% : Azaguié. Ce contexte n'intéresse pas Sassandra, la variation n'étant que de 13%;
- au niveau de la région intérieure, la réduction est variable. Elle est faible à certains endroits : Aboisso (12%), Gagnoa (11%), Adzopé (13%), Divo (14%), Oumé (15%), Tiassalé (18%); moyenne en d'autres points : Vavoua (20%), Bouaflé (20%), Soubré (21%); et forte ailleurs, Alépé (26%), Cechi (27%), Lakota (28%).

Il ressort de ce qui précède que la pluviométrie de la zone d'étude a subi une baisse effective dans le temps entre 1950 et 1993. L'examen des résultats obtenus sur les séries longues permet d'affirmer que cet accident climatique est le seul ou tout du moins le plus sévère à avoir été observé depuis le début des enregistrements aux postes pluviométriques

étudiés (Servat et al, 1996). A l'échelle de l'Afrique de l'ouest, l'étude des séries longues montre que contrairement aux sécheresses anciennes qui n'ont touché que des régions précises, celles des décennies récentes s'étendent à tout le territoire (Dellatre, 1996).

2.2.2.2 Evolution des isohyètes et indices pluviométriques annuelles au cours de la période 1950-1990

Cette étude a pour objectif de suivre l'évolution, dans le sud forestier ivoirien, du phénomène de la diminution de la pluviométrie au cours des 40 dernières années.

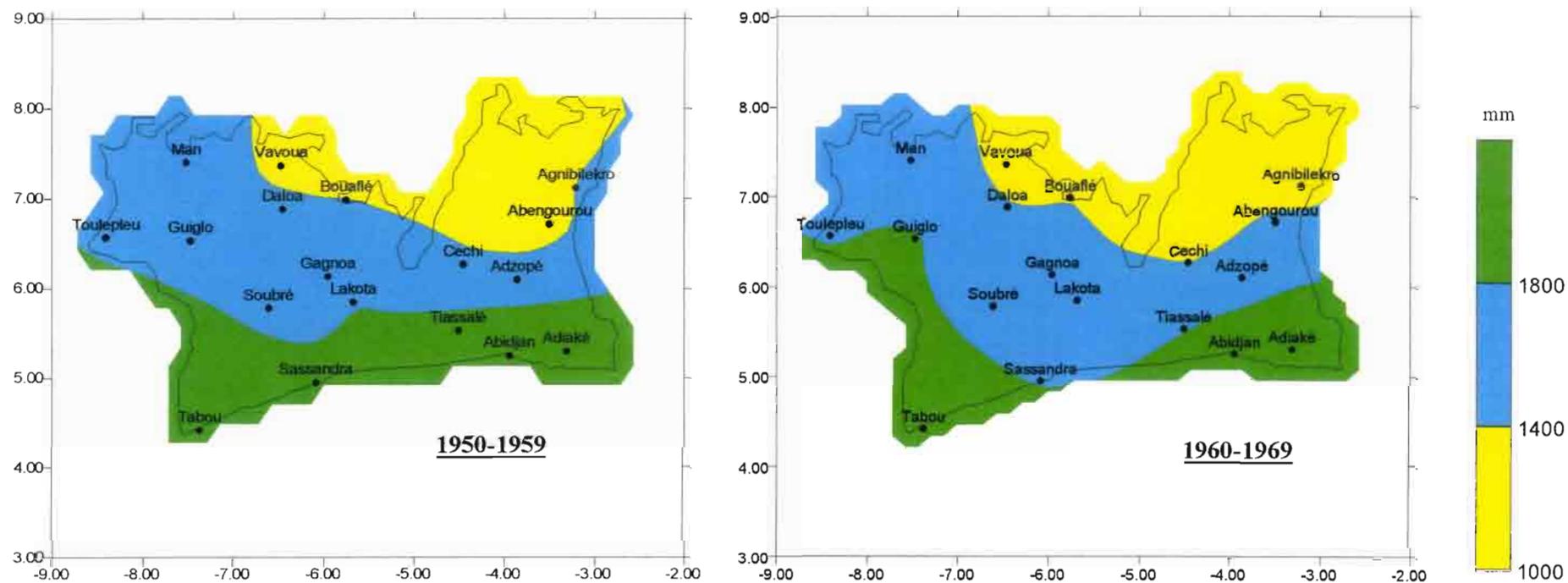
2.2.2.2.1 Isohyètes

Au cours des 4 dernières décennies, la pluviométrie annuelle a baissé de façon notable (*figures 16 à 19*). Les figures 16 et 18 décrivent l'évolution des classes délimitées par les courbes isohyètes 1400 mm et 1800 mm. On s'intéressera particulièrement à l'isohyète 1400 mm dans la mesure où la frontière nord de la forêt dense humide est atteinte à un niveau de précipitations annuelles égal à environ 1400 mm (Lauer, 1991 cité par Anhuf, 1993).

La décennie 1950-1959 est assez pluvieuse. Le sud forestier ivoirien est délimité par les courbes isohyètes 2200 mm sur la position la plus méridionale (à la latitude de Tabou) et 1400 mm à l'extrémité nord (au niveau du "V Baoulé"). L'intérieur du pays et le compartiment montagneux ouest reçoivent des précipitations comprises entre 1600 et 1800 mm. Sur le littoral et son arrière-pays immédiat, à l'exception de Sassandra, les hauteurs annuelles dépassent largement 2000 mm (*figures 16 et 17*).

La décennie 1960-1969 reste humide; une légère diminution des quantités de pluies annuelles est observée. Cependant, certaines stations enregistrent une hausse : Guiglo et Toulepleu à l'ouest, Adiaké au sud-est et Abengourou à l'est.

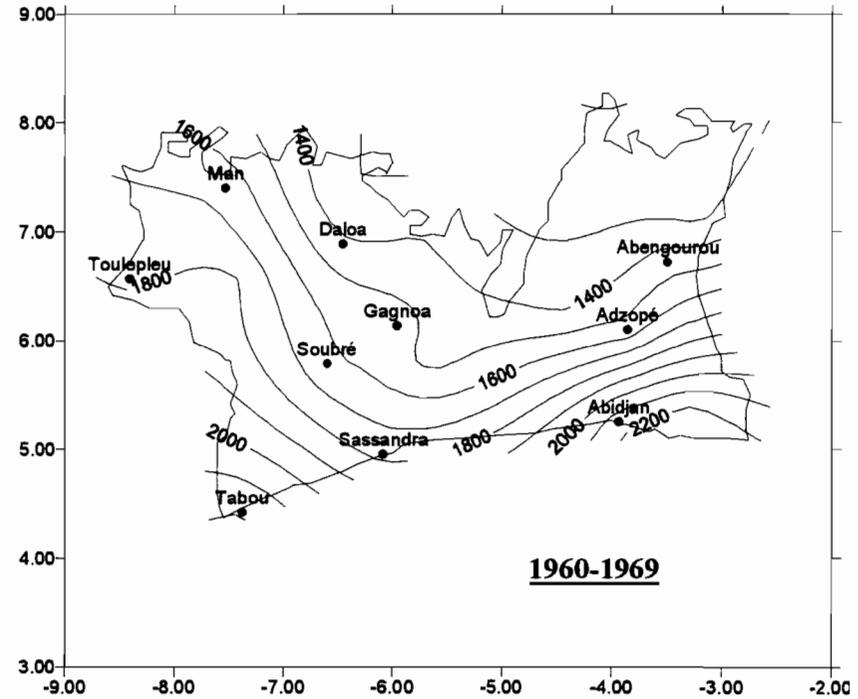
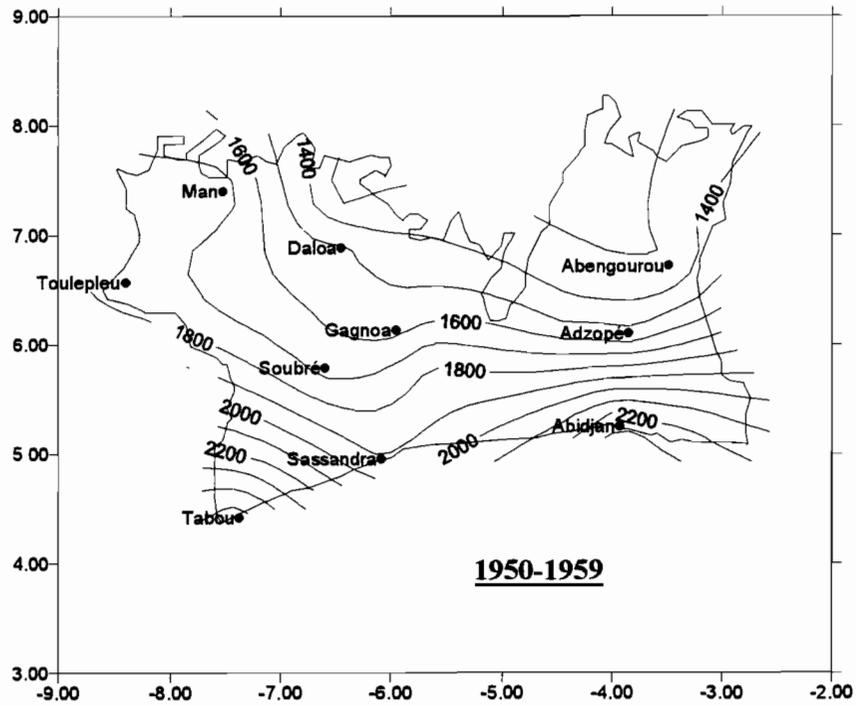
Figure 16 : Sud forestier ivoirien - évolution des classes délimitées par les courbes isohyètes 1400 et 1800 mm au cours des décennies 1950-1959 et 1960-1969



Réalisée par Brou Yao T.

Figure 17 : Sud forestier Ivoirien - hauteurs pluviométriques annuelles (en mm) au cours des décennies 1950-1959 et 1960-1969

68



C'est véritablement pendant **la décennie 1970-1979** que la baisse de la pluviométrie prend une importance particulière dans le sud forestier ivoirien. La quasi-totalité des stations a été touchée. La classe de pluviométrie inférieure à 1400 mm s'évase fortement et occupe près de la moitié du sud forestier ivoirien (*figures 18 et 19*). Cette translation vers le sud-ouest de l'isohyète 1400 mm s'accompagne de la disparition presque totale de l'isohyète 1800 mm. Désormais, seul le littoral sud-ouest (Tabou) et sud-est (Abidjan, Adiaké) reçoivent des précipitations supérieures à 1800 mm. Plus au nord à la latitude de Vavoua, Bouaflé, Cechi, Abengourou et Agnibilekro, les hauteurs annuelles atteignent rarement 1200 mm.

Cette diminution de la pluviométrie est encore très accentuée au cours de **la décennie 1980-1989**. La classe de pluviométrie inférieure à 1400 mm s'élargit encore plus et atteint dans son avancée le littoral centre au niveau de Sassandra (*figure 18*). Ce régime ne s'applique pas au compartiment montagneux ouest et au littoral est (Abidjan, Adiaké), même si ceux-ci enregistrent une diminution des hauteurs annuelles et ne reçoivent plus que 1600 mm environ.

L'exception vient de l'extrême sud-ouest avec Tabou toujours pluvieux, qui connaît une augmentation de sa pluviométrie (2400 mm contre 2200 mm au cours de la décennie précédente).

Figure 18 : Sud forestier ivoirien - évolution des classes délimitées par les courbes isohyètes 1400 et 1800 mm au cours des décennies 1970-1979 et 1980-1989

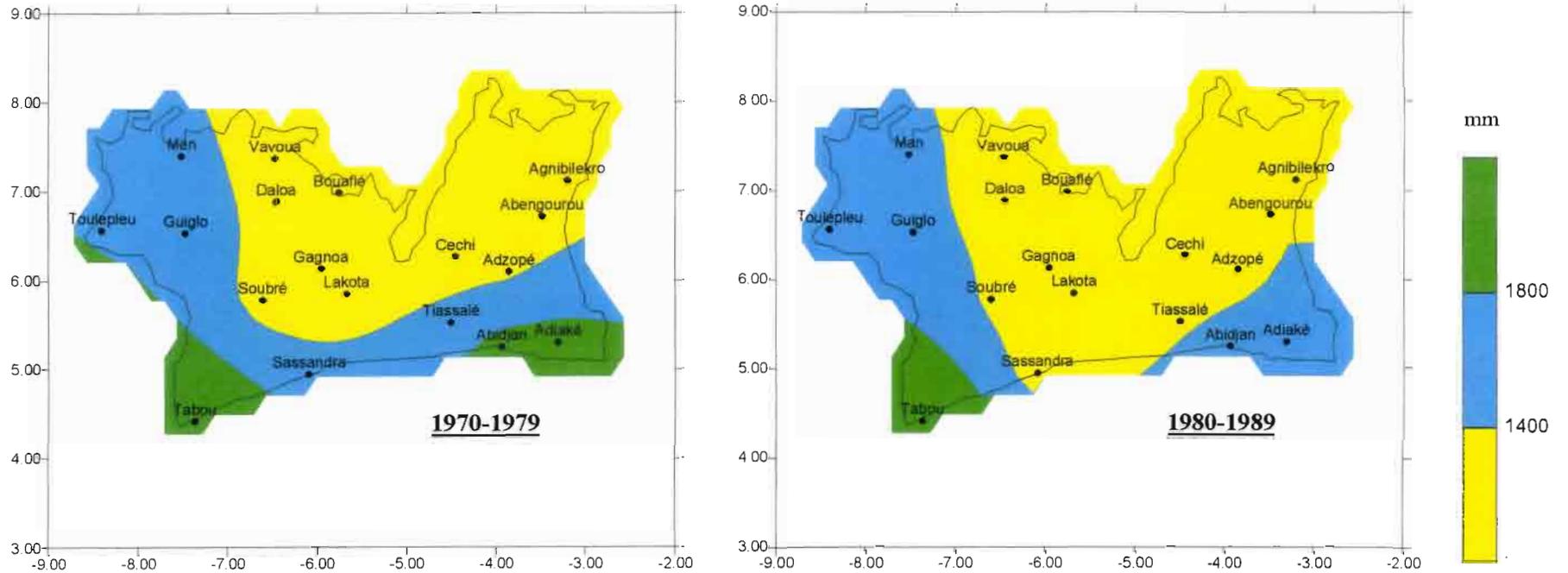
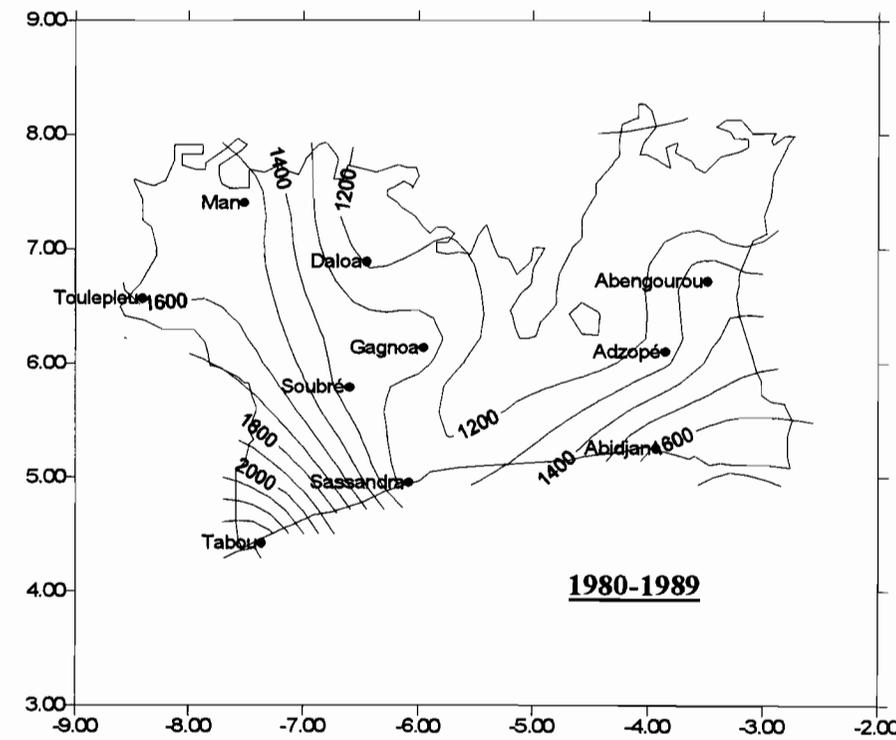
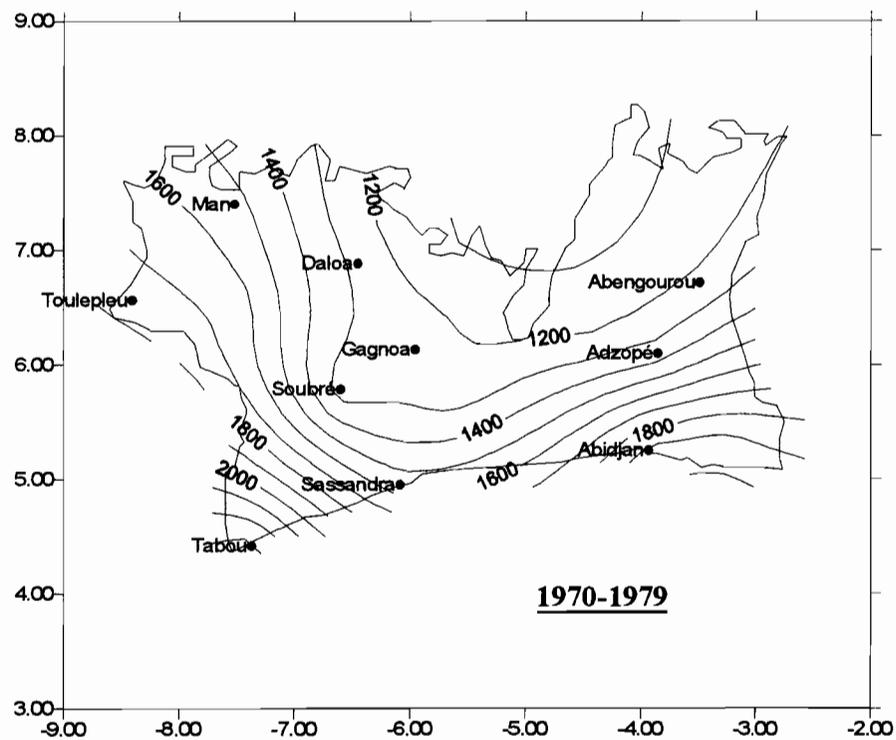


Figure 19 : Sud forestier ivoirien - hauteurs pluviométriques annuelles (en mm) au cours des décennies 1970-1979 et 1980-1989



2.2.2.2 Indices pluviométriques

L'information cartographiée ici est la variation de l'intensité du déficit ou de l'excès pluviométrique, à partir de la délimitation des classes d'isovaleurs d'indices pluviométriques (Servat, 1994; Nicholson et al., 1988). Il s'agit, d'une variable centrée réduite calculée sur les hauteurs annuelles de précipitations : $(x_i - m) / s$, avec :

x_i : hauteur annuelle précipitée l'année i au poste considéré;

m : hauteur moyenne annuelle précipitée sur la période 1950-90 au poste considéré;

s : écart type des hauteurs annuelles précipitées sur la période 1950-90 au poste considéré.

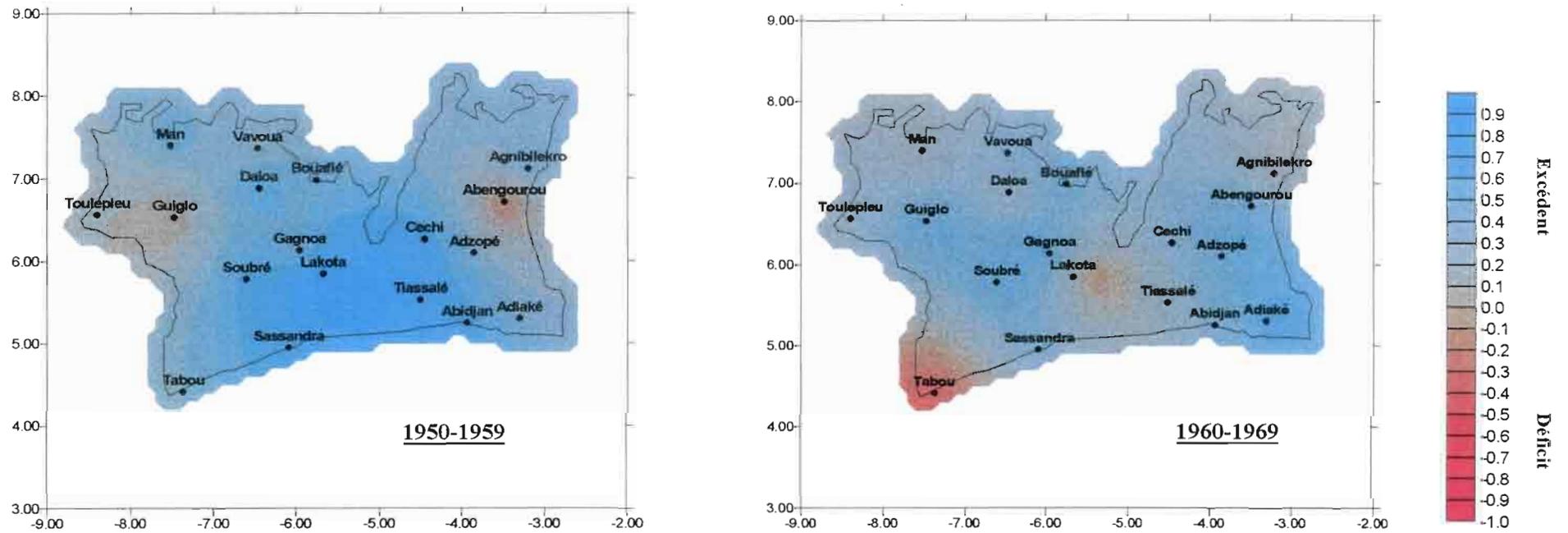
La méthode consiste à retenir, par décennie, une valeur moyenne de l'indice pluviométrique pour chacun des postes considérés.

Les *figures 20* et *21* présentent pour le sud forestier des classes d'isovaleurs d'indices pluviométriques au cours des 4 dernières décennies. Les indices positifs (en bleu sur la figure) indiquent des excédents pluviométriques, les indices négatifs (en rouge sur la figure) traduisent au contraire des déficits pluviométriques.

Pour la **décennie 1950-1959** on note un très léger déficit circonscrit aux seuls secteurs d'Agnibilekro (à l'est) et de Guiglo à (l'ouest). Partout ailleurs, une tendance excédentaire est observée qui peut être marquée à certains endroits. Il s'agit surtout de l'espace compris entre Grand-Lahou et Lakota.

La **décennie 1960-1969** est caractérisée par une situation proche de la moyenne. Les secteurs à pluviométrie excédentaire ne le sont que faiblement et ceux à pluviométrie déficitaire ne présentent des indices pluviométriques que faiblement négatifs. L'extrême sud-ouest du pays (Tabou), constitue une exception avec un déficit important. Globalement on peut signaler une tendance au déficit sur le littoral (en dehors d'Adiaké).

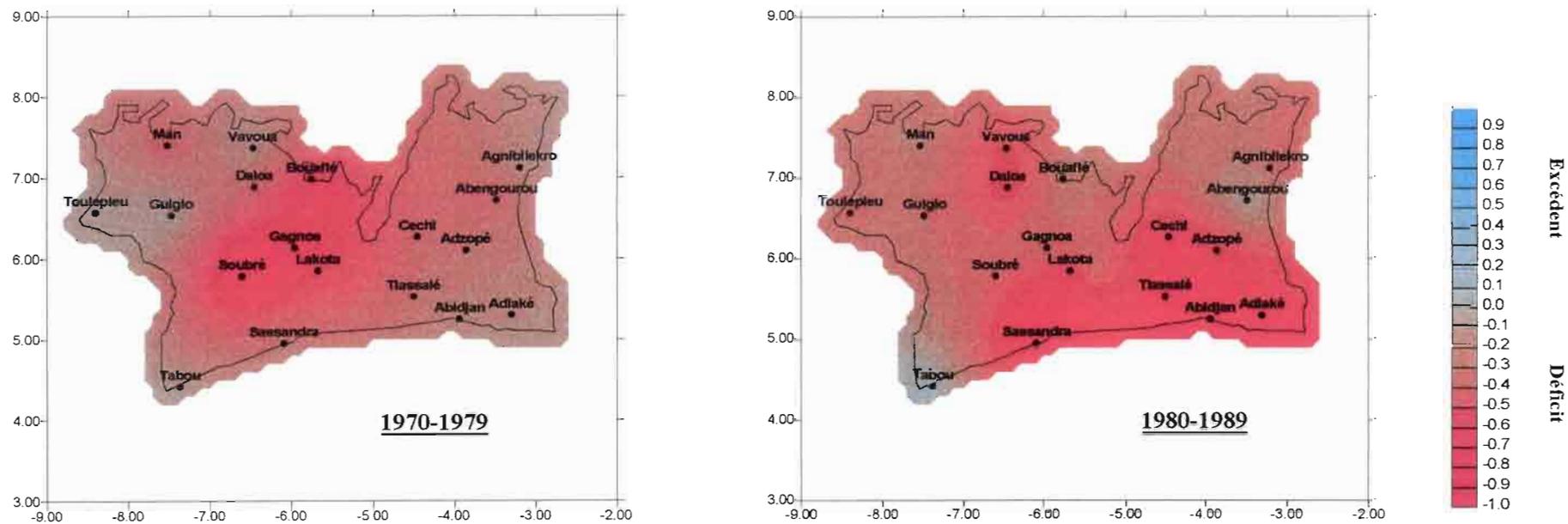
Figure 20 : Sud forestier ivoirien - cartographie des courbes d'isovaleurs d'indices pluviométriques pour les décennies 1950-1959 et 1960-1969



94

Réalisée par Brou Yao T.

Figure 21 : Sud forestier ivoirien - cartographie des courbes d'isovaleurs d'indices pluviométriques pour les décennies 1970-1979 et 1980-1989



95

Réalisée par Brou Yao T.

Au cours de la **décennie 1970-1979**, on assiste à une généralisation du déficit sur l'ensemble de la zone d'étude, le point culminant étant centré sur Soubré. Toutefois quelques secteurs échappent à cet important déficit pluviométrique : Tabou (extrême sud-ouest), Toulepleu et Guiglo dans l'ouest du pays.

Les années 80 présentent toujours une tendance déficitaire sur la presque totalité du sud forestier. Le maximum est enregistré sur le littoral, d'Adiaké à Sassandra ainsi que leurs environs. Les excédents enregistrés sont très légers et ne concernent que Tabou (coin sud-ouest) et Abengourou (est).

2.2.3 EVOLUTION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES

2.2.3.1 Résultat des tests de détection de rupture dans les séries pluviométriques mensuelles

Les traitements ont été effectués sur les mois pluvieux d'avril à juillet et d'octobre à novembre (*tableau 14*).

L'observation du tableau montre qu'un changement de moyenne s'est produit sur la pluviométrie de juin, mois le plus pluvieux de l'année. En dehors des stations d'Abengourou, d'Agnibilekro dans l'est, d'Adzopé dans le sud-est et de Tabou sur le littoral ouest, l'ensemble des stations a été touché. Les dates d'apparition de la rupture coïncident plus ou moins avec celles qui ont été observées sur les totaux annuels.

La baisse brutale de la pluviométrie est aussi constatée en octobre, mois de la deuxième saison humide. Cette situation ne concerne que les stations de la région intérieure. Pour les autres mois, dans la majeure partie des cas, la diminution de la pluviométrie n'est pas assez significative pour produire un changement de moyenne.

C'est donc sur la pluviométrie de juin et parfois d'octobre que la rupture a eu des répercussions nettes. Ces résultats ne sauraient toutefois occulter la variabilité de la pluviométrie mensuelle.

Tableau 14 : Rupture dans les séries pluviométriques mensuelles

Régions	Stations	avril	mai	juin	juillet	octobre	novembre
Littoral-est	Abidjan	Non	Non	1976	1976	Non	Non
	Aboisso	Non	1960	1962	Non	Non	1962-70
	Adiaké	Non	Non	1983	Non	Non	1970
Littoral centre	Sassandra	Non	Non	1976	Non	Non	1963
	Grand-lahou	Non	1983	1979	1969	Non	1971
Littoral-ouest	Tabou	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Intérieur	Adzopé	1972	1960	Non	Non	Non	1970
	Alépé	Non	1971-75	1982	Non	Non	Non
	Bouaflé	Non	Non	1972	Non	Non	1969
	Cechi	1963	Non	1966	Non	1964	Non
	Divo	Non	1961	1969	Non	1963	Non
	Gagnoa	Non	Non	1964	Non	1963-66	Non
	Lakota	Non	Non	1968	Non	1956-57	1968
	Oumé	Non	Non	1979	Non	Non	1969
	Soubéré	1962	Non	1968	Non	1963-70	1971
	Tiassalé	Non	Non	1969	Non	1962-63	Non
Est	Abengourou	1972	Non	Non	Non	1963	Non
	Agnibilekro	1970	Non	Non	Non	1968	Non
Ouest	Daloa	Non	Non	1979	Non	1974	Non
	Danané	Non	Non	1966	Non	Non	Non
	Man	Non	Non	1966	Non	1963	Non
	Toulepleu	Non	Non	Non	Non	Non	Non

2.2.3.2 Etude de la sécheresse climatique des types de mois au cours de la dernière décennie

"Un climat devient sec quand les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible" (Hufty, 1976).

Le but est de traduire le rythme de l'humidité climatique par les excédents ou les déficits en eau. Ce bilan peut être établi à partir de la comparaison entre les apports par les précipitations et les pertes par évapotranspiration potentielle. Il permet ainsi de décompter les mois secs et les mois humides, selon la relation qui lie la pluie P et l'évapotranspiration potentielle ETP. Il permet aussi de voir leur agencement dans le temps.

Le bilan climatique exprime la différence entre le total des hauteurs pluviométriques et la valeur de l'évapotranspiration potentielle. Les quantités annuelles ne donnant pas une idée de la distribution temporelle, le pas de temps sera mensuel. Le bilan climatique peut se traduire par la formule suivante :

$Bc_i = P_i - ETP_i$, avec :

Bc_i = bilan climatique du mois i

P_i = précipitations du mois i

ETP_i = évapotranspiration potentielle du mois i

i = mois considéré

Toutes les composantes sont exprimées en millimètres.

L'ETP est définie comme la demande climatique de vapeur d'eau. Son estimation est faite à partir des formules basées sur un ou plusieurs éléments climatiques. Parmi ces formules, les plus utilisées sont celles de Turc, de Thornthwaite et de Penman. La formule de Penman (en annexe IV) nous semble la plus complète dans la mesure où elle intègre toutes les caractéristiques climatiques.

A partir de l'ETP et des précipitations on pourra ainsi établir l'état hydrique des périodes de l'année. La méthode est la suivante :

$$P_i - ETP_i = Bc_i$$

Si $Bc_i > 0$: le bilan est dit excédentaire, et le mois ou la période correspondante est considérée comme humide;

Si $-80 \leq Bc_i \leq 0$: On considère les 80 mm comme le stock hydrique ou réserve en eau du sol (Monteny, 1988). Le bilan est équilibré. Il n'y a pas de sécheresse car le stock hydrique contribue à l'évapotranspiration;

Si $Bc_i < -80$: le bilan est déficitaire et le mois ou la période correspondante est sèche.

L'ETP Penman n'a pas pu être calculée sur la période 50-59, en raison de l'absence de données sur le rayonnement global. Le bilan climatique mensuel se focalisera sur la période 80-89. La décennie 1980-1989 présente beaucoup d'intérêts pour cette étude dans la mesure où les études faites dans les chapitres précédents au pas de temps annuel ont montré qu'elle était déficitaire au niveau des quantités d'eau précipitées.

Cinq stations de référence, assez bien réparties dans la zone d'étude et où sont effectués les relevés des variables permettant le calcul de l'ETP Penman, ont été examinées. Il s'agit des stations de : Abidjan (littoral), Agnibilekro (est), Gagnoa (intérieur), Daloa et Guiglo (ouest). Le comptage des mois déficitaires se fait du mois d'août de l'année en cours au mois d'août de l'année suivante, pour tenir compte de la constitution du stock hydrique après la saison pluvieuse d'avril à juillet. Les résultats sont présentés dans les *tableaux 15 à 19*.

Tableau 15 : Bilan climatique de la station d'Agnibilekro pour la décennie 80

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Janvier	P mens	18,9	0	0	0	0,3	24	0	1,8	4,3	0
	ETP mens	102	122	117	124	107	123	122	127	117	108
	P - ETP	-83,1	-122	-117	-124	-106,7	-99	-122	-125,2	-112,7	-108
Février	P mens	53,4	9,7	31,7	46,2	26,8	28	33	47,3	23,8	4,3
	ETP mens	120	126	132	144	133	125	145	142	139	142
	P - ETP	-66,6	-116,3	-100,3	-97,8	-106,2	-97	-112	-94,7	-115,2	-137,7
Mars	P mens	75,4	255,5	85,6	30	131,1	64,4	108,3	109,6	217,5	131
	ETP mens	132	149	144	154	147	136	142	149	143	144
	P - ETP	-56,6	106,5	-58,4	-124	-15,9	-71,6	-33,7	-39,4	74,5	-13
Avril	P mens	64	25,2	81,7	136,7	150,5	122,9	62,4	113,6	111,8	230,7
	ETP mens	128	132	134	150	137	139	140	144	136	142
	P - ETP	-64	-106,8	-52,3	-13,3	13,5	-16,1	-77,6	-30,4	-24,2	88,7
Mai	P mens	125,8	154,5	228,6	127,8	226,7	107,6	156,9	56,4	78,1	87
	ETP mens	112	128	128	131	130	131	140	139	136	138
	P - ETP	13,8	26,5	100,6	-3,2	96,7	-23,4	16,9	-82,6	-57,9	-51
Juin	P mens	123	208,5	152,8	163,9	187,7	201	121	154,9	171,9	336,9
	ETP mens	98	122	119	104	116	110	119	111	110	113
	P - ETP	25	86,5	33,8	59,9	71,7	91	2	43,9	61,9	223,9
Juillet	P mens	106,9	59,4	136,2	28,1	302	159,6	78,1	114,4	86	197,4
	ETP mens	80	99	99	98	110	105	99	110	102	110
	P - ETP	26,9	-39,6	37,2	-69,9	192	54,6	-20,9	4,4	-16	87,4
Août	P mens	83,8	80	56,4	0	153,9	150,9	32	200,4	110,7	59,4
	ETP mens	83	109	103	98	119	106	87	103	99	103
	P - ETP	0,8	-29	-46,6	-98	34,9	44,9	-55	97,4	11,7	-43,6
Septembre	P mens	144,8	66,4	17,6	83,2	135,7	192,4	134	199,9	179,9	274,2
	ETP mens	94	111	107	104	107	112	106	116	105	101
	P - ETP	50,8	-44,6	-89,4	-20,8	28,7	80,4	28	83,9	74,9	173,2
Octobre	P mens	161	146,7	123,6	-	159,4	166,5	93,4	132,8	89,8	154,6
	ETP mens	94	116	117	120	115	118	120	117	121	110
	P - ETP	67	30,7	6,6		44,4	48,5	-26,6	15,8	-31,2	44,6
Novembre	P mens	55,2	0	49,7	2,4	27,4	41,1	45,8	18,6	12,6	2,9
	ETP mens	99	114	112	115	116	113	114	118	111	120
	P - ETP	-43,8	-114	-62,3	-112,6	-88,6	-71,9	-68,2	-99,4	-98,4	-117,1
Décembre	P mens	0	0	0,5	50,3	0	0	0	0	45,2	0
	ETP mens	108	110	112	115	106	104	105	111	107	110
	P - ETP	-108	-110	-111,5	-64,7	-106	-104	-105	-111	-61,8	-110

Tableau 16 : Bilan climatique de la station de Gagnoa pour la décennie 80

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Janvier	P mens	36,4	0	0	0	3,9	42	0	14,1	1,8	24,8
	ETP mens	105	111	109	96	104	102	119	105	108	108
	P - ETP	-68,6	-111	-109	-96	-100,1	-60	-119	-90,9	-106,2	-83,2
Février	P mens	86,2	18,9	75,5	30,4	47,8	49,4	56,8	105,4	28,4	33,1
	ETP mens	114	101	119	110	115	111	119	111	124	111
	P - ETP	-27,8	-82,1	-43,5	-79,6	-67,2	-61,6	-62,2	-5,6	-95,6	-77,9
Mars	P mens	86,1	166,6	188,5	126,2	135,9	157,2	111,4	109,3	176,4	132
	ETP mens	122	124	120	118	123	119	116	119	118	121
	P - ETP	-35,9	42,6	68,5	8,2	12,9	38,2	-4,6	-9,7	58,4	11
Avril	P mens	159,7	106,6	182,4	197,6	178,3	181	151,2	192,1	130,3	120,7
	ETP mens	119	131	122	124	119	122	128	122	118	127
	P - ETP	40,7	-24,4	60,4	73,6	59,3	59	23,2	70,1	12,3	-6,3
Mai	P mens	210,9	179	212,7	244	355,5	144,6	203,3	86,9	131,2	97,7
	ETP mens	105	105	102	112	104	103	120	119	119	116
	P - ETP	105,9	74	110,7	132	251,5	41,6	83,3	-32,1	12,2	-18,3
Juin	P mens	71,8	175,9	229,3	272,7	280,3	247,1	48,3	148,8	207	238,1
	ETP mens	93	102	90	93	100	93	93	104	104	93
	P - ETP	-21,2	73,9	139,3	179,7	180,3	154,1	-44,7	44,8	103	145,1
Juillet	P mens	145,1	121,4	80,1	43,3	121,2	108,9	8,4	68,6	34,7	153,3
	ETP mens	82	83	78	79	99	93	83	108	94	95
	P - ETP	63,1	38,4	2,1	-35,7	22,2	15,9	-74,6	-39,4	-59,3	58,3
Août	P mens	151,9	91,2	11,8	20,8	141,2	273,2	78,7	159,3	114,5	111
	ETP mens	85	93	71	78	99	88	95	94	85	97
	P - ETP	66,9	-1,8	-59,2	-57,2	42,2	185,2	-16,3	65,3	29,5	14
Septembre	P mens	102,1	215,4	13,5	27,7	120,8	169,3	194,1	346,6	427,2	263,2
	ETP mens	96	104	96	96	99	102	100	100	106	91
	P - ETP	6,1	111,4	-82,5	-68,3	21,8	67,3	94,1	246,6	321,2	172,2
Octobre	P mens	146,9	252,7	108,7	64,5	266,4	86,3	163	122,6	90,4	165,8
	ETP mens	104	119	106	112	105	111	112	118	111	116
	P - ETP	42,9	133,7	2,7	-47,5	161,4	-24,7	51	4,6	-20,6	49,8
Novembre	P mens	96,8	65,3	65,5	196	50,6	63,8	12,6	78,1	81,7	19,4
	ETP mens	100	104	98	92	101	101	106	114	101	109
	P - ETP	-3,2	-38,7	-32,5	104	-50,4	-37,2	-93,4	-35,9	-19,3	-89,6
Décembre	P mens	32,1	39,8	0	96,1	98,8	8,5	2,2	6,3	10	18,3
	ETP mens	87	89	88	103	91	82	92	95	97	98
	P - ETP	-54,9	-49,2	-88	-6,9	7,8	-73,5	-89,8	-88,7	-87	-79,7

Tableau 17 : Bilan climatique de la station d'Abidjan pour la décennie 80

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Janvier	P mens	33	4,2	0,4	0	13,3	11,6	0	0	0,6	25,1
	ETP mens	117	118	128	117	107	110	115	123	120	121
	P - ETP	-84	-113,8	-127,6	-117	-93,7	-98,4	-115	-123	-119,4	-95,9
Février	P mens	18,9	79,2	2,2	0,4	57,8	36,4	20,8	9,6	24,3	1,6
	ETP mens	123	123	126	133	130	119	125	128	138	128
	P - ETP	-104,1	-43,8	-123,8	-132,6	-72,2	-82,6	-104,2	-118,4	-113,7	-126,4
Mars	P mens	32,1	172,3	145,5	20,5	174,2	88,8	158,1	139,2	69,6	97,7
	ETP mens	132	145	143	136	145	119	124	130	138	136
	P - ETP	-99,9	27,3	2,5	-115,5	29,2	-30,2	34,1	9,2	-68,4	-38,3
Avril	P mens	112,5	84	154,2	156,8	174	99,7	164,5	117,9	55,3	131,3
	ETP mens	132	150	134	150	132	139	144	147	140	142
	P - ETP	-19,5	-66	20,2	6,8	42	-39,3	20,5	-29,1	-84,7	-10,7
Mai	P mens	304,3	669,6	443,4	425,5	335,8	266,4	155	143,1	159,1	192,5
	ETP mens	109	114	113	131	119	112	130	129	135	135
	P - ETP	195,3	555,6	330,4	294,5	216,8	154,4	25	14,1	24,1	57,5
Juin	P mens	408,6	534,6	990,6	622	399	472,5	597,9	250	440,9	284,9
	ETP mens	94	108	88	89	104	103	102	106	103	104
	P - ETP	314,6	426,6	902,6	533	295	369,5	495,9	144	337,9	180,9
Juillet	P mens	24,5	78,1	283,9	10,3	36,7	110,9	134,5	109,4	23,8	190,9
	ETP mens	85	88	94	89	101	102	97	96	105	109
	P - ETP	-60,5	-9,9	189,9	-78,7	-64,3	8,9	37,5	13,4	-81,2	81,9
Août	P mens	20,6	8,2	17,5	16,5	97,1	21,8	28,3	144	22,4	23,9
	ETP mens	87	94	79	88	105	96	97	89	84	99
	P - ETP	-66,4	-85,8	-61,5	-71,5	-7,9	-74,2	-68,7	55	-61,6	-75,1
Septembre	P mens	57,8	131,1	5,3	17,6	138,4	42,5	57,8	411,1	140,5	42,3
	ETP mens	95	106	99	102	111	95	102	99	103	100
	P - ETP	-37,2	25,1	-93,7	-84,4	27,4	-52,5	-44,2	312,1	37,5	-57,7
Octobre	P mens	153,3	194,4	95	43,6	115,9	52,9	60,5	334,9	199,4	86,2
	ETP mens	109	132	125	134	118	125	109	122	127	126
	P - ETP	44,3	62,4	-30	-90,4	-2,1	-72,1	-48,5	212,9	72,4	-39,8
Novembre	P mens	282	96,8	65,4	127,6	60,5	135,5	74,6	86,9	145,9	129,4
	ETP mens	114	131	131	124	128	120	118	136	129	138
	P - ETP	168	-34,2	-65,6	3,6	-67,5	15,5	-43,4	-49,1	16,9	-8,6
Décembre	P mens	52	90,3	75,9	63,7	67,3	13,9	17,3	88,4	17,6	61,7
	ETP mens	110	115	118	124	105	119	106	115	111	129
	P - ETP	-58	-24,7	-42,1	-60,3	-37,7	-105,1	-88,7	-26,6	-93,4	-67,3

Tableau 18 : Bilan climatique de la station de Daloa pour la décennie 80

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Janvier	P mens	22,8	1,5	0	0	0	36,7	0	-	0	0
	ETP mens	118	112	125	130	118	112	113	110	112	126
	P - ETP	-95,2	-110,5	-125	-130	-118	-75,3	-113		-112	-126
Février	P mens	46,4	31,7	159,4	36	22,2	64,3	90,6	-	25,2	28,8
	ETP mens	131	113	133	140	142	124	125	112	127	128
	P - ETP	-84,6	-81,3	26,4	-104	-119,8	-59,7	-34,4		-101,8	-99,2
Mars	P mens	195,4	130,5	132,4	35,1	136,5	102,5	59,6	-	184,1	53,4
	ETP mens	128	131	134	143	140	117	126	121	119	136
	P - ETP	67,4	-0,5	-1,6	-107,9	-3,5	-14,5	-66,4		65,1	-82,6
Avril	P mens	132,1	125,7	84	56,6	133,7	30,9	143,5	115	191,9	133,4
	ETP mens	129	130	141	149	128	127	139	124	112	137
	P - ETP	3,1	-4,3	-57	-92,4	5,7	-96,1	4,5	-9	79,9	-3,6
Mai	P mens	217,9	104,5	101,7	-	135,9	130	125,9	-	50,3	41,7
	ETP mens	118	117	124	126	130	115	117	122	126	139
	P - ETP	99,9	-12,5	-22,3		5,9	15	8,9		-75,7	-97,3
Juin	P mens	92,3	70,9	225,9	120	108,6	112,5	38,3	115,7	117,3	139,3
	ETP mens	107	114	108	104	111	127	102	98	98	105
	P - ETP	-14,7	-43,1	117,9	16	-2,4	-14,5	-63,7	17,7	19,3	34,3
Juillet	P mens	207,7	106,2	43,7	23,8	148,7	94,1	78,4	166,6	92,1	230
	ETP mens	96	104	96	107	110	96	84	106	98	107
	P - ETP	111,7	2,2	-52,3	-83,2	38,7	-1,9	-5,6	60,6	-5,9	123
Août	P mens	235,8	156,2	132,6	74,3	130,8	366,1	165,2	426,8	168,4	257,1
	ETP mens	98	110	94	104	108	95	95	92	85	97
	P - ETP	137,8	46,2	38,6	-29,7	22,8	271,1	70,2	334,8	83,4	160,1
septembre	P mens	203,3	144,7	104,4	184,9	78,3	226,4	248,3	267,9	206,4	158,3
	ETP mens	103	116	109	112	111	95	99	96	97	97
	P - ETP	100,3	28,7	-4,6	72,9	-32,7	131,4	149,3	171,9	109,4	61,3
Octobre	P mens	94,9	149,7	165,7	39,1	84,5	92,4	49,7	100,8	80,6	198,3
	ETP mens	107	121	114	114	104	109	106	107	111	117
	P - ETP	-12,1	28,7	51,7	-74,9	-19,5	-16,6	-56,3	-6,2	-30,4	81,3
Novembre	P mens	57,7	17,4	0	107,2	0	37,3	18,9	6	83,8	0
	ETP mens	107	123	109	109	102	101	101	101	120	121
	P - ETP	-49,3	-105,6	-109	-1,8	-102	-63,7	-82,1	-95	-36,2	-121
Décembre	P mens	0	0,5	0	79,7	-	6,1	9,2	15,8	0,8	25,5
	ETP mens	103	105	109	104	96	100	92	104	112	110
	P - ETP	-103	-104,5	-109	-24,3		-93,9	-82,8	-88,2	-111,2	-84,5

Tableau 19 : Bilan climatique de la station de Guiglo pour la décennie 80

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Janvier	P mens	45,9	0	0	2	0,5	61,4	0	29,9	0	0
	ETP mens	106	108	116	109	115	113	108	118	106	109
	P - ETP	-60,1	-108	-116	-107	-114,5	-51,6	-108	-88,1	-106	-109
Février	P mens	54,6	36,1	154,1	23,3	15,9	39,5	54,9	56,2	46,1	29,9
	ETP mens	116	118	128	130	131	118	126	127	118	132
	P - ETP	-61,4	-81,9	26,1	-106,7	-115,1	-78,5	-71,1	-70,8	-71,9	-102,1
Mars	P mens	169,3	30,1	100	32,4	98,3	62,9	122,5	83,8	116,3	147
	ETP mens	119	132	131	139	143	131	127	130	123	131
	P - ETP	50,3	-101,9	-31	-106,6	-44,7	-68,1	-4,5	-46,2	-6,7	16
Avril	P mens	87,5	231,9	193,9	96,8	176,4	118,9	142,7	104,2	220,6	229,9
	ETP mens	117	128	136	143	128	129	127	141	127	130
	P - ETP	-29,5	103,9	57,9	-46,2	48,4	-10,1	15,7	-36,8	93,6	99,9
Mai	P mens	189,8	166,6	289,2	341,4	250,1	156,2	194,5	182,8	51,6	64,7
	ETP mens	107	110	127	118	126	115	125	127	128	123
	P - ETP	82,8	56,6	162,2	223,4	124,1	41,2	69,5	55,8	-76,4	-58,3
Juin	P mens	64,7	278,3	265,6	245	240,4	125	122,3	254	216,1	197,5
	ETP mens	100	113	110	107	115	104	106	108	107	97
	P - ETP	-35,3	165,3	155,6	138	125,4	21	16,3	146	109,1	100,5
Juillet	P mens	222,8	194,2	59,2	62,1	173,6	126,3	57	98,4	131,3	275,5
	ETP mens	87	109	103	101	105	94	141	111	100	98
	P - ETP	135,8	85,2	-43,8	-38,9	68,6	32,3	-84	-12,6	31,3	177,5
Août	P mens	469,7	166,2	282,7	67,6	124,8	407,9	184,6	183,7	235,7	414,3
	ETP mens	87	114	96	100	108	98	105	97	85	97
	P - ETP	382,7	52,2	186,7	-32,4	16,8	309,9	79,6	86,7	150,7	317,3
Septembre	P mens	292,8	186	105,4	257,8	140	336,8	260,4	-	224,2	138,7
	ETP mens	88	116	122	111	109	105	101	102	105	101
	P - ETP	204,8	70	-16,6	146,8	31	231,8	159,4	-	119,2	37,7
Octobre	P mens	123,6	283,8	178,1	45,2	136,5	159,3	232,5	-	70,2	230,2
	ETP mens	85	131	122	119	111	113	111	113	116	107
	P - ETP	38,6	152,8	56,1	-73,8	25,5	46,3	121,5	-	-45,8	123,2
Novembre	P mens	130,9	42,7	71,7	41	8,5	18,3	46,2	-	20	8,6
	ETP mens	93	128	111	113	106	113	107	108	114	116
	P - ETP	37,9	-85,3	-39,3	-72	-97,5	-94,7	-60,8	-	-94	-107,4
Décembre	P mens	16,5	2,5	2	90,3	19,5	4	34,5	-	59,3	23,9
	ETP mens	95	109	109	108	97	99	93	103	94	108
	P - ETP	-78,5	-106,5	-107	-17,7	-77,5	-95	-58,5	-	-34,7	-84,1

Les déficits se produisent naturellement pendant les mois de faible pluviométrie, de décembre à mars. Les déficits les plus sévères sont observés en décembre et surtout en janvier. La pluie ne représente, à ce moment là, qu'une faible proportion de l'ETP; de 1 à 10% le plus souvent. De la même façon les excédents mensuels les plus élevés se produisent pendant les saisons pluvieuses, surtout d'avril à juillet c'est-à-dire lors des phases pluvieuses les plus importantes. Pendant ces maxima pluviométriques la pluie peut représenter jusqu'à 250% de l'ETP.

Le bilan climatique du sud forestier ivoirien fait apparaître deux domaines :

* Un premier, restreint à l'est autour de la station d'Agnibilekro (*tableau 15*), où le bilan climatique mensuel présente un bloc d'années ayant un nombre de mois déficitaires important, allant de 3 à 5. Sur toute la décennie 1980-1989 aucune année n'est donc excédentaire pendant les 12 mois et la différence "pluviométrie -ETP" est importante pendant les mois secs. Ces écarts sont en effet encaissés par rapport au stock hydrique surtout pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre, où ils atteignent facilement 80 mm.

* Un second domaine s'étendant sur le reste de la zone d'étude où des années à nombre de mois secs important alternent avec des années, au contraire à nombre de mois secs faible :

- à Gagnoa (*tableau 16*) dans l'ouest, en dehors des années 1986 et 1987 qui ont des déficits durant 3 mois, toute la décennie présente des années à nombre de mois déficitaires inférieur ou égal à 2;

- Abidjan (*tableau 17*) sur le littoral, présente des mois déficitaires importants seulement en 1982, 1985 et 1986. Sur le reste de la décennie aucune année n'a plus de 2 mois de déficit;

- à Daloa (*tableau 18*), seules 3 années (1982, 1987 et 1988) ont un nombre important de mois déficitaires. Sur le reste de la décennie, les déficits ne dépassent pas 3 mois au cours de l'année;

- à Guiglo (*tableau 19*), au cours de la décennie 1980-1989, en dehors de 1981, 1982 et 1986, le nombre de mois déficitaires est inférieur ou égal à 2. Certaines années (1985 et 1987) présentent des excédents pendant les 12 mois.

2.2.4 EVOLUTION DU NOMBRE ANNUEL DE JOURS DE PLUIE

2.2.4.1 Résultats des tests de détection de rupture

Tableau 20 : Rupture dans les séries pluviométriques du nombre de jours de pluie interannuel

Régions	Stations	Année de rupture
Littoral-est	Abidjan	1960-1963
	Adiaké	non
	Dabou	1969-1970
Littoral centre	Sassandra	1961-1964
Littoral-ouest	Tabou	non
Intérieur	Bouaflé	1973-1982
	Divo	1972
	Gagnoa	1970
	Lakota	1971
	Oumé	1976
Est	Abengourou	non
Ouest	Daloa	1971-1980
	Man	1972

L'analyse du nombre de jours de pluie par station révèle aussi qu'un changement de moyenne s'est produit dans les séries (*tableau 20*). En raison du nombre important de données manquantes, l'étude n'a porté que sur 13 stations.

Le changement du nombre d'événements pluvieux est signalée d'abord sur quelques stations du littoral. Il s'agit d'Abidjan (1960-1963), et de Sassandra (1961-1964). La station littorale de Dabou a été touchée un peu plus tard, entre 1969 et 1970. C'est également à partir de cette date qu'on enregistre une rupture de la fréquence des pluies

dans la zone intérieure : Bouaflé (1973-1982), Divo (1972), Gagnoa (1970), Lakota (1971), Oumé (1976), Daloa (1971), Man (1972). Les secteurs de Tabou dans le coin sud-ouest et d'Abengourou dans l'est ne sont pas affectés.

2.2.4.2 Evolution des courbes isovaleurs du nombre de jours de pluie interannuel au cours de la période 1950-1990

L'observation des *figures 22 à 25* montre assez nettement, une tendance générale au glissement des lignes d'isovaleurs vers le sud-ouest, ce qui exprime une réduction du nombre de jours de pluie interannuel sur l'ensemble de la zone d'étude.

Au cours de la **décennie 1950-1959**, on distingue globalement 2 secteurs (*figures 22 et 23*) :

- un secteur de nombre de jours de pluie supérieur à 150 jours de pluie. Il s'agit de l'extrême sud-est (Abidjan, Adiaké) et de l'ouest dans son ensemble (Man, Toulepleu, Guiglo, Gagnoa, Tabou);
- Un secteur de nombre de jours de pluie allant de 100 à 150 jours de pluie, sur le reste de la zone d'étude avec les stations de Divo, Lakota, Adzopé, Daloa, Sassandra, Abengourou.

La décennie 1960-1969 voit le secteur de nombre de jours de pluie compris entre 100 et 150 jours de pluie couvrir la presque totalité du sud forestier ivoirien. Seul Adiaké dans l'extrême sud-est et Tabou dans le coin sud-ouest conservent une forte fréquence pluviométrique.

Figure 22 : Sud forestier ivoirien - évolution des classes d'isovaleurs du nombre de jours de pluie interannuel au cours des décennies 1950-1959 et 1960-1969

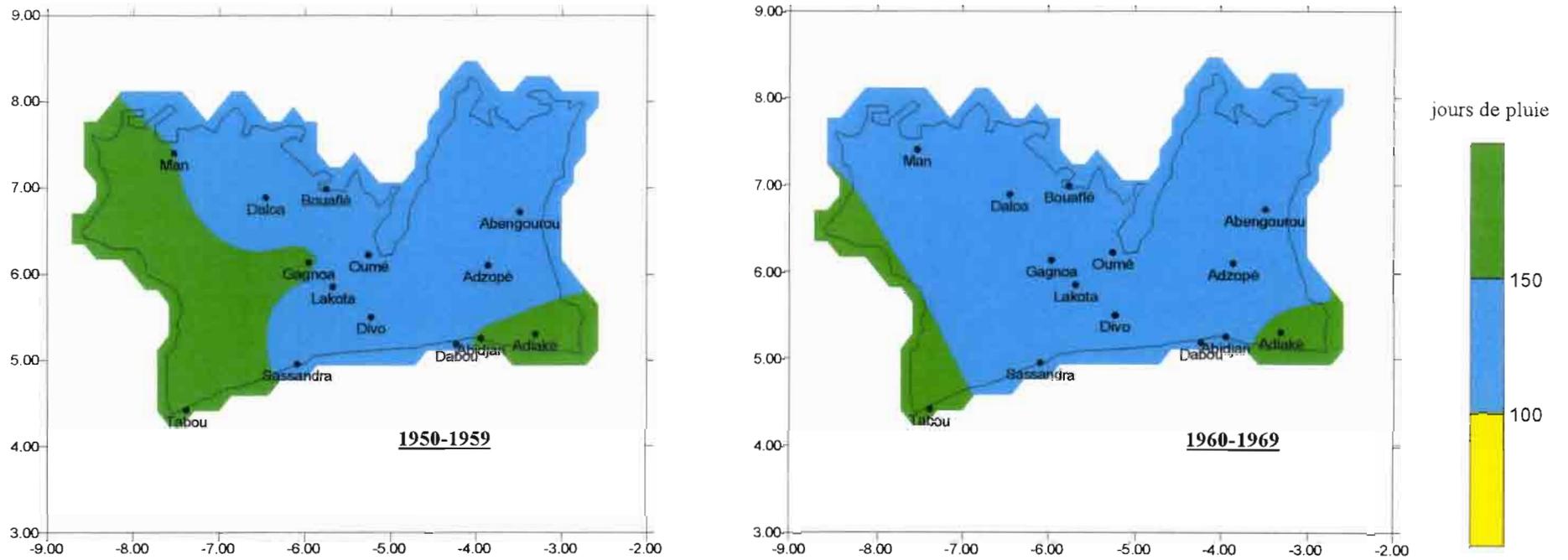


Figure 23 : Sud forestier ivoirien - nombre de jours de pluie interannuel au cours des décennies 1950-1959 et 1960-1969

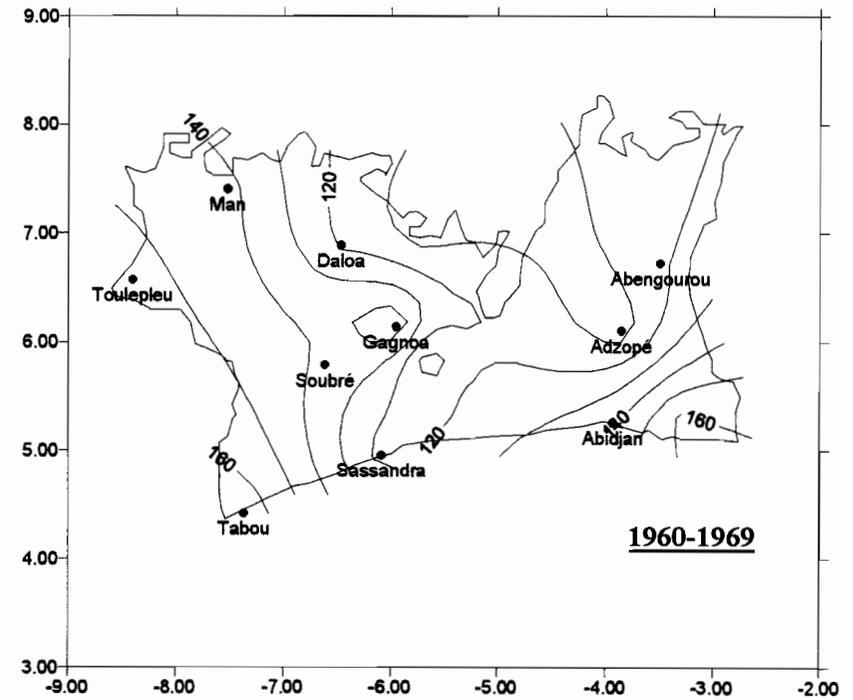
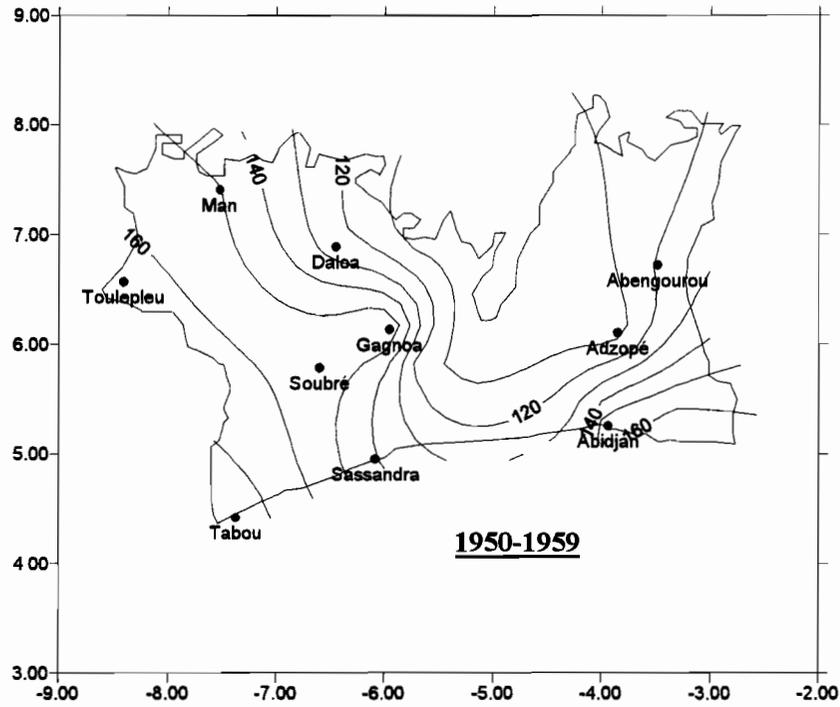
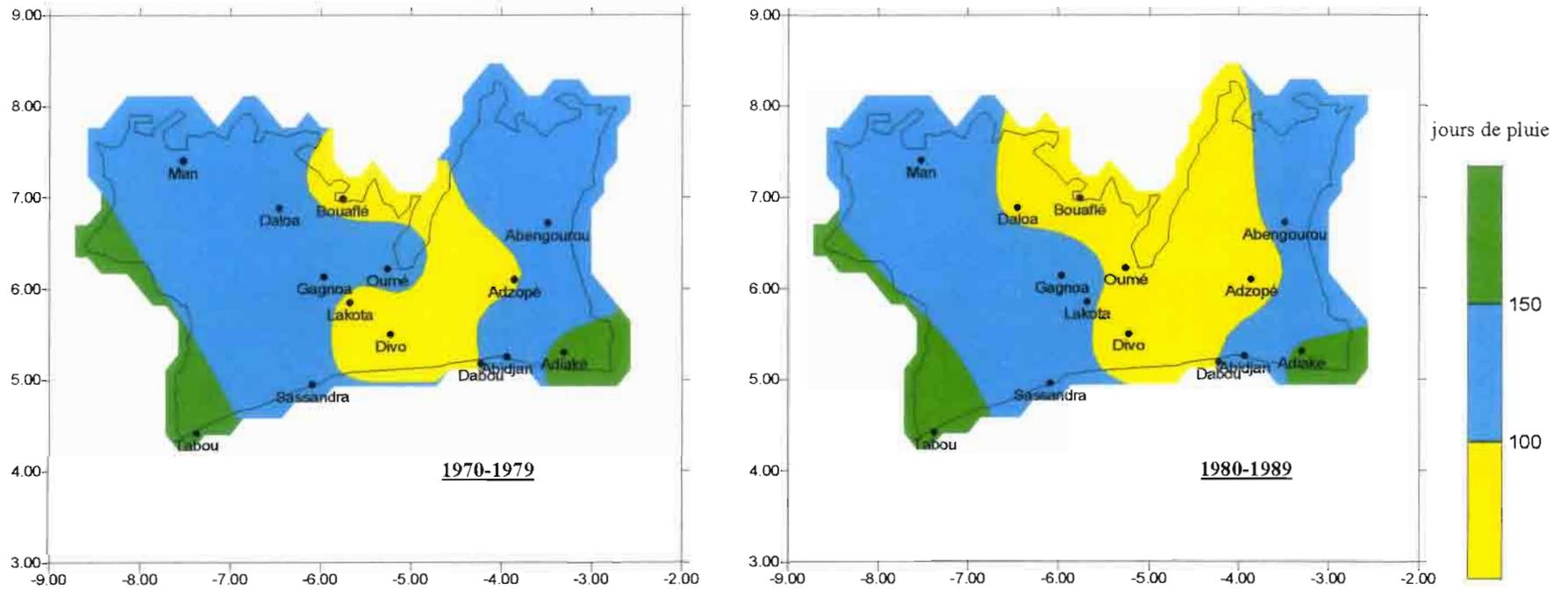
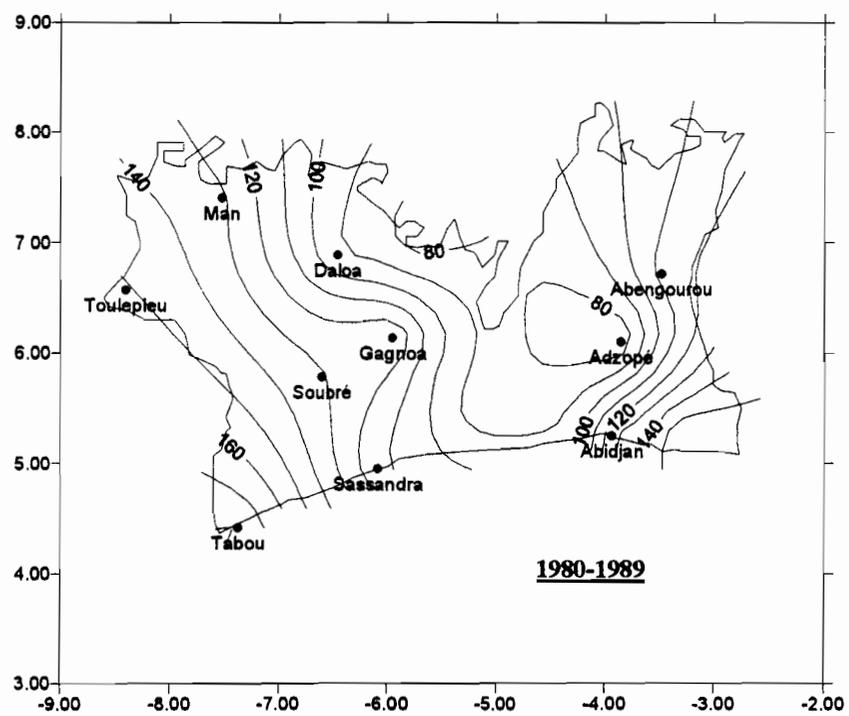
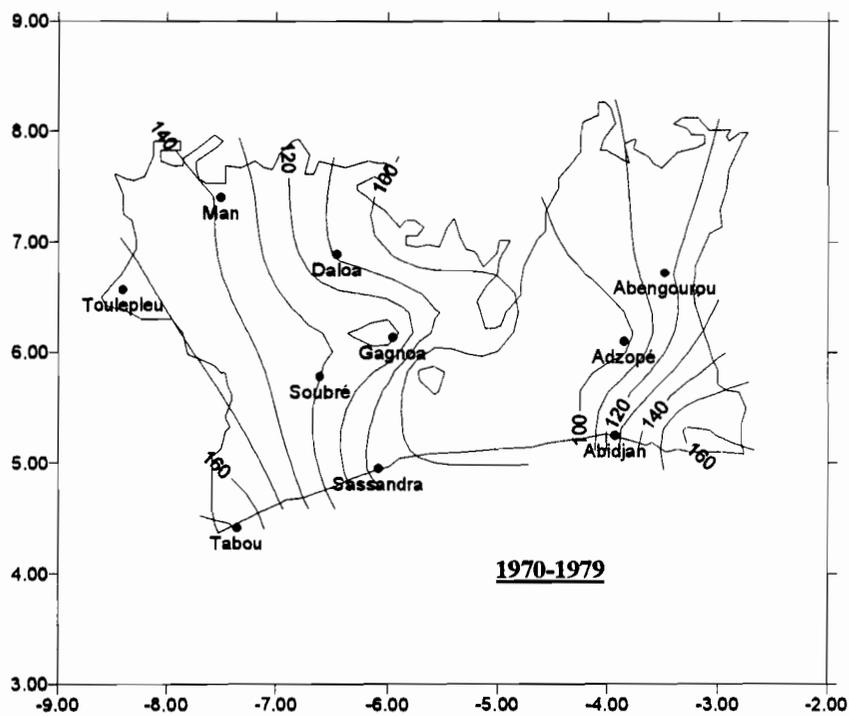


Figure 24 : Sud forestier ivoirien - évolution des zones d'isovaleurs du nombre de jours de pluie interannuel au cours des décennies 1970-1979 et 1980-1989



Réalisée par Brou Yao T.

Figure 25 : Sud forestier ivoirien nombre de jours de pluie interannuel au cours des décennies 1970-1979 et 1980-1989



Le bouleversement de la répartition spatiale du nombre de jours de pluie prend de l'importance pendant la **décennie 1970**, avec l'apparition, au centre de la région forestière, d'un secteur de faibles occurrences de jours de pluie (*figures 24 et 25*). Le nombre de jours de pluie est inférieur à 100 et concerne les stations de Dabou, Adzopé, Lakota et Bouaflé. Le phénomène se poursuit au cours de la **décennie 1980-1989**, avec comme point culminant Cechi, Adzopé (sud-est) et Bouaflé (centre). A ce niveau, le nombre d'événements pluvieux n'est plus que de 80 jours par an. Le littoral sud-ouest et celui du sud-est sont les seuls secteurs qui échappent encore à cette baisse notable.

2.2.5 EVOLUTION DU NOMBRE MENSUEL DE JOURS DE PLUIE

2.2.5.1 Résultats des tests de détection de rupture sur les séries mensuelles de nombre de jours de pluie

Tableau 21 : Rupture dans les séries pluviométriques du nombre mensuel de jours de pluie

Régions	Stations	avril	mai	juin	juillet	octobre	novembre
Littoral-est	Abidjan	Non	Non	1976	Non	1954-1960	1971
	Adiaké	Non	Non	1983	Non	Non	Non
Littoral-ouest	Tabou	Non	Non	1979-80	Non	Non	Non
	Bouaflé	Non	Non	1973	Non	1982	Non
Intérieur	Cechi	Non	Non	1979-80	Non	Non	Non
	Divo	1976	1976	1969-74	Non	1970	1971
	Oumé	1968	1980	1979	Non	Non	1969
	Tiassalé	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Est	Abengourou	Non	Non	Non	Non	1957	Non
	Agnibilekro	Non	Non	Non	Non	Non	Non

De la même façon que les hauteurs pluviométriques mensuelles, la rupture dans les séries pluviométriques du nombre de jours pluvieux est remarquable surtout sur le mois de juin (*tableau 21*). Les stations d'Abengourou, d'Agnibilekro dans l'est, de Tiassalé dans la

région intérieure et de Tabou sur le littoral ouest ne sont pas touchées par cette diminution. Sur les séries du nombre de jours de pluie des autres mois les changements de moyennes sont rarement perceptibles.

2.2.5.2 Quantification de la diminution du nombre mensuel de jours de pluie entre les périodes 1950-1959 et 1980-1989

Pour chaque décennie (1950-59 et 1980-89), des moyennes mensuelles ont été calculées qui donnent une idée de la distribution mensuelle du nombre de jours pluvieux sur les 2 périodes.

L'examen du *tableau 22* ci-après montre en général une réduction au niveau du nombre de jours de pluie de la décennie 1950-59 à 1980-89. Cette diminution est inégalement répartie dans l'espace au cours d'un même mois.

L'étude de l'évolution du nombre mensuel de jours de pluie ne montre pas une tendance homogène à la diminution sur l'ensemble de la zone d'étude. Les variations négatives les plus fortes se manifestent et selon un mode presque identique autour de quelques localités situées dans les régions intérieures. Il s'agit principalement des localités de Gagnoa dans le centre-ouest et de Cechi, Adzopé dans le sud-est (la réduction atteint 40% pendant la saison pluvieuse d'avril à juin). A côté de ces régions très déficitaires, sur le reste du territoire étudié, la diminution du nombre de jours pluvieux est moins importante. Elle est inférieure à 20%. Ce dernier groupe inclut les espaces connaissant au contraire une évolution positive sur la majeure partie de l'année comme l'ouest du pays avec Guiglo et la côte ouest avec Taï.

Tableau 22 : Quantification de la diminution du nombre mensuel de jours de pluie entre les périodes 1950–1959 et 1980–1989

		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Abengouro	50–59	2	4	8	11	14	17	13	13	15	18	7	2
	80–89	1	3	8	9	12	14	13	13	13	13	3	2
	variation (%)	-50	-25	0	-18	-14	-18	0	0	-13	-28	-57	0
Abidjan	50–59	4	5	11	13	20	24	13	8	12	19	18	12
	80–89	1	4	9	11	18	20	12	10	12	15	12	6
	variation (%)	-75	-20	-18	-15	-10	-17	-8	25	0	-21	-33	-50
Adiaké	50–59	5	5	10	12	19	24	15	10	16	22	17	10
	80–89	3	5	11	12	19	22	18	15	16	19	13	6
	variation (%)	-40	0	10	0	0	-8	20	50	0	-14	-24	-40
Adzopé	50–59	2	3	8	11	13	16	11	7	11	15	9	4
	80–89	0	2	7	6	10	11	7	6	7	9	4	2
	variation (%)	-100	-33	-13	-45	-23	-31	-36	-14	-36	-40	-56	-50
Agboville	50–59	3	3	7	11	15	17	11	8	12	16	12	5
	80–89	1	4	7	9	12	15	10	9	11	14	9	3
	variation (%)	-67	33	0	-18	-20	-12	-9	13	-8	-13	-25	-40
Agnibilekro	50–59	1	3	8	10	11	13	9	6	10	13	5	2
	80–89	1	2	8	7	8	10	9	9	11	11	2	0
	variation (%)	0	-33	0	-30	-27	-23	0	50	10	-15	-60	-100
Bouafilé	50–59	2	4	7	9	11	12	7	8	14	12	5	3
	80–89	1	3	6	8	10	10	8	9	10	7	3	0
	variation (%)	-50	-25	-14	-11	-9	-17	14	13	-29	-42	-40	-100
Cechi	50–59	1	2	6	7	10	12	6	4	6	9	4	2
	80–89	0	2	5	4	6	7	4	3	5	5	3	1
	variation (%)	-1,00	0,00	-0,17	-0,43	-0,40	-0,42	-0,33	-0,25	-0,17	-0,44	-0,25	-0,50
Divo	50–59	3	5	9	9	12	16	10	7	12	14	9	5
	80–89	1	5	8	8	10	12	8	8	8	9	7	2
	variation (%)	-67	0	-11	-11	-17	-25	-20	14	-33	-36	-22	-60
Gagnoa	50–59	4	7	13	14	19	21	12	14	20	20	14	6
	80–89	1	3	7	6	10	10	9	12	11	11	6	3
	variation (%)	-75	-57	-46	-57	-47	-52	-25	-14	-45	-45	-57	-50

		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Guiglo	50-59	2	4	6	8	8	12	9	9	17	12	6	2
	80-89	1	3	8	10	12	12	11	16	16	12	5	3
	variation (%)	-50	-25	33	25	50	0	22	78	-6	0	-17	50
Oumé	50-59	2	6	9	10	12	15	8	7	12	12	8	4
	80-89	1	4	7	9	10	12	10	10	12	11	6	2
	variation (%)	-50	-33	-22	-10	-17	-20	25	43	0	-8	-25	-50
Soubré	50-59	3	5	9	11	13	16	9	9	14	14	12	6
	80-89	2	5	7	8	14	8	10	11	17	15	9	5
	variation (%)	-33	0	-22	-27	8	-50	11	22	21	7	-25	-17
Tabou	50-59	8	5	10	13	22	20	10	14	24	20	17	13
	80-89	5	4	8	11	22	23	16	22	23	19	17	10
	variation (%)	-38	-20	-20	-15	0	15	60	57	-4	-5	0	-23
Tiassalé	50-59	2	3	7	8	11	13	6	5	8	12	8	3
	80-89	1	3	7	7	12	14	9	9	8	13	8	2
	variation (%)	-50	0	0	-13	9	8	50	80	0	8	0	-33
Vavoua	50-59	2	4	8	9	8	9	6	9	14	11	4	2
	80-89	1	2	6	6	8	7	5	8	10	6	2	1
	variation (%)	-50	-50	-25	-33	0	-22	-17	-11	-29	-45	-50	-50

2.3 CONCLUSION

En résumé de cette partie sur l'analyse des observations pluviométriques, on peut dire que:

L'examen des moyennes pluviométriques interannuelles et l'analyse en composantes principales ont permis d'individualiser dans le sud forestier, 6 aires pluviométriques. On distingue : le littoral ouest (Tabou); le littoral centre (Sassandra, Grand-Lahou); le littoral est et les stations avoisinantes (Abidjan, Adiaké, Aboisso, Azaguié); la région est (Agnibilekro, Abengourou); la région ouest (Man, Guiglo, Toulepleu, Daloa); la région intérieure (Adzopé, Gagnoa, Soubré, Divo, Oumé, Bouaflé, Lakota).

Le sud forestier ivoirien a connu une diminution effective dans le temps des hauteurs pluviométriques annuelles et du nombre de jours de pluie interannuel. En règle générale, les différentes procédures statistiques utilisées mettent en évidence, l'existence d'une rupture survenue durant la décennie 1960 ou au début de la décennie 1970. Ce phénomène semble s'être manifesté plus tardivement pour les stations du littoral. Cela fait donc maintenant plus de deux décennies que cette situation perdure. Elle semble s'être intensifiée durant la décennie 1980.

La baisse de la pluviométrie est aussi mise en lumière par la nette tendance au glissement des isohyètes vers le sud-ouest à partir de la décennie 1970. Ce phénomène n'a pas eu la même intensité partout. Par rapport au reste de la zone étudiée, l'ensemble des stations de l'ouest (Tabou, Man, Toulepleu, Danané), de l'est (Abengourou, Agnibilekro) et du littoral ouest (Tabou) l'ont ressenti faiblement. Ce phénomène s'est installé d'abord autour du "V Baoulé" et se prolonge par la suite vers le sud-ouest.

A l'échelle mensuelle, le changement de moyenne dans les séries se produit, généralement sur la pluviométrie de juin (mois le plus pluvieux) et parfois sur celle d'octobre. Le bilan climatique mensuel est tantôt excédentaire, tantôt déficitaire. Mais la période excédentaire est souvent plus longue (7 à 11 mois) que la période déficitaire, à l'exception d'un secteur peu étendu à l'est.

Parallèlement à cette diminution de la pluviométrie, on a noté que la part des forêts denses humides dans le territoire forestier ivoirien a considérablement diminué entre 1955 et 1990. La question qu'on se pose est celle de l'évolution conjointe des deux phénomènes et de leurs interactions. La forte augmentation de la déforestation durant ces dernières décennies a sans doute un impact sur les paramètres climatiques. La réponse passe d'abord par une meilleure connaissance de la dynamique des formations forestières humides, ainsi que par les mécanismes de leur dégradation. C'est dans cette perspective que s'inscrit la troisième partie de l'étude.

TROISIEME PARTIE

**LE SUD FORESTIER IVOIRIEN ET SA TRANSFORMATION
PAR LES ACTIVITES HUMAINES**

Objectif

Les développements précédents ont montré clairement qu'au cours des 40 dernières années, le contexte pluviométrique de la Côte d'Ivoire forestière s'est considérablement dégradé. Cette diminution brutale de la pluviométrie s'est traduite par une rupture dans les séries pluviométriques généralement observée à partir de la fin des années 60, ainsi que par un glissement vers le sud-ouest des courbes isohyètes et d'isovaleurs du nombre de jours de pluie interannuel. Ces accidents climatiques ne se sont pas produits en même temps pour tous les lieux et n'ont pas eu la même ampleur partout. Il s'est agi d'une propagation dans l'espace et dans le temps de la baisse des précipitations.

Ce constat conduit nécessairement à la recherche des causes de ce phénomène, à tenir compte de facteurs naturels ou géographiques de la pluviométrie. L'homme en altérant ces facteurs par l'activité agricole et forestière ou par d'autres pratiques, modifie dans le même temps les conditions locales de la pluviométrie. En effet les modifications des surfaces forestières perturbent non seulement les échanges de chaleur et de vapeur d'eau au cours de l'année, mais affectent également la répartition des eaux de pluie (Gornitz et NASA, 1985; Monteny, 1989; Anhuf, 1993).

Il s'agit donc, dans cette partie, d'apprécier les modifications du couvert forestier liées à son exploitation rapide par l'homme au cours de notre siècle. Nous décrirons à ce propos le paysage forestier naturel en ses caractéristiques principales. Cette description des types de paysages sera suivie de l'étude de l'évolution du couvert forestier en relation avec les activités agro-démographiques. L'étude consistera ainsi à montrer que la mise en culture des terres par les populations se sont faites au détriment des massifs de forêts denses humides de la moitié sud de la Côte d'Ivoire. Un accent particulier sera mis sur la culture du binôme café-cacao (économie de plantation), grande consommatrice d'espace (Gastellu, 1978).

3.1 DESCRIPTION DU PAYSAGE FORESTIER

NATUREL

Le paysage de forêt dense humide est appelé "formations panétogéniques", c'est-à-dire qui produisent ou se régénèrent tout au long de l'année (Monnier, 1981). Ces formations forestières présentent des caractères principaux qui sont la permanence globale du feuillage et l'entretien d'un microclimat.

3.1.1 CARACTERES PRINCIPAUX DU PAYSAGE FORESTIER

TROPICAL HUMIDE

3.1.1.1 Permanence globale du feuillage

Les arbres renouvellent leur feuillage continuellement, bien que chaque arbre ait son rythme propre qui n'est pas fonction des rythmes climatiques : il y a d'une manière régulière, disparition et remplacement des feuilles. "Ce rajeunissement perpétuel entraîne la fixation du paysage et la permanence des conditions microclimatiques internes" (Monnier, 1981). Ces couverts végétaux s'accommodent de précipitations supérieures à 1500 mm, pour la zone forêt ombrophile et de 1300 à 1500 mm pour la zone de forêt mésophile.

3.1.1.2 Entretien d'un microclimat

La forêt dense tropicale humide, constitue un milieu particulièrement fermé, qui ne subit que de manière très atténuée les influences extérieures (Horent, 1977). Grâce à l'écran de ses strates superposées, un microclimat original est créé. Il est caractérisé par :

- une humidité toujours très importante. Celle-ci a un caractère très représentatif du climat tropical humide. Le pourcentage d'humidité relative, reste constamment élevé. Les valeurs annuelles se situent généralement autour de 90%;

- une température dont les variations sont peu marquées et une luminosité faible.

L'un des traits marquants du milieu forestier, est la réduction de la luminosité.

L'intensité de la lumière varie avec la densité de la voûte forestière. Si cette dernière est homogène, le sous-bois peut recevoir moins de 1% de la lumière extérieure. Ce déficit lumineux, joue le rôle de facteur limitant. C'est une des raisons qui entraîne un développement végétal peu important au niveau du sol. De ce fait la forêt primaire ne présente pas ce fouillis inextricable de feuilles et de lianes qui caractérise les végétations secondaires;

- et une vitesse du vent très atténuée dans le sous-bois. Seuls les coups de vents violents sont capables de se faire sentir à la surface du sol.

3.1.2 STRUCTURE

Selon Koli-bi (1981), la forêt est d'abord un monde dense et monotone. Avec du recul, en bordure d'un grand fleuve, à la faveur d'une clairière ou d'un défrichement agro-industriel, elle présente une paroi impénétrable à la vue, un mur végétal de plus de 40 m de hauteur. A l'intérieur de la forêt, la vision s'arrête à une vingtaine de mètres. A Taï (sud-ouest du pays) par exemple, la densité des arbres est estimée à plus de 250 individus à l'hectare. Les cimes de ces arbres gigantesques sont rarement visibles. Le sous-bois est souvent clairsemé, mais la marche est rendue parfois difficile par les lianes énormes et torsadées, des arbres déracinés.

Le relevé reproduit ici est emprunté aux travaux de Horent (1977). Il a été effectué au coeur de la forêt du Banco le long d'un transect d'une cinquantaine de mètres. Bien que se situant à une altitude de 98 mètres, la pente est très faible et la surface est considérée comme plane. La description qui suit concorde avec celles effectuées dans d'autres forêts tropicales humides. Il s'agit notamment des relevés faits par Koli-bi (1981) dans le sud-ouest et de Kra (1986) dans l'est ivoirien. L'environnement décrit par ces auteurs correspond bien aux conditions les plus fréquentes de notre région.

Dans un profil de forêt, on observe plusieurs "strates" et "interstrates" (*figure 26*).

Figure 26 : Structure pluristrate de la forêt dense

De 42 à 30 mètres

Strates où s'étale le feuillage en coupole ou en hémicycle de quelques grands arbres qui ont réitéré; le couvert végétal est presque continu, mais la densité reste claire. Ces feuillages occupent le maximum d'espace.

De 30 à 21 mètres

L'ensemble dominant est constitué par les fourches et les grosses branches supportant le feuillage de la strate précédente. On trouve également d'autres feuillages plus élancés, mais aussi quelques-uns étalés. Les "troncs" et feuillages de lianes apparaissent, ainsi que des épiphytes. La voûte est ouverte, tout en ayant tendance à être localement continue. La structure d'ensemble est dominée par des formes redressées, et par des formes à tendance horizontale. La densité est plus importante que précédemment.

De 21 à 15 mètres

La strate dominée par des feuillages étalés en coupole, ou plus élancés, et par les grandes branches et fourches déjà rencontrées. Les "troncs" et feuillages des lianes sont importants et laissent entrevoir les "troncs" des arbres. Des épiphytes et de la matière végétale morte

sont accrochés aux fourches. Le couvert est continu, mais les feuillages restent distincts, avec une densité importante.

De 15 à 8 mètres

L'interstrate résulte du mélange de grosses branches et de "troncs". A ce niveau les feuillages sont étalés ou élancés et occupent un volume faible en plaque ou en flot. L'ensemble est ouvert et dense.

De 8 à 5 mètres

C'est la strate où se mélangent en parties égales des feuillages étalés et en forme de sucette. Les "troncs" sont apparents, envahis par des lianes importantes. Le couvert est continu et s'interpénètre. La structure est verticale, à tendance horizontale avec une densité moins importante.

De 5 à 3 mètres

Le feuillage a une forme étalée avec une présence de branches, de fourches et de matière végétale morte. On note dans cette strate, des "troncs" et des feuillages de lianes. Le couvert est interpénétrant, à tendance horizontale. Il est regroupé en plaques et présente une densité plus importante que précédemment.

De 3 à 2 mètres

C'est une interstrate de "troncs" d'arbres. On observe une abondance de feuillages élancés et étalés, de "troncs" de lianes. Le couvert est continu et contigu. La structure a une tendance verticale.

De 2 mètres à 80 cm

Cette interstrate est caractérisée par une relative importance de "troncs" morts, utilisés par le système racinaire. La structure est très ouverte.

De 80 à 30 cm

Ce qui domine ici, ce sont les "*troncs*" des arbres. On remarque aussi des jeunes arbres, des "*troncs*" de lianes et quelques arbres monocaules. C'est une strate ouverte.

De 30 à 2 cm

Les "*troncs*" des arbres restent dominants. Cette strate est caractérisée par une abondance de plantes herbacées à larges feuilles, ainsi que des jeunes individus ligneux et des turricules de vers. Le couvert est regroupé en plaques.

De 2 à 1 cm

Dans cette strate, la litière foliacée rencontrée n'est pas décomposée. Les turricules de vers sont plus importants, avec quelques plages de litière en décomposition. L'ensemble est continu avec une structure horizontale et dense.

De 1 à 0 cm

Ici la litière est décomposée et utilisée par le chevelu racinaire. La présence de grumeaux minéro-organiques est liée aux racines abondantes.

De cette stratification, on conclut qu'une forêt dense humide est composée d'unités différentes qui peuvent être rattachées à trois grands ensembles. L'ensemble du présent, dont les arbres ont atteint l'âge adulte, l'ensemble du futur, où les arbres ne sont pas encore adultes et l'ensemble du passé, où les vieux arbres sont prêts à tomber et à donner un chablis (Oldeman, 1984).

3.2 DYNAMIQUE AGRICOLE ET TRANSFORMATION DU MILIEU

C'est au cours des premières décennies du 20ème siècle que l'Afrique noire commence à être intégrée directement dans le système de relations commerciales des pays industrialisés. L'Europe, devant trouver impérativement de nouvelles sources économiques

et de nouveaux partenaires, se tourne alors vers l'Afrique. La forêt riche en bois précieux (500 espèces) représente à partir de la fin du siècle passé, jusqu'en 1945-1946 une source de profit importante pour les forestiers européens, et la seule activité économique de la Côte d'Ivoire. Parallèlement à cette activité, on assiste progressivement au développement des plantations en cultures de rentes et industrielles. Sur de grandes superficies, une seule essence est exploitée et rentabilisée. Par exemple en 1988, le palmier à huile est cultivé sur près de 150 000 d'hectares. L'équilibre initial du milieu est ainsi rompu, et un nouvel ordre est créé, absolument artificiel, n'existant que grâce à la volonté de l'homme.

Pour comprendre le processus de dégradation du couvert forestier ivoirien, il faut donc se référer à l'analyse des grands mouvements de l'histoire de l'activité agricole en Côte d'Ivoire forestière.

3.2.1 DYNAMIQUE AGRICOLE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN

3.2.1.1 Evolution spatiale et temporelle de l'économie de plantation (café-cacao) en Côte d'Ivoire forestière

Les milieux forestiers ont connu au cours des années 1960 à 1980, un boom cacaoyer qui a servi de moteur à l'ensemble de l'économie ivoirienne. Généralement peu peuplés, parfois vides d'hommes à certains endroits au moment des indépendances, ces espaces forestiers ont été l'objet d'un vaste mouvement de colonisation foncière. Cette situation est le fait de migrants venus des savanes ivoiriennes et des pays soudaniens limitrophes (Burkina Faso, Mali). Une économie agricole basée sur le café et le cacao, dont les succès se limitent aux gains de productivité offerts par le milieu forestier, s'est déployée. Pour contourner la tendance à la baisse de la productivité du travail liée au vieillissement des plantations, la société agraire s'est jusqu'à présent reproduite par le biais de la migration et le déplacement d'une partie de sa population sur la frontière agricole.

L'agriculture de plantation se pratique sur les terres de forêts vierges, au détriment de la forêt elle-même. C'est une agriculture extensive, anarchique, peu rationnelle, qui compense ses faiblesses par la conquête permanente de terres nouvelles (Kra, 1988).

En outre, la gratuité de la terre en économie de plantation (du moins pour les autochtones) a favorisé considérablement l'appropriation de vastes superficies de terres pour peu qu'un planteur ait pu disposer d'une force de travail suffisante. On peut ainsi dire que la rationalité de l'économie de plantation explique les défrichements massifs qui ont été opérés (Gastellu, 1978).

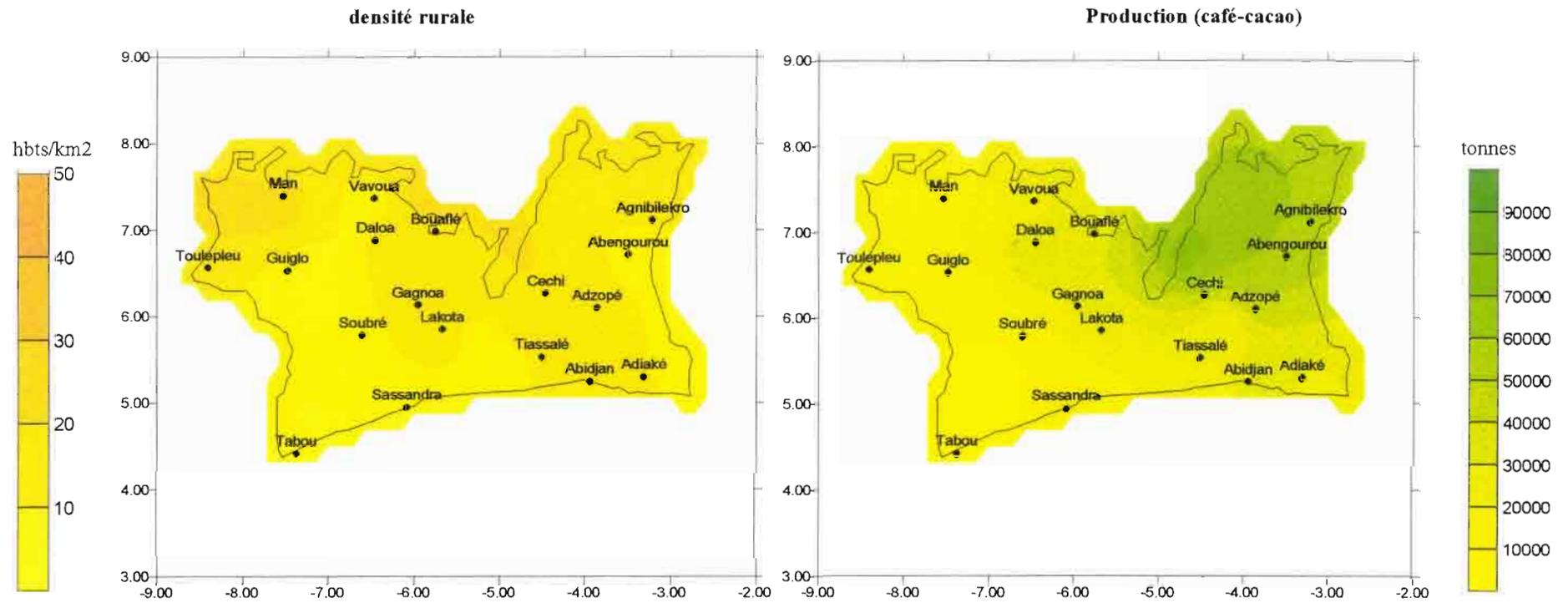
Cette méthode culturale peut se maintenir dans le temps, tant que les densités de populations sont faibles (moins de 9 hab./km², comme ce fut le cas dans le sud-ouest avant 1970). Mais maintenant, alors que les densités augmentent, l'équilibre du milieu devient de plus en plus difficile à maintenir : les périodes de jachères se réduisent, imposant ainsi une pression accrue au milieu.

L'examen des *figures* 27 à 32 permet de distinguer 3 régions qui tiennent compte de la genèse de l'extension de la zone de production. Ces figures ont été établies pour trois périodes différentes (1965, 1975 et 1988). Elles permettent de suivre l'évolution du phénomène. Les plages de couleurs foncées indiquent respectivement une forte densité de population et une production agricole importante.

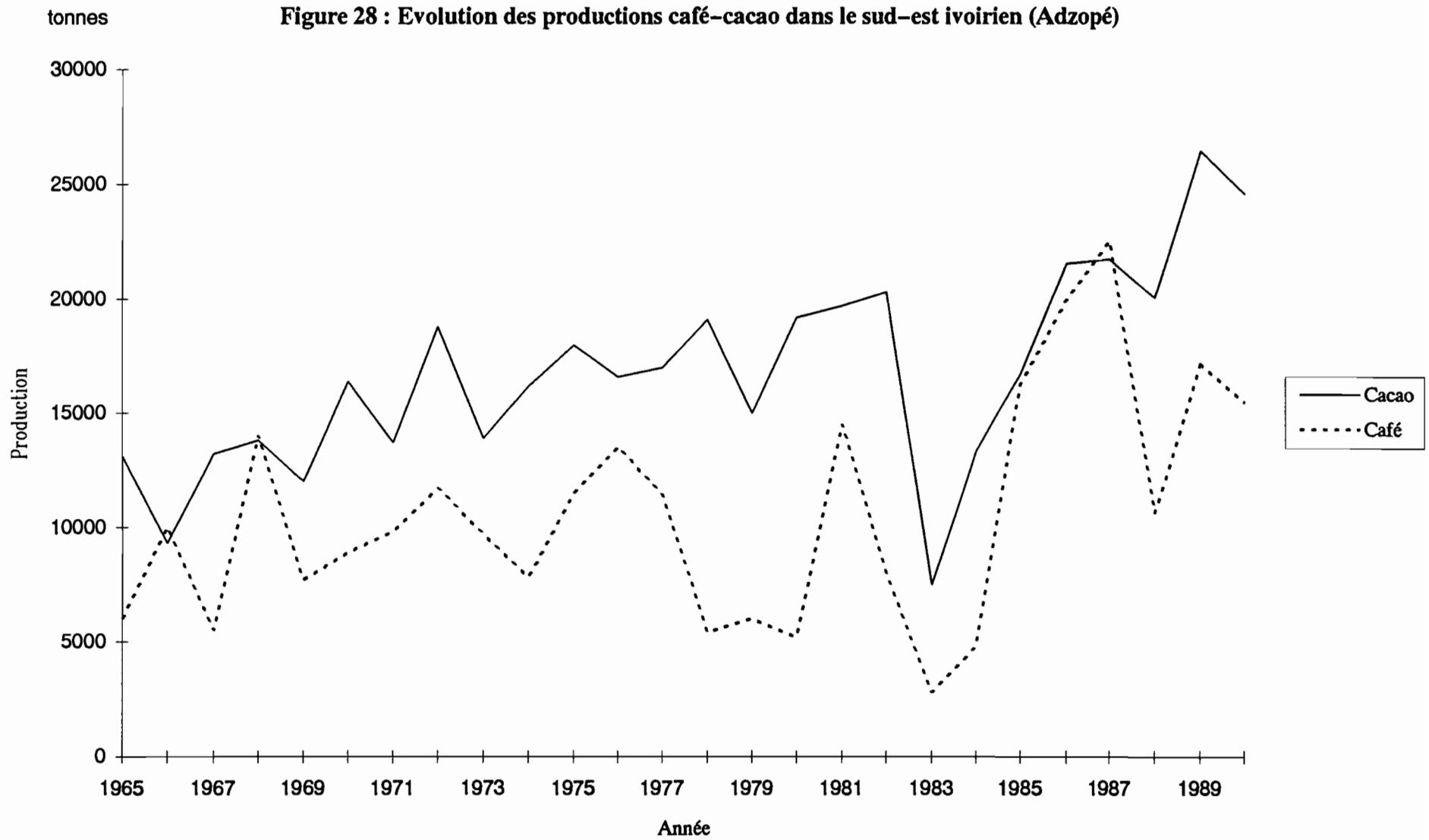
Les figures de 1965

Elles présentent au niveau des densités, deux classes : de 0 à 10, environ 60% de la superficie de la figure, et de 10 à 20, environ 40%. Les plus fortes densités se localisent suivant un axe NE-SW, dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. De même un foyer de population s'esquisse à l'ouest du pays. Les foyers considérés comme vides se présentent comme des poches, notamment dans le sud-ouest, une partie du centre-ouest.

Figure 27 : Densité de population rurale et production agricole (café-cacao) dans le sud forestier ivoirien en 1965



Réalisée par Brou Yao T.
D'après les données de l'annuaire des statistiques agricoles de 1950 à nos jours



Au niveau des productions agricoles, on note 5 classes, réparties selon un axe NE-SW. Cette distribution spatiale de la production caféière et cacaoyère rappelle globalement celle des grands foyers de peuplement des années 60, indiquée sur la figure des densités de 1965. Ainsi les plages de couleurs les plus foncées se situent dans le sud-est du pays, mais principalement sur les marges du sud forestier ivoirien. Dans cette région on produisait déjà à cette époque environ 40 000 à 50 000 tonnes annuellement. Ce dynamisme dans la production cacaoyère et caféière pendant les années 60 dans cette partie du pays se voit bien à partir de l'exemple d'Azopé (*figure 28*). L'ouest et le sud-ouest présentent de très faibles quantités, moins de 5000 tonnes.

Au regard des deux figures (densité et production en 1965), on peut donc dire que jusqu'en 1965, l'immigration de la force du travail pour la culture du café et du cacao se fait en priorité dans le sud-est du pays. Les densités de populations rurales comptent également parmi les plus fortes. L'accroissement de la population y est considérable, plus de 5% l'an. Cet apport démographique permet ainsi aux villes comme Agboville, Adzopé et Abengourou de connaître un décollage économique très rapide. La densification et l'augmentation spectaculaire de la production qui s'en sont suivies se traduisent par un défrichage systématique.

C'est surtout dans le centre-est aujourd'hui appelé ancienne "*boucle du cacao*", avec les localités de Bongouanou, Daoukro, Arrah, qu'on assiste à l'expansion de la production du café et du cacao. Dans cette région, le comportement des planteurs face à la forêt peut se structurer en 3 phases (Gastellu, 1978). Dans un premier temps, la forêt étant disponible, les chefs d'exploitation se sont appropriés la terre, de façon anarchique. Dans un deuxième temps, la forêt commençant à disparaître, les planteurs ont fait pression pour faire déclasser celle qui subsistait (dans le temps, ils remettaient en activité d'anciennes plantations à l'abandon, et ils s'installaient délibérément dans les forêts classées). Enfin, avec l'épuisement des terres, la seule solution pour avoir accès à la forêt est l'exode en direction des contrées voisines, soit d'Abengourou (à l'est), soit de Tiassalé (plus au sud).

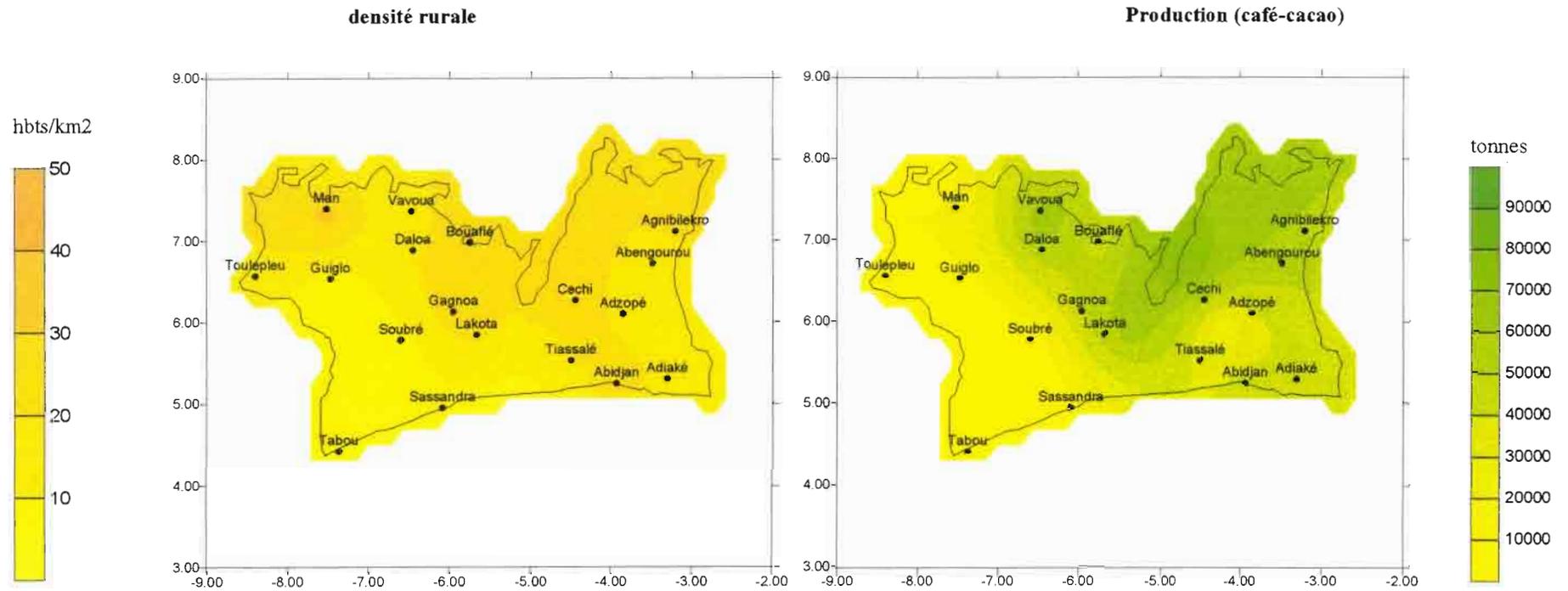
Les figures de 1975

On note au niveau des densités, un renforcement des premiers foyers de peuplement. Les densités les plus importantes (20 à 30 hab./km²) se situent toujours dans le sud-est du pays et notamment sur les marges du sud forestier ivoirien. Mais ce qu'il y a de plus remarquable c'est que la tendance est observée aussi dans le centre-ouest. Les plages de couleurs les plus claires (faibles densités) sont toujours observées dans le sud-ouest.

On assiste à un accroissement de la production agricole. Les plages de couleurs foncées s'élargissent pour occuper des espaces plus importants. On remarque donc que selon un schéma presque identique à celui des densités, les productions les plus importantes s'observent non seulement dans l'ancienne zone de production, mais aussi dans le centre-sud et le centre-ouest.

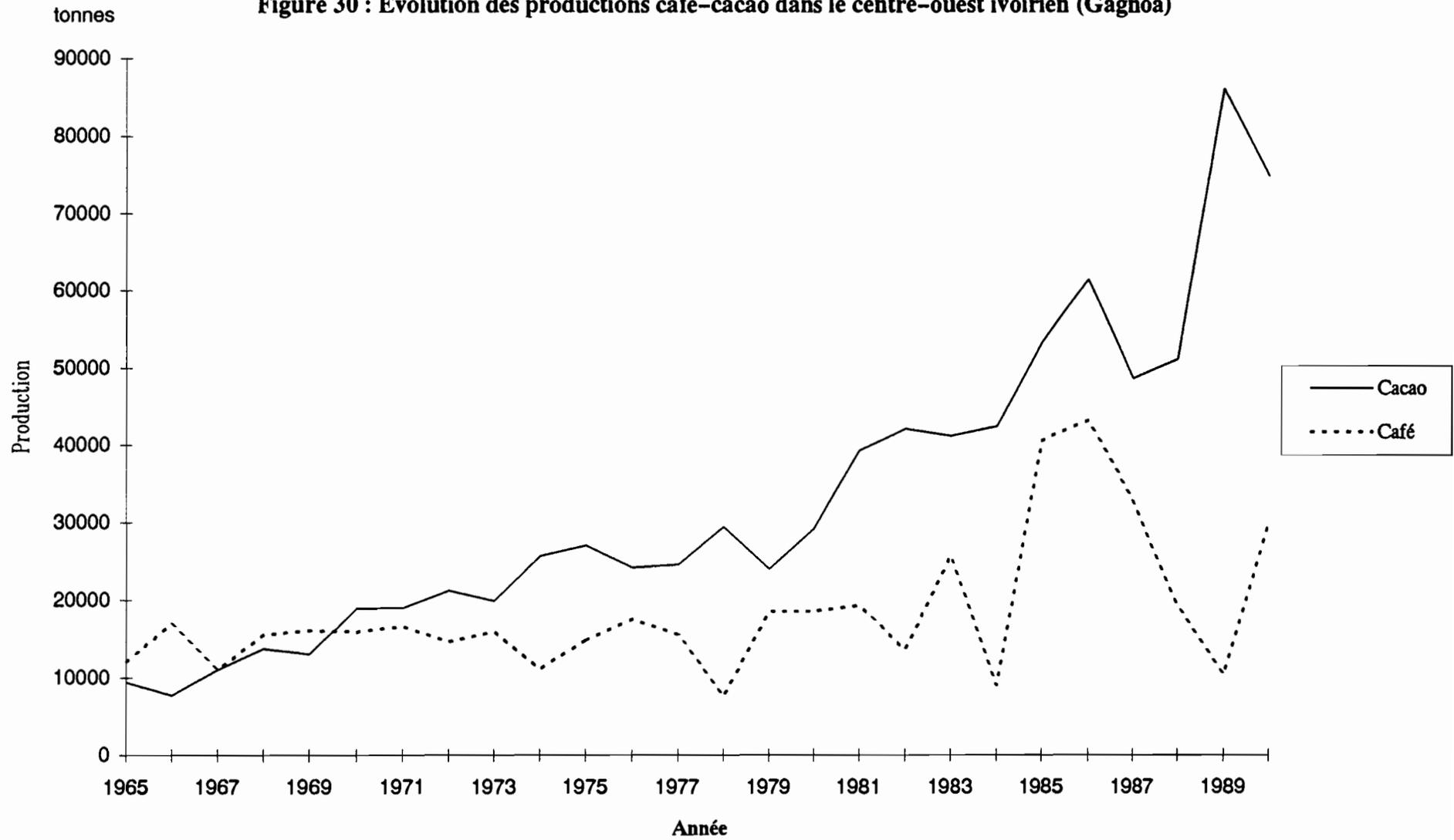
En terme de flux, **au cours des années 70**, l'activité agricole bascule vers d'autres territoires. Le mouvement migratoire se poursuit, mais de plus en plus en direction du centre-sud et centre-ouest. Les densités de populations rurales y sont les plus élevées en ce moment. Elles dépassent 23 hab./km². On y note en effet une augmentation de la population entre 1965 et 1975, plus de 5% l'an. Cela s'est traduit par un rythme accéléré de la mise en exploitation de ces régions au cours de cette période. C'est l'exemple du département de Gagnoa (figure 30) qui présente à partir des années 70 des niveaux de production cacaoyère et caféière très élevés. A cette époque dans le centre-est, le niveau des productions se stabilise, à cause de l'épuisement des terres.

Figure 29 : Densité de Population rurale et production agricole (café-cacao) dans le sud forestier ivoirien en 1975



Réalisée par Brou Yao T.
D'après les données de l'annuaire des statistiques agricoles de 1950 à nos jours

Figure 30 : Evolution des productions café-cacao dans le centre-ouest ivoirien (Gagnoa)



Les figures de 1988

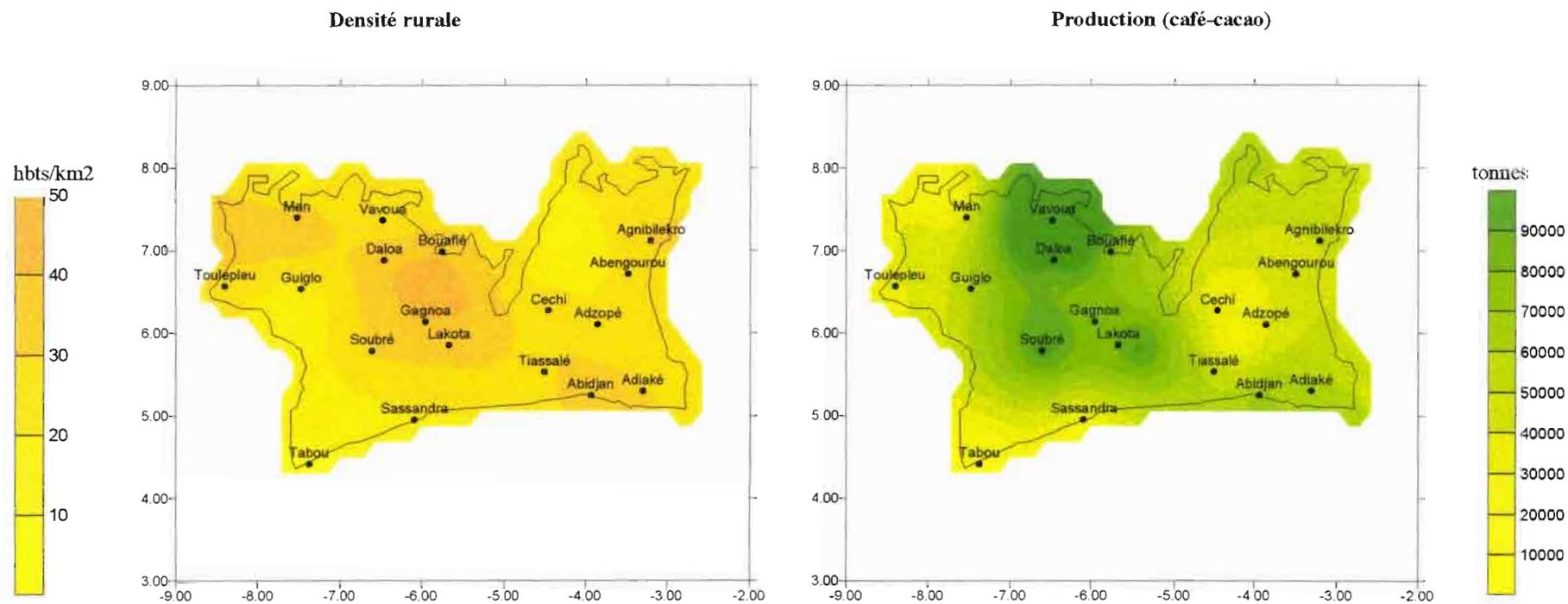
On observe au niveau des densités de population (*figure 31*), une structure marquée par un recul très important des zones vides. Les lieux de très faibles concentrations humaines ont presque disparu. Sur la figure les plages de couleurs les plus foncées sont localisées principalement dans le centre-ouest, l'ouest. L'autre remarque importante alors que les foyers de peuplement se sont densifiés dans le sud-ouest, est qu'on note une diminution des densités au niveau de l'ancien noyau de peuplement.

Au niveau de la production, les classes qui caractérisent de fortes productions occupent les 4/5 du sud forestier ivoirien, avec le pôle centré sur la région du centre-ouest du pays. Les valeurs les plus faibles se situent dans le sud-est du territoire ivoirien, particulièrement dans l'ancienne zone de production.

L'analyse des figures de 1988 permet donc d'affirmer que **les années 80** correspondent à une tendance à l'homogénéisation des densités dans le sud forestier ivoirien. Cette observation exprime la généralisation du système de l'économie de plantation dans le pays forestier.

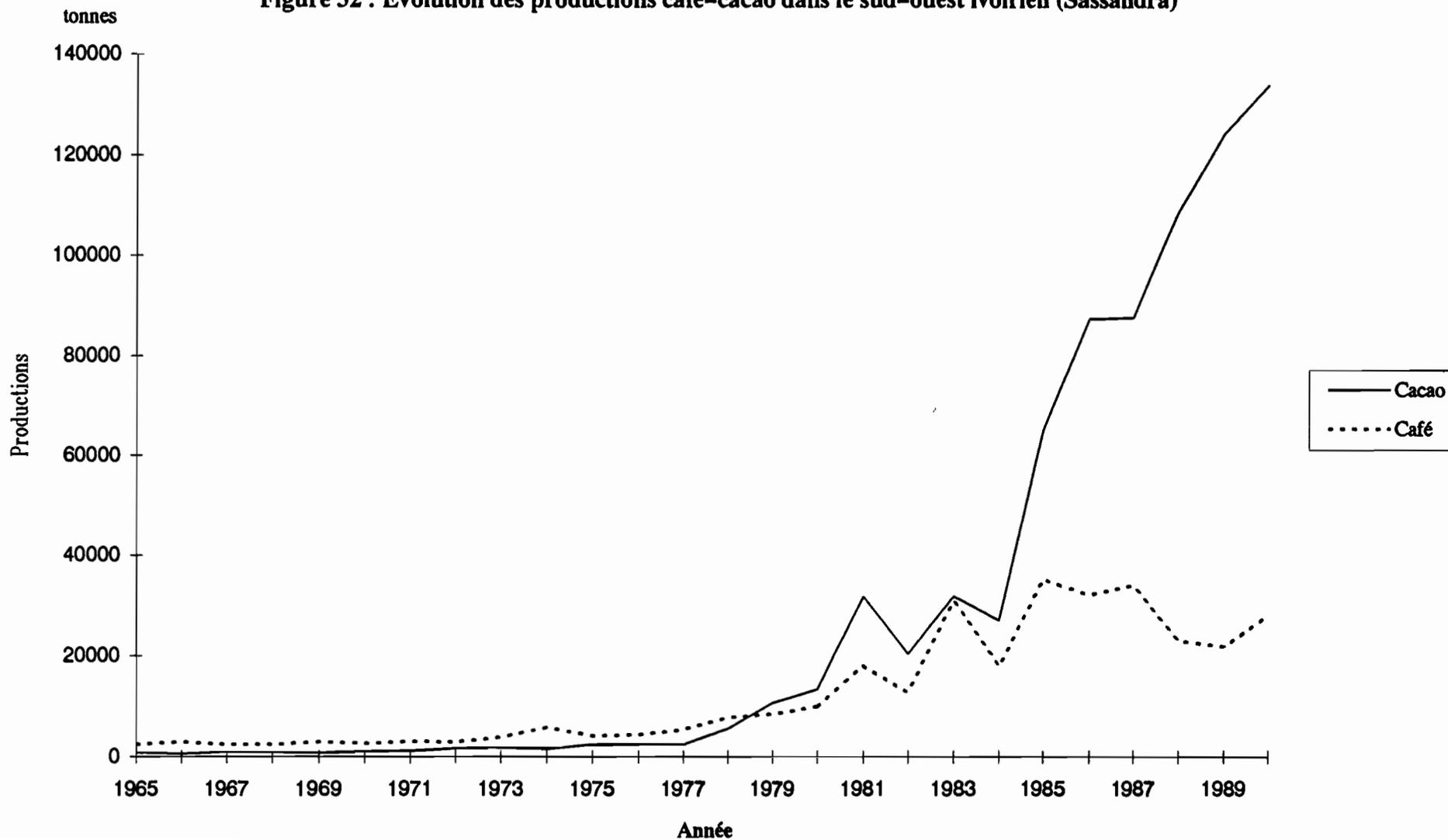
La région du sud-ouest constitue le dernier espace forestier qui était en 1975 encore peu investi par l'économie de plantation. En effet, il y a quelques années, cette partie du pays était considérée comme une région marginale, enclavée. On lui reconnaissait cependant d'énormes potentialités agronomiques liées au maintien d'une forêt dont le caractère naturel avait été bien préservé. C'était une région sous-peuplée, avec moins de 3% de la population nationale, et des densités qui ne dépassaient pas 1,5 à 3 hab./km².

Figure 31 : Densité de population rurale et production agricole (café-cacao) dans le sud forestier ivoirien en 1988



Réalisée par Brou Yao T.
D'après les données de l'annuaire des statistiques agricoles de 1950 à nos jours

Figure 32 : Evolution des productions café-cacao dans le sud-ouest ivoirien (Sassandra)



Le peuplement et la mise en valeur de la région à partir de 1970 est à mettre en rapport avec une volonté politique de rééquilibrage régional. L'Etat ivoirien s'est attaché à mettre en place un environnement juridique et des infrastructures permettant la mise en valeur rapide de ces régions par l'exploitation forestière et les cultures de café et de cacao. Ces dispositions visaient à laisser pleinement jouer les dynamiques paysannes : cadre juridique garantissant l'accès aux terres forestières et contraignant même les populations autochtones à les céder aux migrants, comme l'impliquait le slogan "la terre appartient à celui qui la met en valeur" -politique d'immigration non restrictive de la main d'oeuvre-établissement d'un système de commercialisation et de prix qui permettait le maintien du pouvoir d'achat des planteurs sur le long terme.

Aujourd'hui, le flux migratoire, qu'il soit spontané ou suscité, le dynamisme pionnier de ces populations allochtones, l'absence de contraintes foncières apparaissent comme des éléments décisifs capables de propager de plus en plus vite le mouvement de colonisation foncière, jusqu'à l'épuisement des réserves forestières. Cette extension est d'autant plus impressionnante qu'à la différence des autres régions, le front pionnier couvre une zone qui englobe des espaces forestiers encore importants (100 000 à 500 000 ha selon DCGTx, 1990). Les productions qui étaient quasi nulles jusqu'en 1977, se situent à partir de cette date à des niveaux spectaculaires (*figure 32*). En 13 ans (de 1977 à 1989), le cacao passe de 2 500 à 135 000 tonnes.

La densification et l'augmentation spectaculaire de la production agricole s'accompagnent d'une diminution brutale du couvert végétal. Les paysans entament aujourd'hui les derniers grands espaces de forêts primaires du pays et commencent à attaquer ailleurs les dernières réserves forestières.

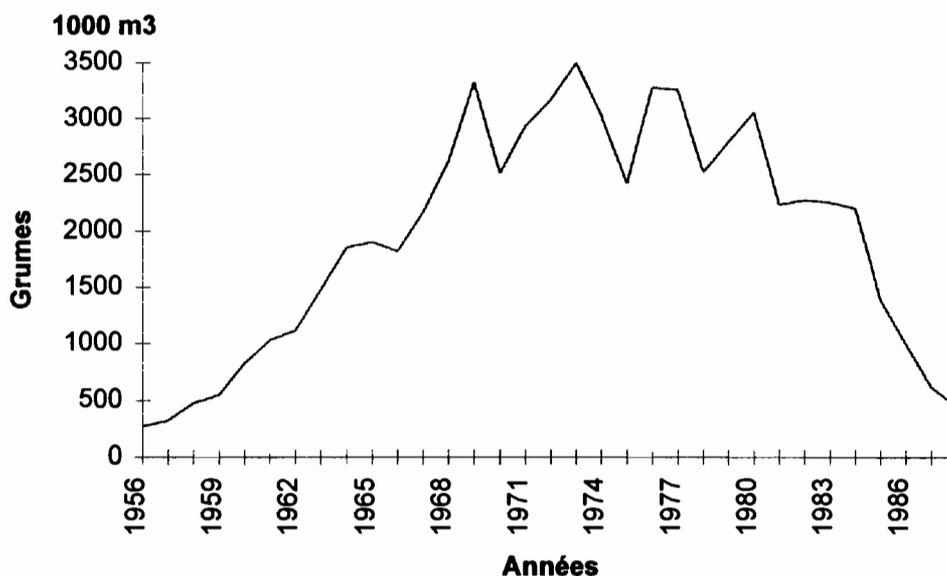
3.2.1.2 Evolution des autres activités et produits agricoles

3.2.1.2.1 L'exploitation forestière

La grume constitue avec le café et le cacao, une des trois principales richesses de l'économie ivoirienne. Avec 46% de son territoire situé en zone de forêt dense, la Côte

d'Ivoire possède un potentiel forestier important. L'exploitation forestière commence en Côte d'Ivoire vers 1880. Les superficies couvertes par les forêts denses atteignent à cette époque 15,6 millions d'hectares (estimation FAO). Les activités d'exportation se concentrent dans la région côtière, le long des lagunes et des cours d'eau, dans la partie orientale du pays. A partir des années 60, un véritable front pionnier se développe dans le centre-ouest, puis vers le sud-ouest, après 1970. Dans le même temps les anciens chantiers du sud et de l'est étaient à nouveau parcourus à la recherche d'arbres trop petits lors des premiers passages, ou d'essences non exploitées auparavant. Toutefois à partir de la fin des années 70, la raréfaction progressive en grumes et les nombreuses mesures prises contre l'exploitation irrationnelle de la forêt, font chuter le volume d'exportation. En 1988, il n'est plus que de 448 800 m³.

Figure 33 : Exportation de grume en Côte d'Ivoire de 1956 à 1988



Source: Ministère de l'agriculture (1990)

3.2.1.2.2 Les produits agro-industriels

a) Le palmier à huile

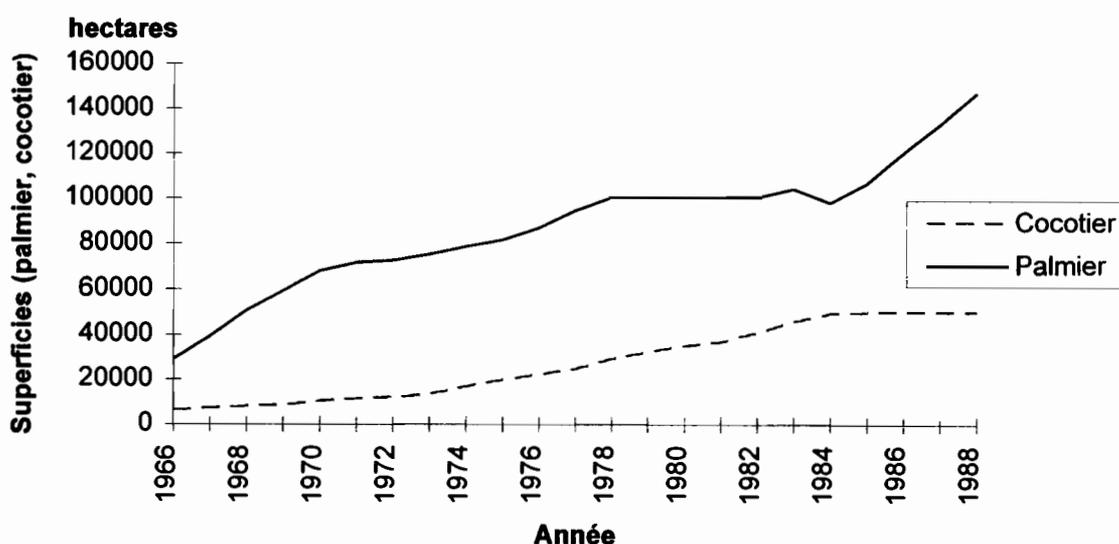
Les plantations sont localisées dans le sud de la Côte d'Ivoire le long de la zone lagunaire jusqu'à la frontière du Ghana, ainsi que dans certaines zones du Centre-ouest et du sud-ouest (Sassandra et Soubré). Le développement du palmier sous la forme commerciale se

fait à partir de 1910, et en 1959 les superficies plantées sont de 5 032 hectares. L'accroissement des superficies est progressif mais atteint des niveaux considérables au début des années 70 avec plus de 80 000 hectares. Aujourd'hui elle se situe autour de 140 000 hectares.

b) Le cocotier

Il provient d'Asie du sud-est. Son véritable essor date des années 1920-1930. En 1967 un vaste plan Cocotier est lancé dont l'exécution est confiée à la SODEPALM avec la création de blocs industriels et à partir de 1969 de plantations villageoises à la périphérie de ces blocs. A cette date les superficies sont de 8 700 hectares. Elles passent à 22 000 hectares au milieu des années 70. Aujourd'hui elles se maintiennent autour de 50 000 hectares.

Figure 34: Evolution des superficies plantées de palmier à huile et de cocotier de 1966 à 1988



Source: Ministère de l'agriculture (1990)

c) L'hévéa

Les premières plantations ont été créées en 1953. En 1967, les surfaces plantées concentrées dans la savane de Dabou et autour de Bongo atteignent 12 122 hectares. Aujourd'hui elles occupent de vastes superficies dans le sud-ouest et comptent parmi les cultures d'exportation les plus importantes du sud forestier ivoirien.

3.2.1.2.3 Les autres produits

a) La banane (poyo)

Généralement de petites tailles, elles sont concentrées dans la région des lagunes (Aboisso, ouest de la lagune Ebrié, Vallée de Nieky) et autour d'Anyama, Azaguié, Agboville et Tiassalé. La plupart d'entre elles produisent environ plus de 100 tonnes par an. On s'oriente actuellement vers une production de qualité, limitée à 150 000 tonnes par an, pour faire face à une forte concurrence latino-américaine.

b) L'ananas

La culture de l'ananas se fait autour de la région de Tiassalé-Divo au sud et de Bonoua au sud-est. La production d'ananas frais approche les 90 000 tonnes. Celle d'ananas de conserve obtenus soit en plantations villageoises (à côté des plantations industrielles), soit sur de grands blocs de 750 ha chacun, a dépassé 150 000 tonnes.

c) Les agrumes à essence

Les superficies couvrent près de 4 000 ha, et sont surtout localisées dans la région de Sassandra autour d'une petite unité de traitement industriel; d'autres petits blocs se situent vers Divo et au nord d'Abidjan. On y cultive citronniers, bergamotiers, limitiers et bigaradiers. La plus grande partie des essences est exportée. La production d'agrumes et de mangues est très dispersée.

Tableau 23 : Superficies plantées de banane poyo, ananas et d'agrumes à essences dans le sud forestier ivoirien (en hectares)

	1985	1986	1987	1988	1989
Banane (poyo)	5 472	4 731	4 746	4 596	4 981
Ananas	108 339	13 745	15 069	13 026	11 193
Agrumes à essences:					
Citron	2 166	2 125	2 125	1 515	1 427
Bergamote	436	370	370	152	259
Bigarade	100	160	160	167	134
Lime	423	354	354	218	642

Source : Ministère de l'agriculture (1990)

3.2.1.2.4 Les cultures vivrières

Les productions vivrières occupent une place non négligeable dans l'agriculture en zone de forêt au sud de la Côte d'Ivoire (*tableau 24*). Généralement cultivées à côté des plants de Café ou de Cacao, elles concernent l'igname, le manioc, la banane plantain, le maïs. La culture du riz est aussi pratiquée surtout dans la région ouest et sud-ouest.

Tableau 24 : Superficies plantées en cultures vivrières au cours de l'année 1984 dans le sud forestier ivoirien

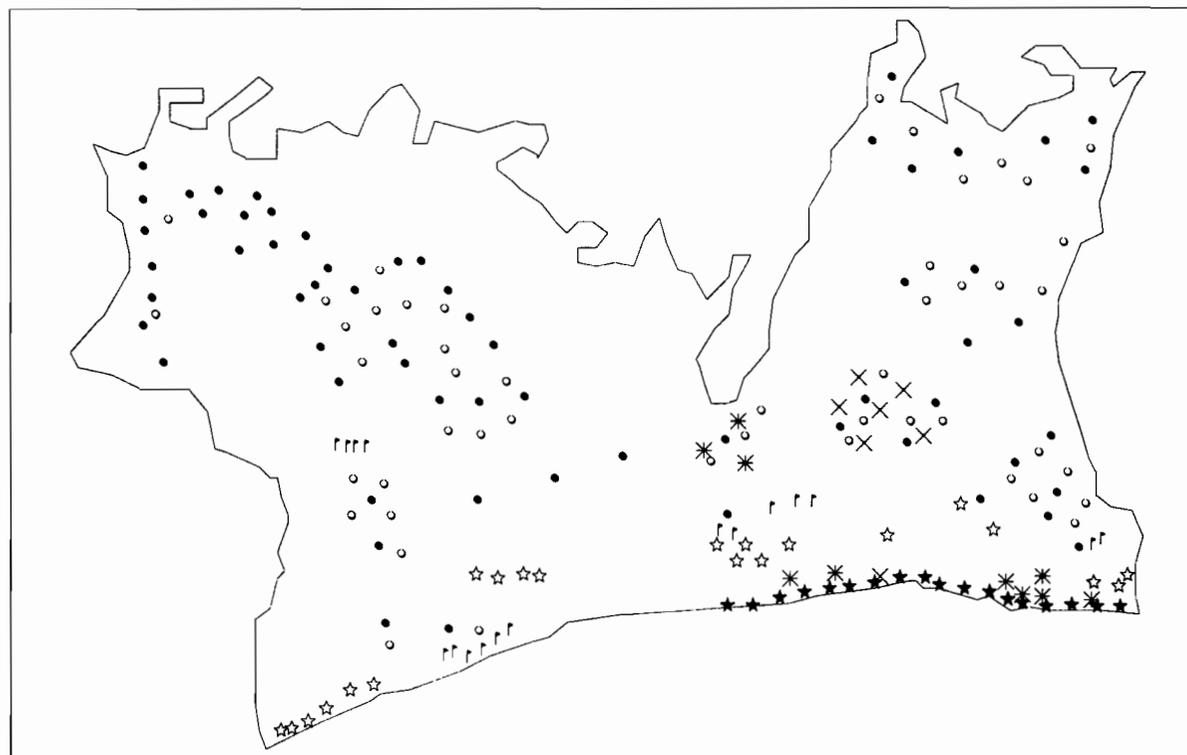
Culture	Arachide	Banane plantain	Igname	Maïs	Riz	Tomate
Superficie (ha)	18 100	692 400	116 200	341 600	254 400	140 900

Source: Ministère de l'agriculture (1990)

Le mode de production vivrière est basé sur la rotation entre culture et jachère. Selon ce système, le cultivateur défriche une parcelle, brûle les arbres abattus et cultive la terre pendant 2 ou 3 ans, jusqu'à ce que le sol commence à perdre sa fertilité et que les adventices prolifèrent. Alors, le cultivateur quitte la parcelle, la laisse en jachère et en défriche une autre. Les buissons et les arbres repoussent progressivement sur la terre abandonnée et, en 6 à 15 ans, ils en constituent les éléments nutritifs et son utilisation est de nouveau possible. Ce processus nécessite environ 4 fois plus de terre que si le paysan exploitait une parcelle, en préservait la fertilité, éliminait les mauvaises herbes et intensifiait sa production. En outre avec les densités de plus en plus fortes, les périodes de jachère se réduisent. La conséquence est la dégradation des sols.

En conclusion, les superficies cultivées se sont accrues de façon rapide au fil des années. La *figure 35* ci-après présente les zones de production des principales cultures d'exportation en Côte d'Ivoire forestière. Elle fait apparaître un espace forestier ivoirien largement occupé par des plantations. En 1980, on comptait 2,5 millions d'hectares de plantations pérennes et industrielles, 900 000 hectares de cultures vivrières et 8,4 millions de jachères forestières (Rougerie, 1990).

**Figure 35 : Aires de production des principales cultures d'exportation
en Côte d'Ivoire forestière**



D'après Atlas jeune Afrique (1995)

Echelle : 1 cm = 45 Km

- Café
- Cacao
- ┆ Hévéa
- ★ Cocotier
- ☆ Palmier
- * Ananas
- × Banane

L'évolution des superficies exploitées s'est faite évidemment au détriment du patrimoine forestier.

3.2.2 TRANSFORMATION DU MILIEU FORESTIER

3.2.2.1 Transformation physiologique

Les différentes activités pratiquées par l'homme ont abouti chacune à la création de nouveaux milieux ou paysages humanisés (Koli bi, 1981, 1988; Kra, 1988).

3.2.2.1.1 Paysages créés par l'exploitation forestière

L'exploitation forestière se traduit par un éclaircissement, et parfois par une disparition, des strates hautes de la forêt. Cette activité entraîne la mise en place de milieux spécifiques :

- *les chemins de tirage*. D'abord profondément encaissés dans le sol, ils sont ensuite progressivement envahis par une végétation herbacée, riche en plantules d'arbres et en plantes à la fois lianescentes et buissonnantes;
- *les parcs à bois*. Caractérisés par un tapis de graminées, ils sont peu à peu dominés par des arbustes à tige grêle, très ramifiée et à feuillage clair;

3.2.2.1.2 Les défrichements suivis des cultures vivrières

Les défrichements entraînent une destruction plus ou moins complète du couvert végétal. Les paysages de défrichement correspondent à une étape transitoire. Le milieu se structure comme suit : la strate arborescente se réduit souvent à un niveau de branches et de "troncs" secs, les feuillages épargnés sont rares, et les strates arbustives et herbacées sont entièrement enlevées afin de dégager l'espace nécessaire aux cultures. On distingue cependant deux types de défrichement donnant lieu à deux milieux différents :

- *les défrichements sous forêt*, destinés aux plantations arbustives (cacaoyères en particulier), où d'assez nombreux arbres sont conservés et qui s'accompagnent, par endroit, de recrûs arbustifs;

- les *défrichements complets*, pour les cultures vivrières, associent à la coupe totale des strates basses, la destruction par le feu des grands arbres. La surface du sol se caractérise alors par la formation de fines "*croûtes de battance*" et par l'apparition d'*atterrissements*" sableux.

Dans ce dernier cas plus que dans le premier, la forêt se réduit surtout à des "*troncs*" et branchages morts, squelettiques. On observe parfois un enrichissement des strates basses en plantules et en herbacées.

3.2.2.1.3 Les plantations en cultures de rente (café, cacao)

Ces cultures arbustives remplacent la forêt, et assurent la continuité de la courbe de production végétale. C'est un milieu ouvert où la strate supérieure n'atteint pas 4 mètres de haut et où le taux de couverture est moyen. Au niveau des paysages, on note la quasi disparition de la forêt, dans les terroirs paysans, au profit de ces deux formations végétales. En effet, la plupart de ces plantations ont été réalisées après destruction totale du couvert forestier. Cette technique correspond à la diffusion des cacaoyers hybrides à partir des années 60 et tranche avec celle qui était employée à l'époque coloniale, le matériel végétal exigeant alors le maintien de certains arbres d'ombrage. La généralisation de la plantation "en plein soleil" a donc entraîné un appauvrissement local parfois irréversible de la composition floristique, qui peut bloquer la reconstitution ultérieure d'un couvert forestier.

La mise en place des plantations caféières et cacaoyères entraîne la formation d'un autre peuplement presque monospécifique de "*Chromoleana odorata*" (plante buissonnante). Introduite comme plante de couverture au début des années 50, cette composée a envahi l'ensemble du sud forestier ivoirien à partir de 1975, dans le sillage des planteurs de cacao. "*Chromoleana odorata*" se caractérise par un pouvoir de dissémination, une croissance rapide et une forte production de biomasse, qui est maximale dès la troisième année de recrû. Elle s'impose à toutes les autres espèces sur des parcelles défrichées et incendiées tous les deux à trois ans.

3.2.2.1.4 Les plantations en cultures industrielles (Palmier et Hévée)

- *le palmier à huile*. La strate supérieure se situe à environ 9 mètres. Les feuillages s'interpénètrent dans l'axe des rangées et sont caractérisés par une densité moyenne. Entre 4,5 et 3,5 mètres, les feuillages des petits palmiers sont redressés et les fougères sont nombreuses le long des stipes;

- *l'hévée*. La strate supérieure atteint 11 mètres. Les feuillages sont en forme de coupole. Ils s'interpénètrent dans l'axe des lignes de plantation et sont contigus entre les interlignes.

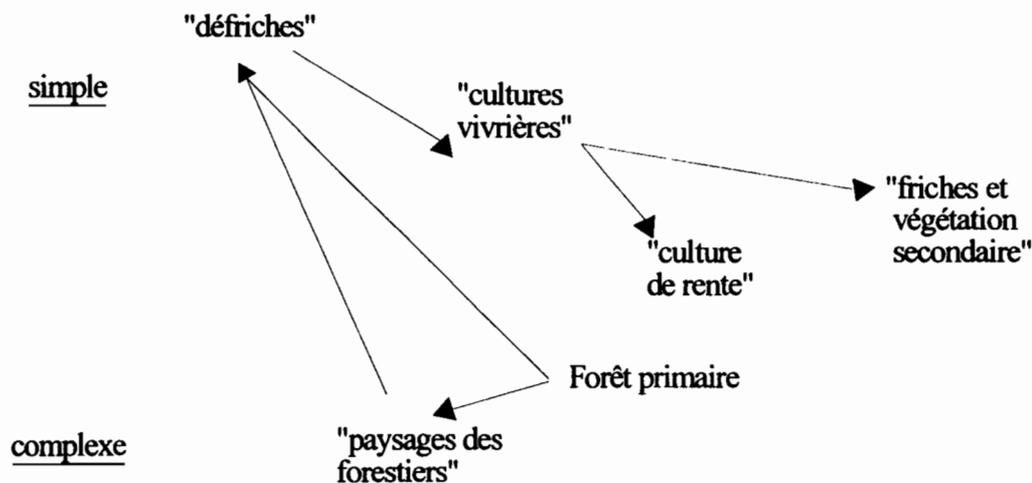
3.2.2.1.5 Les friches et "la brousse" forestière

Dans ce type de milieu, les strates supérieures sont claires et discontinues, les strates inférieures s'enrichissent en herbacées, plantules d'arbres et, surtout, en sous-ligneux très développés. De nombreuses plantes lianescentes s'élèvent au-dessus de cette masse végétale compacte jusqu'à 10-15 m de hauteur. La surface du sol se caractérise par la reconstitution d'une litière relativement épaisse, se décomposant assez bien.

Pour conclure sur l'analyse des paysages humanisés, on peut mentionner que la forêt a subi des transformations importantes dues à l'action humaine. On aboutit aux modèles présentés par les *figures 36 et 37*.

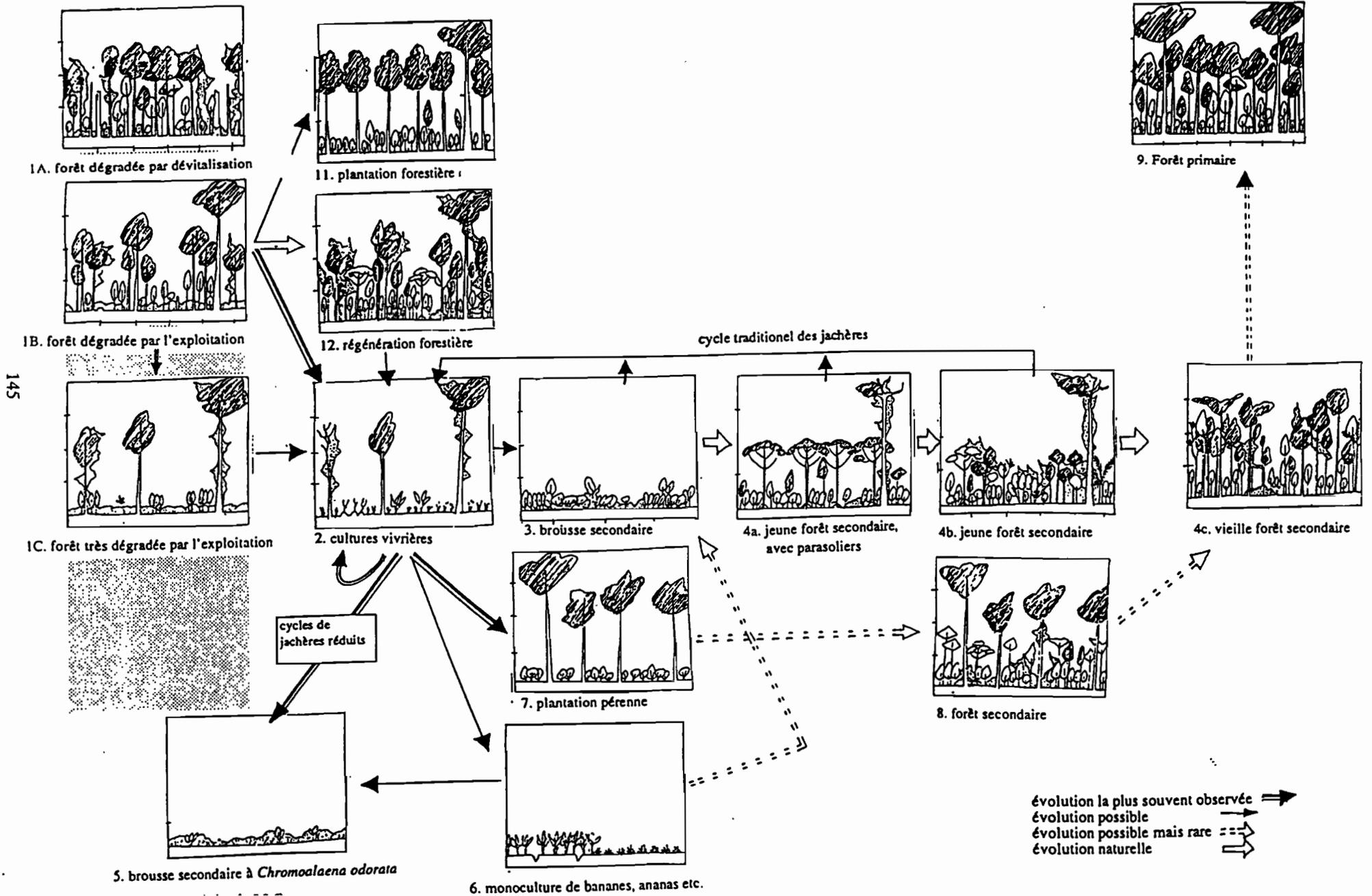
Figure 36 : Les étapes de la transformation du milieu forestier

ORGANISATION :



Source : Koli bi, 1981

Figure 37 : Schéma de l'évolution des milieux forestiers par des profils physionomiques



Sur la figure 37:

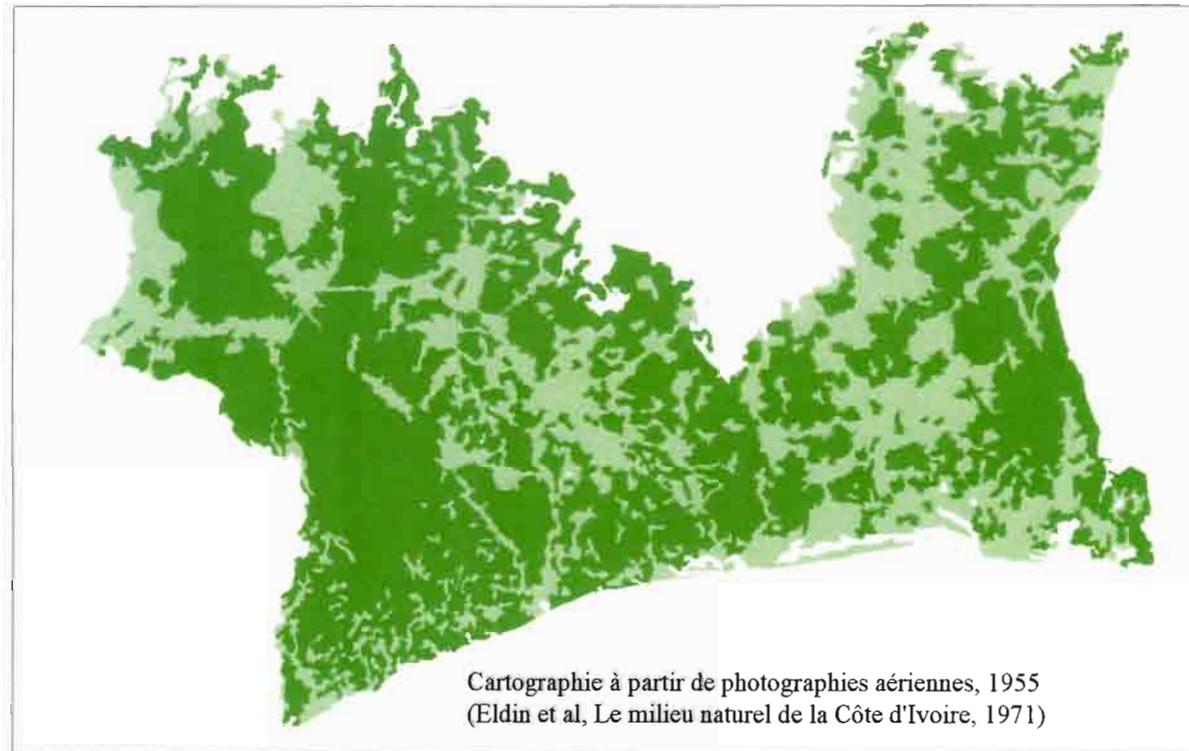
- la colonne de gauche représente trois types d'états de dégradation: 1A: forêt dense dégradée faiblement par dévitalisation; 1B: forêt dégradée par l'exploitation, c'est l'exemple de la plupart des forêts de la Côte d'Ivoire; 1C: brousse post-forestière issue d'une exploitation intensive, cas très répandu;
- la colonne suivante représente l'évolution possible de ces forêts juste après l'exploitation: 11, plantation forestière avec un couvert homogène; 12, profil (rare) de forêt en régénération naturelle; 2, implantation de cultures vivrières après le déboisement de 1B, avec une physionomie similaire à 1C;
- la végétation du profil 2 peut évoluer naturellement vers une brousse secondaire (3) ou le plus souvent vers une cacaoyère ou lorsqu'il s'agit de culture sur bas-fonds avec de courtes jachères herbeuses, la végétation évolue vers des brousses secondaires à *Chromolaena* (5), à ce stade l'évolution est alors souvent bloquée. Sur l'horizontale on peut voir le cycle naturel d'évolution des jachères vers la forêt, on remarquera que le passage de 4b à 4c puis à 9 est rarissime;
- 7 à 8 : l'embroussement des cultures pérennes sous couvert forestier peut conduire à une forêt secondaire.

D'une manière générale la forêt dense primaire est entamée pour laisser la place à des plantations. Après abandon des cultures, on assiste à une transformation progressive en jachère, herbeuse ou boisée, ou, si les conditions sont favorables en forêt secondaire.

3.2.2.2 Evolution des surfaces forestières

L'importance des processus de transformation du milieu conduit finalement à dire que l'essentiel du paysage est composé d'une variété de couverts végétaux résultant de la dégradation de la forêt dense. Ces différents couverts végétaux vont des zones de cultures aux jachères herbeuses et forêts secondaires. Les figures ci-après présentent l'état du couvert forestier de 1955 et celui de 1993.

Figure 38 : Massifs de forêts denses humides en Côte d'Ivoire en 1955

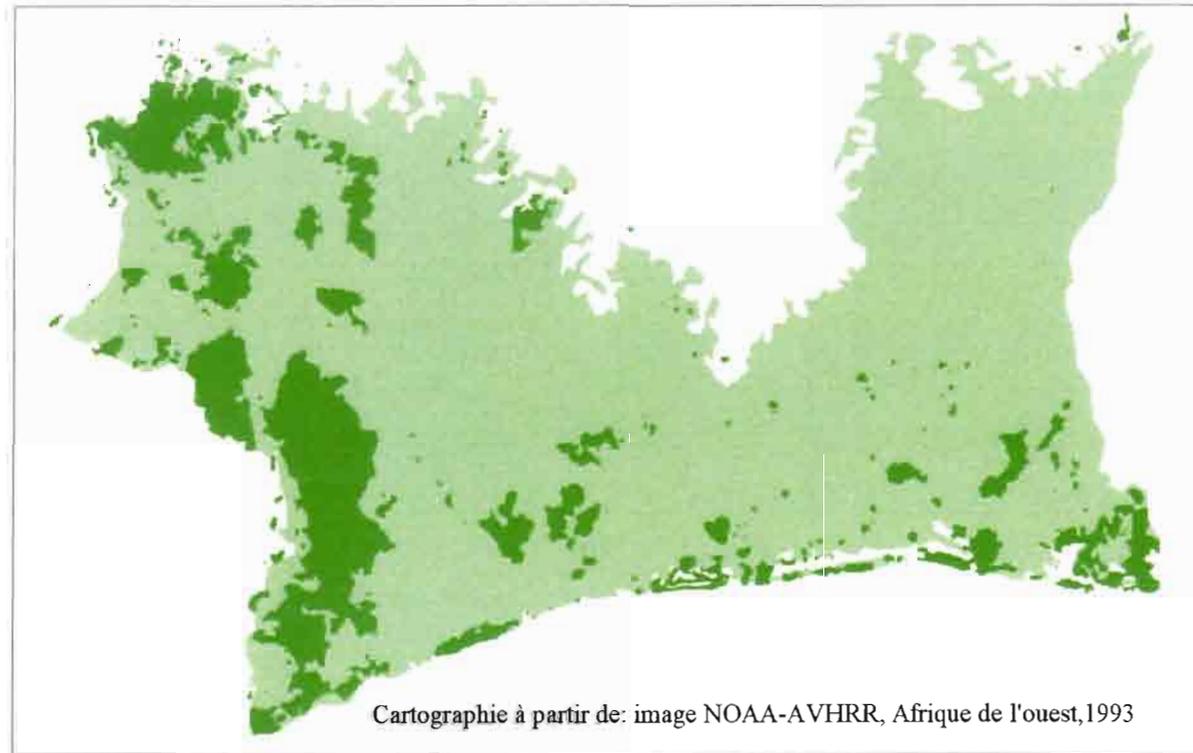


Réalisée par Kouadio B.

Echelle : 1 cm = 45 Km

-  Zone forestière non soumise à l'agriculture (forêt dense)
-  Zone forestière fortement soumise à l'agriculture (forêt dégradée)

Figure 39 : Massifs de forêts denses humides en Côte d'Ivoire en 1993



Source : Paivinen et al. (1993) in Chatelain et al. (1995)

Echelle : 1 cm = 45 Km

-  Forêt dense
-  Forêt dégradée

La figure de 1955 (figure 38) a été réalisée à partir de la figure de végétation de la Côte d'Ivoire au 1/500 000 ème (in Milieu naturel de la Côte d'Ivoire, Guillaumet, 1971), où sont identifiées les zones forestières soumises ou non à l'agriculture. Celle de 1993 (figure 39) s'appuie sur l'image satellite (NOAA-AVHRR/1993) de l'Afrique de l'ouest. Ont été considérées comme forêts denses, les zones ayant plus de 60% de taux de couverture forestière intacte ou supposée telle.

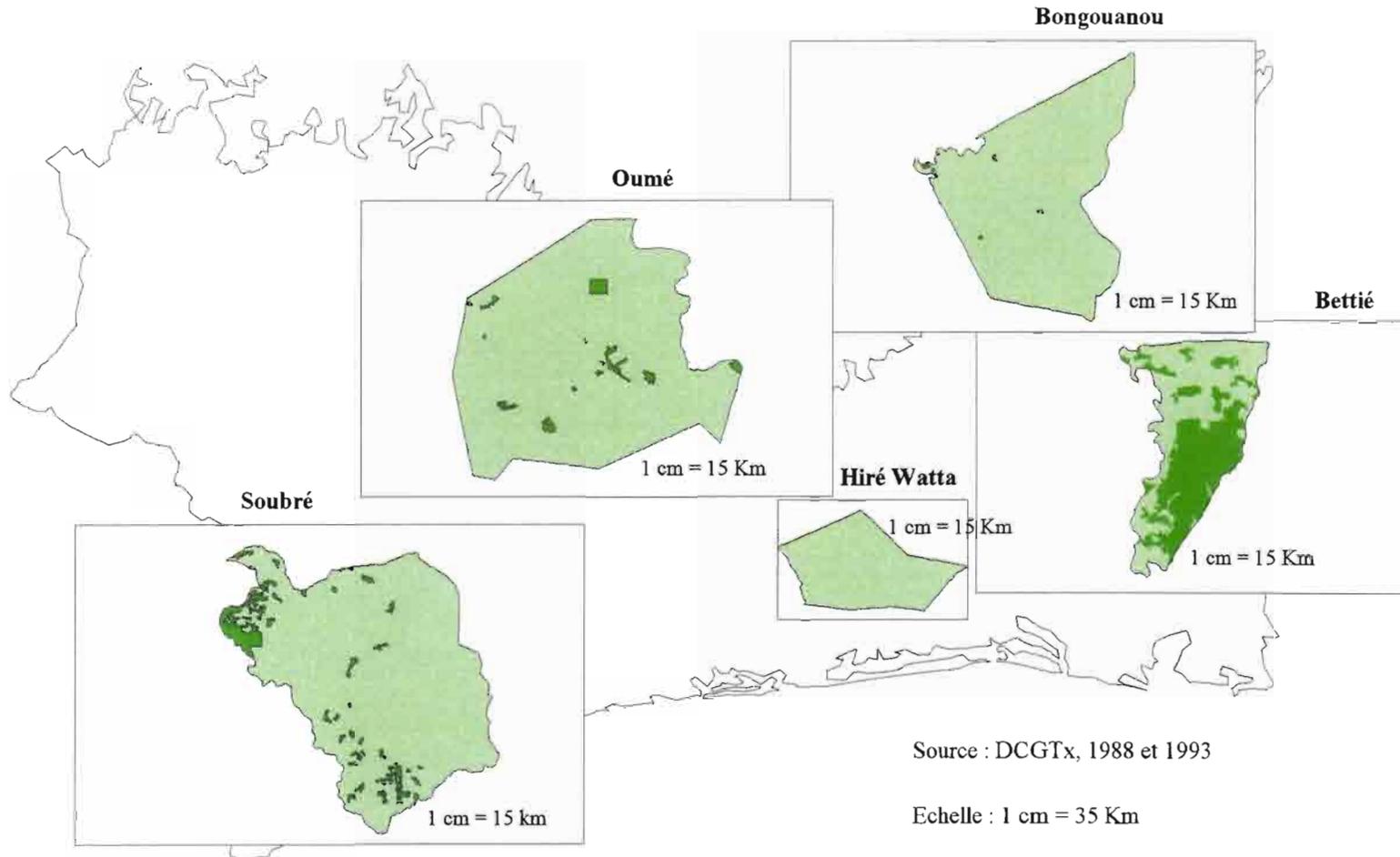
Sur la base de ces informations on a calculé que la superficie totale des zones forestières non soumises à l'agriculture a régressé de 6,8 millions d'hectares dans la zone d'étude, passant de 8,3 à 1,5 millions d'hectares entre 1955 et 1993.

La forêt ivoirienne est vouée à une disparition rapide, à la fois qualitativement et quantitativement. Les essences les plus recherchées, telles le Sipo et l'Assamela sont en voie d'épuisement, mais surtout les surfaces occupées par les massifs forestiers n'ont cessé de diminuer depuis une vingtaine d'années.

En effet en 1956, les surfaces occupées par les massifs forestiers étaient évaluées à environ 12 millions d'ha. dix ans plus tard, on estimait que seuls 8 millions d'ha étaient intacts, soit une disparition moyenne de 400 000 ha par an. En 1974 les massifs forestiers ne couvraient plus que 5,4 millions d'ha. De 1974 à 1982, la forêt ivoirienne régressait encore de 3 millions d'ha. Aujourd'hui, il reste moins de 2,2 millions d'ha, pour la plupart contrôlés et protégés par l'Etat.

En dehors des rares lambeaux de forêts classées, il n'existe aucun secteur qui n'ait été touché par l'activité humaine. L'examen au niveau local permet de le constater. La *figure 40* et le *tableau 25* présentent pour quelques localités les zones occupées à plus de 90% par la forêt en 1993.

Figure 40 : Occupation du sol dans quelques localités de la zone forestière ivoirienne en 1993



Source : DCGTx, 1988 et 1993

Echelle : 1 cm = 35 Km



Réalisée par Brou Yao T.

Tableau 25 : Evolution par région des zones forestières sous emprise humaine entre 1955 et 1993

Région	Département	forêt dégradée	forêt primaire	
Sud-est et Centre-est	Adzopé	1955	56%	44%
		1993	94%	6%
	Bongouanou	1955	49%	51%
		1993	100%	0%
Centre-ouest	Daloa	1955	42%	58%
		1993	91%	9%
	Gagnoa	1955	62%	38%
		1993	100%	0%
Sud-ouest	Soubré	1955	24%	76%
		1993	87%	13%
	San-Pedro	1955	16%	84%
		1993	85%	15%
Ouest	Guiglo	1955	26%	74%
		1993	61%	39%

Source : Guillaumet, 1971 (1955 : zones forestières non soumises à l'agriculture); DCGTx, 1993 (1993 : zones occupées à plus 90% par la forêt)

L'analyse du *tableau 25* et de la *figure 40* montre que la déforestation est importante dans les régions du sud-est et du centre-est. Dans cette partie du pays connue sous le nom ancien de "*Boucle du Cacao*", les défrichements ont commencé très tôt. Déjà en 1955, les terres sous emprise humaine atteignent 56% à Adzopé et 49% à Bongouanou. Le mouvement se poursuit jusqu'à l'épuisement presque total de la forêt primaire. Aujourd'hui, en dehors de quelques portions de forêt dense (6% à Adzopé), localisées essentiellement dans le domaine permanent de l'Etat, l'espace est occupé en priorité par des vieilles plantations, des friches, des jachères et des recrûs sur jachères. Une étude (Kra, 1983) sur le pays Akyé (Adzopé) confirme ce processus d'épuisement des terres. L'auteur situe le point culminant de ces défrichements autour de 1971 et estime que jusqu'à cette date, c'est en moyenne près de 1 000 ha de forêt qui ont disparu chaque année.

On trouve une situation comparable dans le centre-ouest. Le pourcentage de forêts soumises à l'agriculture est important en 1955. L'anthropisation du milieu se renforce dans

le temps ici aussi jusqu'à l'épuisement presque total des ressources forestières. A Daloa seulement 9% des superficies forestières échappent encore à l'agriculture.

Dans le sud-ouest, l'emprise humaine est faible en 1955. A cette époque seulement 24% à Soubré et 16% à San-Pedro des terres sont occupés par les activités agricoles. Le caractère naturel de la forêt sera bien préservé jusqu'en 1965. C'est au cours des années 70 que la mise en valeur des espaces forestiers de ce territoire prend de l'importance. Le dynamisme du front pionnier aboutit au cours de la décennie 1980-1989 à inverser les rapports de proportions entre espace forestier et espace agricole dans le sud-ouest ivoirien. A présent, l'emprise humaine s'est stabilisée dans l'espace; contrainte de limiter sa progression vers l'ouest (forêt classée de Taï), elle ne peut que s'intensifier dans les territoires déjà conquis sur la forêt.

L'ouest du pays constitue la seule région où les espaces forestiers sont encore impressionnants. C'est principalement autour des localités de Guiglo et de Taï que la forêt a été mieux préservée. De 74% en 1955, on compte encore aujourd'hui 39% de forêt intacts.

A l'échelle de la sous-région, la Côte d'Ivoire fait partie des pays qui ont connu les déforestations les plus importantes. Le *tableau 26* donne la régression (en pourcentage) des surfaces forestières dans les pays bordiers du Golfe de Guinée.

Tableau 26 : La déforestation en Afrique tropicale et équatoriale

Etats	Extension Originelle de la forêt (Km2)	Extension Actuelle de la forêt (Km2)	diminution
Cameroun	220 000	164 000	- 25%
Congo	100 000	90 000	- 10%
Gabon	240 000	200 000	- 16%
Côte d'Ivoire	160 000	16 000	- 90%
Nigeria	720 000	28 000	- 61%
Zaïre	1 245 000	1 000 000	- 19%

Source : Myers (1991) cité par Moron (1994)

On constate clairement que la Côte d'Ivoire (90%) occupe la première place, suivie du Nigeria (61%). Cette déforestation continue encore actuellement sous la poussée démographique et de nombreux programmes d'aménagements ruraux. Par contre le phénomène apparaît plus limité sur le bassin versant du fleuve zaïre.

3.3 CONCLUSION

La mise en valeur agricole rapide du sud forestier ivoirien est liée à l'immigration massive des populations, en provenance des autres régions de la Côte d'Ivoire et des pays limitrophes. Historiquement, ces populations à la recherche de terres disponibles observent trois étapes :

- jusqu'en 1965 la direction principale est le sud-est et le centre-est du pays, anciennement appelé "*Boucle du Cacao*";
- au cours des années 70 le mouvement migratoire se poursuit, mais de plus en plus vers le centre-ouest;
- vers la fin des années 70 et au cours des années 80, la force de travail se dirige vers le sud-ouest, appelé "*nouvelle zone de culture*".

Dans son état actuel, le sud forestier ivoirien présente un paysage de forêt dégradée à très dégradée. Entre 1955 et 1993 les espaces forestiers non exploités sont passés de 12 millions d'ha à 1,5 millions d'ha. De très grandes surfaces sont occupées par des jachères, des cultures principales dont le café, le cacao, l'igname, le manioc, le riz, etc.

On rappelle que les forêts denses tropicales humides entretiennent un microclimat qui se traduit par : une humidité relative toujours élevée (autour de 90%) et une température dont les variations sont peu marquées. Ces phénomènes induisent nécessairement des interactions entre la forêt et l'atmosphère ivoirienne. La destruction ou la dégradation des massifs forestiers peut entraîner l'altération durable de ces paramètres microclimatiques (Cahan et Duval, 1963; Eichler, 1987). Il apparaît donc fondamental d'analyser les relations entre l'évolution de la pluviométrie et celle du couvert forestier.

QUATRIEME PARTIE

**RECHERCHE DES INTERACTIONS ENTRE L'EVOLUTION
DU COUVERT FORESTIER ET LA VARIABILITE
CLIMATIQUE ENTRE 1950 ET 1993**

Objectif

L'étude qui a été faite dans la troisième partie a montré que la forêt dense primaire a été remplacée, en dehors de quelques zones protégées, par des couverts végétaux cultivés : caféiers et cacaoyers, champs vivriers, plantations d'hévéas, de cocotiers, de palmiers, d'ananas, friches et forêts secondaires.

Ce chapitre est un essai d'analyse de mise en évidence des liens entre la déforestation et la variabilité climatique au sud de la Côte d'Ivoire.

L'étude des relations végétation-atmosphère s'articulera autour de 3 points. Il s'agira :

- * dans une première analyse de voir si l'évolution dans le temps du couvert forestier (à travers l'extension des aires culturales) se superpose à celle de la pluviométrie.

- * dans un deuxième temps d'étudier la variation spatiale et temporelle des apports de quantités de vapeur d'eau évapotranspirées par l'écosystème forestier dans l'atmosphère, ainsi que celle de l'albédo.

- * enfin d'étudier la variation du gradient pluviométrique SW-NE.

4.1 ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DES ACTIVITES AGRICOLES ET CELLE DE LA PLUVIOMETRIE

4.1.1 ANALYSE PONCTUELLE (A L'ECHELLE STATIONELLE)

Cette analyse a pour but de rechercher, pour l'ancienne "*Boucle du Cacao*" au sud-est et la "*nouvelle Zone de Culture*" au sud-ouest, la concomitance entre les moments de rupture dans les séries pluviométriques et ceux de l'intensification des défrichements.

L'analyse des séries chronologiques pluviométriques des stations du sud forestier ivoirien confirme (cf. Deuxième partie de l'étude) la diminution sur le long terme des pluies annuelles. Cette diminution se manifeste par un changement des moyennes pluviométriques dont la date d'occurrence varie selon la région. Ces dates restent néanmoins groupées sur la fin des années 60 et le début des années 70.

On peut faire remarquer, surtout si on s'intéresse aux zones cultivées sur la période d'observation, que les dates de ruptures dans les séries pluviométriques coïncident la plupart du temps avec la période de grands défrichements (*tableau 27*).

Tableau 27 : comparaison entre les périodes d'irruption des déficits pluviométriques et la mise en exploitation de la forêt dans le sud forestier ivoirien

Zones	Stations	Date de rupture dans la série pluviométrique	Période des grands défrichements
Ancienne boucle du Cacao	Bongouanou	1966	} avant 1965
	Cechi	1963	
	Alépé	1963	
Nouvelle Zone de culture	Daloa	1970-1971	} 1965-1970 décennie 1970-1979
	Lakota	1970	
	Gagnoa	1966	
	Soubré	1970	

En effet, il apparaît qu'au niveau de l'ancienne "*Boucle du Cacao*" (sud-est du pays), les ruptures dans les séries pluviométriques se sont produites en général au cours de la décennie 1960-1969. C'est l'exemple de Cechi (1963), Alépé (1963) et Bongouanou (1966). Dans cette zone, les défrichements ont eu lieu très tôt. Le cacao est signalé dans cette région longtemps avant les indépendances et déjà en 1955 la proportion de surface forestière soumise à l'agriculture atteint 56% pour Adzopé et de 49% pour Bongouanou (*cf. tableau 25 plus haut*).

Dans la "*nouvelle Zone de Culture*", le décrochement de la pluviométrie a lieu autour de l'année 1970, période de développement du front pionnier dans la région. En effet autour de Daloa (centre-ouest) et au nord de ce secteur, la mise en culture des terres, entamée au début des années 60 s'intensifie entre 1965 et 1970 et se poursuit jusqu'à la fin de la décennie suivante (Léonard et Oswald, 1994; Schwartz, 1993). Dans le secteur de Soubré (sud-ouest), le front pionnier se met en place au début des années 70 et connaît un développement quasi-exponentiel au cours de la décennie suivante.

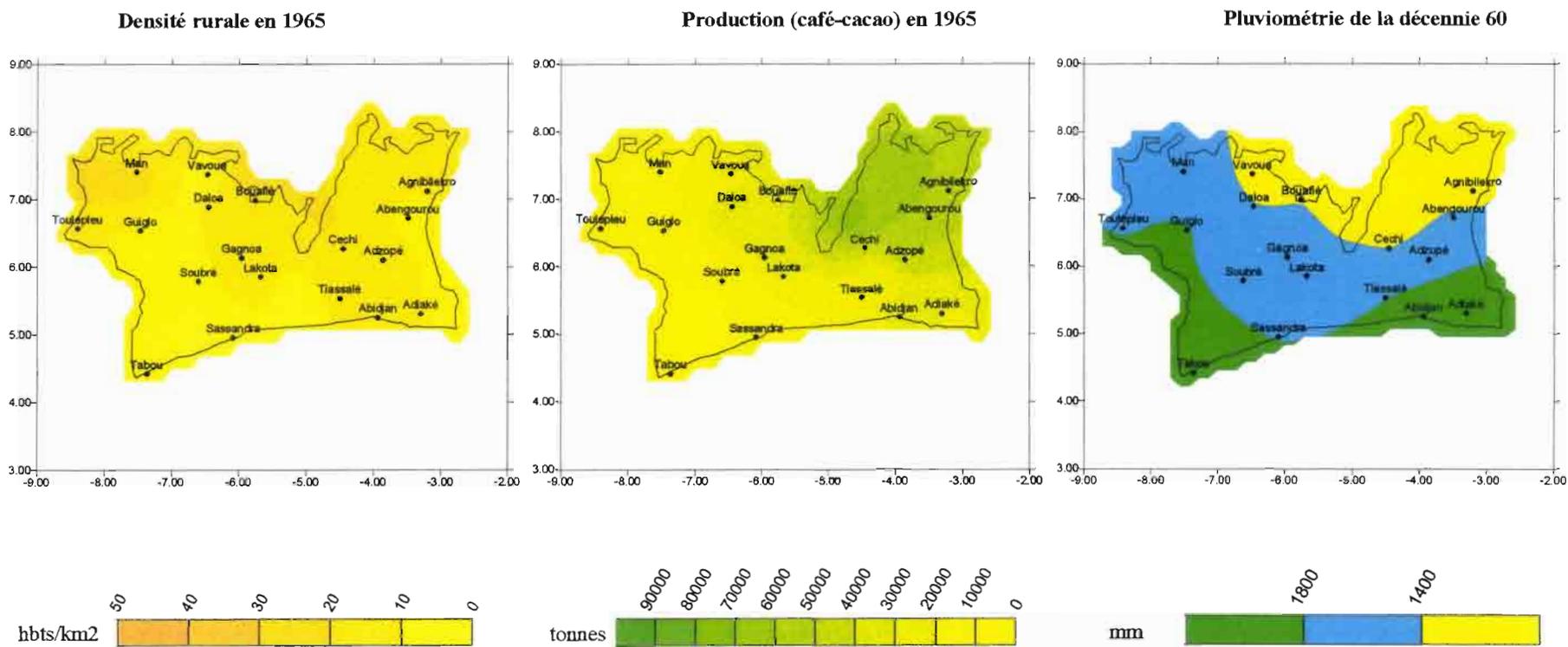
On note ainsi la coïncidence et la concomitance entre la baisse de la pluviométrie dans le sud forestier ivoirien d'une part et la déforestation et la mise en culture de cette région d'autre part. Ceci est conforme au consensus qui semble se dégager à propos de l'influence humaine sur le climat (Houghton, 1996 cité par Servat et al, 1996).

4.1.2 ANALYSE SPATIALISEE

L'accent est mis ici sur l'étude des mouvements dans le sud forestier ivoirien des phénomènes de baisse de la pluviométrie et de densification de la production agricole. Il s'agit dans cette perspective de voir si les grandes étapes de l'histoire de l'activité agricole se superposent aux transformations climatiques locales. Sur le plan pluviométrique, on s'intéressera à la zone de pluviométrie inférieure à 1400 mm, qui marque généralement la limite nord du sud forestier ivoirien humide.

Figure 41 : Comparaison entre l'évolution de la pluviométrie et les données agro-démographiques au cours de la décennie 1960-1969 : étude diachronique

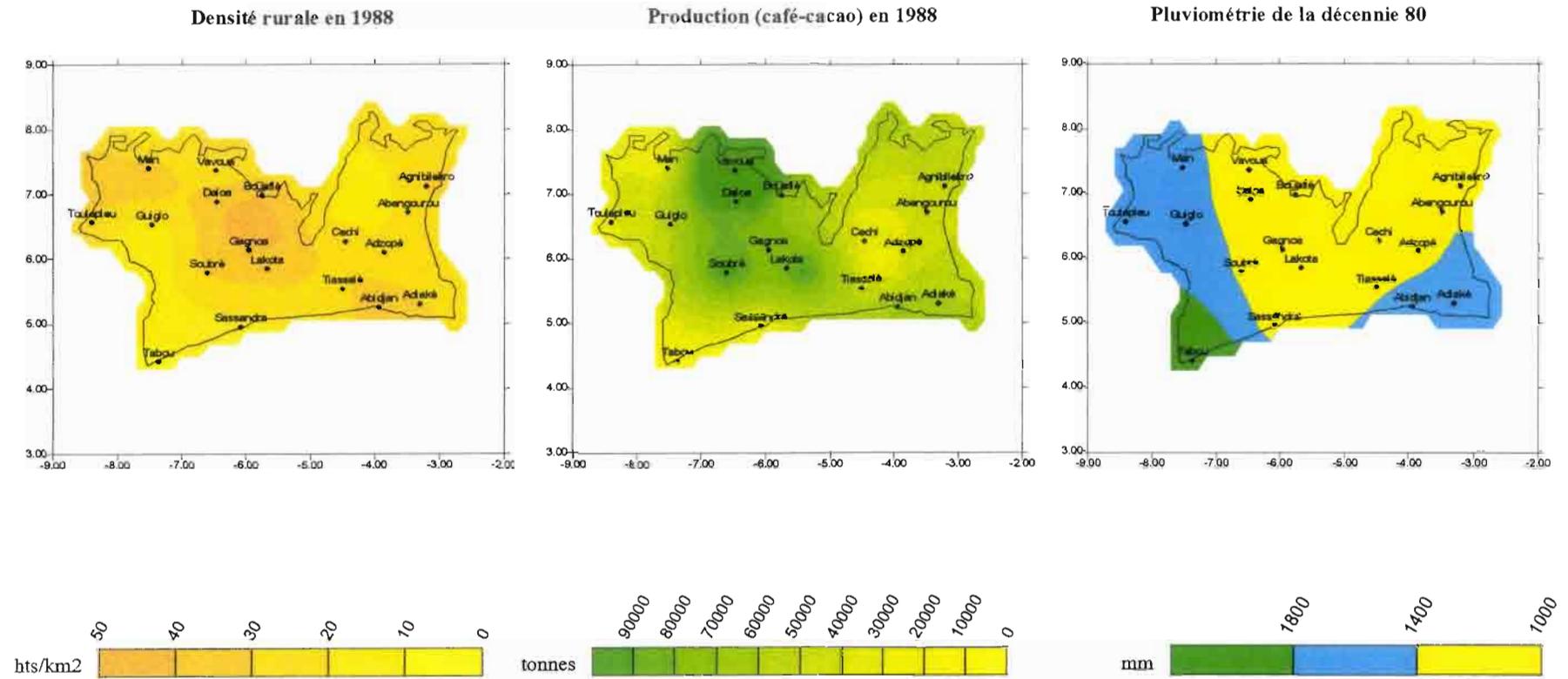
159



Réalisée par Brou Yao T

Figure 42 : Comparaison entre l'évolution de la pluviométrie et les données agro-démographiques au cours de la décennie 1980-1989 : étude diachronique

160



Réalisée par Brou Yao T.

Les *figures 41 et 42 ci-dessus* comparent pour les années 60, 70 et 80 la situation pluviométrique, démographique et agricole dans la région forestière ivoirienne.

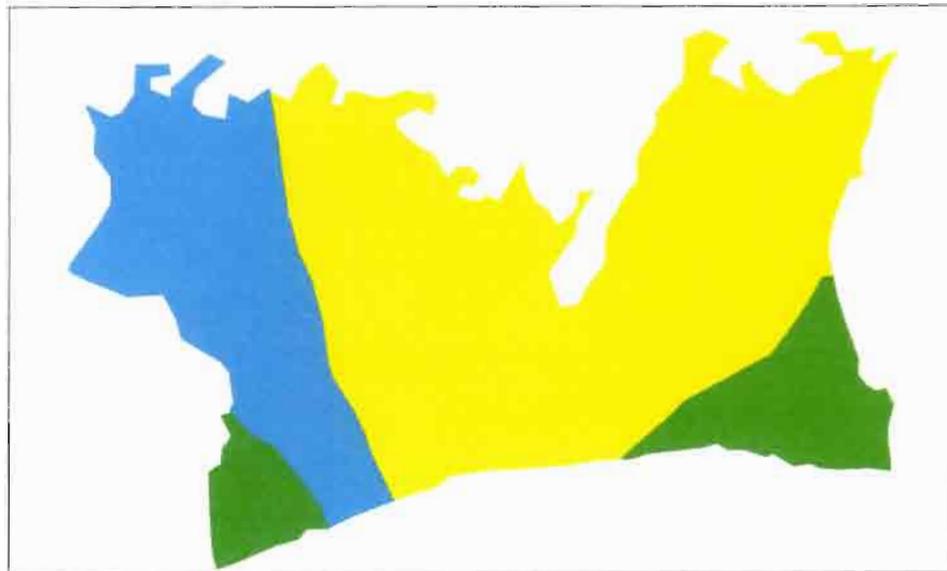
Au cours de la décennie 1960-1969, la classe de pluviométrie inférieure à 1400 mm est limitée au centre-est de la Côte d'Ivoire. A cette période, cette région présente presque exclusivement les plus grandes densités de population ainsi que les productions les plus importantes, ce qui entraîne de grands défrichements. La zone de pluviométrie inférieure à 1400 mm s'élargit fortement **au cours des années 70** et s'étend vers les régions du centre-sud et du centre-ouest. L'avancée de cette ligne de déficit se fait parallèlement au déplacement de la boucle du cacao, des régions du centre-est vers le centre-sud et le centre-ouest du pays. Le glissement de l'isohyète 1400 mm se **prolonge pendant la décennie 1980-1989** vers le sud-ouest du pays (*figure 28b*). La même dynamique s'observe au niveau agricole. Dans le même temps le front pionnier atteint et se renforce dans la région. Ici, plus qu'ailleurs, le mouvement de conquête a été très rapide, de sorte qu'en une dizaine d'années, les paysans sont arrivés à changer les rapports de grandeurs entre forêt dense et espace cultivé.

Les grands mouvements de l'histoire de l'activité agricole décrits précédemment, semblent se superposer au schéma de l'évolution de la pluviométrie. Le déplacement de la production cacaoyère et caféière suit le glissement des isohyètes au cours des dernières décennies, du centre-est vers le centre-ouest puis vers le sud-ouest de la Côte d'Ivoire.

Ce constat est identique si on compare les grands massifs forestiers subsistant en 1990 et la situation pluviométrique de la décennie 1980-1989 (*figure 43*). On observe que la classe de pluviométrie comprise entre 1400 et 1800 mm qui couvre à l'époque l'ensemble des terres intérieures, est limitée au cours de la période récente en dehors de la côte est, à la région ouest. Comme le montre la *figure 43*, cette région constitue pratiquement le seul territoire où les superficies des massifs forestiers sont encore importantes. Ainsi, là où le couvert forestier a été conservé dans une proportion raisonnable, on constate que la pluviométrie n'a pas changé significativement.

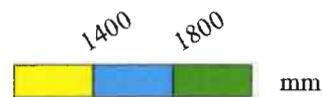
Figure 43 : Massifs de forêts denses humides restants et situation pluviométrique au cours de la décennie 80

Pluviométrie au cours de la décennie 1980-1989

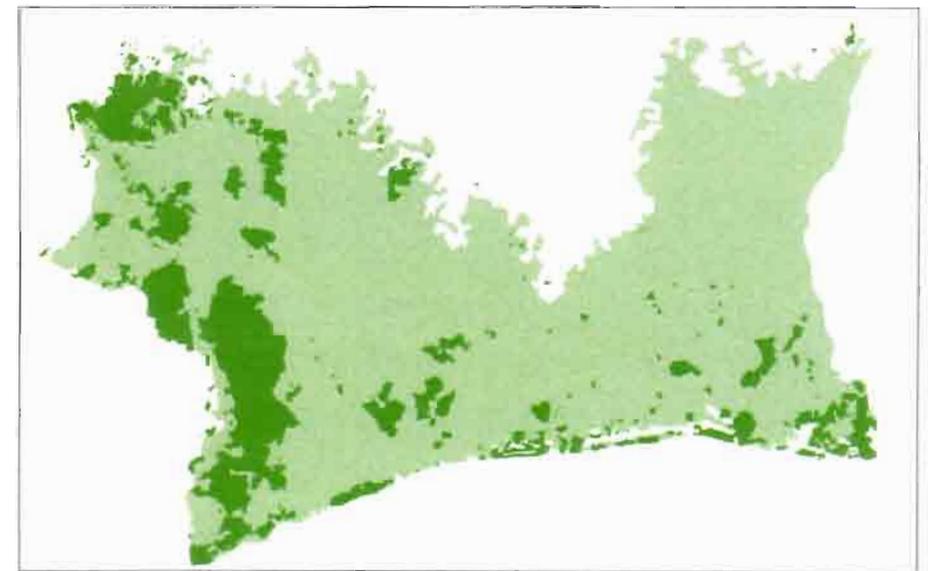


Réalisée par Brou Yao T.

Echelle : 1 cm = 60 Km



Forêt dense en 1993



Paivinen et al. (1993) in Chatelain et al. (1995)

Echelle 1 cm = 60 Km



4.2 ESSAI D'ANALYSE DES IMPLICATIONS CLIMATIQUES DE L'ANTHROPISATION DU MILIEU FORESTIER IVOIRIEN

Aborder cette analyse en se fondant sur les concepts d'évapotranspiration (ETR), d'albédo et gradient pluviométrique présente pour nous un grand intérêt. En effet, l'étude de ces paramètres physiques peut permettre d'apprécier les différences de transferts de vapeur d'eau (ETR) et de réflexion d'énergie (albédo), entre les zones de forêt dense et les milieux cultivés. Etudier donc l'évolution de ces paramètres revient dans une certaine mesure à étudier aussi celle de la contribution des couverts forestiers (par évapotranspiration) dans le potentiel précipitable de l'atmosphère. Un éclairage pourra être ainsi apporté sur les implications possibles des activités de l'homme dans les modifications climatiques locales.

4.2.1 DEFINITION DES NOTIONS ANALYSEES (ETR, ALBEDO, GRADIENT PLUVIOMETRIQUE)

* L'évapotranspiration réside dans le passage de l'eau de la phase liquide à la phase gazeuse, de la terre vers l'atmosphère à partir d'un couvert végétal. On distingue l'ETP (évapotranspiration potentielle), l'ETR (évapotranspiration réelle), l'ETM (évapotranspiration maximale). Celle qui nous intéresse, l'ETR est en rapport avec la disponibilité de l'eau dans le sol. Il s'agit de l'évapotranspiration d'un couvert végétal dans des conditions réelles données, l'alimentation de la plante pouvant être limitée par des contraintes d'ordre physique (suction du sol), chimique (concentration des solutions), biologique (régulation stomatique). Il s'en suit une réduction de la transpiration par rapport à la valeur maximale qu'elle pourrait atteindre.

* L'albédo est la fraction réfléchie de l'énergie solaire incidente (Glossaire international d'hydrologie, 1974). La fraction restante définit l'énergie reçue effectivement à la surface terrestre. Cette dernière permet aux végétaux de transpirer par évaporation (évapotranspiration) et de restituer une partie de l'eau précipitée, dans l'atmosphère. Ainsi

toute augmentation de l'albédo d'une surface donnée signifie une diminution de l'énergie absorbée, donc de l'évapotranspiration (Yao, 1988).

* Le gradient pluviométrique est la transition graduelle dans l'espace des hauteurs pluviométriques. Il décrit en Côte d'Ivoire l'évolution sud-ouest, nord-ouest du flux de mousson. Il est tout aussi important d'ajouter que les caractéristiques de cette masse d'air maritime sont entretenues par le recyclage des eaux de pluies du continent, lors de la traversée (Monteny, 1988). Cet apport continental tient compte du pouvoir évapotranspirant des couverts végétaux en présence, dans la région considérée.

4.2.2 ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR) DES COUVERTS FORESTIERS SUR LES DECENNIES 1950-1959 ET 1980-1989

4.2.2.1 Estimation de l'ETR au cours des décennies 1950-59 et 1980-89

Le but visé est de faire la comparaison de l'ETR,

- entre les périodes 50-59 et 80-89 pour chaque bassin versant;
- entre les bassins versants.

Le *tableau 28* ci-après présente les bassins versants et les stations hydrométriques à l'exutoire des fleuves ainsi que les superficies des différents bassins versants correspondants.

Tableau 28 : Description des bassins versants de la zone forestière ivoirienne concernés par l'étude (données Direction de l'eau, 1993)

Fleuve	Station	Surf du B.V (Km2)
Cavally	Taï	13 750
Sassandra	Soubré	33 200
N'zi-Bandama	N'zianoa	19 300
Comoé	Anuassué	17 500

C'est à partir du bilan hydrologique qui compare les apports par les précipitations et les pertes par écoulement et infiltration que nous allons estimer l'ETR. En fait le déficit

d'écoulement qui résulte de ce bilan correspond à l'évapotranspiration réelle et au stockage d'eau dans le sol. Le bilan hydrologique annuelle est donné par l'expression : $P - Ec - R = ETR \pm \Delta S \pm \Delta N$, où :

P = précipitations sur le bassin versant (mm);

Ec et R = écoulement annuel à l'exutoire du bassin versant ou débit rapporté à la surface du bassin versant (mm);

ETR = évapotranspiration réelle; ΔS = variation du stock; ΔN = Variation de la nappe. En tenant compte de l'échelle spatiale et du pas de temps (annuelle), on peut supposer que les variations de stock et de la nappe sont nulles : $\Delta S \pm \Delta N \cong 0$.

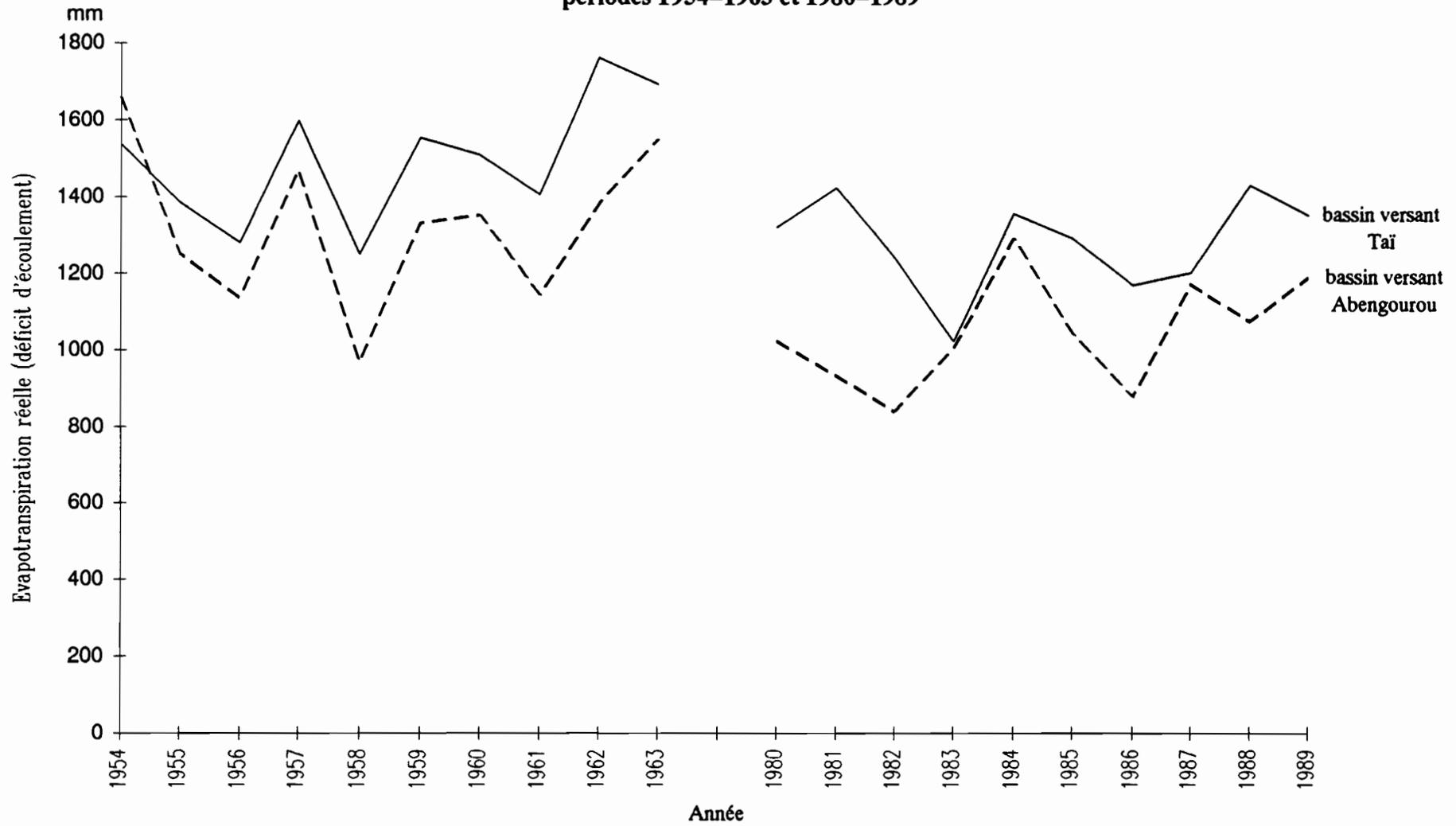
Les lames d'eau précipitée annuellement pour chaque bassin versant sont calculées automatiquement à l'aide d'une procédure d'interpolation polynomiale spline, sur la base du fichier des pluies annuelles des stations de la zone d'étude.

L'examen des résultats du *tableau 29* et de la *figure 44* montre que l'évapotranspiration réelle est en première approximation proportionnelle aux quantités d'eau précipitées. L'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement croît donc avec la hauteur de la précipitation annuelle pour un même bassin versant et d'un bassin versant à un autre. Les valeurs les plus fortes sont enregistrées sur le bassin versant du Cavally qui est le plus arrosé. En effet les précipitations annuelles dans cette région ouest du pays sont en moyenne de 1800 mm sur la décennie 1950-1959, et de 1600 mm sur la période récente. L'évapotranspiration réelle correspondante est en moyenne de 1500 mm pour la décennie 1950-1959 et 1200 mm pour la décennie actuelle. Sur les autres bassins versants, particulièrement sur ceux du centre-sud (N'zi) et de l'est (Comoé), en raison des hauteurs pluviométriques annuelles plus faibles, les quantités d'eau recyclées sont moins importantes : en moyenne 1200 mm pour le bassin versant du N'zi et 1300 mm pour le bassin versant de la Comoé au cours de la décennie 1950-1959; et autour de 1000 mm pendant la période 80-89 pour ces deux bassins versants.

Tableau 29 : Bilan hydrologique dans la zone forestière ivoirienne au cours des décennies 1950–1959 et 1980–1989

Année	Bassin Versant Cavally à Taï (ouest)			Bassin Versant Sassandra à Soubré (Sud-ouest)			Bassin Versant du Bandama à N'Zianoa (centre-sud)			Bassin Versant de la Comoé à Abengourou (Est)		
	Pmm	Ec	ETR	Pmm	Ec	ETR	Pmm	Ec	ETR	Pmm	Ec	ETR
1954	1973	435	1538	1640	266	1374	1340	76	1149	1800	140	1660
1955	2007	621	1386	1895	425	1470	1572	101	1273	1400	147	1253
1956	1595	315	1280	1360	164	1196	1122	38	1080	1169	32	1137
1957	2273	674	1599	1936	444	1492	1427	103	1346	1587	118	1469
1958	1552	301	1251	1117	165	952	910	21	954	1000	32	968
1959	1972	419	1553	1678	288	1390	1142	91	1222	1437	106	1331
1960	1997	487	1510	1639	452	1187	1331	61	1101	1406	53	1353
1961	1772	366	1406	1339	120	1219	1161	35	997	1200	56	1144
1962	2262	499	1763	1722	223	1499	1493	81	1431	1460	78	1382
1963	2510	815	1695	1949	376	1573	1604	160	1404	1772	222	1550
1980	1860	539	1321				1166	98	1037	1067	42	1025
1981	1789	365	1424				987	19	934	962	28	934
1982	1562	320	1242				1042	39	990	850	10	840
1983	1198	174	1024				839	20	810	1010	4	1006
1984	1714	357	1357				1357	57	1229	1336	44	1292
1985	1740	448	1292				1305	68	1149	1100	55	1045
1986	1375	204	1171				-	-	-	912	35	877
1987	1532	329	1203				-	-	-	1225	52	1173
1988	1811	379	1432				-	-	-	1108	32	1076
1989	1769	416	1353				-	-	-	1300	110	1190

Figure 44 : Evolution de l'évapotranspiration réelle sur 2 bassins versants du sud forestier ivoirien au cours des périodes 1954-1963 et 1980-1989



4.2.2.2 Les facteurs conditionnant la variation spatio-temporelle de l'ETR dans le milieu forestier ivoirien

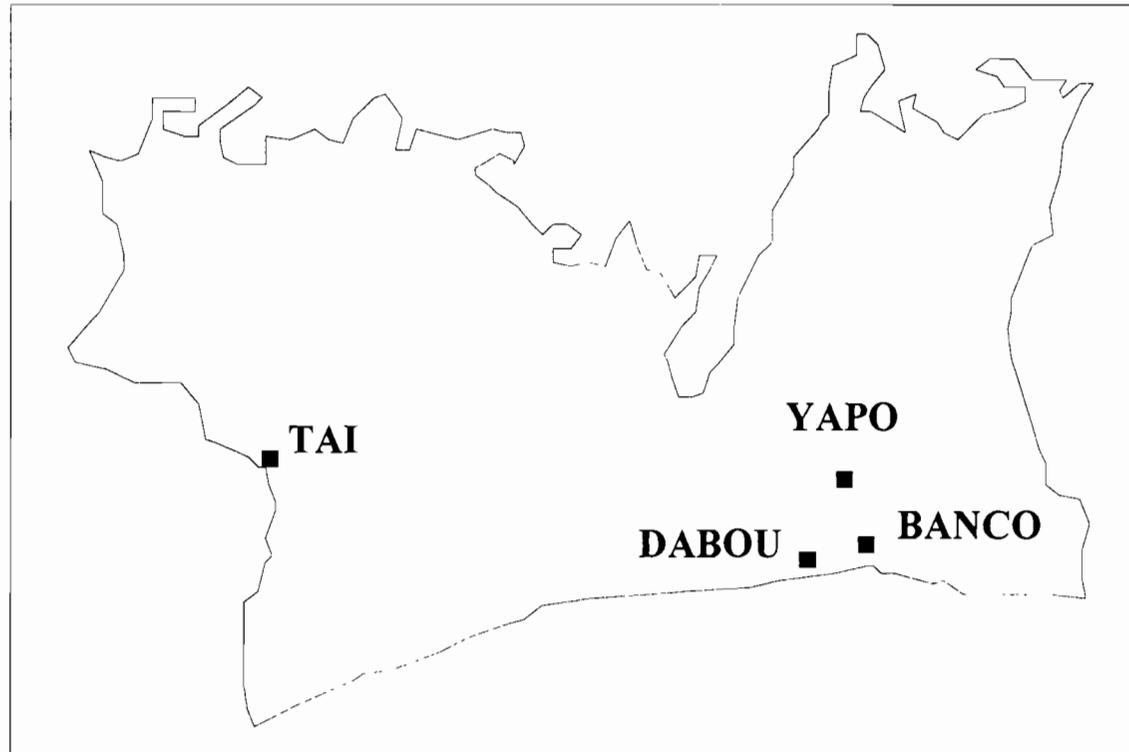
La baisse de l'évapotranspiration réelle entre les décennies 50-59 et 80-89 suit la diminution de la pluviométrie enregistrée durant les années 80.

Toutefois le transfert de cette eau dans l'atmosphère est surtout dû à des processus énergétiques (les facteurs climatiques en général et l'énergie solaire en particulier), à la capacité de rétention en eau du sol, et aussi aux caractéristiques de la surface évaporante c'est-à-dire de la surface foliaire. Il s'agit dans ce dernier contexte de voir l'impact de la déforestation sur le phénomène du recyclage des eaux de pluie.

Les caractéristiques liées aux différents écosystèmes forestiers jouent un rôle majeur dans les processus d'évapotranspiration. En effet une forêt dense n'a pas la même capacité de recyclage des eaux de pluie qu'une jachère et une culture (Monteny, 1988). Le *tableau 30* présente les valeurs annuelles des échanges surface-atmosphère, calculées pour différentes régions du sud forestier ivoirien. Pour chaque endroit (*figure 45*), les proportions d'eau de pluie rétrocedées à l'atmosphère sont également évaluées (l'énergie solaire qui parvient au sol et les hauteurs de pluie étant semblables au niveau de la station).

Dans les conclusions à tirer par rapport à ce tableau, on ne tiendra pas compte des années particulièrement sèches (1980 à Dabou) durant lesquelles les couverts végétaux, quels qu'ils soient ont tendance à restituer toute l'eau qu'ils ont reçue. Cela tient au fait que pendant ces années sèches, l'écart devient important entre la demande climatique de vapeur d'eau et les disponibilités en eau à la surface. L'infiltration est de ce fait faible et la priorité est donnée aux végétaux par le système.

Figure 45 : Localisation des points de mesures des échanges végétation-atmosphère étudiées par Monteny en 1988



Réalisée par Brou Yao

Echelle : 1 cm = 45 Km

Tableau 30 : Echange surface végétale-atmosphère dans le sud-forestier ivoirien

Lieu	Année	Surface Végétale	Pluie (mm)	ETR (mm)	ET/Pluie (%)
Banco	1969-71	forêt équatoriale	1800	1195	66
Yapo	1972-73	forêt équatoriale	1950	1425	73
Tai	1980	forêt équatoriale	2065	1189	58
		culture + jachère	2065	832	40
	1982	forêt équatoriale	1713	1104	64
		culture + jachère	1713	758	46
Dabou	1980	forêt équatoriale	1135	1043	92
		culture + jachère	1135	617	54
	1982	forêt équatoriale	2242	949	42
		culture + jachère	2242	493	22

Source : Monteny B. (1988)

Le *tableau 30* montre ainsi que, dans les conditions de pluviométrie normale, la forêt restitue en moyenne l'équivalent de 55 à 70% des précipitations annuelles dans l'atmosphère, tandis que les évapotranspirations des couverts végétaux cultivés annuellement et des jachères n'en représentent que 30 à 55%.

Cette diminution des conditions locales d'humidité peut être aussi constatée si on compare l'hygrométrie des différentes plantations à celle des types de forêts. Les mesures sont empruntées aux travaux de Horent (1977), dans la région d'Abidjan (*tableau 31*).

Les modifications microclimatiques sont nettes entre la forêt dense du Banco et les autres couverts végétaux (*tableau 31*). Cette situation est particulièrement remarquable en situation de plein champ, c'est-à-dire de milieu dépourvu de végétation arbustive. Entre la forêt dégradée et la plantation d'hévéa, les différences hygrométriques sont très faibles. Il est donc possible de dire que d'une manière générale, "l'écosystème hévéa" reproduit assez fidèlement un climat forestier secondaire".

Tableau 31 : Modifications microclimatiques entre la forêt et les couverts cultivés dans la région d'Abidjan

Microclimat	Plein champ	Forêt dense du	Forêt dégradée	Hévéa
		Banco	d'Anguededou	
Hygrométrie moyenne	85,8%	-	90%	89%
Hygrométrie maximum	100%	100%	100%	100%
Hygrométrie minimum	11%	50%	34%	30%

Source : Horent, 1977

De l'hévéa à l'ananas, il y a toute une gamme de cultures qui créent leur propre ensemble et déterminent ainsi des conditions microclimatiques bien spécifiques. Donc, si les caractéristiques liées à l'écosystème forestier sont modifiées par des défrichements et par la mise en place continue des cultures sur de grandes superficies, les apports de vapeur d'eau vont être inférieurs à ceux existants précédemment avec les couverts forestiers primaires. Tant que l'aire occupée par ces cultures reste dans des proportions moins alarmantes, la diminution des quantités d'eau rétrocedée à l'atmosphère ne sera pas significative. Toutefois, l'extension actuelle du déboisement et de la déforestation dans l'espace étudiée amène à se demander si ce seuil n'est pas déjà atteint, voir dépassé.

Sur les quatre bassins versants (*tableau 32*) seul celui du cavally conserve encore un patrimoine forestier particulièrement important. Par contre, dans les trois autres bassins versants, la situation est catastrophique.

Tableau 32 : Etat du couvert forestier sur les bassins versants étudiés

Bassin versant	Proportion moyenne de la forêt dense	
	Forêt 1955	Forêt 1990
Cavally (Taï)	74%	39%
Sassandra (Soubré)	64%	11%
Bandama (Tiassalé)	41%	0%
Comoé (Abengourou)	52%	4%

Source : Guillaumet in Avenard et al. (1971); DCGTx (1993)

L'explication est que les innombrables feuilles des arbres des forêts denses humides forment une considérable surface foliaire qui, en interceptant les pluies, provoquent une importante évaporation physique directe. De même, les pluies qui parviennent au sol, par pénétration à travers le couvert ou par écoulement le long des "troncs", sont en grande partie mobilisées par un abondant système racinaire latéral; elles sont ensuite rejetées dans l'atmosphère par transpiration physiologique (Kimbata, 1991).

Des résultats analogues (Salati, 1979) ont été produits sur la forêt amazonienne ; ils confirment l'importance que représente la forêt dense dans le maintien ou le renforcement des caractéristiques de la masse d'air porteuse de précipitations, sur le continent sud-américain. Ces travaux ont consisté à mesurer l'humidité de l'air et les changements de teneur en isotopes Oxygène 18 le long d'une ligne est-ouest traversant le bassin versant de l'Amazonie; des échantillons de vapeur d'eau ont été recueillis au niveau du sol et en altitude, de l'océan Atlantique jusqu'aux Andes. Les relevés indiquent que les isotopes se trouvent en nombre identique dans la vapeur d'eau analysée et dans les nuages de pluie venant de l'océan Atlantique. On sait que l'Oxygène 18, un des isotopes les plus lourds des molécules de vapeur d'eau se dépose surtout lorsqu'il pleut. Comme en Amazonie, les vents dominants viennent de l'est et transportent vers l'ouest l'air humide, les précipitations qui éclatent au fur et à mesure de la progression du flux atlantique devraient normalement avoir pour conséquence une forte réduction de la proportion d'Oxygène 18 et de la teneur en eau de l'air. Or, la composition moléculaire de l'air et de la vapeur d'eau dans de nombreuses stations du trajet a montré que le niveau d'humidité et la teneur en Oxygène sont restés constants. Cette étude, "la plus fouillée" de celles entreprises jusqu'à ce jour (Kimbata, 1991), a fourni avec précision la preuve qu'une grande masse forestière peut retourner à l'atmosphère jusqu'à environ 75% de l'humidité qu'elle reçoit.

L'implication des forêts tropicales dans la forte pluviosité peut aussi être évaluée, en s'intéressant à l'influence des formations végétales sur la convection des nuages. En effet, une étude (Santiago-Jeagaden, 1996) montre à partir des traitements et analyses d'images, que l'activité physiologique des faciès des types de couverts végétaux influe différemment sur la température des basses couches de l'atmosphère par l'intermédiaire de

l'évapotranspiration (flux de chaleur latente). Ainsi, dans une zone de contact forêt-savane au Cameroun, des synthèses thermiques Météosat ont été archivées en deux fichiers : -le premier comptabilise le nombre de fois où chaque pixel a enregistré une température inférieure ou égale à - 40 °C, seuil considéré comme caractéristique des nuages à sommet froid de type cumuliforme, supposés pluvio-gènes; ce sont ces fréquences qui, rapportées au nombre de réceptions utilisables pendant la période considérée, deviennent des "occurrences de nuages à sommet froid" en pourcentage. -le deuxième fichier conserve la température radiative maximale (Tmax) enregistrée pour chaque pixel au cours de la période, ce qui permet d'obtenir la température radiative de la formation végétale. Le couplage de ces deux informations fait apparaître sur les images un contraste nette entre la savane et la forêt.

Ces découvertes démontrent que les forêts, en particulier les grandes masses forestières ont un rôle important dans le maintien ou le renforcement par endroits des qualités hygrométriques de l'atmosphère.

L'évapotranspiration des quantités d'eau dans l'atmosphère demande l'équivalent d'une proportion d'énergie de la radiation solaire nette reçue. L'augmentation ou la diminution de l'albédo peuvent donc être considérées comme cause et conséquence de la question de l'impact de la déforestation sur les pluies.

4.2.3 EVOLUTION DE L'ALBEDO AU COURS DES 40 DERNIERES ANNEES

Pour analyser la variation spatio-temporelle de l'albédo, on s'intéressera à la "*nouvelle Zone de Culture*", située dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire autour des localités de Soubré et de San-Pedro. Dans cette région, le phénomène de "*colonisation foncière-déforestation-développement de l'économie de plantation sous la forme de front pionnier*" a été brutal. En effet la déforestation presque totale s'y est produite sur un court laps de temps (15 ans) et le décrochement de la pluviométrie y est tout aussi brutal et prononcé (cf. 1ère partie de

l'étude). A titre comparatif on examinera aussi les régions encore très forestières de Guiglo (Taï) et de Tabou (autour de Grabo).

Tableau 33 : Occupation du sol en 1955

	En 1955		
	Forêt (%)	Culture (%)	Plantation (%)
Soubré	} 95	} 3	} 2
San-Pedro			
Tabou			
Guiglo			

d'après les estimations de Léonard et Oswald (1994); Découpage administratif de 1975

Tableau 34 : Occupation du sol après 1970

	Après 1970			
	Forêt (%)	Forêt/culture (%)	Culture/forêt (%)	Culture (%)
Soubré	13	0,50	0,6	86
San-Pedro	15	11	13	61
Tabou	32	24	4	40
Guiglo	39	7	3	51

D'après les estimations du bilan forêt (DCGTx, 1993). Découpage administratif de 1975.

Forêt/culture = couvert végétal à dominance forêt (75%)

Culture/forêt = couvert végétal à dominance culture (75%)

La transformation de la physionomie du couvert végétal qu'on observe quand on passe de la période avant 1970 (*tableau 33*) à celle d'après 1970 (*tableau 34*) a, à n'en pas douter, des répercussions sur les termes du bilan radiatif, notamment l'albédo. On note, en effet, une variation de l'albédo d'un type de couvert végétal à un autre pour une même valeur du rayonnement global, comme le montrent les résultats d'une étude portée dans le *tableau 35*.

Tableau 35 : Albédo des différentes surfaces végétales

Type de surface	Albédo
Forêt	12%
Champs : café, cacao	16%
Vivrier : riz, maïs, manioc	18%
jachère	21%

Source : Gornitz et NASA (1985); Monteny (1989)

A partir de ces ordres de grandeur et des proportions occupées par chaque type de formations végétales, on peut estimer grossièrement l'albédo moyen des surfaces rencontrées dans les secteurs étudiés (*tableau 36*).

Tableau 36 : Albédo des formations végétales composées

Répartition des formations végétales	albédo
Forêt/culture : à dominance forêt (75%)	13%
Culture/forêt à dominance culture (75%)	15,25
culture : 2/3 cacao-café et 1/3 vivrier-friches; avec une rotation de 1 année sur 4 pour les vivriers (A partir des estimations de Leonard, 1993)	17%

L'albédo moyen du couvert végétal du sud-ouest et de l'ouest peut donc s'écrire :

$$A = 0,12X + 0,13Y + 0,16Z + 0,17C$$

$A =$ *albédo moyen*

$X =$ *surface en pourcentage de la forêt*

$Y =$ *surface en pourcentage de forêt/culture*

$Z =$ *surface en pourcentage de culture/forêt*

$C =$ *surface en pourcentage de culture/jachère*

avec $X+Y+Z+C = 100\%$

Tableau 37 : Modification de l'albédo dans le sud-ouest et l'ouest ivoirien

	en 1955 (%)	après 1970	Variation relative (%)
Soubré	} 12 à 12,5	16	+ 33
San-Pedro		15,5	+ 29
Tabou		14,3	+ 19
Guiglo		14,5	+ 20

Ainsi sur l'ensemble de la région d'étude, on a calculé que l'albédo moyen de la surface (*tableau 37*) était d'environ 12% en 1955, la forêt étant estimée en ce moment à 95% de la superficie totale. Aujourd'hui on le situe globalement à 15,5%. En si peu de temps d'exploitation, cette variation est très importante. La région de Guiglo à l'ouest et de Tabou autour de Grabo dans la partie sud-ouest, n'est pas concernée par cette variation importante de l'albédo. La forêt y subsiste encore sur de grandes superficies.

L'analyse de ces résultats suggère qu'une réduction de la couverture végétale initiale due à l'action de l'homme, entraîne une augmentation de l'albédo. Pour toute l'Afrique occidentale, des valeurs indiquent une augmentation de l'albédo après la période qui a suivi l'intensification de l'agriculture (à partir des années 70). L'albédo des zones situées au sud de la Côte d'Ivoire, du Ghana et du Nigeria est estimé à 11%, en se référant à l'état des forêts tropicales au cours du siècle passé, avant la grande vague d'exploitation agricole et forestière. En 1980, les modifications du couvert végétal dues à l'agriculture sont telles que l'albédo est passé à 17% (Gornitz, 1985).

Ce changement significatif de l'albédo de la surface dû aux altérations de la couverture forestière est susceptible d'être une cause potentielle de la variation climatique observée au cours des dernières décennies (Gornitz, 1985). L'augmentation de l'albédo est en effet suivie d'un déficit du bilan radiatif en surface (Charney, 1989). Il y a donc moins d'énergie disponible, ce qui réduit les échanges de vapeur d'eau. Cette réduction du transfert de vapeur d'eau est accompagnée d'un accroissement proportionnel de l'énergie calorifique qui est affectée dans la masse d'air (Lhomme, 1987).

L'augmentation de l'albédo et, par la suite diminution de l'évapotranspiration équivaut à une diminution de la contribution des couverts forestiers dans l'alimentation des systèmes nuageux qui sont entraînés vers le nord par la circulation atmosphérique générale. Au-delà donc des seules modifications locales, la déforestation pourrait donc avoir un impact sur le champ des précipitations. Ce constat exige que l'on s'intéresse aussi à l'étude de l'évolution du gradient pluviométrique.

4.2.4 ANALYSE DE L'EVOLUTION DU GRADIENT PLUVIOMETRIQUE ENTRE LES PERIODES 1950-59 ET 1980-89

Sur un transect SW-NE traversant toute la Côte d'Ivoire dans le sens de la direction des vents dominants, nous suivons l'évolution du gradient pluviométrique sur les 40 dernières années. L'étude est fondée sur l'idée selon laquelle, en l'absence de toute végétation les quantités de pluie décroissent "normalement" sur le continent, en liaison avec la pénétration progressive des flux d'origine maritime, c'est-à-dire par effet de continentalisation (Kimbata, 1991). C'est ainsi qu'en Côte d'Ivoire, si cette réduction semble être faible au-dessus du sud forestier ivoirien avec l'avancée du FIT, il n'en est pas de même vers l'intérieur du continent (peu boisé), car la masse d'air porteuse s'appauvrit en vapeur d'eau (Monteny, 1988), les hauteurs pluviométriques devenant alors de plus en plus faibles.

4.2.4.1 Bilan des apports océaniques et continentaux en vapeurs d'eau de l'atmosphère

La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère ivoirienne provient pour partie de l'évaporation physique de l'océan atlantique et pour partie de l'évapotranspiration réelle de la forêt ivoirienne .

Des travaux (Aubreville, 1949) portant sur le bilan hydrologique annuel entre la quantité de vapeur d'eau apportée par la mousson et la quantité totale d'eau précipitée sur le territoire de la Côte d'Ivoire ont été effectués. Les conclusions montrent que les 2/3 des

précipitations proviennent de l'évapotranspiration du système forestier et 1/3 seulement des précipitations proviennent de la vapeur d'eau océanique. Des résultats similaires (Bernard, 1945 et 1953) sur le bilan hydrologique de la cuvette congolaise ont été trouvés. On mentionne que l'apport extérieur de vapeur d'eau (convergence des masses d'air humides) ne représente que 22% des précipitations et correspond approximativement à la quantité drainée par les fleuves et 78% des précipitations expriment "*l'activité d'un cycle intérieur générateur de grains orageux : évapotranspiration et précipitation de convection*". Plus récemment, des études (Kimbata, 1991) sur les interactions forêt/atmosphère congolaises, arrivent à la conclusion que l'océan atlantique austral fournit à l'atmosphère 45 à 53% de sa vapeur d'eau et le binôme sol/végétation du bassin versant congolais 47 à 55%.

En ce qui concerne les apports océaniques, il existe une relation tout à fait significative entre les températures de surface de la mer et les phénomènes de précipitations des régions côtières d'Afrique occidentale. Dans les années où les courants froids ascendants (upwelling) sont rares, voire inexistantes, l'eau de mer reste chaude (Anhuf, 1993). On peut alors observer dans les régions côtières d'Afrique occidentale des précipitations importantes. C'est ainsi qu'en, 1949 et 1968 par exemple, des pluies abondantes et constantes ont été enregistrées de juillet à septembre en Côte d'Ivoire. De la même façon l'année 1984, année pratiquement sans upwelling, la Côte d'Ivoire a vu sa petite sécheresse estivale se réduire d'un mois.

L'apport continental quant à lui se compose essentiellement de la transpiration de l'écosystème forestier. Comme on l'a vu plus haut, cet apport a connu une modification, liée non seulement à la baisse des hauteurs précipitées, mais aussi aux changements de la physionomie du couvert végétal entre les périodes 1950-59 et 1980-89.

De ce qui précède, on peut dire que toute modification du gradient pluviométrique durant les périodes considérées, doit être interprétée en fonction des caractéristiques de l'océan et de l'état des superficies forestières.

Toutefois, pour ce qui est des apports océaniques, les variations saisonnières sont certes nettes, en dehors des années particulières comme en 1984 où l'on note une absence d'upwelling. Mais les fluctuations interannuelles des températures de surface de la mer sont faibles, comme le montre le *tableau 38*.

Tableau 38 : Température moyenne mensuelle de surface de la mer à Tabou

	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	déc
1958	-	-	-	26.7	26.1	24.3	22.4	21.2	21.6	23.7	26.1	25.8
1959	25.8	24.9	25.6	26.6	26.7	26.5	23.8	20.9	21.4	23.2	26.5	25.4
1980	24.3	24.4	24.0	27.0	26.3	24.5	21.9	20.6	20.8	23.5	26.4	26.1
1982	24.8	23.9	26.0	26.1	26.3	25.7	22.7	21.9	21.8	23.4	25.9	25.5
1984	25.2	26.0	27.0	27.7	27.0	26.2	23.3	22.5	23.2	-	-	-

source: CRO (centre de recherche océanologique)

Ainsi, conformément aux relations qui les lient aux températures de surface de la mer, les quantités de vapeur d'eau qui franchissent la côte, semblent très peu osciller d'une année à une autre, surtout au niveau de Tabou (secteur de pénétration de la mousson). Cela signifie qu'en l'absence de facteurs limitants, le potentiel d'eau précipitable venant de l'océan n'évolue pas significativement, en terme de tendance. Vu sous ce rapport, on peut penser que les modifications du gradient pluviométrique constituent dans une certaine mesure, une réponse des nouveaux types de paysages forestiers créés par l'homme.

4.2.4.2 Analyse des résultats

Quatre zones bioclimatiques ont été définies pour étudier l'évolution du gradient pluviométrique. Celles-ci ont été retenues en tenant compte de la structure de la végétation et de l'homogénéité des observations pluviométriques (*figures 46 et 47*).

Zone 1 : - Littoral, zone de pénétration de la mousson : Tabou, Grabo;

Zone 2 : - forêts ombrophiles : Soubré, Gagnoa, Lakota, Oumé;

Zone 3 : - forêts mésophiles : Daloa, Vavoua, Bouaflé;

Zone 4 : - savanes préforestières et savanes sub-soudaniennes : Bouaké, Dabakala

Tableau 39 : Evolution du gradient pluviométrique sur les périodes 1950–1959 et 1980–1989

Gradient pluviométrique de janvier à août

(variation en pourcentage des hauteurs précipitées des zones intérieures par rapport au littoral)

	Zone1 0 km de la côte	Zone2 240 km de la côte	Zone3 368 km de la côte	Zone4 568 km de la côte
	(%)	(%)	(%)	(%)
1951	100	67	46	45
1952	100	63	53	52
1953	100	60	56	53
1954	100	58	58	47
1955	100	68	63	47
1956	100	73	70	53
1957	100	72	63	54
1958	100	65	59	51
1959	100	62	48	44
moyenne	100	65	57	50

1981	100	54	55	48
1982	100	53	41	38
1983	100	49	38	31
1984	100	62	45	39
1985	100	65	58	49
1986	100	66	62	52
1987	100	53	58	49
1988	100	47	49	43
1989	100	46	49	47
moyenne	100	55	51	44

Gradient pluviométrique de septembre à décembre

(variation en pourcentage des hauteurs précipitées des zones intérieures par rapport au littoral)

	Zone1 0 km de la côte	Zone2 240 km de la côte	Zone3 368 km de la côte	Zone4 568 km de la côte
	(%)	(%)	(%)	(%)
1951	100	45	45	47
1952	100	52	51	43
1953	100	59	52	41
1954	100	68	50	35
1955	100	65	44	31
1956	100	68	58	48
1957	100	65	60	49
1958	100	77	73	58
1959	100	80	68	43
moyenne	100	64	56	44

1981	100	46	47	39
1982	100	50	45	36
1983	100	44	35	35
1984	100	63	61	44
1985	100	61	53	42
1986	100	65	60	44
1987	100	60	40	37
1988	100	57	41	35
1989	100	59	42	38
moyenne	100	56	47	39

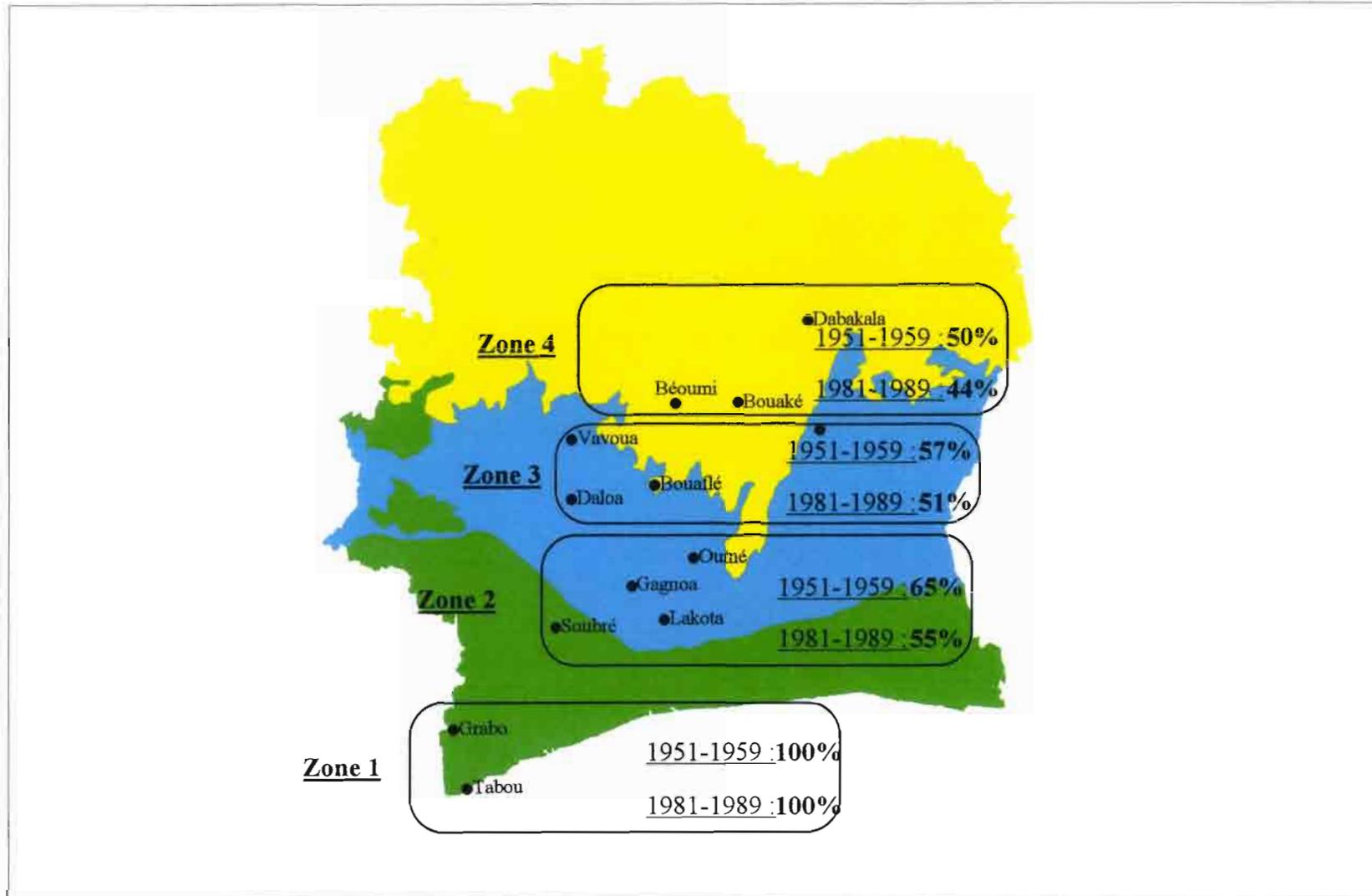
Zone1 = Tabou, Grabo

Zone2 = Soubré, Gagnoa, Lakota, Oumé

Zone3 = Daloa, Vavoua, Bouaflé

Zone4 = Bouaké, Dabakala, Béoumi, Mbahiakro

Figure 46 : Zones bioclimatiques et évolution du gradient pluviométrique en Côte d'Ivoire sur les périodes 1951-1959 et 1981-1989 de janvier à août



Echelle : 1 cm = 60 Km

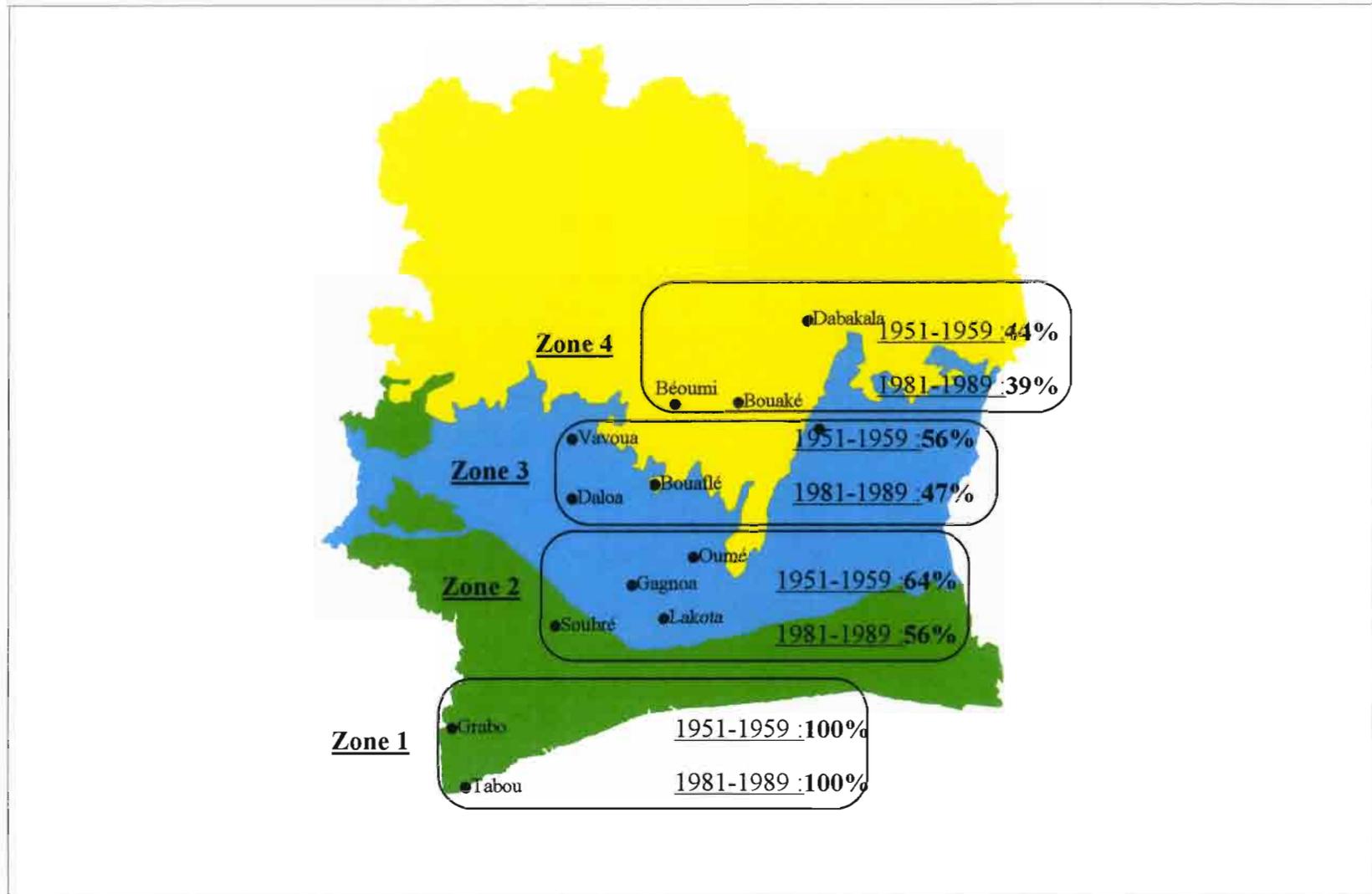
Zone 1 : Littoral

Zone 2 : forêt ombrophile

Zone 3 forêt mésophile

Zone 4 : savane préforestière et savane sud soudanienne

Figure 47 : Zones bioclimatiques et évolution du gradient pluviométrique en Côte d'Ivoire sur les périodes 1951-1959 et 1981-1989 de septembre à décembre



Echelle : 1 cm = 60 Km

Zone 1 : Littoral

Zone 2 : forêt ombrophile

Zone 3 forêt mésophile

Zone 4 : savane préforestière et savane sud soudanienne

D'après les précipitations enregistrées dans les stations climatiques se trouvant dans les quatre zones, on a calculé pour chacune d'elles des valeurs zonales année par année sur les décennies 1950-1959 et 1980-1989 (*tableau 39*). Des variations en pourcentage des régions intérieures par rapport à la zone 1 ensuite ont été calculées. La zone 1 a été considérée comme zone de référence, les quantités précipitées y ont donc été assorties du pourcentage 100%. Au niveau des autres zones, les valeurs ont été lissées avec des moyennes mobiles de 3 ans (pour rester plus proche de la série). Ces chiffres sont établis pour deux périodes de l'année conformément au mouvement nord-sud de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) : de janvier à août, au cours de la montée de la ZCIT et de septembre à décembre, lors de sa descente.

Le *tableau 39* et les *figures 46 et 47* présentent les résultats de l'étude. L'analyse a été faite à partir des moyennes calculées pour les décennies 1950-1959 et 1980-1989. Sur les deux périodes de l'année, on note une modification du gradient pluviométrique.

Pour la période de l'année allant de **janvier à août**, les changements les plus importants sont observés au niveau du secteur de forêt ombrophile. En effet, durant la décennie 1950-1959, la zone 2 reçoit en moyenne 65% des quantités de pluie enregistrées sur le littoral (zone 1). Pendant la décennie 1980-1989, ce pourcentage tombe à 55%. On note donc que sur les 250 premiers kilomètres vers l'intérieur des terres, la diminution des pluies est plus rapide lorsqu'on passe de la période 1950-1959 à celle de 1980-1989. Plus au nord, sur les marges du domaine forestier, en secteur de forêt mésophile, la réduction progressive des précipitations du sud au nord est plus forte au cours de la dernière décennie. Au cours des années 1950-1959, ce secteur reçoit 57% des précipitations observées en zone 1. De 1980 à 1989, il n'en tombe plus que 51%. Ces deux domaines (zone 2 et zone 3) correspondent, comme on l'a signalé ci-dessus à des milieux où la déforestation a été très intense, du fait de la mise en culture des terres au cours des 20 dernières années. Dans le domaine des savanes préforestières et sub-soudaniennes, la pluviométrie représente durant la décennie 1950-1959, environ 50% de ce qui était recueilli au niveau de la zone 1. Au cours de la période 1980-1989, on est en moyenne à 44%, on constate donc une baisse.

Pour la période de l'année allant de **septembre à décembre**, le schéma ne diffère guère de la situation des 8 premiers mois. Ici aussi, les modifications les plus profondes sont enregistrées dans les secteurs de forêts ombrophile (zone 2) et mésophile (zone 3). Durant l'époque 1950-1959, la zone 2 bénéficiait de 64% des précipitations notées dans la zone 1. Avec la décennie 1980-1989 ce sont désormais 56% qui sont observés à ce niveau. La zone 3, domaine de la forêt mésophile recevait entre 1950 et 1959, 56% des précipitations observées en zone 1. De 1980 à 1989, elle n'en reçoit plus que 47%. Au niveau de la zone 4 les modifications sont moins importantes. Par rapport à la zone 1 elle recevait 44% des précipitations de 1950 à 1959 et 39% de 1980 à 1989.

Il apparaît donc que la réduction progressive des précipitations, de la zone de pénétration de la mousson (Tabou) vers l'intérieur du pays, est accentuée plus encore pendant la décennie 1980-89. Cette accélération est importante en secteur de forêt; elle est maximale dans le secteur de forêt ombrophile, là où la quasi-totalité des massifs forestiers humides a été remplacée par des plantations, des friches ou des jachères.

On peut donc dire que la dégradation du gradient pluviométrique durant la période récente semble être due, en plus de certains paramètres non étudiés ici, à la réduction des apports continentaux. Puisque, on constate que de 1950 à 1989, il n'y a pas une tendance nette de l'évaporation de la mer à la baisse, du fait de la faible variation interannuelle des températures de surface de la mer. La régression des surfaces forestières en secteur de forêt dense a donc certainement entraîné une diminution de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. On peut penser que cette situation participe à la réduction de la pluviométrie sur le champ des précipitations.

Devant la dégradation continue de l'environnement climatique, il nous faut trouver une solution, celle qui conduit à agir sur les causes du phénomène. Ce type de solution paraît peu réaliste, tant il est vrai que les conditions météorologiques et cosmiques sont difficilement maîtrisables. La seule alternative qui reste est celle de la gestion du milieu forestier, qui constitue une ressource renouvelable.

4.2.5 GESTION DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER IVOIRIEN ET INTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE

La gestion du patrimoine se fait en priorité dans le cadre du domaine protégé de l'Etat, placé sous la responsabilité de la SODEFOR (Société pour le Développement des Forêts). Cette gestion passe par la prise de mesures de protection des massifs forestiers restants et par la mise en place de programmes d'aménagement.

4.2.5.1.1 Les mesures de protection de la forêt

Pour prévenir les menaces qui pèsent sur les forêts classées et parcs nationaux, trois types de mesures sont envisageables : répression, participation et substitution. Elles peuvent bien sûr être combinées.

Jusqu'à présent, le système de protection s'est basé sur la répression, bien que cette dernière n'atteigne pas l'efficacité souhaitée, le plus souvent par manque de moyens. Des travaux de délimitations claires sont aussi entrepris, sous la forme de pistes bien entretenues, par exemple. Celles-ci agissent comme des barrières psychologiques, freinant l'envie de vouloir cultiver dans des aires protégées.

Les mesures dites "participatives" sont d'une autre nature. Elles font appel à la population locale pour participer activement à la protection. Cette méthode implique que les populations concernées y trouvent un intérêt soit matériel, soit immatériel. L'intérêt matériel consiste en la récolte de produit ligneux pour des besoins médicaux, alimentaires, techniques et magiques. La forêt possède aussi une dimension spirituelle surtout pour les autochtones, à ce titre, elle est digne de respect. Il n'est pas de même pour les allochtones qui sont largement majoritaires à la périphérie (Rizebos, 1994).

Les mesures dites "substitutives" ont pour objectif de donner à la population locale, des moyens de subvenir à leurs besoins sans toucher à la forêt qu'elle considérerait comme espace agricole et fournisseur de protéine animale. Il s'agit par exemple des activités de

domestication de certaines espèces d'arbres fruitiers, de pisciculture en étangs, d'élevage des céphalophes, d'escargots.

4.2.5.1.2 L'aménagement des forêts denses humides ivoiriennes

Les aménagements sont réalisés à travers le programme appelé "Projet Sectoriel Forestier". A travers ce programme, 1,5 million d'ha de forêt seront aménagés, dont 700 000 ha sont en train d'être inventoriés, délimités, surveillés et dotés d'un plan d'aménagement fixant les règles sylvicoles d'exploitation et de régénération. Les 800 000 ha restants sont seulement délimités et surveillés. Des reboisements seront nécessaires sur près de 30 à 35% de la superficie du domaine permanent de l'Etat. Les agriculteurs illégalement installés dans les forêts classées seront régis par un code de conduite élaboré à leur intention.

4.2.5.1.3 Intensification de l'agriculture

Ces programmes de surveillance et d'aménagement des forêts classées, pour être efficaces, doivent intégrer la nécessité et l'urgence de l'intensification de l'agriculture. En effet, on ne peut pas aménager l'espace forestier de façon durable si la pression démographique environnante n'est pas maîtrisée. Un contrôle de l'occupation agricole à l'intérieur des massifs n'est pas suffisant si la population rurale environnante n'est pas stabilisée.

4.3 CONCLUSION

La diminution de l'évapotranspiration notée au cours de la décennie 1980-1989 est due, en plus de la baisse des précipitations, à la mise en culture des terres sur de vastes superficies. Ces couverts végétaux cultivés sont de caractéristiques différentes de celles de la forêt primaire. La déforestation a entraîné une augmentation de l'albédo (énergie rétrocedée à l'atmosphère): de 12% au cours de la décennie 1950-1959 à 15,5% durant la décennie 1980-1989. Ce qui signifie que l'énergie disponible pour l'évapotranspiration a baissé.

Cette diminution de l'évapotranspiration (ou recyclage des eaux de pluie) provoque une réduction des apports continentaux au flux de mousson. Ces conditions influencent certainement le gradient pluviométrique: la réduction progressive des précipitations, de la zone de pénétration de la mousson vers les régions intérieures est plus importante aujourd'hui qu'au cours de la décennie 1950-1959. C'est surtout, là où la presque totalité des forêts denses a été détruite (secteur de forêt ombrophile), que l'accélération est maximale.

Ces résultats montrent bien que la forêt dense joue un rôle important dans le maintien de la vapeur d'eau et par conséquent du potentiel précipitable du flux sud-ouest. Ce qu'atteste la conservation ou la très faible variation des qualités hygrométriques des régions encore très forestières de toute la bande ouest du pays. En effet, c'est la seule région de l'intérieur qui reçoit encore au cours des 10 dernières années des précipitations comprises entre 1400 et 1800 mm.

CONCLUSION GENERALE

Du point de vue bilan de cette étude on peut retenir les faits suivants.

1) Sur les sous-espaces pluviométriques du sud forestier ivoirien :

Les précipitations sont inégalement réparties sur l'ensemble du sud forestier ivoirien. Cinq aires pluviométriques ont été distinguées, sur la base des moyennes interannuelles et des corrélations existant entre les séries pluviométriques des différents postes : le secteur hyperhumide du littoral autour de Tabou (environ 2200 mm), le secteur humide du littoral est (1800 à 1900 mm), le secteur humide montagnard de l'ouest du pays (1700 à 2000 mm), le secteur de pluviométrie modérée du littoral centre entre Sassandra (1500 mm) et Grand-Lahou (1600 mm) et enfin, l'arrière-pays forestier à pluviométrie moindre (1200 mm à 1500 mm). La diminution des précipitations de la côte vers l'intérieur des terres se fait suivant un gradient sud-ouest/nord-est.

2) Sur la dégradation de la pluviométrie :

Une baisse importante des hauteurs pluviométriques annuelles et du nombre de jours de pluie interannuel a été observée sur la majeure partie du sud forestier ivoirien, globalement à partir de la fin des années 60. Cette diminution se manifeste par l'existence d'une rupture dans les séries pluviométriques. Le phénomène n'a pas eu la même intensité partout. Les localités situées à l'ouest du pays l'ont ressenti faiblement. On note même une absence de rupture à l'est (Agnibilekro, Abengourou) et sur le littoral ouest (Tabou). Partout ailleurs le décrochage de la pluviométrie a été brutal et estimé dans plusieurs cas à plus de 20%. L'analyse régionale montre d'une manière générale, et durant les décennies 1970-1979 et 1980-1989, l'important glissement vers le sud-ouest des différentes courbes d'isovaleurs et l'apparition des zones extrêmement déficitaires. A l'échelle mensuelle, le changement de moyenne dans les séries pluviométriques est identifiable, principalement sur le mois de juin (mois le plus pluvieux de l'année) et secondairement sur le mois d'octobre (mois le plus pluvieux de la deuxième saison humide).

3) Sur les conséquences pluviométriques de l'action humaine :

A côté de la baisse notable de la pluviométrie au cours des dernières décennies, on a observé que la part des forêts denses humides dans le territoire forestier ivoirien a considérablement diminué entre 1955 et 1990, passant de 8,3 à 1,5 millions d'hectares. L'ouest du pays est la seule région où les massifs forestiers sont encore importants. Sur le reste du territoire étudié, de très grandes superficies sont désormais occupées par des jachères et des cultures principales dont le binôme café-cacao. Basée sur la recherche permanente de terres vierges, l'expansion des cultures du café et du cacao au détriment de la forêt s'est faite en trois étapes: en effet, la poussée démographique et, par la suite, la mise en valeur rapide des terres agricoles s'est faite d'abord vers le sud-est du pays (jusqu'en 1965), ensuite vers le centre-sud et le centre-ouest (à la fin des années 60 et au cours des années 70), et enfin vers le sud-ouest (à partir du milieu et de la fin des années 70).

Des observations faites sur les dernières décennies, il ressort un certain parallélisme dans l'évolution des différents phénomènes étudiés : la densification et l'augmentation spectaculaire de la production s'accompagnent d'une diminution brutale du couvert végétal; les grands mouvements migratoires de l'histoire de l'activité agricole se superposent au schéma de l'évolution de la pluviométrie; le déplacement de la production cacaoyère et caféière suit le glissement des isohyètes. On peut donc situer historiquement les transformations climatiques locales en relation avec les dynamiques agricoles et démographiques.

La diminution de l'évapotranspiration réelle et l'augmentation de l'albédo, liées au changement physiologique du sud forestier ivoirien durant les dernières décennies, a pour conséquence la réduction des apports continentaux en vapeur d'eau à l'atmosphère. Or cet apport représente deux tiers des quantités totales d'eau précipitées sur le territoire de la Côte d'Ivoire (Aubreville, 1949).

A la lumière des faits évoqués ci-dessus, observés en Côte d'Ivoire, on peut dire que la forêt dense exerce une influence climatique régionale. Autant l'Océan Atlantique

humidifie les masses qui la parcourent, autant les forêts denses humides ivoiriennes influencent les précipitations par l'intermédiaire de l'évapotranspiration.

En fait, le problème des impacts de la déforestation sur la pluviométrie fait encore l'objet de nombreux débats dans de multiples études qui mettent en jeu des modélisations à l'échelle globale. Les résultats progressent mais ne proposent pas encore de réponse définitive en raison de la complexité des événements à prendre en compte. Des études qui prennent à contre-pied les travaux de Gornitz (1985), Charney (1989) et d'autres chercheurs qui voient une influence directe de la déforestation sur le climat, sont exposées par Bonnefille (1993) :

" des études récentes de modélisation montrent qu'une simulation d'une disparition complète de la forêt amazonienne, bien qu'ayant un effet non négligeable sur l'albédo, n'entraînerait qu'une faible décroissance des précipitations (de 4 à 0,5 mm/jour) ou de l'évapotranspiration locale, sans provoquer de changements significatifs de la température. En Afrique de l'ouest, 50 à 70% des espaces occupés par les forêts ont été transformés en cultures ou en jachères depuis le début du siècle. Malgré l'ampleur de ces transformations, les modifications induites de l'albédo ne semblent pas avoir affecté le climat régional".

Cette analyse avance ainsi le fait que les variations climatiques régionales mises en évidence par les données historiques ne seraient donc pas le seul fait de l'action anthropique récente mais traduiraient aussi, pour une large part, les fluctuations naturelles du climat.

Il importe tout de même de mentionner que des études sur les longues séries indiquent que la crise climatique actuelle est la plus sévère depuis le début du XXème siècle. Si donc les crises climatiques ne sont pas des phénomènes nouveaux, l'intensité avec laquelle elles s'établissent doit sans doute avoir un lien avec les conditions offertes par le milieu naturel, milieu qui change au fil des années avec la pression démographique.

Sans toutefois attribuer à la destruction du couvert végétal, la cause principale de la variabilité actuelle des précipitations, ces constats posent le problème de l'impact des facteurs anthropiques (défrichements) sur le régime climatique. Le débat reste ouvert, d'autres orientations de recherche sont possibles, qui pourraient utiliser des données NOAA.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANHUF D., 1993 : Etude de la végétation en Afrique au moment du dernier optimum climatique et du dernier pessimum climatique. Bonn, 60 p.

ASECNA, 1979 : Le climat de la Côte d'Ivoire. Service Météorologique, Abidjan, 74 p.

AUBREVILLE A, 1949 : Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. Edit. Géog. Mar. Et coloniales, Paris, 351 p.

AVENARD J-M., GIRARD G, SIRCOULON J., TOUCHEBEUF P., GUILLAUMET J.L., ADJONOHOUN E., PERRAUD A., 1971 : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, 391 P.

BALDY C., 1986 : Modifications des climats locaux liées à l'action de l'homme. in Agronomie et développement des régions arides et semi-arides, INRA, Paris, 39-62.

BANQUE MONDIALE, PNUD, BAD, MINISTERE DE LA COOPERATION FRANÇAISE, 1993 : Evaluation hydrologique de l'Afrique sub-saharienne; pays de l'Afrique de l'ouest. BECOM (Montpellier), SOGREAH (Grenoble), ORSTOM (Montpellier), 300 P.

BERNARD, E. A., 1945 : Le climat écologique de la cuvette centrale congolaise. Publ. INEAC. 240 p.

BERNARD, E. A., 1953 : L'évapotranspiration annuelle de la forêt équatoriale congolaise et l'influence de celle-ci sur la pluviosité. Inst. Roy. Col. Belge., Bull. des Scéances. XXIV, 1027-1032.

BONNEFILLE R., 1993 : Paléoclimat et déforestation. Sécheresse, vol. 4, n°4, 221-233.

BUISSON A., 1988 : Tendances climatiques pour l'évaluation de la pluviométrie durant la saison des pluies de l'Afrique sud-saharienne en 1988. VCS, n°24, 43-51

BUO BELLA D.F.X., CAUTENETS S., ACHYS A., 1993 : Analyse en composante principale des données du réseau pluviométrique en Côte d'Ivoire. Laboratoire de Physique Atmosphérique, université d'Abidjan, 55 p.

CAHAN P., DUVAL J., 1963 : Variations microclimatiques verticales et saisonnières dans la forêt sempervirente de basse Côte d'Ivoire. in Ann. Fac. Sci. Univ. dakar, vol. 8, S. 5-87.

CHARNEY J.G., 1975 : Dynamics of desert and drought in sahel. QJRMS, 101, 193-202.

CHATELAIN C., 1996 : Possibilité d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière. Thèse d'état, 206 p.

CHATELAIN C., LAURENT G., SPICHIGER R., 1995 : A recent history of forest fragmentation in southwestern Ivory Coast. Biodiversity and Conservation, 5, 37-53.

CHEVAULIER F., DONQUE G., GIACOHINO J.C., LEROUX M., 1975 : Six études de climatologie tropicale", Travaux et documents de Géographie tropicale n° 19, 195 p.

DCGTx, 1993 : Développement rural et préservation de l'environnement forestier - enjeux et perspectives en zone de forêt dense. DCGTx, 139 p.

DONHEUR G., 1975 : Traité de météorologie tropicale. Météo. Nat, Paris, 151 p.

DORY D., 1987 : Comment enrayer la disparition des forêts tropicales. Le monde diplomatique n° 395, 9-15.

ELDIN M., 1985 : Risques climatiques, éléments des risques encourus pour la production agricole. Dynamique des systèmes agraires. ORSTOM, Collection et séminaires, Paris, 232-238.

FAO, 1982 : Projet d'évaluation des Ressources Forestières Tropicales (dans le cadre du GEMS), Les Ressources Forestières de l'Afrique tropicale. Première partie. FAO, 1982.

FEHR S., 1979 : La pluviométrie du nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de 3^o cycle, Paris-Sorbonne, 472 P.

FILLERON J-C., 1994 : Phoenix, mythe ou réalité? Du bon usage du discours écologique dans les politiques d'intervention en milieu rural. Cahier de Géographie tropicale, IGT, 39-53.

GAN K.C., MCMAHON T.A., FINLAYSON B.C., 1990 : Analyse de la périodicité des données des débits de fleuves et des précipitations par les indices de Colwelles. Journal of Hydrology, 123, 105-118.

GORNTIZ V., NASA, 1985 : A survey of anthroponic vegetation changes in west Africa during the last century-climatic implications. Climate Change, 7, 285-325.

HENDERSON-SELLERS A., GORNITZ V., 1984 : Possible impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation. Climate Change, 6, 231-257.

HENDERSON-SELLERS A., DICKSON R.E., WILSON M.F., 1988 : Tropical deforestation important process for climate models. Climate Change, 13, 43-67.

HOEPFFNER M., MORELLE M., ROSSIGNOL D., 1985 : Variabilité des pluies en milieu insulaire à relief contrasté: le cas de la Guadeloupe. Colloque et séminaires, Climat et développement, ORSTOM, 103-105.

HORENT P., 1977 : Remplacement de la forêt par des plantations de type industriel. Première approche des conséquences bioclimatiques. Mémoire de Maîtrise, Abidjan, 71 p.

HUBERT P., CARBONNEL J.P., 1987 : Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'ouest. *Journal of Hydrology*, vol. 95, n°1, 165-181.

JACQUET J., 1990 : Les grands mouvements climatiques. *La houille blanche*, n°1/2 , 19-42.

KOLI BI Z., 1981 : Etude d'un milieu de forêt dense. Analyse et cartographie des paysages dans la région de Soubré (sud-ouest ivoirien). Thèse de 3^e cycle, IGT, Abidjan, 471 p.

KOLI BI Z., 1990 : Le front pionnier et l'évaluation récente des paysages forestiers dans le sud-ouest ivoirien. in la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest, Dakar, 175-201.

KOLI BI Z., 1994 : Un itinéraire de recherche : la cartographie des paysages - possibilités d'utilisation. *Cahier de Géographie tropicale*, IGT, 55-64.

KOUAME B., 1992 : Adéquation de différents modèles globaux pluie-débit pour déterminer les apports en eau dans les zones de transition et de forêt de la Côte d'Ivoire. Essai de régionalisation des paramètres. Thèse de Doctorat, Montpellier, 257 p.

KRA Y., 1990 : Paysages humanisées dans le sud-est ivoirien, à travers l'exemple du pays Akyé. in la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest, Dakar, 203-219.

LAPORTE N., 1990 : Etude de l'évolution spatio-temporelle de la végétation tropicale : Utilisation de données satellitaires NOAA AVHRR sur l'Afrique de l'OUEST. Thèse de Doctorat, Toulouse, 230 p.

LE BORGNE J., 1990 : La dégradation actuelle du climat en Afrique , entre Sahara et Equateur. in la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest, Dakar, 17-36.

LE ROUX, M., 1983 : Le climat de l'Afrique tropicale. Thèse d'état, ed. Statkine-Champion, 636 p + atlas.

LE ROUX M., 1988 : la variabilité des précipitations en Afrique occidentale : les composantes aérologiques. VCS, 22, 26-45.

LE ROUX X., 1995 : Etude et modélisation des échanges sol-végétation-atmosphère dans une savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire). Thèse d'état, Paris, 200 p.

LE ROUX X., POLCHER J., DEDIEU G., MENAUT J-C., MONTENY B., 1994 : Radiation exchanges above west African moist savanas : seasonal patterns and comparaison with a GCM simulation. Journal of Geophysical Research, vol. 99, n°D12, 25,587-25,868.

LEONARD E., OSWALD M., 1994 : Une agriculture sans forêt. Transformation de l'environnement et mise en place de systèmes agricoles stables en Côte d'Ivoire forestière. Bulletin du GIDIS-CI n°10, 10-35.

LHOMME J.P., MONTENY B., 1982 : Présentation d'une formule pratique d'estimation de l'évapotranspiration potentielle, conforme aux nouvelles recommandations internationales. Arch., Met. Geogr. Bikl. (B), 30, 253-260.

LLAURADO J.P., 1982 : Forêts tropicales: faits et perspectives. le Courrier n°74, 42-47.

LUBES H., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E., KOUAME B., 1994 : Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques, étude bibliographique. Programme ICCARE, ORSTOM, rapport n°3, 21 p.

LUBES H., MASSON J-M., RAOUS P., TAPIAU M., 1994 : Logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie : manuel de calcul. ORSTOM, 140 p.

MAHE G., L'HÔTE Y., 1992 : Utilisation de la méthode du vecteur régional pour la description des variations pluviométriques interannuelles en Afrique de l'ouest et centrale. VIIIème journées hydrologiques, ORSTOM, Paris, 175-192.

MAHE G., CITEAU J., 1993 : Relation océan-atmosphère-continent dans l'espace africain de la mousson Atlantique; Schéma général et cas particulier de 1984. Veille Climatique, n°94, 34-54.

MAHE G., OLIVRY J-C., 1995 : Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. Sécheresse, vol. 6, n°1, 109-117.

MALMER A., 1991 : Water-yield changes after clear-felling tropical rainforest and establishment of forest plantation in Sabah, Malaysia. Journal of Hydrology, 134, 77-94.

MOLINIER M., CADIER E., 1985 : Les sécheresses du Nordeste brésilien", Cahier ORSTOM. série hydrologie, vol. 11, n° 4, 23-49.

MONTENY B., 1986 : Importance of the tropical rain forest as an atmospheric moisture source. Proc. ISLSPC Conférence, Rome, ESA SP-248, 449-453.

MONTENY B., 1986 : Forêt équatoriale, relais de l'océan comme source de vapeur d'eau. Veille Climatique Satellitaire, n°12, 39-51.

MONTENY B., 1988 : Contribution à l'étude des interactions végétation-atmosphère en milieu tropical humide. Thèse d'état, Paris, 170 p.

MONTENY B., CASENAVE A., 1989 : The forest contribution to the hydrological budget in tropical west Africa. Annales Geophysicales, vol. 7, n°4, 427-436.

MORON V., 1994 : Variabilité des précipitations en Afrique au nord de l'équateur (1933-1990) et relation avec les températures de surface océanique et dynamique de l'atmosphère. Thèse de Doctorat, Bourgogne, 219 p + Atlas.

MUNN R. E., MACHTA L., 1979 : Activités humaines influençant le climat in Conférence mondiale sur le climat, OMM, 105-128.

OLDEMAN R. A. A, 1984 : Tropical Forest. MAB15, Publication UNESCO, 46-66.

OLIVRY J.C., BRIQUET J.P., 1991 : Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide? Hydrology of warm humid régions, Proc. IAHS Symp Yokohama 1993, 216, 67-78.

OTTERMAN J., 1974 : Baring high albedo soils by overgrazing : a hypothezed desertification mechanism. Science, 186, 531-533.

PAGNEY P., 1973 : La climatologie. Que sais-je, n°171, PUF, 127 p.

PEDELABORDE P., 1970 : Introduction à l'étude scientifique du climat. SEDES, Paris, 246p.

PATUREL J-E., SERVAT E., KOUAME B., BOYER J-F., LUBES H., MASSON J-M., 1995 : La sécheresse en Afrique de l'ouest non sahélienne (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Sécheresse, vol. 6, n°1, 95-102.

PEGUY CH. P., 1970 : Précis de climatologie. Masson, Paris, 468 p.

QUENCEY P., 1987 : Evolution de la pluviosité dans le sud ivoirien. Culture et forêt n°2, septembre 1987.

RIOU R., SEYLER F., 1995 : Contribution du sol dans la réflectance proche infrarouge de la forêt tropicale sur images SPOT. Geosciences de surface C.R. ACAD. Sci. Paris, t. 320, série II a, 1079-1086.

RIPLEY J., 1976 : Comments on the paper (dynamics of desert and drought in the Sahel) by J.G. Charney. QJRMS, 102, 466-467.

RONAN B., 1994 : La dynamique des populations rurales et le développement du système d'économie de plantation en Côte d'Ivoire: Les éléments d'une approche historique et géographique. Bulletin du GIDIS-CI n°7, 27-65.

ROUGERIE G., 1990 : Forêt denses, friches et "poumon vert. in la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest, Dakar, 77-90.

ROYER J.F., 1989 : Circulation atmosphérique et sécheresse. La houille blanche n°7/8, 497-504.

SALATI E., 1979 : Amazon bassin : a system in equilibrium. Science, 225, 129-138.

SAMBA-KIMBATA M-J., 1991 : Précipitations et bilan de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse d'état, Dijon, 242 p + 163 figures.

SANTIAGO-JEGADEN A., 1996 : L'influence des formations végétales sur la convection dans la zone de contact forêt-savane au Cameroun. Traitement et analyse d'images. in Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux, Symposium, CNRS-ORSTOM, Paris, 27-33.

SCHWARTZ A., 1977 : Le dynamisme pionnier dans le sud-ouest ivoirien et ses effets sur le milieu forestier. ORSTOM, Université nationale de Côte d'Ivoire (IGT et IES), Université de Paris, 209 p.

SERVAT E., 1993 : Evaluations régionales des ressources en eau. Application à la Côte d'Ivoire. ORSTOM, 154 p.

SERVAT E., PATUREL J-E., LUBES H., KOUAME B., OUEDRAOGO M., MASSON J-M., 1997 : Variabilité climatique en Afrique humide le long du Golfe de Guinée. Première partie : analyse détaillée du phénomène en Côte d'Ivoire. Journal of Hydrology, 191, 1-15.

SIRCOULON J., 1976 : Les données pluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940". Cahier de l'ORSTOM, série hydrologique, 1976, vol. XIII, n° 2, 75-174.

SOGBEDJI, 1977 : Etude de la pluviométrie du Togo méridional. ORSTOM, 25 p.

VAN ROMPAEY R. S.A.R., 1993 : Forest gradients in West Africa : a spatial gradient analysis. Thèse de Doctorat, Wagenigen, 142 p.

VANNISTEN S., DEMAREE G. R., 1991 : Détection et modélisation des sécheresses au Sahel : proposition d'une nouvelle méthodologie. Hydrologie Continentale, vol 6 n°2, 155-171.

VIERS G, 1974 : Eléments de climatologie. Nathan, Paris-Evian, 211 p.

WORD RESOURCES INSTITUTE, 1986 : Forêt tropicale: un appel à l'action. le Courrier, n° 95, 92-93.

WOTLING G., L'HÔTE Y., LE BARBE L., 1996 : Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine. A paraître dans Veille Climatologique Satellitaire.

WORD METEOROLOGICAL ORGANISATION, 1994 : Climate variability, agriculture and forestry. Technical note, n°196, 123-134.

YAO R., 1989 : Les changements climatiques en Côte d'Ivoire: tentative d'explication et esquisse de solution. Séminaire d'agroclimatologie et bioclimatologie. 10 p.

YAO R., 1990 : Productivité des savanes de Côte d'Ivoire: actes de séminaire international sur la productivité des savanes, la conservation et l'aménagement des aires protégées. Projet UNESCO/PNUD, 101-111.

YAO R., DOFISSI S., BALLO K., FONDIO L., 1993 : Déclin de la pluviosité en Côte d'Ivoire : impact éventuel sur la production du palmier à huile. Sécheresse, vol. 6, n°3 265-271.

ZHANG H., HENDERSON-SELLERS, MCGUFFIE K., 1995 : Impact of tropical deforestation. Part I : process analysis of local climatic change. Journal of Climate, vol. 9, 1497-1506.

TABLE DES MATIÈRES

TABLES DES MATIERES

AVANT PROPOS

INTRODUCTION GENERALE

1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE

2. ETAT DES LIEUX ET PROBLEMATIQUE

3. METHODE GENERALE ET PLAN DE L'ETUDE

1. CONDITIONS INFLUENÇANT LES PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST ET APERÇU SUR LE CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA CÔTE D'IVOIRE FORESTIERE.....21

1.1 LES CONDITIONS INFLUENÇANT LES PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST22

1.1.1 LES FACTEURS GÉNÉRAUX (*Pagney, 1973; Leroux, 1980*)..... 23

1.1.1.1 Circulation atmosphérique en Afrique occidentale 23

1.1.1.1.1 Les centres d'actions et l'équateur météorologique..... 23

1.1.1.1.2 Les principaux flux..... 26

1.1.1.2 Evolution spatiale et temporelle de l'équateur météorologique..... 28

1.1.1.2.1 Evolution moyenne du FIT..... 28

1.1.1.2.2 Fluctuation et perturbation dans le mouvement du FIT..... 31

1.1.2 LES FACTEURS RÉGIONAUX ET LOCAUX (*ASECNA, 1979; Donheur, 1980*) 33

1.1.2.1 Situation de "ligne de grain" 33

1.1.2.2 Les effets côtiers 34

1.1.2.2.1 Upwelling et Pilling-up 34

1.1.2.2.2 Les rapports terre-mer et leurs conséquences 35

1.1.2.2.3 L'influence des reliefs..... 35

1.2 LES GRANDS TRAITES DU MILIEU PHYSIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DE LA ZONE FORESTIERE IVOIRIENNE.....37

1.2.1 MORPHOLOGIE (*Avenard, 1971*)..... 37

1.2.2 VÉGÉTATION (*Guillaumet et Adjonohoun, in Avenard et al., 1971*) 38

1.2.3 SOL (*Perraud in Avenard et al., 1971*)..... 40

1.2.4 CLIMAT 41

1.2.4.1 Pluviométrie..... 41

1.2.4.2 Evapotranspiration potentielle 42

1.2.5 HYDROGRAPHIE (*Girard, Sircoulon et Touchebeuf, in Avenard et al., 1971*) 43

1.2.6 POPULATION ET ÉCONOMIE..... 45

1.3 CONCLUSION.....46

2. ANALYSE DES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES.....47

2.1 CRITIQUE ET CARACTERISATION DES OBSERVATIONS51

2.1.1 CRITIQUE ET CORRECTIONS DES DONNÉES.....	51
2.1.1.1 Critique des données basée sur la méthode des doubles cumuls.....	51
2.1.1.2 Critique des données basée sur la méthode du vecteur régional.....	52
2.1.1.3 Correction des données.....	56
2.1.2 CARACTÉRISATION DES STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES.....	58
2.1.2.1 Caractéristiques statistiques descriptives des séries pluviométriques.....	58
2.1.2.2 Analyse en composantes principales.....	62
2.1.2.3 Ajustement à un modèle, des distributions des hauteurs annuelles de pluie et estimation des périodes de retour en années sèches et humides.....	67
2.2 EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN.....	71
2.2.1 MÉTHODES DE DÉTECTION DE RUPTURE.....	71
2.2.1.1 Méthodes d'analyse du caractère aléatoire.....	71
2.2.1.1.1 L'autocorrélation.....	71
2.2.1.1.2 Test de corrélation sur le rang.....	74
2.2.1.2 Méthodes de détection de rupture.....	75
2.2.1.2.1 Test de Pettitt (1979).....	75
2.2.1.2.2 Méthode bayésienne de Lee et Heghinian.....	76
2.2.1.2.3 Segmentation de Hubert (1989).....	77
2.2.1.2.4 Statistique U de Buishand (1982, 1984).....	78
2.2.2 EVOLUTION DES HAUTEURS PLUVIOMÉTRIQUES ANNUELLES.....	79
2.2.2.1 Résultats des tests de détection de ruptures.....	79
2.2.2.1.1 Périodes de rupture.....	85
2.2.2.1.2 Ampleur de la baisse des précipitations.....	86
2.2.2.2 Evolution des isohyètes et indices pluviométriques annuelles au cours de la période 1950-1990.....	87
2.2.2.2.1 Isohyètes.....	87
2.2.2.2.2 Indices pluviométriques.....	93
2.2.3 EVOLUTION DES HAUTEURS PLUVIOMÉTRIQUES MENSUELLES.....	96
2.2.3.1 Résultat des tests de détection de rupture dans les séries pluviométriques mensuelles.....	96
2.2.3.2 Etude de la sécheresse climatique des types de mois au cours de la dernière décennie.....	98
2.2.4 EVOLUTION DU NOMBRE ANNUEL DE JOURS DE PLUIE.....	106
2.2.4.1 Résultats des tests de détection de rupture.....	106
2.2.4.2 Evolution des courbes isovaleurs du nombre de jours de pluie interannuel au cours de la période 1950-1990.....	107
2.2.5 EVOLUTION DU NOMBRE MENSUEL DE JOURS DE PLUIE.....	112
2.2.5.1 Résultats des tests de détection de rupture sur les séries mensuelles de nombre de jours de pluie.....	112
2.2.5.2 Quantification de la diminution du nombre mensuel de jours de pluie entre les périodes 1950-1959 et 1980-1989.....	113
2.3 CONCLUSION.....	116
3. LE SUD FORESTIER IVOIRIEN ET SA TRANSFORMATION PAR LES ACTIVITES HUMAINES	118
3.1 DESCRIPTION DU PAYSAGE FORESTIER NATUREL.....	120
3.1.1 CARACTÈRES PRINCIPAUX DU PAYSAGE FORESTIER TROPICAL HUMIDE.....	120
3.1.1.1 Permanence globale du feuillage.....	120

3.1.1.2 Entretien d'un microclimat.....	120
3.1.2 <i>STRUCTURE</i>	121
3.2 <i>DYNAMIQUE AGRICOLE ET TRANSFORMATION DU MILIEU</i>	124
3.2.1 <i>DYNAMIQUE AGRICOLE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN</i>	125
3.2.1.1 Evolution spatiale et temporelle de l'économie de plantation (café-cacao) en Côte d'Ivoire forestière.....	125
3.2.1.2 Evolution des autres activités et produits agricoles.....	136
3.2.1.2.1 L'exploitation forestière.....	136
3.2.1.2.2 Les produits agro-industriels.....	137
3.2.1.2.3 Les autres produits.....	139
3.2.1.2.4 Les cultures vivrières.....	140
3.2.2 <i>TRANSFORMATION DU MILIEU FORESTIER</i>	142
3.2.2.1 Transformation physionomique.....	142
3.2.2.1.1 Paysages créés par l'exploitation forestière.....	142
3.2.2.1.2 Les défrichements suivis des cultures vivrières.....	142
3.2.2.1.3 Les plantations en cultures de rente (café, cacao).....	143
3.2.2.1.4 Les plantations en cultures industrielles (Palmier et Hévéa).....	144
3.2.2.1.5 Les friches et "la brousse" forestière.....	144
3.2.2.2 Evolution des surfaces forestières.....	146
3.3 <i>CONCLUSION</i>	154
4. RECHERCHE DES INTERACTIONS ENTRE L'EVOLUTION DU COUVERT FORESTIER ET LA VARIABILITE CLIMATIQUE ENTRE 1950 ET 1993	155
4.1 <i>ETUDE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DES ACTIVITES AGRICOLES ET CELLE DE LA PLUVIOMETRIE</i>	157
4.1.1 <i>ANALYSE PONCTUELLE (À L'ÉCHELLE STATIONELLE)</i>	157
4.1.2 <i>ANALYSE SPATIALISÉE</i>	158
4.2 <i>ESSAI D'ANALYSE DES IMPLICATIONS CLIMATIQUES DE L'ANTHROPISATION DU MILIEU FORESTIER IVOIRIEN</i>	163
4.2.1 <i>DÉFINITION DES NOTIONS ANALYSÉES (ETR, ALBÉDO, GRADIENT PLUVIOMÉTRIQUE)</i>	163
4.2.2 <i>ETUDE DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE (ETR) DES COUVERTS FORESTIERS SUR LES DÉCENNIES 1950-1959 ET 1980-1989</i>	164
4.2.2.1 Estimation de l'ETR au cours des décennies 1950-59 et 1980-89.....	164
4.2.2.2 Les facteurs conditionnant la variation spatio-temporelle de l'ETR dans le milieu forestier ivoirien.....	168
4.2.3 <i>EVOLUTION DE L'ALBÉDO AU COURS DES 40 DERNIÈRES ANNÉES</i>	173
4.2.4 <i>ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DU GRADIENT PLUVIOMÉTRIQUE ENTRE LES PÉRIODES 1950-59 ET 1980-89</i>	177
4.2.4.1 Bilan des apports océaniques et continentaux en vapeurs d'eau de l'atmosphère.....	177
4.2.4.2 Analyse des résultats.....	179
4.2.5 <i>GESTION DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER IVOIRIEN ET INTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE</i>	185
4.2.5.1.1 Les mesures de protection de la forêt.....	185

4.2.5.1.2 L'aménagement des forêts denses humides ivoiriennes.....	186
4.2.5.1.3 Intensification de l'agriculture.....	186
4.3 CONCLUSION.....	187

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: SITUATION DU SUD FORESTIER IVOIRIEN	2
FIGURE 2: STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE TROPICALE AFRICAINE AU COURS DE L'ETE BOREAL	24
FIGURE 3: LES FLUX EN SAISON SECHE: EN JANVIER ET EN JUILLET SUR L'AFRIQUE OCCIDENTALE	29
FIGURE 4: HYSOMETRIE ET VEGETATION DU SUD FORESTIER IVOIRIEN	39
FIGURE 5: CARTE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA COTE D'IVOIRE	44
FIGURE 6 : LOCALISATION DES POSTES PLUVIOMETRIQUES RETENUS.....	50
FIGURE 7 : AIRES PLUVIOMETRIQUES EN COTE D'IVOIRE.....	61
FIGURE 8 : CERCLE DES CORRELATIONS.....	65
FIGURE 9 : REGROUPEMENT DES POSTES PLUVIOMETRIQUES A PARTIR DE L'ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE.....	66
FIGURE 10 : PROBABILITE DE NON DEPASSEMENT DES PLUIES DECENNALES SECHES ET HUMIDES, L'EXEMPLE D'ABENGOUROU	68
FIGURE 11 : AUTOCORRELOGRAMME DES PRECIPITATIONS ANNUELLES - INTERVALLE DE CONFIANCE A 95% CUMUL DES HAUTEURS DE PLUIE SUR L'ANNEE ENTIERE	73
FIGURE 12: ELLIPSES DE CONTROLE A 95,90 ET 80% -VARIABLE U DE BUISSHAND. CUMUL DES HAUTEURS DE PLUIE SUR L'ANNEE ENTIERE- BOUAFLE.....	81
FIGURE 13 : EVOLUTION DE LA VARIABLE U DU TEST DE PETTITT. CUMUL DES HAUTEURS DE PLUIE SUR L'ANNEE ENTIERE - BOUAFLE.....	82
FIGURE 14 : PROCEDURE DE LEE ET HEGHINIAN -DISTRIBUTION A POSTERIORI DE L'AMPLITUDE D'UN CHANGEMENT. CUMUL DE PLUIE SUR L'ANNEE ENTIERE -BOUAFLE	83
FIGURE 15 : PROCEDURE DE LEE ET HEGHINIAN -DISTRIBUTION A POSTERIORI D'UN CHANGEMENT. CUMUL DE PLUIE SUR L'ANNEE ENTIERE -BOUAFLE	83
FIGURE 16 : SUD FORESTIER IVOIRIEN - EVOLUTION DES CLASSES DELIMITEES PAR LES COURBES ISOHYETES 1400 ET 1800 MM AU COURS DES DECENNIES 1950-1959 ET 1960-1969.....	88
FIGURE 17 : SUD FORESTIER IVOIRIEN -HAUTEURS ANNUELLES (EN MM) AU COURS DES DECENNIES 1950-1959 ET 1960-1969	89
FIGURE 18 : SUD FORESTIER IVOIRIEN - EVOLUTION DES CLASSES DELIMITEES PAR LES COURBES ISOHYETES 1400 ET 1800 MM AU COURS DES DECENNIES 1970-1979 ET 1980-1989.....	91
FIGURE 19 : SUD FORESTIER IVOIRIEN -HAUTEURS ANNUELLES (EN MM) AU COURS DES DECENNIES 1970-1979 ET 1980-1989	92
FIGURE 20 : SUD FORESTIER IVOIRIEN - CARTOGRAPHIE DES COURBES D'ISOVALEURS D'INDICES PLUVIOMETRIQUES POUR LES DECENNIES 1950-1959 ET 1960-1969	94
FIGURE 21 : SUD FORESTIER IVOIRIEN - CARTOGRAPHIE DES COURBES D'ISOVALEURS D'INDICES PLUVIOMETRIQUES POUR LES DECENNIES 1970-1979 ET 1980-1989	95
FIGURE 22 : SUD FORESTIER IVOIRIEN - EVOLUTION DES CLASSES D'ISOVALEURS DU NOMBRE DE JOURS DE PLUIE INTERANNUEL POUR LES DECENNIES 1950-1959 ET 1960-1969	108

FIGURE 23 : SUD FORESTIER IVOIRIEN -NOMBRE DE JOURS DE PLUIE AU COURS DES DECENNIES 1950-1959 ET 1960-1969	109
FIGURE 24 : SUD FORESTIER IVOIRIEN - EVOLUTION DES CLASSES D'ISOVALEURS DU NOMBRE DE JOURS DE PLUIE INTERANNUUEL POUR LES DECENNIES 1970-1979 ET 1980-1989	110
FIGURE 25 : SUD FORESTIER IVOIRIEN -NOMBRE DE JOURS DE PLUIE AU COURS DES DECENNIES 1970-1979 ET 1980-1989	111
FIGURE 26 : STRUCTURE PLURISTRATE DE LA FORET DENSE	122
FIGURE 27 : DENSITE DE POPULATION RURALE ET PRODUCTION AGRICOLE (CAFE-CACAO) EN COTE D'IVOIRE FORESTIERE EN 1965	127
FIGURE 28 : EVOLUTION DES PRODUCTIONS CAFE-CACAO DANS LE SUD-EST IVOIRIEN (ADZOPE).....	128
FIGURE 29 : DENSITE DE POPULATION RURALE ET PRODUCTION AGRICOLE (CAFE-CACAO) EN COTE D'IVOIRE FORESTIERE EN 1975	131
FIGURE 30: EVOLUTION DES PRODUCTIONS CAFE-CACAO DANS LE CENTRE-OUEST IVOIRIEN (GAGNOA).....	132
FIGURE 31 : DENSITE DE POPULATION RURALE ET PRODUCTION AGRICOLE (CAFE-CACAO) EN COTE D'IVOIRE FORESTIERE EN 1988	134
FIGURE 32 : EVOLUTION DES PRODUCTIONS CAFE-CACAO DANS LE SUD-OUEST IVOIRIEN (SASSANDRA).....	135
FIGURE 33 : EXPORTATION DE GRUME EN COTE D'IVOIRE DE 1956 A 1988	137
FIGURE 34: EVOLUTION DES SUPERFICIES PLANTEES DE PALMIER A HUILE ET DE COCOTIER DE 1966 A 1988.....	138
FIGURE 35: AIRES DE PRODUCTION DES PRINCIPALES CULTURES D'EXPORTATION DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN	141
FIGURE 36 : LES ETAPES DE LA TRANSFORMATION DU MILIEU FORESTIER	144
FIGURE 37 : SCHEMAS D'EVOLUTION DES MILIEUX FORESTIERS PAR DES PROFILS PHYSIONOMIQUES	145
FIGURE 38: MASSIFS DE FORETS DENSES HUMIDES EN COTE D'IVOIRE EN 1955.....	147
FIGURE 39: MASSIFS DE FORETS DENSES HUMIDES EN COTE D'IVOIRE EN 1993.....	148
FIGURE 40: OCCUPATION DU SOL DANS QUELQUES LOCALITES DE LA ZONE FORESTIERE IVOIRIENNE EN 1988....	150
FIGURE 41 : COMPARAISON ENTRE LA PLUVIOMETRIE ET LES DONNEES AGRO-DEMOGRAPHIQUES AU COURS DE LA DECENNIE 1960-1969 : ETUDE DIACHRONIQUE.....	159
FIGURE 42 : COMPARAISON ENTRE LA PLUVIOMETRIE ET LES DONNEES AGRO-DEMOGRAPHIQUES AU COURS DE LA DECENNIE 1980-1989 : ETUDE DIACHRONIQUE.....	160
FIGURE 43 : MASSIFS DE FORETS DENSES HUMIDES ET SITUATION PLUVIOMETRIQUE AU COURS DE LA DECENNIE 1980-1989	162
FIGURE 44 : EVOLUTION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE SUR DEUX BASSINS VERSANTS DU SUD FORESTIER IVOIRIEN AU COURS DES PERIODES 1955-1963 ET 1980-1989	167
FIGURE 45 : LOCALISATION DES POINTS DE MESURES DES ECHANGES VEGETATION-ATMOSPHERE ETUDIEES PAR MONTENY EN 1988.....	169
FIGURE 46 : ZONES BIOCLIMATIQUES ET EVOLUTION DU GRADIENT PLUVIOMETRIQUE EN COTE D'IVOIRE SUR PERIODES 1950-1959 ET 1980-1989 DE JANVIER A AOUT.....	181

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURE 47 : ZONES BIOCLIMATIQUES ET EVOLUTION DU GRADIENT PLUVIOMETRIQUE EN COTE D'IVOIRE SUR PERIODES 1950-1959 ET 1980-1989 DE SEPTEMBRE A DECEMBRE..... 182

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE INTERTROPICALE (D'APRES ELDIN, IN AVENARD ET AL., 1971)	30
TABLEAU 2 : CLASSIFICATION DE LA VEGETATION (D'APRES GUILLAUMET ET ADJONOHOUN, IN AVENARD ET AL., 1971).....	38
TABLEAU 3 : REPARTITION MENSUELLE DES PLUIES (MM) DE QUELQUES STATIONS ALLANT DU LITTORAL AUX REGIONS INTERIEURES DU SUD FORESTIER IVOIRIEN DE 1950 A 1992 (DONNEES ANAM, AGENCE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE ET DE LA METEOROLOGIE).....	42
TABLEAU 4 : EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE EN MM DE QUELQUES STATIONS ALLANT DU LITTORAL AUX REGIONS INTERIEURES DU SUD FORESTIER IVOIRIEN DE 1977 A 1995 (DONNEES ANAM).....	42
TABLEAU 5 : COORDONNEES GEOGRAPHIQUES, ALTITUDES ET DATE D'IMPLANTATION DES POSTES PLUVIOMETRIQUES RETENUS	49
TABLEAU 6 : ANOMALIES ET ERREURS SYSTEMATIQUES DETECTEES PAR LA METHODE DU VECTEUR REGIONAL DANS LA ZONE D'ETUDE CONSIDEREE.....	54
TABLEAU 7 : CORRECTION DES ANOMALIES ET ERREURS SYSTEMATIQUES DETECTEES POUR LES DONNEES DES STATIONS ETUDIEES DU SUD FORESTIER IVOIRIEN.....	57
TABLEAU 8 : VALEURS CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE DES STATIONS ETUDIEES DU SUD FORESTIER IVOIRIEN	59
TABLEAU 9 : VALEURS PROPRES ET INERTIE DES AXES	63
TABLEAU 10 : CORRELATION DES PRINCIPAUX AXES AVEC LES STATIONS.....	64
TABLEAU 11 : HAUTEURS POUR DES PERIODES DE RETOUR DECENNALE.....	70
TABLEAU 12 : RESULTATS DES PROCEDURES DE DETECTION DE RUPTURE DANS LES SERIES CHRONOLOGIQUES....	80
TABLEAU 13 : RUPTURES ET CARACTERISTIQUES DES SOUS-SERIES DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES, DELIMITEES DE PART ET D'AUTRE DE LA DATE DE RUPTURE	84
TABLEAU 14 : RUPTURE DANS LES SERIES PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES	97
TABLEAU 15 : BILAN CLIMATIQUE DE LA STATION D'AGNIBILEKRO POUR LA DECENNIE 1980-1989	100
TABLEAU 16 : BILAN CLIMATIQUE DE LA STATION DE GAGNOA POUR LA DECENNIE 1980-1989	101
TABLEAU 17 : BILAN CLIMATIQUE DE LA STATION D'ABIDJAN POUR LA DECENNIE 1980-1989	102
TABLEAU 18 : BILAN CLIMATIQUE DE LA STATION DE DALOA POUR LA DECENNIE 1980-1989	103
TABLEAU 19 : BILAN CLIMATIQUE DE LA STATION DE GUIGLO POUR LA DECENNIE 1980-1989	104
TABLEAU 20 : RUPTURE DANS LES SERIES PLUVIOMETRIQUES DU NOMBRE DE JOURS DE PLUIE INTERANNUEL ...	106
TABLEAU 21 : RUPTURE DANS LES SERIES PLUVIOMETRIQUES DU NOMBRE MENSUEL DE JOURS DE PLUIE.....	112
TABLEAU 22 : QUANTIFICATION DE LA DIMINUTION DU NOMBRE MENSUEL DE JOURS DE PLUIE ENTRE LES PERIODES 1950-1959 ET 1980-1989.....	114
TABLEAU 23 : SUPERFICIES PLANTEES DE BANANE POYO, ANANAS ET D'AGRUMES A ESSENCES DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN (EN HECTARES)	139
TABLEAU 24 : SUPERFICIES PLANTEES EN CULTURES VIVRIERES AU COURS DE L'ANNEE 1984 DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN	140

TABLEAU 25 : EVOLUTION PAR REGION DES ZONES FORESTIERES SOUS EMPRISE HUMAINE ENTRE 1955 ET 1993	151
TABLEAU 26 : LA DEFORESTATION EN AFRIQUE TROPICALE ET EQUATORIALE	152
TABLEAU 27 : COMPARAISON ENTRE LES PERIODES D'IRRUPTION DES DEFICITS PLUVIOMETRIQUES ET LA MISE EN EXPLOITATION DE LA FORET DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN	157
TABLEAU 28 : DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS DE LA ZONE FORESTIERE IVOIRIENNE CONCERNES PAR L'ETUDE (DONNEES DIRECTION DE L'EAU, 1993)	164
TABLEAU 29 : BILAN HYDROLOGIQUE DANS LE SUD FORESTIER IVOIRIEN AU COURS DES DECENNIES 1950-1959 ET 1980-1989	166
TABLEAU 30 : ECHANGE SURFACE VEGETALE-ATMOSPHERE DANS LE SUD-FORESTIER IVOIRIEN.....	170
TABLEAU 31 : MODIFICATIONS MICROCLIMATIQUES ENTRE LA FORET ET LES COUVERTS CULTIVES DANS LA REGION D'ABIDJAN	171
TABLEAU 32 : ETAT DU COUVERT FORESTIER SUR LES BASSINS VERSANTS ETUDIES.....	171
TABLEAU 33 : OCCUPATION DU SOL EN 1955.....	174
TABLEAU 34 : OCCUPATION DU SOL APRES 1970	174
TABLEAU 35 : ALBEDO DES DIFFERENTES SURFACES VEGETALES	175
TABLEAU 36 : ALBEDO DES FORMATIONS VEGETALES COMPOSEES	175
TABLEAU 37 : MODIFICATION DE L'ALBEDO DANS LE SUD-OUEST ET L'OUEST IVOIRIEN	176
TABLEAU 38 : TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE DE SURFACE DE LA MER A TABOU	179
TABLEAU 39 : EVOLUTION DU GRADIENT PLUVIOMETRIQUE SUR LES PERIODES 1950-1959 ET 1980-1989	180

ANNEXES

**ANNEXE I : COMPLEMENT GRAPHIQUE DES
TESTS DE DETECTION DE RUPTURE DANS LES
SERIES PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES**

AI

Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090000100 ABIDJAN AERO**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -4.15477

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué
rupture détectée au seuil de 10%
rupture détectée au seuil de 5%
rupture détectée au seuil de 1%

Pettitt : test effectué
rupture détectée dans la série
Année supposée de ruptur 1976
Probabilité de dépassement 2.62E-03

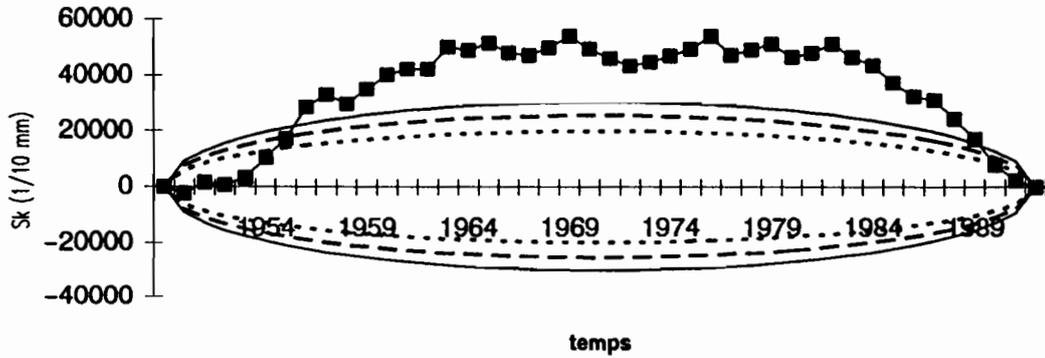
Méthode Bayésienne de Lee et Heghiniat test effectué
Année supposée de ruptur 1982
Probabilité d'une rupture : 0.381825

Segmentation de Hubert : test effectué
niveau de signification : 0.05

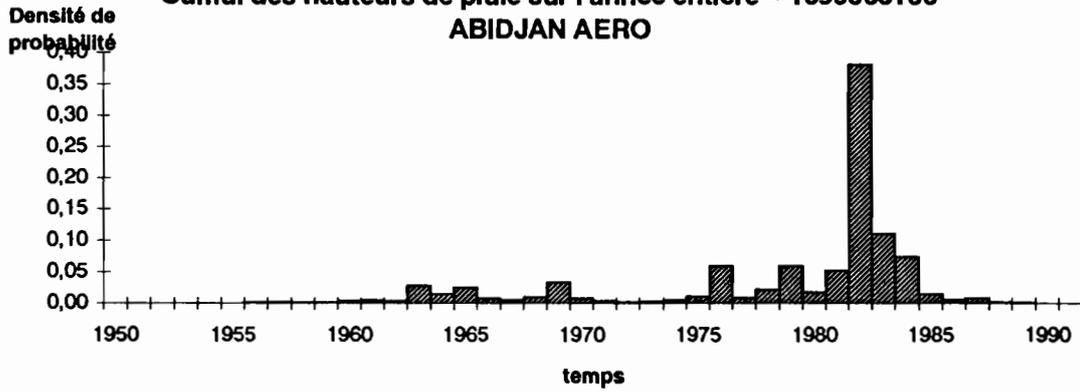
Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1950	1953	20561	2906,3
1954	1956	28116	2748,2
1957	1982	20617	3694,3
1983	1992	14617	2367,9

Indépendance des résidus acceptés

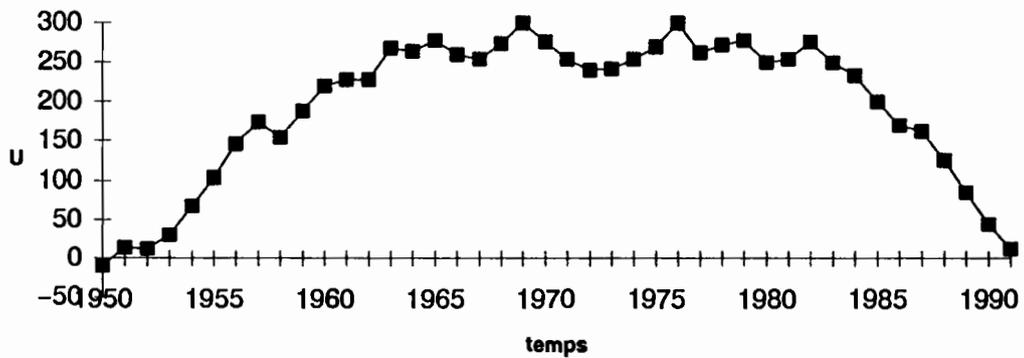
**Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Bulshand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090000100
ABIDJAN AERO**



**Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090000100
ABIDJAN AERO**



**Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090000100
ABIDJAN AERO**



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090000400 ABENGOUROU – IRCC**

Variable étudiée : **Racine carree de Cumui des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -0.83116

Série aléatoire au seuil de 95%

Série aléatoire au seuil de 90%

Série aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture non détectée au seuil de 10%

rupture non détectée au seuil de 5%

rupture non détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

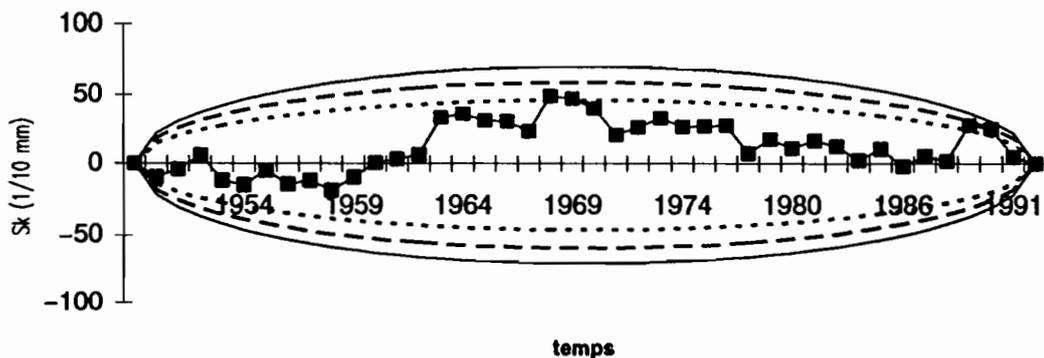
rupture non détectée dans la série

Méthode Bayésienne de Lee et Heghini test effectué

Année supposée de ruptur 1990

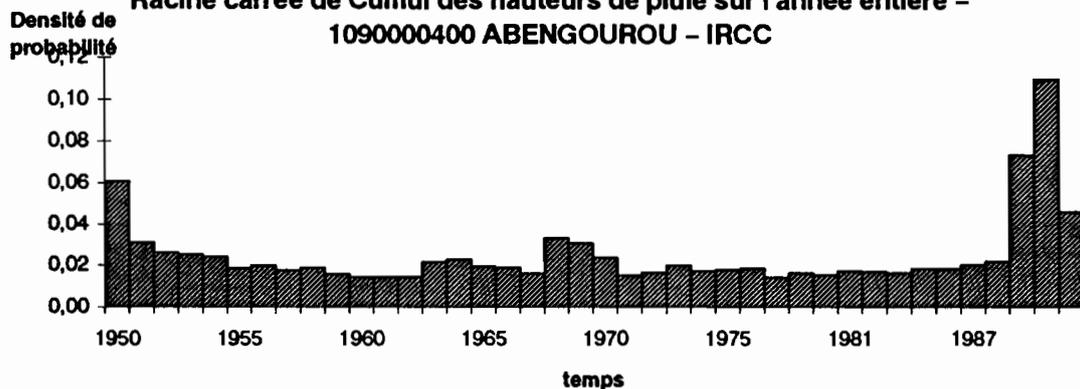
Probabilité d'une rupture : 0.109556

Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Bulshand
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090000400 ABENGOUROU - IRCC



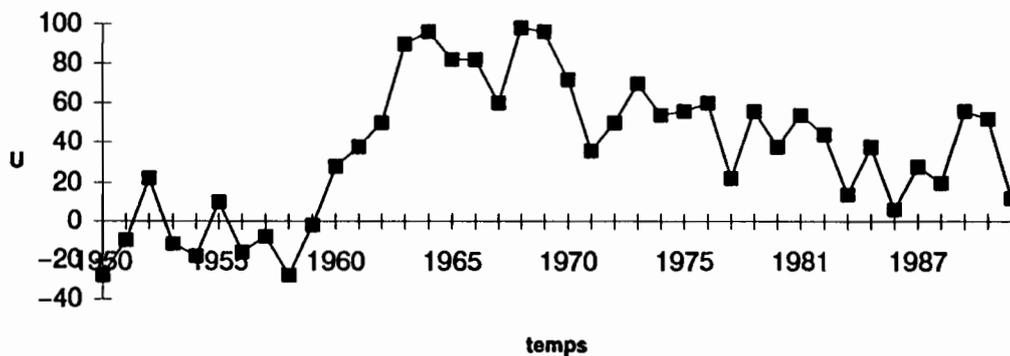
Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement

Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090000400 ABENGOUROU - IRCC



Evolution de la variable U du Test de Pettitt

Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090000400 ABENGOUROU - IRCC



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090001000 ABOISSO**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1993**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.17494

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture non détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1968

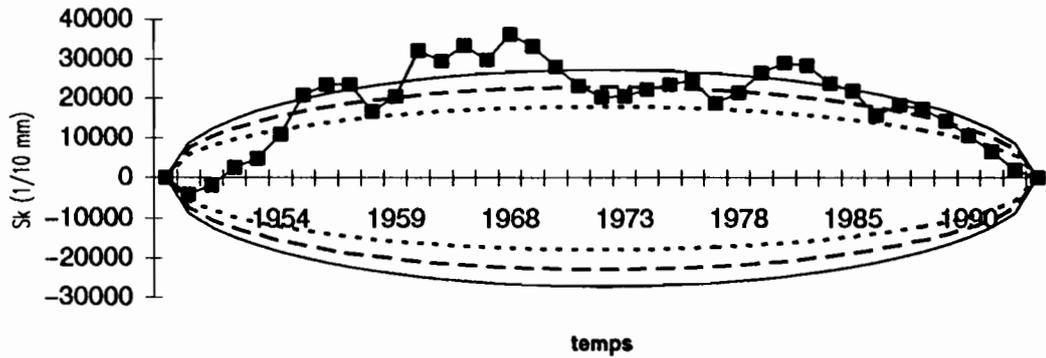
Probabilité de dépasseme 9.54E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghinia test effectué

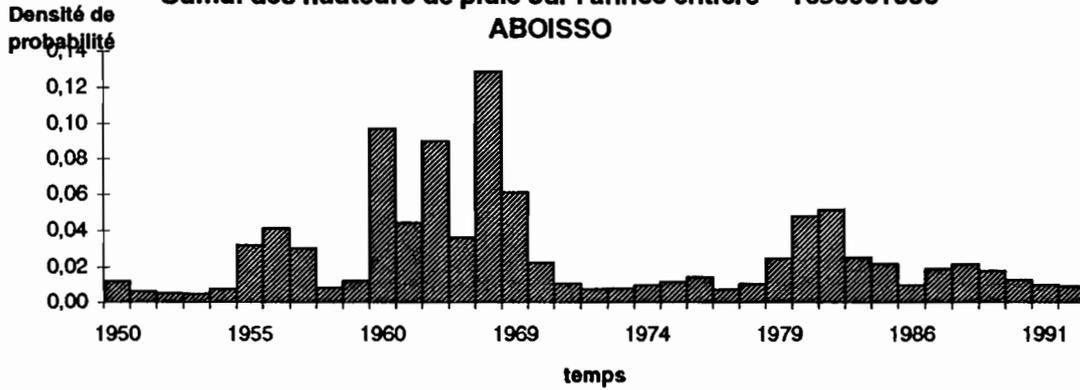
Année supposée de ruptur 1968

Probabilité d'une rupture : 0.129144

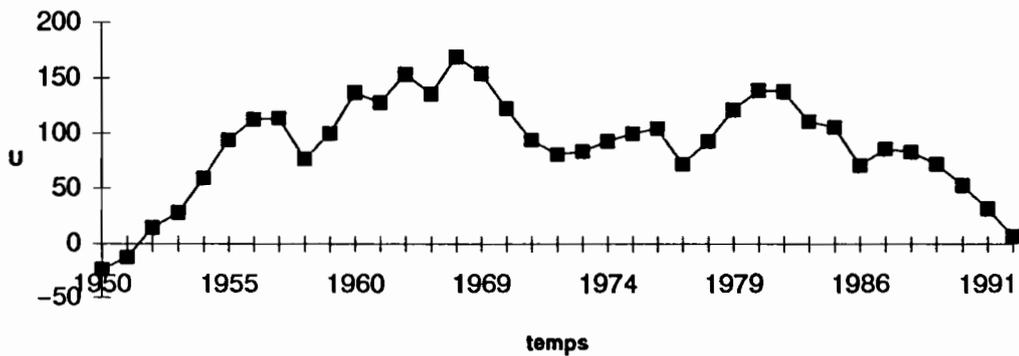
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001000
ABOISSO



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001000
ABOISSO



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001000
ABOISSO



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090001300 ADIAKE**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1993**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -4.16708

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1970

Probabilité de dépassement 1.52E-03

Méthode Bayésienne de Lee et Heghinia test effectué

Année supposée de ruptur 1982

Probabilité d'une rupture : 0.319666

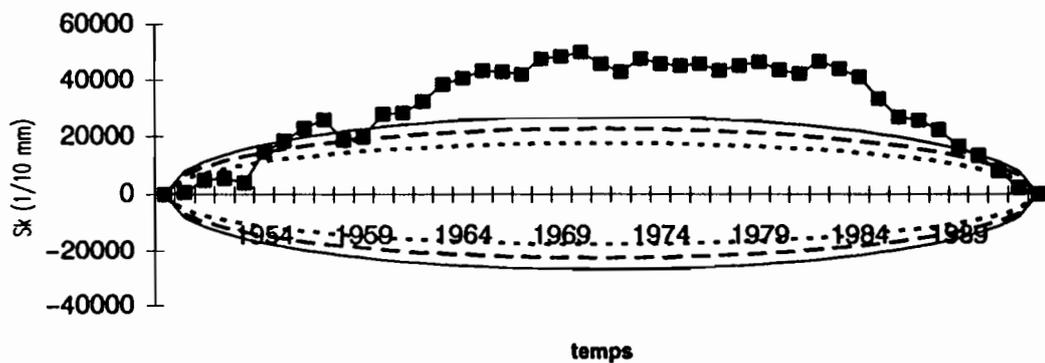
Segmentation de Hubert : test effectué

niveau de signification : 0.05

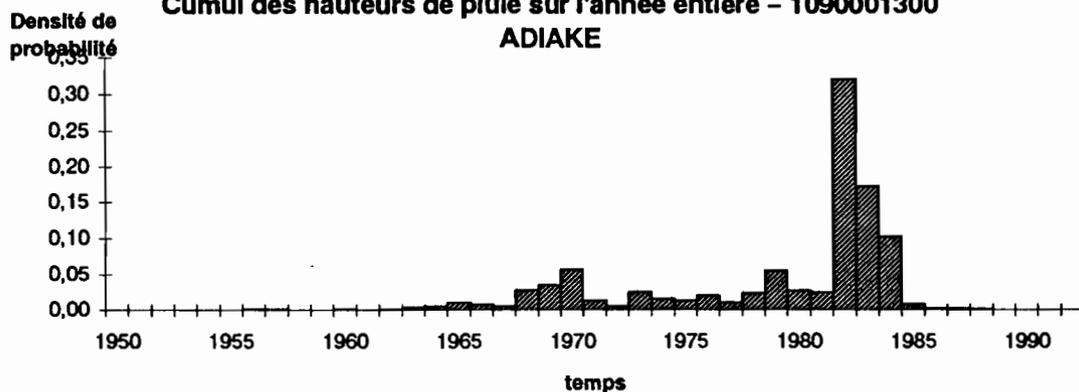
Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1950	1957	22931	3711,9
1958	1958	12510	0
1959	1970	22310	2806,5
1971	1993	17519	3220

Indépendance des résidus acceptés

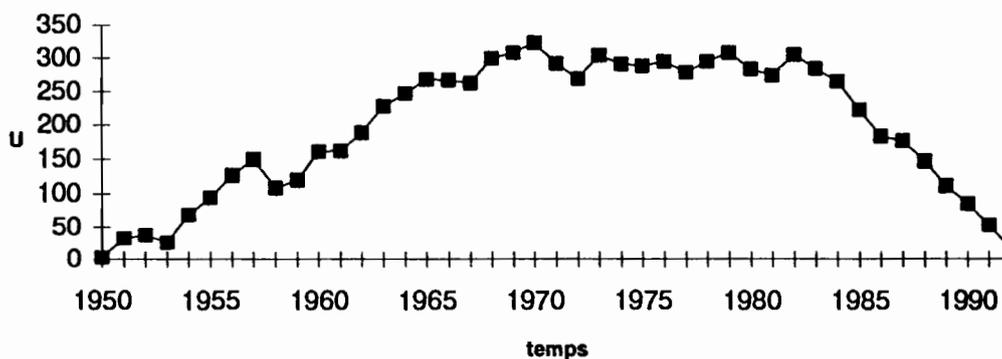
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001300
ADIAKE



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001300
ADIAKE



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001300
ADIAKE



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090001900 ADZOPE**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.74186

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1968

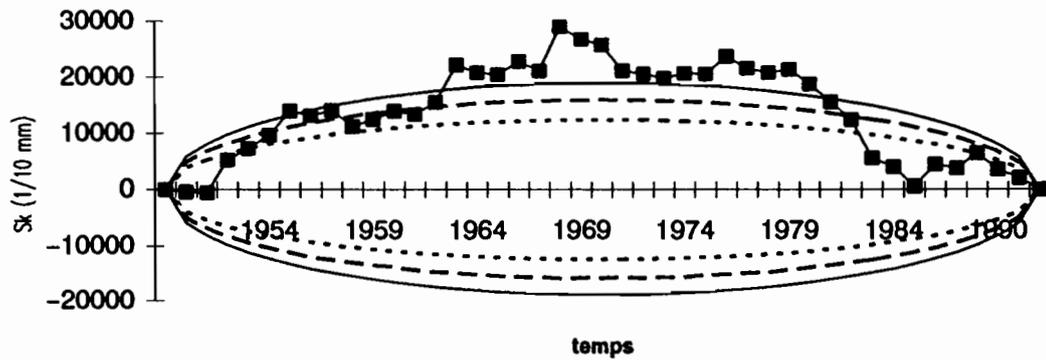
Probabilité de dépasseme 1.48E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghiniat test effectué

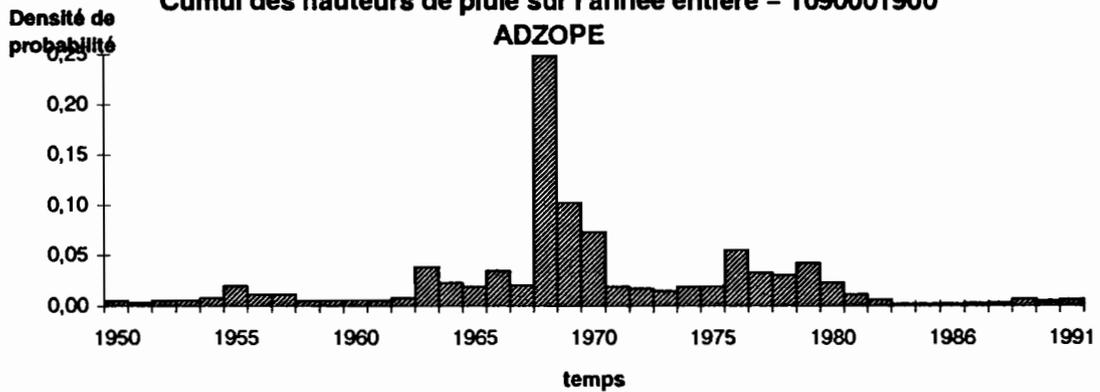
Année supposée de ruptur 1968

Probabilité d'une rupture : 0.248495

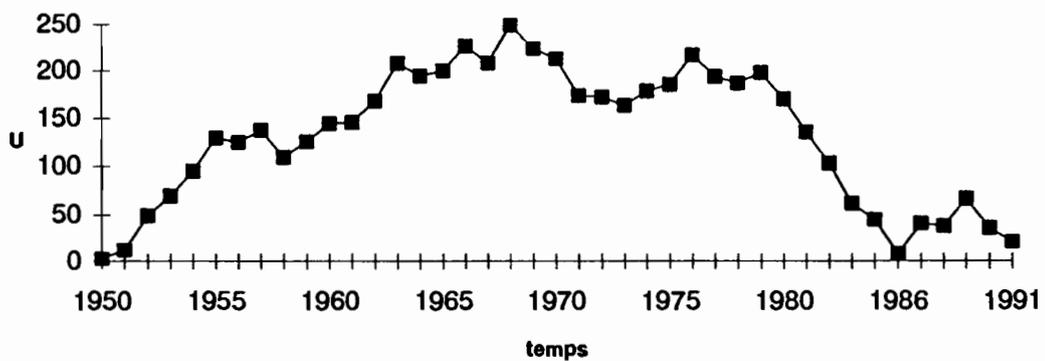
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001900
ADZOPE



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001900
ADZOPE



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090001900
ADZOPE



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090002500 AGNIBILEKRO**

Variable étudiée : **Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -1.46015

Série aléatoire au seuil de 95%

Série aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture non détectée au seuil de 10%

rupture non détectée au seuil de 5%

rupture non détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

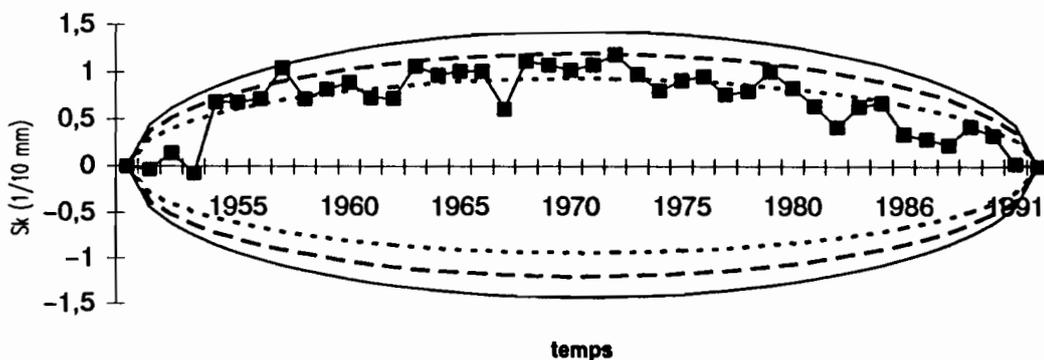
rupture non détectée dans la série

Méthode Bayésienne de Lee et Heghini test effectué

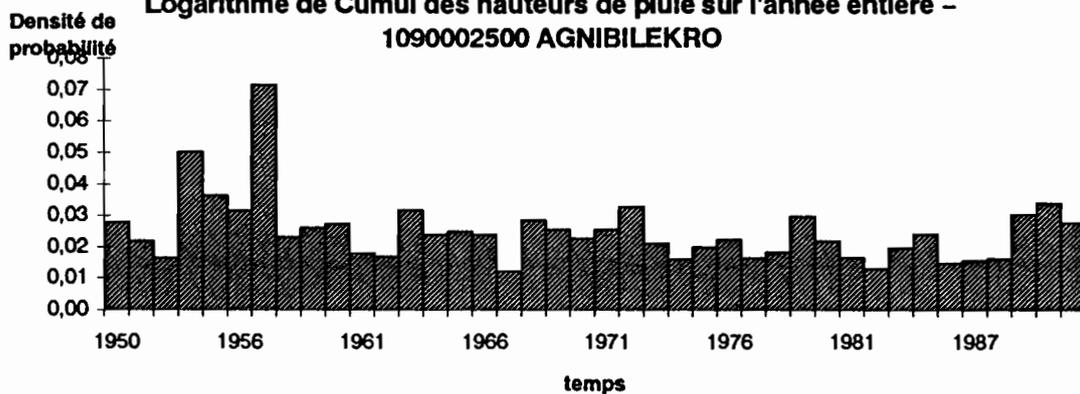
Année supposée de ruptur 1957

Probabilité d'une rupture : 0.071556

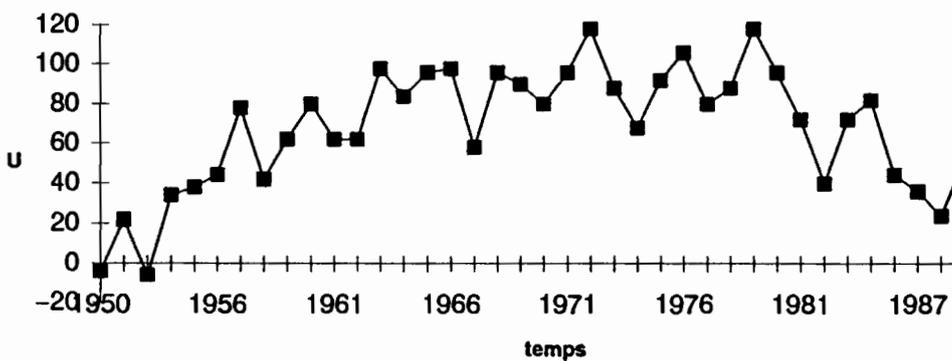
**Ellipses de controle à 95, 90 et 80% – variable U de Buishand
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière –
1090002500 AGNIBILEKRO**



**Procédure de Lee et Heghinian – Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière –
1090002500 AGNIBILEKRO**



**Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière –
1090002500 AGNIBILEKRO**



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090002800 ALEPE**

Variable étudiée : **Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1956** à **1993**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -1.40594

Série aléatoire au seuil de 95%

Série aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture non détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1963

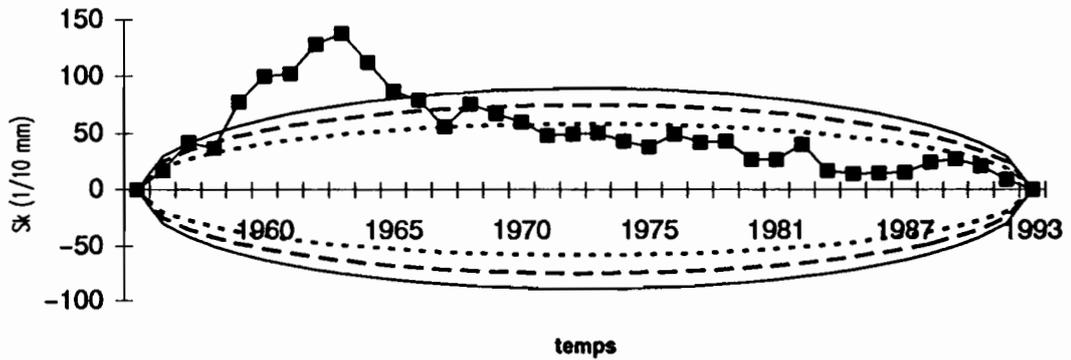
Probabilité de dépasseme 3.57E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghiniat est effectué

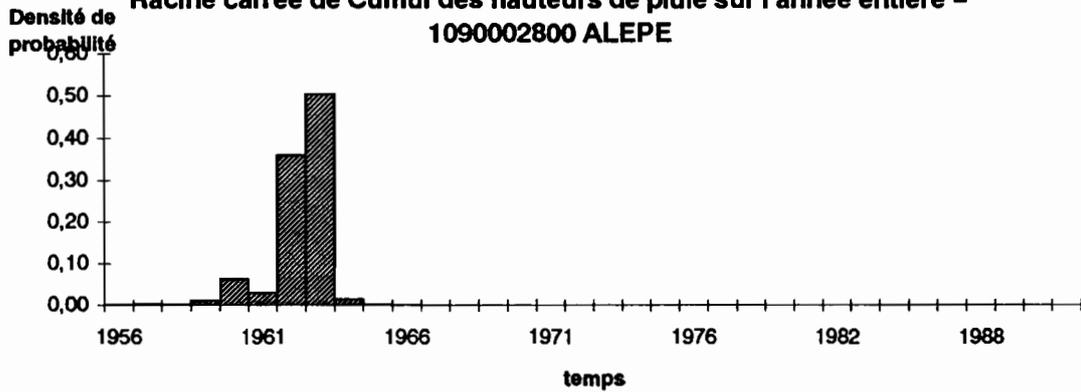
Année supposée de ruptur 1963

Probabilité d'une rupture : 0.504713

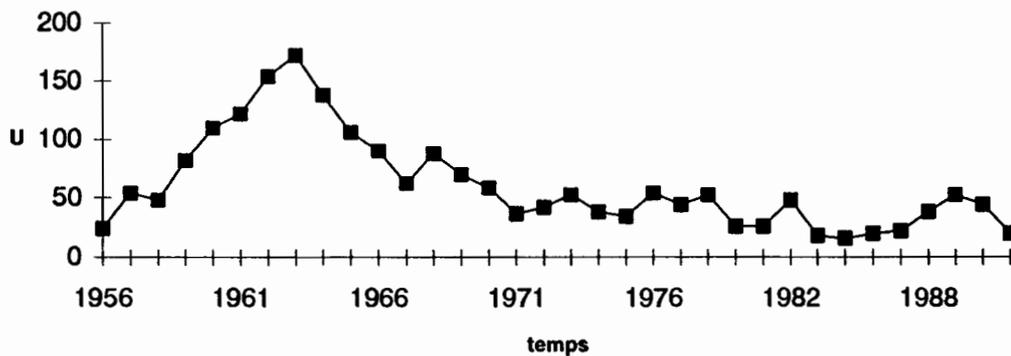
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Bulshand
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090002800 ALEPE



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090002800 ALEPE



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090002800 ALEPE



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090003100 AZAGUIE**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1983**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.43049

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

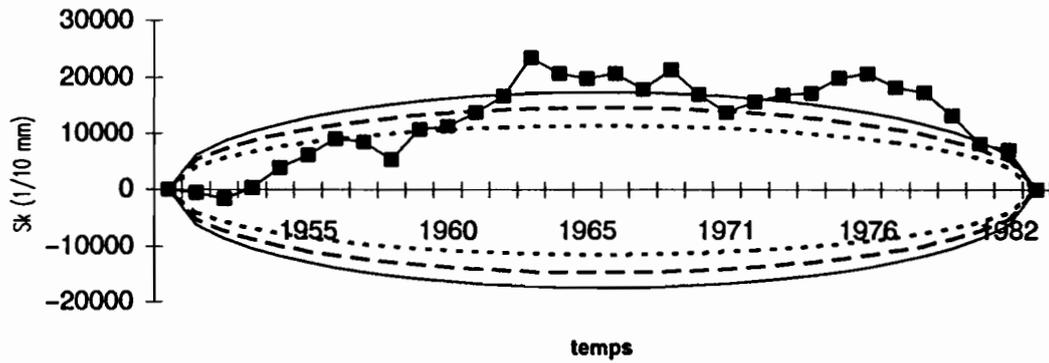
Test de Buishand : test effectué
rupture détectée au seuil de 10%
rupture détectée au seuil de 5%
rupture non détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

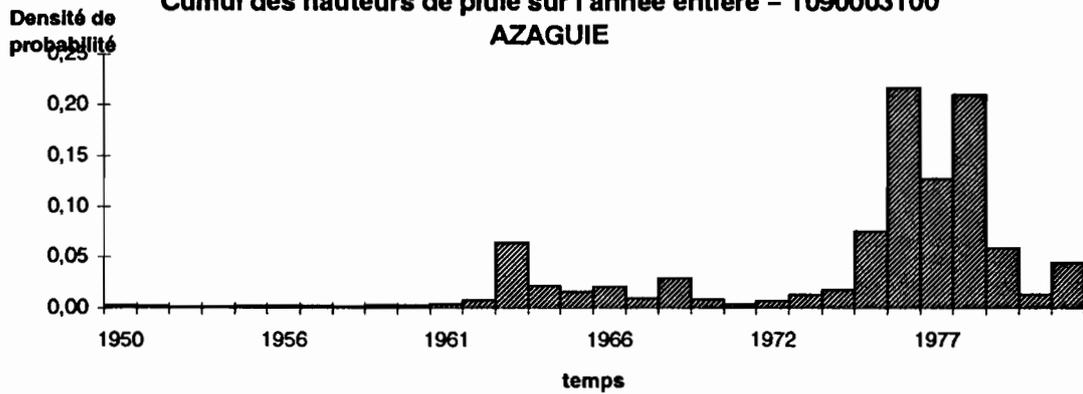
Pettitt : test effectué
rupture détectée dans la série
Année supposée de ruptur 1963
Probabilité de dépassement 6.68E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghinia test effectué
Année supposée de ruptur 1976
Probabilité d'une rupture : 0.21671

**Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Bulshand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090003100
AZAGUIE**



**Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090003100
AZAGUIE**



**Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090003100
AZAGUIE**

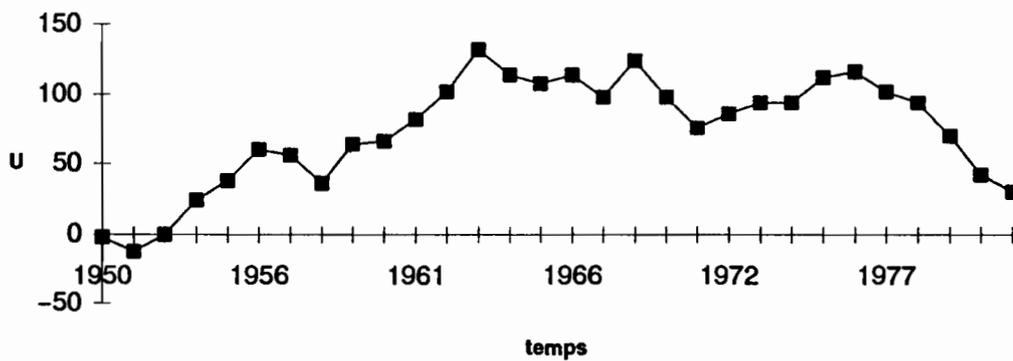


Tableau 12 : Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090005200 BOUAFLE**

Variable étudiée : **Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.83613

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de rupture 1972

Probabilité de dépassement 2.40E-03

Méthode Bayésienne de Lee et Heghinia test effectué

Année supposée de rupture 1972

Probabilité d'une rupture : 0.315258

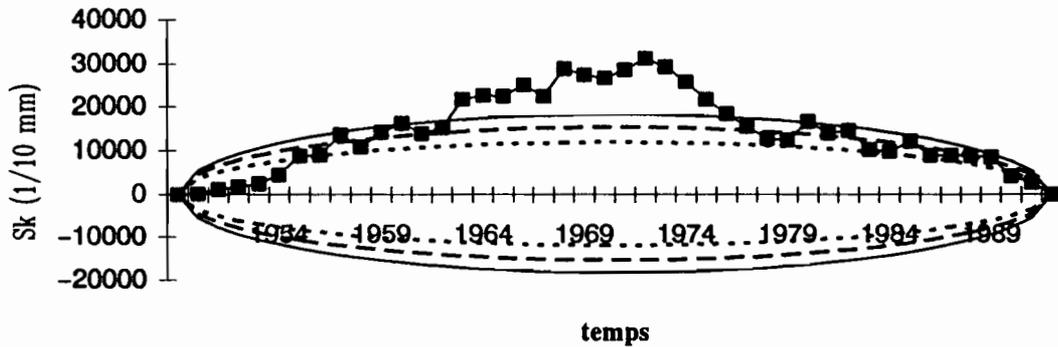
Segmentation de Hubert : test effectué

niveau de signification : 0.05

Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1950	1972	14015	2590,4
1973	1992	11096	2323,6

Indépendance des résidus acceptés

Figure 12 : Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière BOUAFLE



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090005200 BOUAFLE

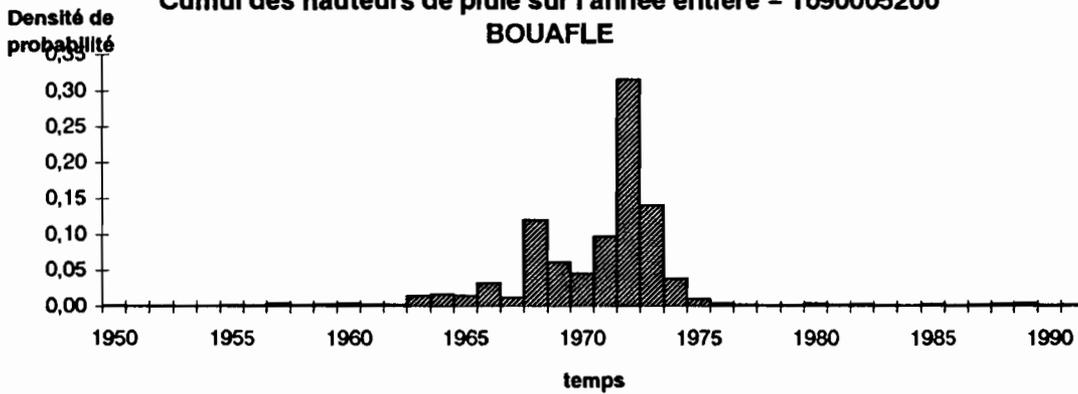
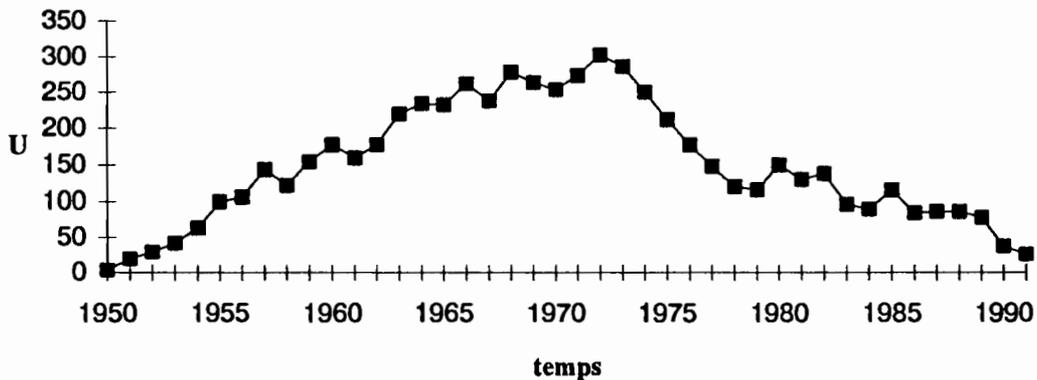


Figure : 13 Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière BOUAFLE



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090007000 CECHI**

Variable étudiée : **Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1951** à **1986**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.2312

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1963

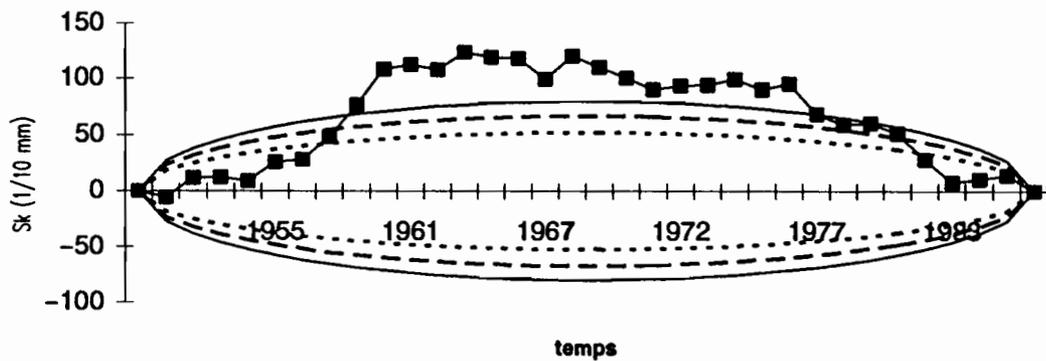
Probabilité de dépasseme 4.29E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghiniat est effectué

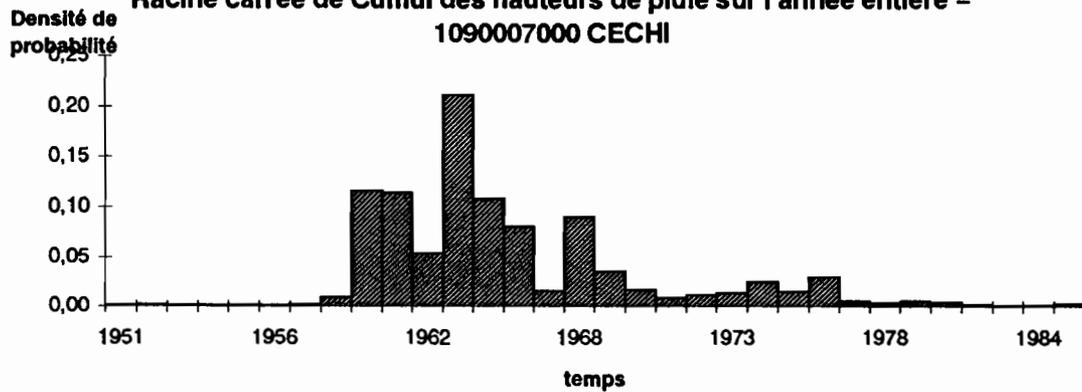
Année supposée de ruptur 1963

Probabilité d'une rupture : 0.211257

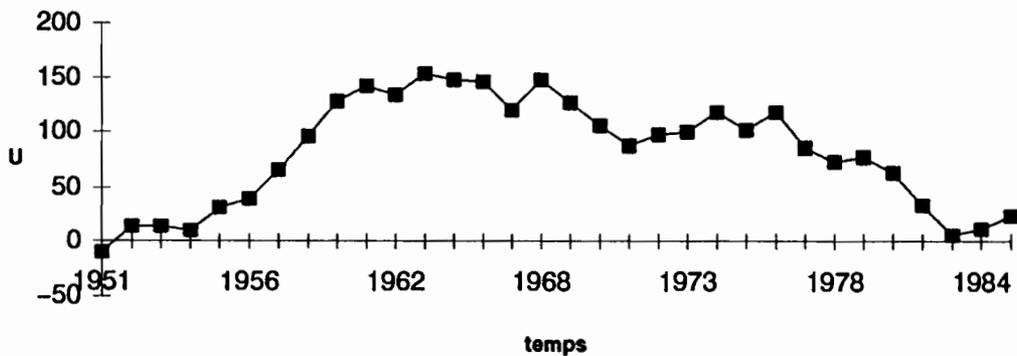
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007000 CECHI



Procédure de Lee et Heghlnian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007000 CECHI



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007000 CECHI



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090007600 DABOU**

Variable étudiée : **Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1954** à **1993**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -3.67817

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

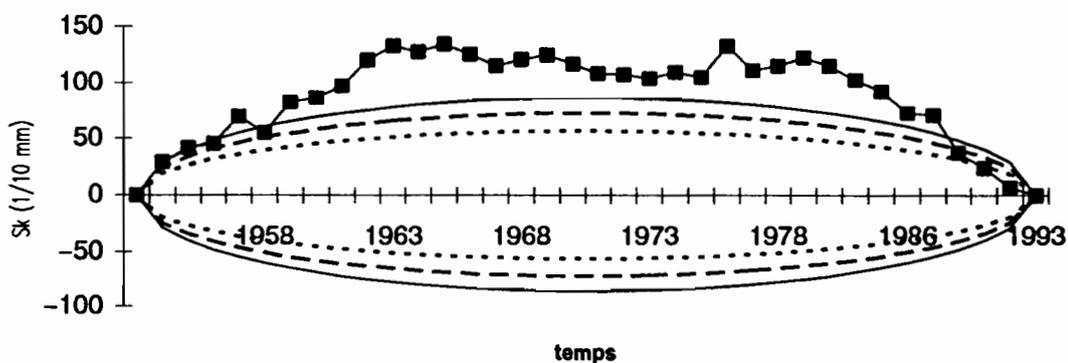
Test de Buishand : test effectué
rupture détectée au seuil de 10%
rupture détectée au seuil de 5%
rupture détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

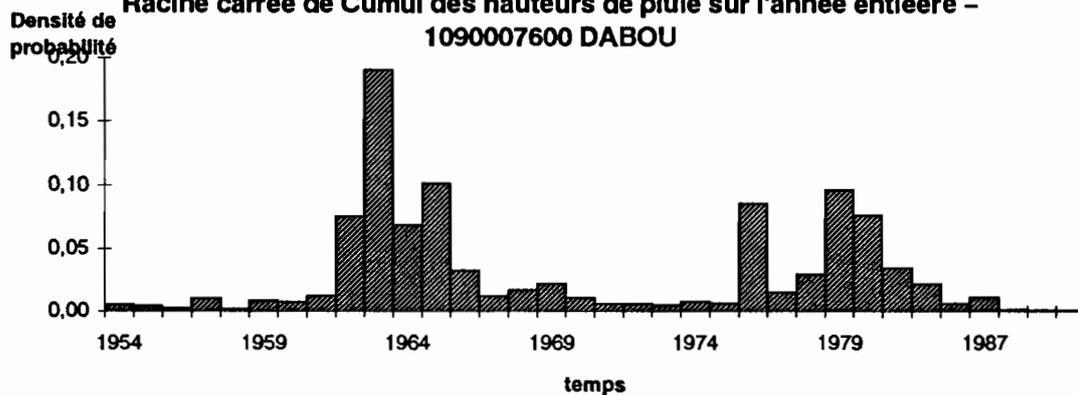
Pettitt : test effectué
rupture détectée dans la série
Année supposée de ruptur 1976
Probabilité de dépasseme 1.81E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghiniat est effectué
Année supposée de ruptur 1963
Probabilité d'une rupture : 0.190443

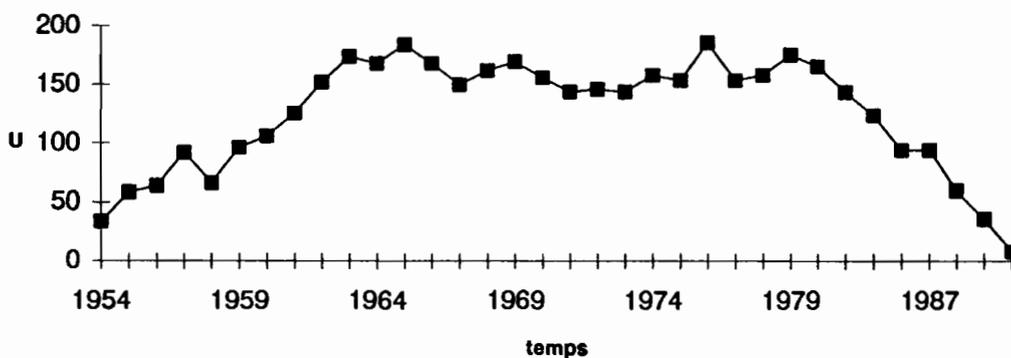
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007600 DABOU



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007600 DABOU



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Racine carree de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007600 DABOU



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090007900 DALOA AGRICOLE**

Variable étudiée : **Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -3.00597

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1972

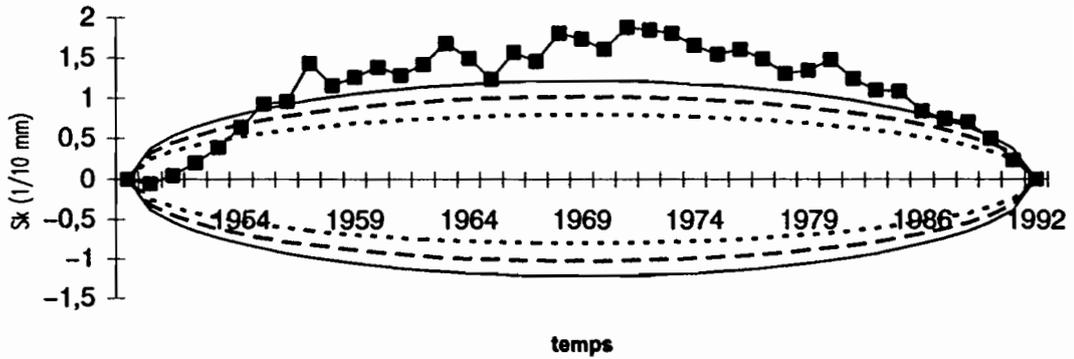
Probabilité de dépassement 3.97E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghinia test effectué

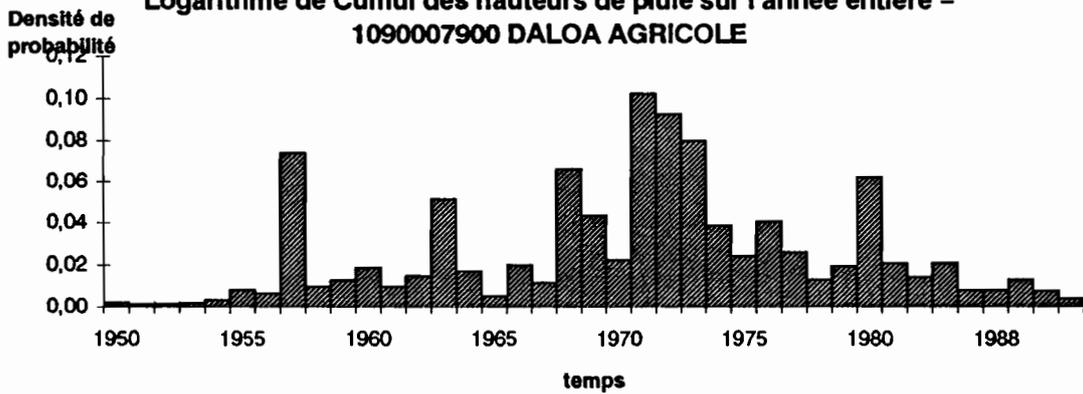
Année supposée de ruptur 1971

Probabilité d'une rupture : 0.102316

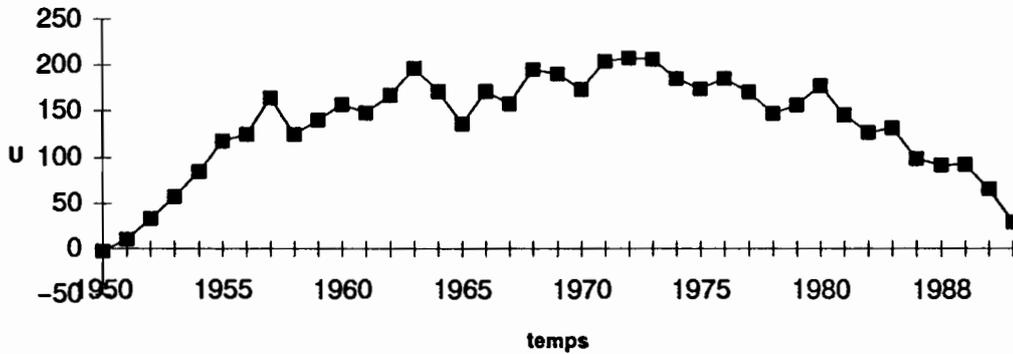
**Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Bulshand
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007900 DALOA AGRICOLE**



**Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007900 DALOA AGRICOLE**



**Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090007900 DALOA AGRICOLE**



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090008200 DANANE**

Variable étudiée : **Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1979**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -1.65922

Série aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture non détectée au seuil de 5%

rupture non détectée au seuil de 1%

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1966

Probabilité de dépasseme 2.78E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghini test effectué

Année supposée de ruptur 1966

Probabilité d'une rupture : 0.336038

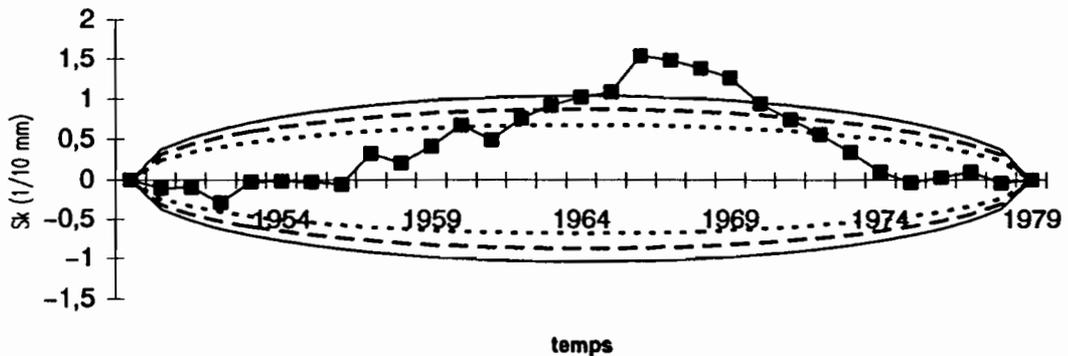
Segmentation de Hubert : test effectué

niveau de signification : 0.05

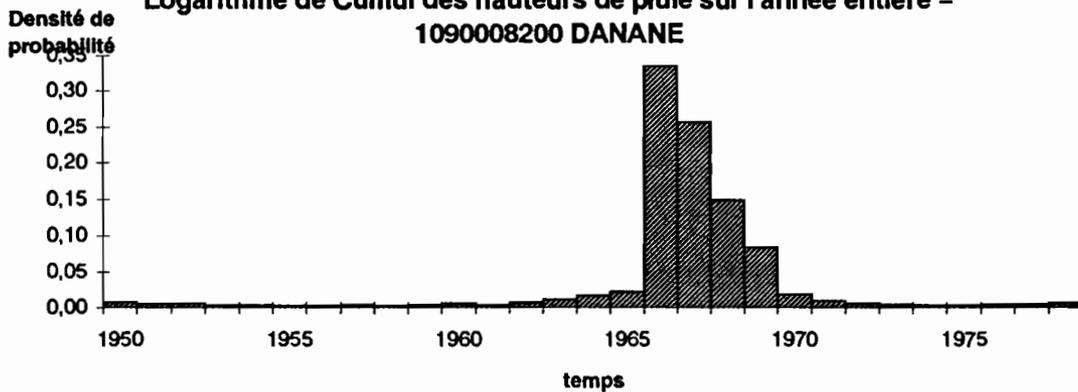
Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1950	1965	22990	4052
1966	1966	33315	0
1967	1979	18933	2325

Indépendance des résidus acceptés

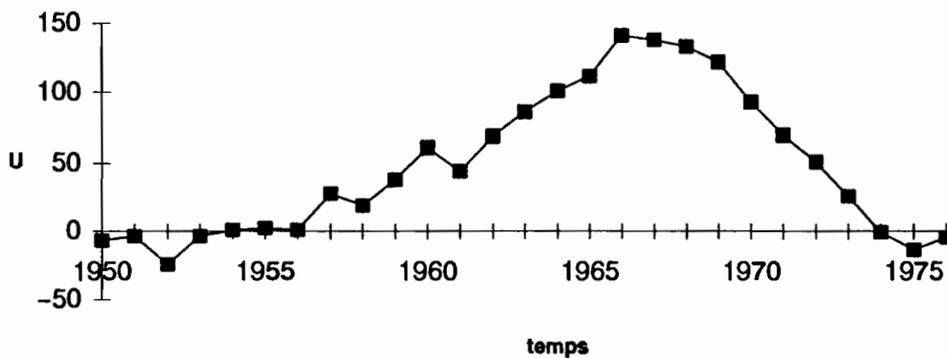
**Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090008200 DANANE**



**Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la
position d'un changement
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090008200 DANANE**



**Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Logarithme de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière -
1090008200 DANANE**



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : **1090009400 DIVO**

Variable étudiée : **Box et Cox de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière avec Lambda = -0.13**

la période d'observation s'étend de **1950** à **1992**

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -3.41378

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Segmentation de Hubert : test non effectué

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1964

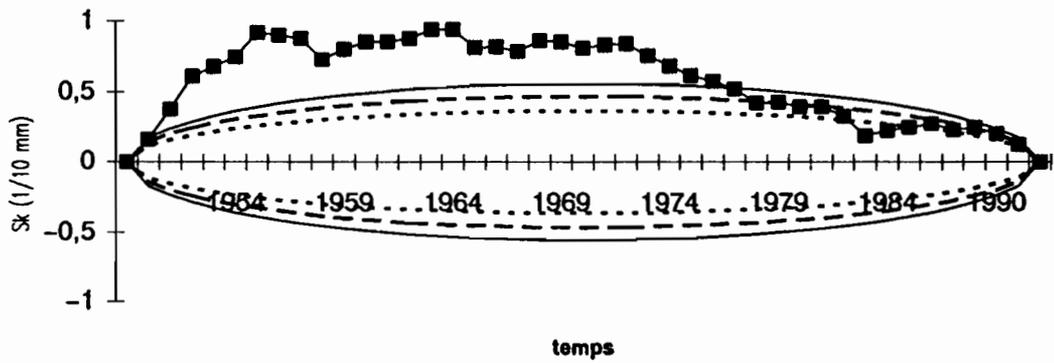
Probabilité de dépasseme 1.37E-02

Méthode Bayésienne de Lee et Heghiniat est effectué

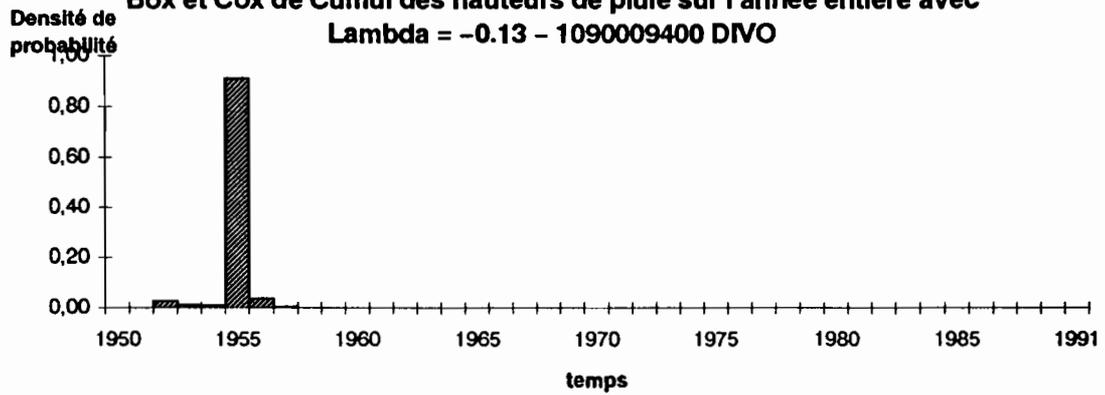
Année supposée de ruptur 1955

Probabilité d'une rupture : 0.907727

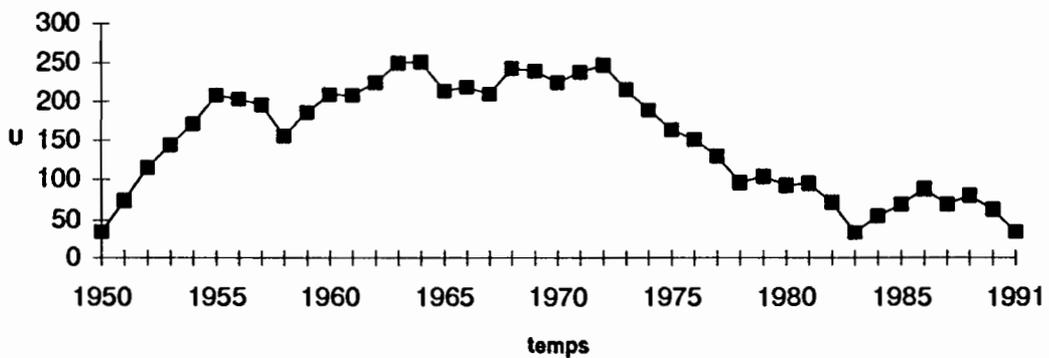
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Box et Cox de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière avec
Lambda = -0.13 - 1090009400 DVO



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la position d'un changement
Box et Cox de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière avec
Lambda = -0.13 - 1090009400 DVO



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Box et Cox de Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière avec
Lambda = -0.13 - 1090009400 DVO



Résultats des procédures de détection de rupture dans des séries chronologiques

Nom de la station : 1090010300 GAGNOA

Variable étudiée : Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière

la période d'observation s'étend de 1950 à 1993

ETAPE N° 1 : vérification du caractère aléatoire des séries

Autocorrélation : test effectué

Corrélation sur le rang : test effectué

Valeur de la variable de cal -2.71062

Série non aléatoire au seuil de 95%

Série non aléatoire au seuil de 90%

Série non aléatoire au seuil de 80%

ETAPE N° 2 : détection de ruptures

Test de Buishand : test effectué

rupture détectée au seuil de 10%

rupture détectée au seuil de 5%

rupture détectée au seuil de 1%

Pettitt : test effectué

rupture détectée dans la série

Année supposée de ruptur 1966

Probabilité de dépasseme 2.56E-03

Méthode Bayésienne de Lee et Heghina test effectué

Année supposée de ruptur 1966

Probabilité d'une rupture : 0.32619

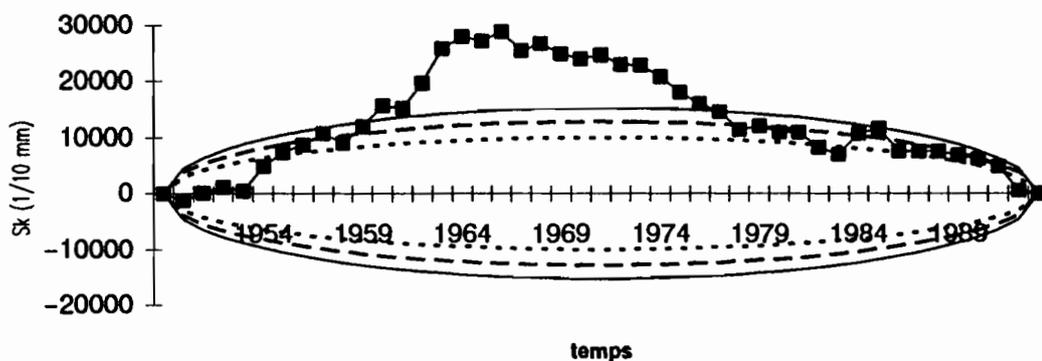
Segmentation de Hubert : test effectué

niveau de signification : 0.05

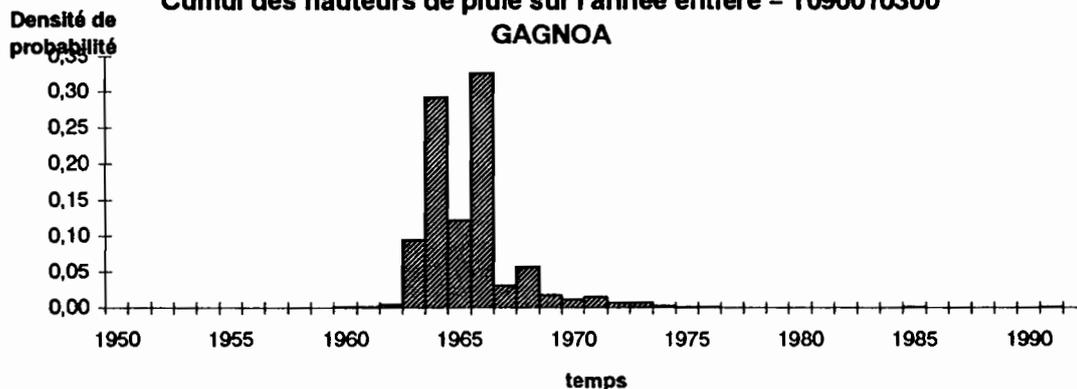
Début	Fin	Moyenne	Ecart-type
1950	1961	15647	1976,7
1962	1963	19647	1184,4
1964	1993	13509	1831,7

Indépendance des résidus acceptés

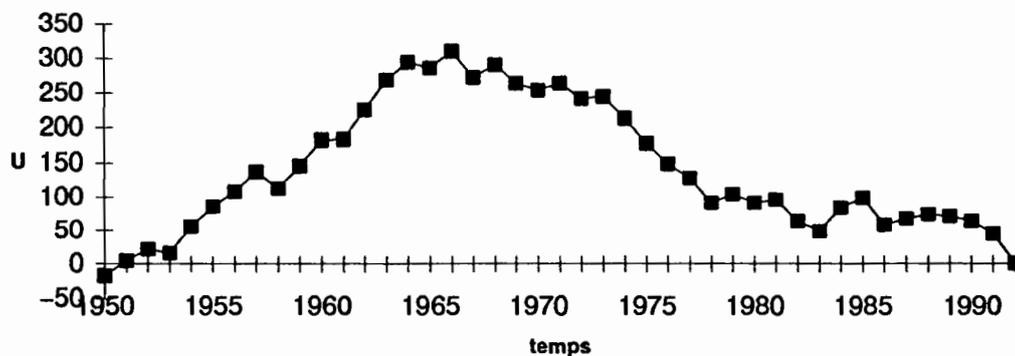
Ellipses de controle à 95, 90 et 80% - variable U de Buishand
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090010300
GAGNOA



Procédure de Lee et Heghinian - Distribution a posteriori de la position d'un changement
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090010300
GAGNOA



Evolution de la variable U du Test de Pettitt
Cumul des hauteurs de pluie sur l'année entière - 1090010300
GAGNOA



ANNEXE II : VECTEUR REGIONAL

AII

**ANNEXE III : RESULTATS DES TESTS
D'ADEQUATION**

AIII

Résultat des tests d'adéquation

		Test du khi2						test A2	
stations	Lois	valeurs des paramètres	ddl	khi2 observé	seuil	khi2 calculé	décision	probabilité calculé	décision
Abengourou	Normale	1340.79 258.05	9	11.17	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.089	Accepté 1% Accepté 5% Refusé 10%
Abidjan	Normale	1981.26 419.43	8	12.00	1% 5% 10%	20.09 15.21 13.36	Accepté Accepté Accepté	0.220	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Aboisso	Normale	1778.48 375.94	9	10.00	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.442	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Adiaké	Normale	1827.18 405.01	6	8.49	1% 5% 10%	16.81 12.59 10.64	Accepté Accepté Accepté	0.277	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Adzopé	Normale	1404.113 280.1	6	8.34	1% 5% 10%	16.81 12.59 10.64	Accepté Accepté Accepté	0.101	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Agboville	Normale	1386.09 255.11	7	10.58	1% 5% 10%	18.48 14.07 12.02	Accepté Accepté Accepté	0.189	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Agnibilekro	Gamma	69.83 17.7	6	2.52	1% 5% 10%	16.81 12.59 10.64	Accepté Accepté Accepté		non effectué
Alépé	Normale	1572.8 357.519	4	6.00	1% 5% 10%	13.28 9.49 7.78	Accepté Accepté Accepté	0.076	Accepté 1% Accepté 5% Refusé 10%
Azaguié	Normale	1721.99 315.16	7	9.60	1% 5% 10%	18.48 14.07 12.02	Accepté Accepté Accepté	0.585	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Bouaflé	Normale	1299.03 265.7	9	9.29	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.428	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%

		Test du khi2						test A2	
stations	Lois	valeurs des paramètres	ddl	khi2 observé	seuil	khi2 calculé	décision	probabilité calculé	décision
Cechi	Normale	1323.8 330.22	4	8.80	1% 5% 10%	13.28 9.49 7.78	Accepté Accepté Refusé	0.256	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Dabou	Normale	1865.34 406.82	4	6.39	1% 5% 10%	13.28 9.49 7.78	Accepté Accepté Accepté	0.070	Accepté 1% Accepté 5% Refusé 10%
Daloa agri	Normale	1372.32 253.03	9	7.09	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.266	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Danané	Gamma	90.6 22.21	4	2.89	1% 5% 10%	13.28 9.49 7.78	Accepté Accepté Accepté		non effectué
Divo	Gamma	73.02 19.23	6	1.20	1% 5% 10%	16.81 12.59 10.64	Accepté Accepté Accepté		non effectué
Gagnoa	Normale	1434.64 246.48	9	11.41	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.095	Accepté 1% Accepté 5% Refusé 10%
Grand-Lah	Normale	1615.23 472.44	9	13.64	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.048	Accepté 1% Refusé 5% Refusé 10%
Guiglo	Normale	1651.28 259.7	9	9.23	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.172	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Man	Gamma	69.75 24.64	9	11.94	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté		non effectué
Oumé	Normale	1318.75 215.89	6	7.19	1% 5% 10%	16.81 12.59 10.64	Accepté Accepté Accepté	0.268	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%

		Test du khi2						test A2	
stations	Lois	valeurs des paramètres	ddl	khi2 observé	seuil	khi2 calculé	décision	probabilité calculé	décision
Lakota	Gamma	96.98 14.69	6	11.91	1% 5% 10%	16.81 12.59 10.64	Accepté Accepté Refusé		non effectué
Sassandra	Normale	1547.24 432.42	9	8.94	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.572	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
soubéré	Normale	1481.145 254.49	7	4.88	1% 5% 10%	18.48 14.07 12.02	Accepté Accepté Accepté	0.618	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Tabou	Normale	2301.18 515.24	9	7.29	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.199	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Taï	Normale	1797.51 268.21	4	1.42	1% 5% 10%	13.28 9.49 7.18	Accepté Accepté Accepté	0.807	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Tiassalé	Log Gamma	0.009 818.37	8	13.31	1% 5% 10%	20.09 15.51 13.36	Accepté Accepté Accepté		non effectué
Toulepleu	Normale	1831.97 375.88	9	9.5	1% 5% 10%	21.67 16.92 14.68	Accepté Accepté Accepté	0.539	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%
Vavoua	Normale	1188.24 241.62	4	1.03	1% 5% 10%	13.28 9.49 7.78	Accepté Accepté Accepté	0.857	Accepté 1% Accepté 5% Accepté 10%

**ANNEXE IV: PARAMETRES UTILISEES DANS LE
CALCUL DE L'ETP PENMAN**

AIV

Son expression est :

$$ETP = (\Delta RN + \gamma Ea) / \Delta \gamma$$

Dans cette formule, l'ETP est exprimée en millimètres d'eau.

RN représente le rayonnement net et EA le pouvoir évaporant de l'air.

$$RN = RA (1 - a) (a + b n/N) - \delta T^4 (0,4 - \sqrt{ed}) (0,10 + 0,90 n/N)$$

où RA est le rayonnement extra-terrestre,

a, l'albédo de la surface évaporante,

b, le coefficient de la formule de Dalton

n, la durée effective de l'insolation,

N, la durée théorique du jour,

n/N, la fraction d'insolation

T, la température de l'air en degré Kelvin,

δ , la constante psychrométrique; elle est égale à 0,67 mb/°C

$$Ea = 0,26 (ew - ed) (0,5 + 0,5v)$$

où ed est la tension de vapeur d'eau mesurée sous abri en hPa

ew, la tension de la vapeur d'eau saturante en hPa correspondant à la température moyenne en degré Celsius,

v, la vitesse moyenne du vent en mètre par seconde mesurée à 2 m au dessus du sol.

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE
Union - Discipline - Travail

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE
CHARGE DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE ET SUPERIEUR
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET DE LA CULTURE



FACULTE DES LETTRES, ARTS
ET SCIENCES HUMAINES
Tél : 44. 39. 23

LE DOYEN

PERMIS D'IMPRIMER

Thèse de doctorat 3^{ème} cycle
Présentée par BROU Yao Télésphore

**Thème : ANALYSE ET DYNAMIQUE DE LA PLUVIOMETRIE DANS
LE SUD FORESTIER IVOIRIEN**

Vu et approuvé
Abidjan, le 23/12/97...
le Directeur de l'UFR
Sciences de l'Homme
et de la Société

Pr. ALOKO-N'GUESSAN Jérôme

Vu et permis d'imprimer
Abidjan, le 30/12/97...
Le Président de l'Université
de Cocody

Pr. HAUHOUOT ASSEYPO