

Variabilité climatique et productions de café et cacao en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro (Centre-est de la Côte d'Ivoire)

[Climate variability and production of coffee and cocoa in wet tropical zone: The case of Daoukro region (east-central Côte d'Ivoire)]

*Kanohin Fulvie epse Otchoumou¹, Saley Mahaman Bachir², Aké Gabriel Etienne²,
Savané Issiaka¹, and Djé Kouakou Bernard³*

¹Laboratoire Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement,
Université Felix Houphouet Boigny,
Abidjan, Côte d'Ivoire

³Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique,
Direction de la Météorologie Nationale,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2012 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to show the effect of the climatic variability on the productions of coffee and cocoa of the area of Daoukro which is the principal producing area in the Ivory Coast. The methodological approach is summarized in two steps: first, the characterization and analysis of the impact of climate variability on water resources second monitoring developments in the production of coffee and cocoa (1964-2005) through statistical analysis. The centered and reduced index shows a great interannual variability of rainfalls which is organized in two climatic periods, a humid period (1956-1970) and a dry period (1971-2009). The rainfall deficit evaluated in the area of Daoukro reaches an average of 11% and fluctuated between 5% and 15%. Analysis of the average rainfalls of the wettest four months (March-June) every 10 years during five decades of Daoukro station shows that the period of the great season of rains fell from 4 months to 3 months. The decrease of the rainfall consecutive with the effects of the dryness involved a decrease of the agricultural production (the production of coffee and cocoa). The climate variability from 1964 to 2005 caused interannual fluctuation of the production of coffee and cocoa. Cocoa production in 2004-2005 is only 36% of that of 1981-1982 and that of coffee 43% of the production of 1981-1982.

KEYWORDS: Climate variability, production of coffee and cocoa, tropical zone, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a pour objectif de montrer l'effet de la variabilité climatique sur les productions de café et de cacao de la région de Daoukro, ex-boucle du Cacao de la Côte d'Ivoire. La démarche méthodologique adoptée se résume en deux étapes : d'abord l'analyse des fluctuations pluviométriques suivies de l'évolution de la production de café et de cacao (1964-2005) à travers des analyses statistiques. L'analyse de la pluviométrie moyenne mensuelle par décennie au cours de la période 1956-2009 à la station de Daoukro et des stations environnantes permet de constater que la période de la grande saison des pluies est passée de 4 mois à 3 mois. La baisse de la pluviométrie consécutive aux effets de la sécheresse a entraîné une baisse de la production de café et de cacao. Ainsi, la variabilité climatique de 1964 à 2005 a entraîné une fluctuation interannuelle de la production de café et cacao. La production cacaoyère ne représente en 2004-2005 que 36% de celle de 1981-1982, celle du café 43% de la production de 1981-1982.

MOTS-CLES: Variabilité climatique, production de café-cacao, zone tropicale, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Depuis 1970, un intérêt soutenu se manifeste pour l'étude du climat et sa variabilité, compte tenu des conséquences parfois dramatiques que celle-ci peut entraîner. Les implications de cette variabilité sur les ressources en eau sont particulièrement fortes et touchent, à leur tour, de très nombreux secteurs d'activités telles que l'agriculture et l'élevage [1]. De nombreuses études sur la variabilité climatique à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest [2], [3] [4], [5] et de la Côte d'Ivoire [6] montrent qu'une tendance à la sécheresse s'est manifestée à partir de la fin de la décennie 1960. Cette évolution des précipitations se traduit par des variations qui se manifestent par la baisse des hauteurs de pluie au sein des séries chronologiques pluviométriques [3]. Ces variations ont entraîné un tarissement de la majorité des points d'eau de surface ainsi que de nombreux puits et par conséquent une baisse importante du niveau piézométrique des nappes [7]. Ce déficit pluviométrique observé sur plusieurs années consécutives s'est répercuté sur la production des cultures de rentes que sont le café et le cacao en provoquant une baisse considérable des productions agricoles. Des études ont été menées par différents chercheurs afin d'évaluer l'effet de la variabilité climatique sur les ressources en eau et la production agricole. Ainsi les références [4] et [8] et [3] se sont penchés sur la variabilité climatique et son impact sur les activités humaines, notamment les productions agricoles. Notre étude vise à évaluer l'ampleur de l'évolution de la pluviométrie dans la région de Daoukro et son influence sur la production de café et de cacao. Cette approche concerne à la fois la variabilité interannuelle évaluée en utilisant les indices centrés réduits, ainsi que l'évolution de la production de café et de cacao (1964-2005) à partir de la méthode statistique, Analyse en Composantes Principales (ACP).

1.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le département de Daoukro est situé dans la région du N'zi Comoé, au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (fig. 1). Il est compris entre les longitudes 3°29' et 4°34' Ouest et les latitudes 6°55' et 7°32' Nord. Le département a une superficie de 3745 km² et comprend 4 sous-préfectures (Daoukro, Ouéllé, Ettrokro et Ananda). La population est estimée à 112188 [9], soit une densité de 38 habitants/km². Cette population essentiellement agricole est constituée d'Agni, de Baoulé et d'une communauté d'étrangers en provenance des pays limitrophes et servant de main-d'œuvre dans les plantations. Le relief de la région est dominé par une succession monotone de bas plateaux dont l'altitude décroît de 350 m au centre à 200 m vers les extrêmes. Ce paysage se développe dans des flysch éburnéens formant de petites collines allongées et à pentes très faibles, constituant des interfluves à sommets soit cuirassés soit en forme de plan-convexes [10]. Les sols de la région sont des sols ferrallitiques remaniés moyennement désaturés et dérivés de schiste quartzitiques riches en argile avec un bon pouvoir de rétention en eau. Ils portent des forêts très dégradées et sont bien adaptés à la production agricole (café, cacao, hévéas, palmier à huile, banane plantain et igname) [11]. Le département de Daoukro appartient au secteur forestier mésophile et il bénéficie d'un régime équatorial de transition atténué. C'est un régime climatique à 4 saisons comprenant une « grande » saison des pluies de mars à juin avec le maximum des pluies en juin (205 mm), une « petite » saison sèche de juillet à août marquée par une baisse des précipitations qui atteint 61 mm en août, une « petite » saison pluvieuse de septembre à octobre avec un pic en octobre (116,36 mm) et une « grande » saison sèche très marquée de novembre à février avec une très forte baisse des précipitations. Les mois de décembre et février sont les mois les plus secs avec respectivement 10,76 mm et 20 mm de pluie. La pluviométrie moyenne annuelle calculée sur la période de 1956 à 2009 à la station de Daoukro est de 1103,53 mm.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Cette étude a nécessité l'utilisation des pluies annuelles et mensuelles couvrant la période 1956-2009 de la station de Daoukro et des stations environnantes afin d'estimer les caractéristiques de la variabilité de la pluviométrie de la région (fig. 2). Les températures et l'humidité relative sont celles de la station synoptique de Dimbokro. Ces données climatiques proviennent de la Société de Développement Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). Les données agricoles (Cacao et café) couvrant la période 1964-2005 ont été obtenues auprès du Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD) et de la Caisse de Stabilisation (CAISTAB). Les productions de café et de cacao issues des différentes plantations sont collectées et regroupées dans des entrepôts locaux où se fait la pesée afin d'estimer le tonnage par région.

2.2 MÉTHODES

- Indice pluviométrique

En vue d'apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années de la période d'étude, la méthode de l'indice pluviométrique de Nicholson a été appliquée. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires pluviométriques. Cet indice se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1 [4] :

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (\text{Eq.1})$$

Avec x_i : pluviométrie de l'année i ;

\bar{x} : pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence ;

σ : écart-type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence.

La représentation graphique des indices pluviométriques annuels ainsi calculés traduit l'évolution dans le temps de la variable étudiée, soulignant les périodes tantôt excédentaires tantôt déficitaires.

- Le Filtre Passe-bas de Hanning

La méthode filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, appelée aussi moyenne mobile pondérée, permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique. Le calcul des totaux pluviométriques pondérés est effectué au moyen des équations présentées par [12] dont le principal est:

$$X_{(t)} = 0,06 X_{(t-2)} + 0,25 X_{(t-1)} + 0,38 X_{(t)} + 0,25 X_{(t+1)} + 0,06 X_{(t+2)} \quad (\text{Eq.2}),$$

$$\text{Pour } 3 \leq t \leq (n - 2)$$

où $X_{(t)}$ est le total pluviométrique pondéré du terme t , $X_{(t-2)}$ et $X_{(t-1)}$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui précèdent immédiatement le terme t , et $X_{(t+2)}$ et $X_{(t+1)}$ sont les totaux pluviométriques observés de deux termes qui suivent immédiatement le terme t . Les valeurs pluviométriques pondérées sont ensuite centrées et réduites pour mieux visualiser les périodes d'excédent et de déficit pluviométriques.

- Méthode des isohyètes

Le tracé des isohyètes est un élément complémentaire aux méthodes précédentes pour mieux visualiser la variation spatio-temporelle des précipitations sur l'ensemble de la région. Les isohyètes permettent de connaître les limites des secteurs où la pluviométrie est sensiblement homogène. Les données d'entrées sont les pluviométries moyennes annuelles des 7 stations pluviométriques de la région (Daoukro, Dimbokro, Bocanda, M'bahiakro, Agnibilékrou, Bongouanou et Abengourou) et les coordonnées des points de mesures. Les points représentant les pluviométries moyennes annuelles des différentes stations ont été interpolés grâce à la commande « interpolate grid » du logiciel Surfer 8.0 Les isohyètes ont été tracés sur les 5 dernières décennies (1956-2009).

- Variabilité climatique mensuelle et saisonnière

L'analyse du régime mensuel des pluies porte sur la hauteur moyenne mensuelle interannuelle. Elle s'est portée sur les quatre mois de la grande saison des pluies (mars, avril, mai et juin) et sur les cinq dernières décennies de la période 1956 - 2009, au niveau de chaque station afin de mieux percevoir les variations. Elle a pour objectif d'observer les variations saisonnières de la pluviométrie.

- Analyse statistique de la production agricole

Pour mieux apprécier l'influence des variations pluviométriques sur la production du café et du cacao, nous avons procédé à une analyse statistique (l'ACP). L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique (initialement de statistique descriptive) qui a pour but de comprendre et de visualiser comment les effets de phénomènes a priori isolés se combinent [13]. Les variables étudiées dans ce travail sont la pluviométrie de la station Daoukro, la

température et l'humidité relative de la station de Dimbokro, la production annuelle (en tonnes) de café et de cacao du département de Daoukro. Les données (44 individus par variable) sont traitées par le logiciel *Statistica*. Le choix de ce logiciel est justifié par son mode d'utilisation simplifié, son interface enrichie par les logiciels Excel pour l'entrée des données et l'édition des résultats. Le cercle des corrélations permet d'apprécier, les groupes de variables très corrélées entre elles. L'angle entre 2 point-variables, mesuré par son cosinus est égal au coefficient de corrélation linéaire entre les 2 variables: $\cos \alpha = r(X1, X2)$. Ainsi :

- si les points sont très proches (α peu différent de 0) : $\cos \alpha = r(X1, X2) = 1$ donc X1 et X2 sont très fortement corrélés positivement. Si α est égal à 90° , $\cos \alpha = r(X1, X2) = 0$ alors pas de corrélation linéaire entre X1 et X2 ;
- si les points sont opposés, α vaut 180° , $\cos \alpha = r(X1, X2) = -1$: X1 et X2 sont très fortement corrélés négativement.

Le choix des axes principaux tient compte de la réduction du nombre de facteurs. Lorsque deux variables sont corrélées, la variation de l'une implique celle de l'autre. Le choix du module Analyse en Composantes Principales du logiciel *Statistica*, a permis de visualiser les résultats suivants :

- une statistique sommaire des variables étudiées (moyenne, écart type, minimum, maximum);
- le tableau des valeurs propres ainsi que le pourcentage d'explication de chaque valeur propre ;
- le tableau des coordonnées des variables actives ;
- un plan de projection des variables.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 INDICES PLUVIOMÉTRIQUES ANNUELS

L'étude de la variabilité pluviométrique à partir des valeurs de l'indice de Nicholson et du filtre passe-bas de Hanning a permis de suivre les grands changements qui se sont opérés dans la région depuis 1956 jusqu'à l'année 2009. Les indices pluviométriques des stations de Daoukro, Bocanda et Agnibilékrou, M'bahiakro et Abengourou ont été analysés.

L'étude menée à la station de Daoukro (fig. 3a) a permis d'observer deux périodes. La période humide (1956-1979) est caractérisée par une moyenne pluviométrique de 1121,8 mm et est supérieure à la moyenne pluviométrique des 53 ans d'observation qui est de 1094,28 mm ; la période sèche (1980-2009) est caractérisée par une rareté des pluies. Pour cette période, la moyenne pluviométrique est de 1070,46 mm.

La fluctuation interannuelle de la pluviométrie à Bocanda (fig. 3b) se caractérise par une période humide de 1956 à 1975 suivie d'une période déficitaire de 1976 à 2009. Le filtre passe-bas permet de distinguer nettement les différentes périodes. La période humide à Bocanda comporte une année remarquable: 1968 avec 1949,2 mm soit 75% d'excédent par rapport à moyenne de la période d'étude (1111,5 mm). La période déficitaire comporte également des années de sécheresse très marquées (1986 et 1992 avec respectivement 857,1 mm et 827,2 mm de pluie) soit un déficit respectif de 26% et 28% par rapport à la moyenne de la période d'étude (1111,5 mm).

Les indices centrés réduits de la pluie annuelle à la station d'Agnibilékrou (fig. 4a) caractérisent l'alternance entre une période humide de 1956 à 1972 et une période déficitaire de 1973 à 2009. La période humide est marquée par une année exceptionnelle : 1968 avec 2017,6 mm soit un excédent de 67% par rapport à la moyenne de la période d'étude (1203 mm). La période sèche observée de 1973 à 2009 à une moyenne interannuelle de 1130 mm. Cette période sèche comprend des années de sécheresse très marquées (1982, 1983 et 1986) qui enregistrent respectivement 964,4 mm, 668,6 mm et 864,9 mm soit 20%, 28% et 45% de déficit de pluie par rapport à la rapport à la moyenne de la période d'étude (1203 mm)

La ville d'Abengourou (fig. 4b) est la plus arrosée de la région avec une hauteur de pluie moyenne annuelle de 1287 mm. Elle comporte également une période humide (1956-1975) marqué par deux années à forte pluviométrie : 1963 et 1968 avec respectivement 1994 mm et 1976,7 mm soit un excédent de 54,87% et 53,53% par rapport à la moyenne de la période d'étude. Une période sèche de 1976 à 2009 avec des années de sécheresse très marquées : 1977, 1978 et 1991 avec respectivement 896,1mm, 898,8 mm et 893,1 mm soit un déficit de 30% de pluie par rapport à la moyenne de la période d'étude (1287,49 mm).

La station de M'bahiakro (fig. 5a) présente une période humide (1956-1975) et une période sèche (1976-2009). Cette station est la moins arrosée de la région avec une pluviométrie moyenne de 1053,70 mm (1956-2009). L'année 1968 est la plus arrosée de la période humide avec 1784,9 mm de pluie soit un excédent de 69,39 %. La période sèche comprend de nombreuses années de sécheresse très marqués : 1983, 1987, 1998 et 2001 qui enregistrent respectivement 735,3 mm,

698,3 mm, 653,3 mm et 707,2 mm soit 30%, 33%, 38% et 33% de déficit de pluie par rapport à la moyenne de la période d'étude (1053,7 mm).

Les représentations graphiques des indices annuels, au niveau de ces différentes stations sur les périodes 1956-2009, ont montrés des périodes d'excédent et de déficit pluviométriques. La rupture dans les différentes stations s'observe dans la décennie 1970-1980, ainsi les déficits pluviométriques varient entre 5% et 15% (tableau 1).

3.1.2 VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS.

L'examen des courbes d'isovaleurs des hauteurs de pluie permet de connaître la répartition de la pluviométrie sur l'ensemble de la région. L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des hauteurs de pluie moyennes annuelles au cours des différentes décennies, de 1956 à 2009 montre l'évolution des classes délimitées par les isohyètes 1000 mm, 1200 mm et 1360 mm. Les isohyètes ont été construites à partir des pluviométries moyennes annuelles des 5 dernières décennies. Au cours des 5 (cinq) dernières décennies, la pluviométrie annuelle a baissé de façon notable sur l'ensemble de la région. L'analyse de ces valeurs moyennes fait apparaître une inégalité dans la distribution spatiale de la pluviométrie dans la région de Daoukro, avec une décroissance des hauteurs annuelles de pluie observée, du sud vers le nord de la région.

La décennie 1956-1965 est la plus humide. La région est limitée par les courbes isohyètes 1400 mm au sud et 1200 mm au nord. Seule la station de M'bahiakro enregistre une pluviométrie inférieure à 1200 mm. Les autres stations reçoivent des précipitations comprises entre 1400 mm et 1200 mm.

La décennie 1966-1975 est également humide avec une légère diminution des quantités de pluies. Cette décennie est marquée par un élargissement de la zone de pluviométrie inférieure à 1200 mm. Celle-ci occupe au cours de cette décennie une bande allant du sud-ouest au nord. Cette baisse de la pluviométrie touche les stations de Daoukro et Bongouanou.

Au cours de la décennie 1976-1985 la baisse de la pluviométrie prend une importance particulière dans toute la région. Cette diminution concerne la quasi-totalité des stations. La zone de pluviométrie inférieure à 1200 mm s'évase fortement et occupe plus des 3/4 de la région. Seules les stations de Bongouanou et d'Abengourou reçoivent des précipitations comprises entre 1160 mm et 1200 mm.

La décennie 1986-1995 est également sèche mais elle est marquée par une remontée des isohyètes 1160 mm et 1200 mm au sud de la région. La décennie 1996-2005 est la plus sèche avec la disparition de l'isohyète 1200 mm et l'éloignement de l'isohyète 1160 mm qui se trouve désormais aux confins sud-est de la région. La moyenne pluviométrique de toute la région est de 1079 mm.

3.1.3 VARIATIONS MENSUELLES ET SAISONNIERES DES PRECIPITATIONS

L'analyse des variations de la pluviométrie moyenne mensuelle montre que la variabilité pluviométrique se manifeste par une modification importante de la pluviométrie mensuelle. La décennie 1956-1965 a été la plus humide pour l'ensemble des stations d'étude. Les décennies 1976-1985 et 1986-1995 ont été déficitaires par rapport à la période de référence (1956-1965) sur l'ensemble de la région. On constate qu'une période de forte pluviométrie (> 200 mm), qui s'étendait sur quatre mois pendant les décennies 1956-1965 et 1966-1975, se réduit à trois mois pendant les trois dernières décennies avec une baisse très marquée pour le mois de Mars. Le mois de mars (début de la grande saison des pluies) semble être très affecté par la récession pluviométrique. Le mois de juin demeure le mois le plus arrosé. A Daoukro et à M'bahiakro (fig. 9), Les mois les plus humides (mars, avril, mai et juin) ont connus une régression des hauteurs de précipitations. Le mois de mars a été le plus affecté, car la pluviométrie de ce mois pour les deux stations est passée respectivement de 135,38 mm et 140,04 mm (1956-1965) à 80,25 mm et 54,25 mm (1995-2005) soit un déficit respectif de 39,70% et de 61,26%. L'analyse de la fig. 9 permet de constater que la période des grandes saisons des pluies est passée de 4 mois à 3 mois.

A Bocanda, la décennie 1986-1995 a été la plus sèche. Au cours de cette décennie, les hauteurs de pluie de tous les mois de la grande saison de pluie ont diminué. La baisse de la pluviométrie du mois de juin (le mois le plus arrosé) est assez remarquable avec un déficit de 22% par rapport à la décennie précédente (1976-1985). A Agnibilékrou et Abengourou le mois d'avril a été le plus affecté au cours de la décennie 1976-1985. A Abengourou au cours de cette même décennie le mois de mai a été le plus arrosé avec 203,96 mm contre 194,01 mm en juin. Cette variabilité saisonnière de la pluviométrie a, bien entendu, des conséquences importantes sur les cultures pluviales du fait que l'agriculture dans la zone d'étude est encore basée sur les systèmes agraires pluviaux et donc toujours tributaire des aléas climatiques.

3.1.4 IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LES PRODUCTIONS AGRICOLES

Les modifications environnementales constatées ces dernières années en Afrique de l'ouest ont considérablement affectées le monde rural [6]. La dégradation des sols liés à leur surexploitation et les contraintes climatiques rendent vulnérables certaines cultures, conduisant à des diminutions des rendements agricoles [14]. Dans l'Est comme dans les autres régions forestières, le régime des précipitations a connu une diminution par rapport aux années 1960-1970 [15]. A Daoukro comme dans toute la région du N'zi-comoé, les mois les plus humides (mars, avril, mai et juin) ont connus une régression des hauteurs de précipitations suivie de la réduction de la période des grandes saisons des pluies qui est passée de 4 mois à 3 mois et on observe une baisse progressive des rendements de café et de cacao. Cette étude a pour objectif de relever l'impact des baisses de pluie sur les productions agricoles. Une analyse en composante principale (ACP) a été faite afin d'obtenir l'influence des paramètres climatiques sur la production de café et de cacao dans la région de Daoukro. Les variables (moyennes annuelles) sont la pluviométrie, la température, l'humidité relative et la production de café et de Cacao (en tonne). Les statistiques élémentaires sur les variables sont données dans le tableau II. Le paramètre écart- type montre que les valeurs des différentes variables sont dispersées autour de leur moyenne respective. Les facteurs F1, F2 et F3 expliquent à eux seuls 78 % des variables exprimées (tableau III). Ils peuvent donc permettre d'interpréter les résultats obtenus. Les valeurs ayant servi à la réalisation de ces graphes sont consignées dans le tableau IV. Les cercles de corrélations F_1-F_2 et F_1-F_3 (fig. 11) permettent de voir, parmi les variables, les groupes de variables corrélées entre-elles. L'angle entre 2 point-variables, mesuré par son cosinus est égal au coefficient de corrélation linéaire entre les 2 variables. Ainsi le tableau V donne les coefficients de corrélations entre les paramètres climatiques et les productions agricoles.

L'analyse des plans factoriels et du tableau V révèlent une corrélation entre les paramètres climatiques et les productions de café et de cacao. Ainsi, le facteur F1 dans le plan factoriel F1-F2 est déterminé par café et cacao. Ce facteur exprime la production du café et du cacao. Quant au facteur 2, il est déterminé par P et Hr (figure 10). Ce facteur exprime les facteurs climatiques (pluviométrie et humidité relative). L'humidité relative varie dans le même sens que les précipitations dans l'axe porté par le facteur F2. Le facteur F3 (plan factoriel F1-F3) est principalement déterminé par la pluviométrie. La température et l'humidité relative se trouvent en opposition de la production agricole dans la partie positive du facteur 1. L'humidité relative représente le rapport entre la quantité de vapeurs d'eau contenue dans l'air et la capacité d'absorption de l'air à une température donnée. En période pluvieuse (Mars à juin) l'humidité relative monte jusqu'à 80% pendant que la température passe de 27°C (saison sèche) à 24°C en période humide. Nous avons également une corrélation positive ($R= 0,64$) entre les précipitations et les productions de café et de cacao. Ce qui signifie que les paramètres climatiques contrôlent en partie la production du café et du cacao. Pour que le cacaoyer et le caféier cultivés aient une croissance régulière, une floraison et une fructification abondante, des poussées foliaires normale et bien réparties au cours de l'année, de nombreux facteurs climatiques et écologiques interviennent dont une bonne alimentation en eau, une température optimale de 25°C, une humidité relative comprise entre 75 et 80% et un sol qui assure une bonne rétention de l'eau [16]. Les pluies doivent être bien réparties au cours de l'année et la saison sèche ne doit pas excéder trois mois.

Introduite au début du XXe siècle dans les régions forestières de Côte-d'Ivoire, la culture du café et du cacao a connu un développement sans précédent après les années 1950 [17]. Daoukro fait partie de l'ex-boucle du cacao qui, dans le processus du développement économique de la Côte d'Ivoire, a connu une expansion économique remarquable ; expansion liée à l'introduction des cultures d'exportation (café, cacao). Dans la période 1956-1970, la production de café était estimée à 15000 tonnes et cette production a baissé de 30% dans la période 1970-1980. Les causes principales de la chute de la production sont la baisse de la pluviométrie et le vieillissement des plantations (âgées de plus de 30 ans). A cela s'ajoute, l'exode rural vers les régions de l'ouest (nouvelle boucle du cacao) à la recherche de forêt vierge car l'ex-boucle du cacao a épuisé ses réserves de forêt. Cette émigration a eu pour conséquence l'abandon des plantations [14]. Ce déclin de l'activité de plantation s'observe aussi bien au niveau des superficies qu'au niveau des productions. Au niveau de la superficie, la boucle du cacao perd sa première place à partir de 1973 (pour le cacao) et de 1980 (pour le café) ; aujourd'hui, cette région ne détient plus que 7 % des superficies des cacaoyers et 5 % de celles des caféiers. Elle n'est plus la première productrice depuis 1970 et représente à peine 8 % de la production du cacao et 3 % de celle du café. Parallèlement à ce déclin de la production, les plantations déjà créées vieillissent, à défaut d'actions de régénération, et les rendements déjà faibles baissent d'année en année [17].

3.2 DISCUSSION

La baisse de la pluviométrie déterminée au cours de cette étude se situe en général après 1970 et s'intègre dans l'intervalle défini par les études antérieures. En effet, les résultats obtenus sur les données pluviométriques au cours de ce travail sont en accord avec les conclusions des travaux antérieurs réalisés en Afrique de l'Ouest en général [18], [19], [20] et en Côte d'Ivoire en particulier [11], [15]. L'analyse des séries pluviométriques annuelles montrent une alternance de périodes

humides et sèches comme l'ont souligné les travaux de [1], [2], [11], [15]. Les déficits pluviométriques calculés sont généralement inférieurs à 14%. En Afrique de l'Ouest, ces déficits pluviométriques sont de l'ordre de 20%. Comme l'ont signalé la référence [20], les années 1970 constituent une période très représentative de l'importante chute de la pluviométrie en Côte d'Ivoire. L'analyse des isohyètes dans la région de Daoukro a également montré la baisse de la pluviométrie sur l'ensemble des stations de la région. L'examen des pluies mensuelles montre que les trois dernières décennies sont déficitaires. Les fluctuations pluviométriques enregistrées ces dernières années en Côte d'Ivoire ont affecté la production nationale du café et du cacao. A Daoukro, les périodes sèches, longues et répétitives ont entraîné le déclin de la production cacaoyère qui ne représente en 89-90 que 36% de la production de 81-82. Aujourd'hui, la production cacaoyère connaît une variabilité interannuelle importante causée en partie par la baisse et la mauvaise répartition des pluies au cours de l'année. Selon la référence [21], l'intensité et la répartition des chutes de pluies, la température ainsi que l'humidité relative sont les principaux facteurs contrôlant l'émission des fleurs dans les principales zones de culture du cacao. La floraison obéit à un rythme saisonnier car les fleurs n'apparaissent qu'à la reprise des pluies. Selon la référence [16], les facteurs gouvernants la floraison et donc le poids moyen des fèves fraîches par cabosse de cacao sont essentiellement le régime hydrique et thermique. Le cacaoyer (plante ombrophile) exige pour son développement des conditions climatiques humides (hauteurs de pluie minimum 1200 à 1500 mm). La région de Daoukro bénéficie certes, d'une pluviométrie inférieure à 1200 mm, mais les sols de cette région issus du schiste (relativement plus argileux que ceux issus de granite) ont une capacité de rétention en eau élevée [22], donc permettent une bonne alimentation en eau de la plante. L'utilisation des eaux de pluie par la plante dépend beaucoup des caractères physiques des sols, liés à la rétention en eau. De nombreux auteurs ont travaillé sur d'autres cultures et ont observés également les conséquences de la baisse de la pluviométrie sur la production agricole. Sur le palmier à huile par exemple, la référence [23] a montré que les variations du poids du régime sont expliquées en partie par le déficit hydrique enregistré 36 mois avant la récolte. La référence [24], quant à lui, observe une diminution de 4 tonnes de régimes à l'hectare quand le déficit hydrique moyen passe de 200 à 400 mm soit 10% à 20% de déficit. La référence [25], pour la culture de l'hévéa ont mis en évidence l'incidence néfaste de la baisse de la pluviométrie et de l'évolution de la longueur de la saison sèche sur la production du caoutchouc.

4 TABLEAUX ET FIGURES

4.1 TABLEAUX

Tableau 1. Déficits pluviométriques des stations de la région de Daoukro

Station	Référence	Avant rupture	Après rupture	Déficit
		Moyenne	Moyenne	
Daoukro	1979	1123,8	1070,66	5%
Abengourou	1975	1362,82	1240,41	9%
Agnibilékrou	1972	1276,01	1122,17	12%
Bocanda	1975	1221,35	1046,87	14%
M'bahiakro	1975	1162,62	989,63	15%

Tableau 2. Caractéristiques statistique des variables

Variabes	Effectifs	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Pluie (mm)	41	1094,54	216,67	712,2	1694,2
Température (°c)	41	26,82	0,42	26	27,7
humidité	41	75,12	1,45	71	78
prod.café (tonne)	41	6175,42	2687,1	686	12864
Prod.cacao (tonne)	41	4856	5058,73	211	17889

Tableau 3. Tableau des valeurs propres

Valeur n°	Val Propre	% Total variance	Cumul val propre	Cumul %
1	2,101333	42,02666	2,101333	42,0267
2	1,363073	27,26145	3,464406	69,2881
3	0,719442	14,38885	4,183848	83,6770

Tableau 4. Coordonnées des variables actives

Variables	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
P	-0,346434	-0,673807	0,639403
T	0,792334	0,263662	0,234429
H	0,315673	-0,831533	-0,303928
Cacao	-0,793331	0,360589	0,189488
Café	-0,790254	-0,134413	-0,356891

Tableau 5. Corrélations entre les paramètres climatiques et les productions agricoles

Point-variables	Angle a	Cosinus a
Café -pluie	50	0,64
Café -Température	170	-0,98
Cacao-pluie	50	0,64
Cacao-Température	150	-0,86
Cacao-humidité relative	150	-0,86
Pluie-humidité relative	50	0,64

4.2 FIGURES

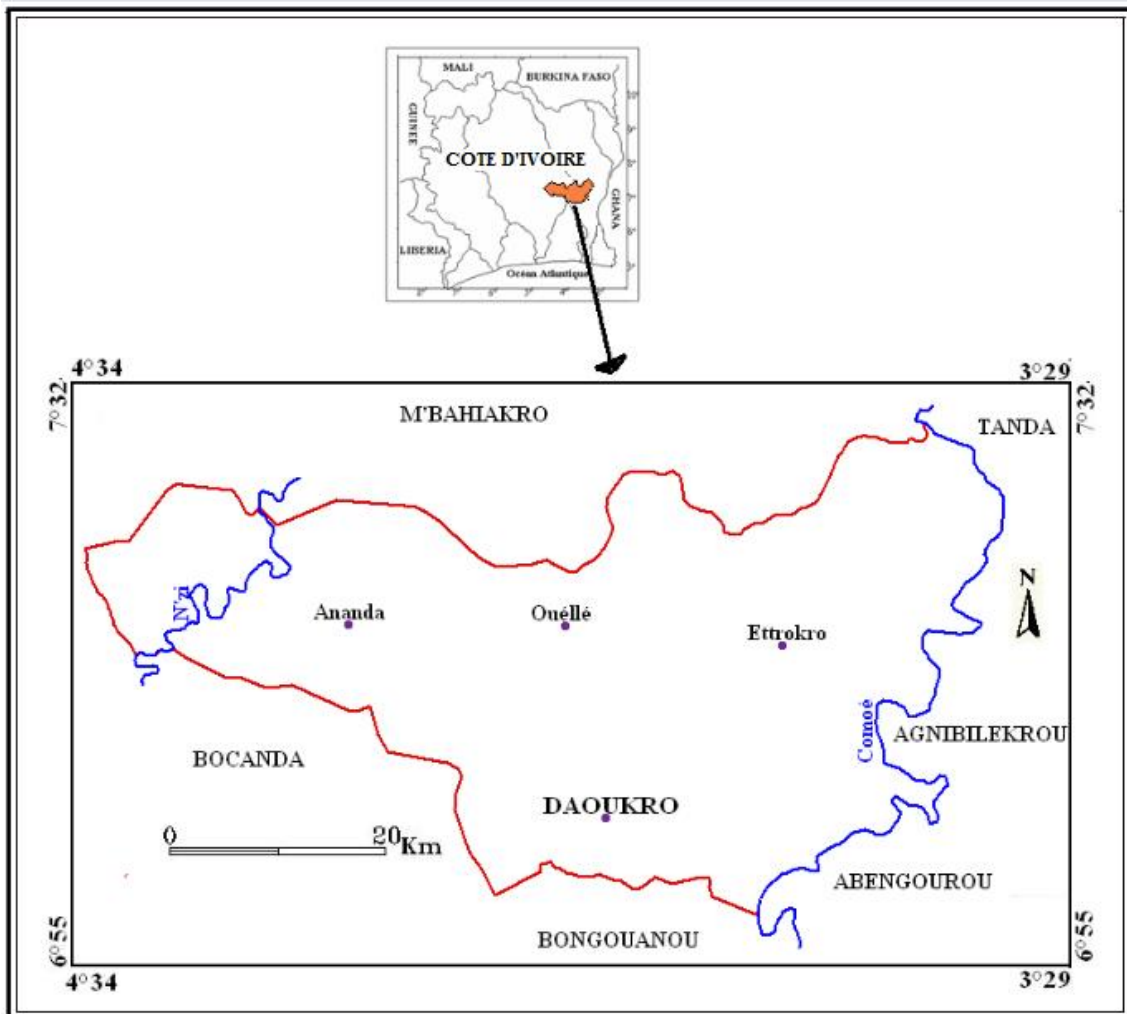


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

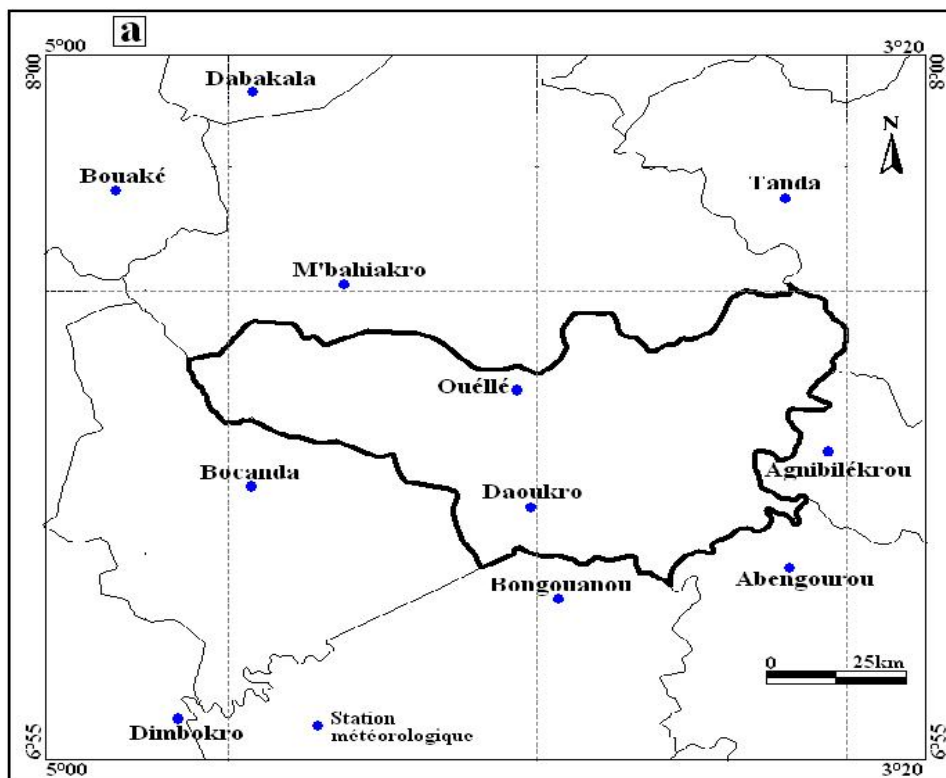
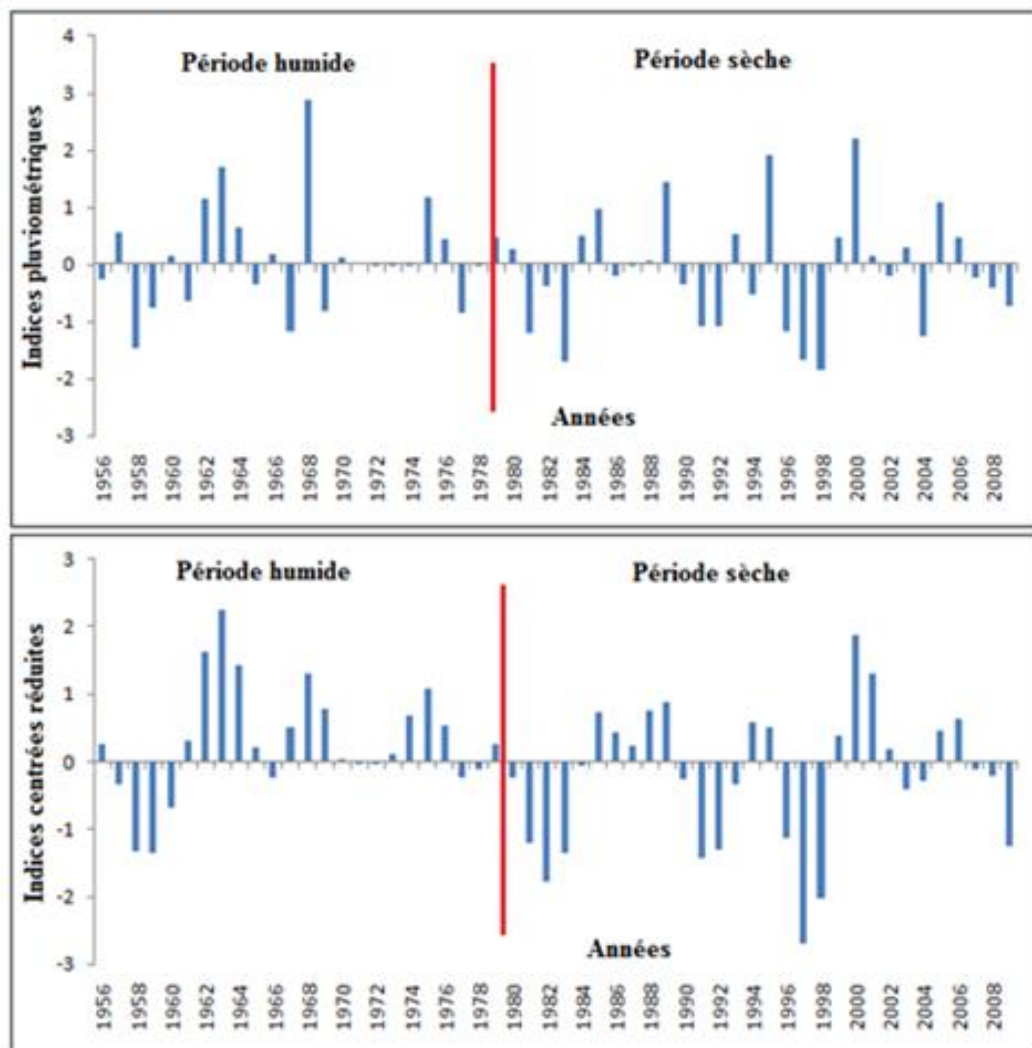


Fig. 2. Localisation des stations météorologiques

a) Station de Daoukro



b) Station de Bocanda

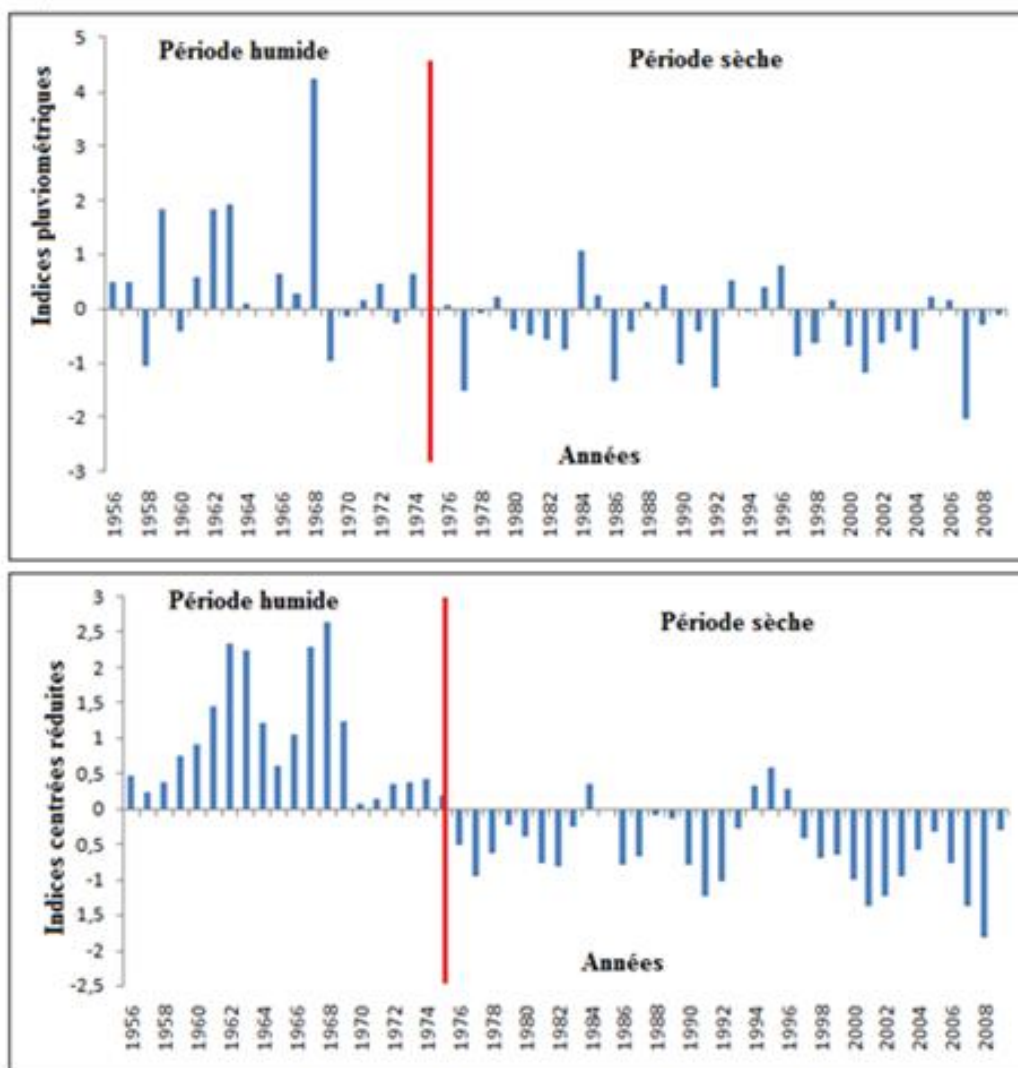
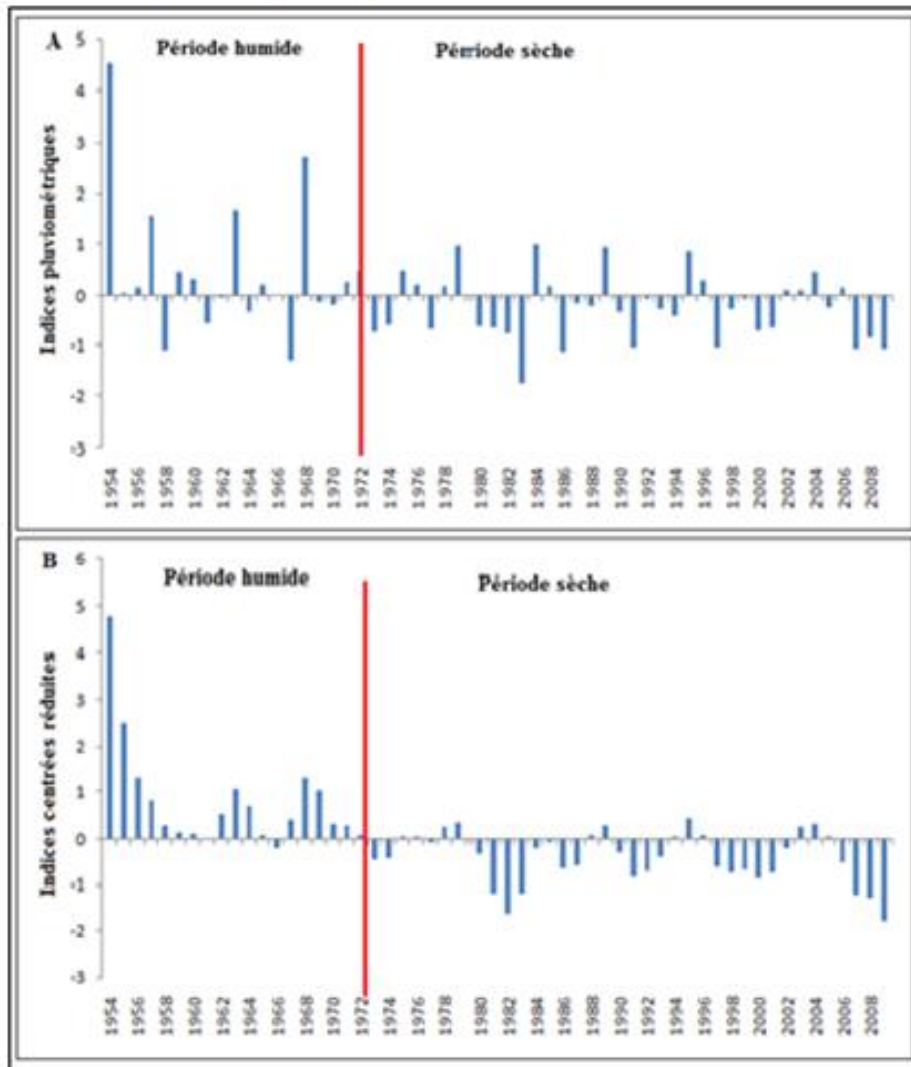


Fig. 3. Evolution de l'indice pluviométrique annuel des stations de Daoukro (a) et de Bocanda (b) (1956-2009)

C) Station d'Agnibilékrou



d) Station d'Abengourou

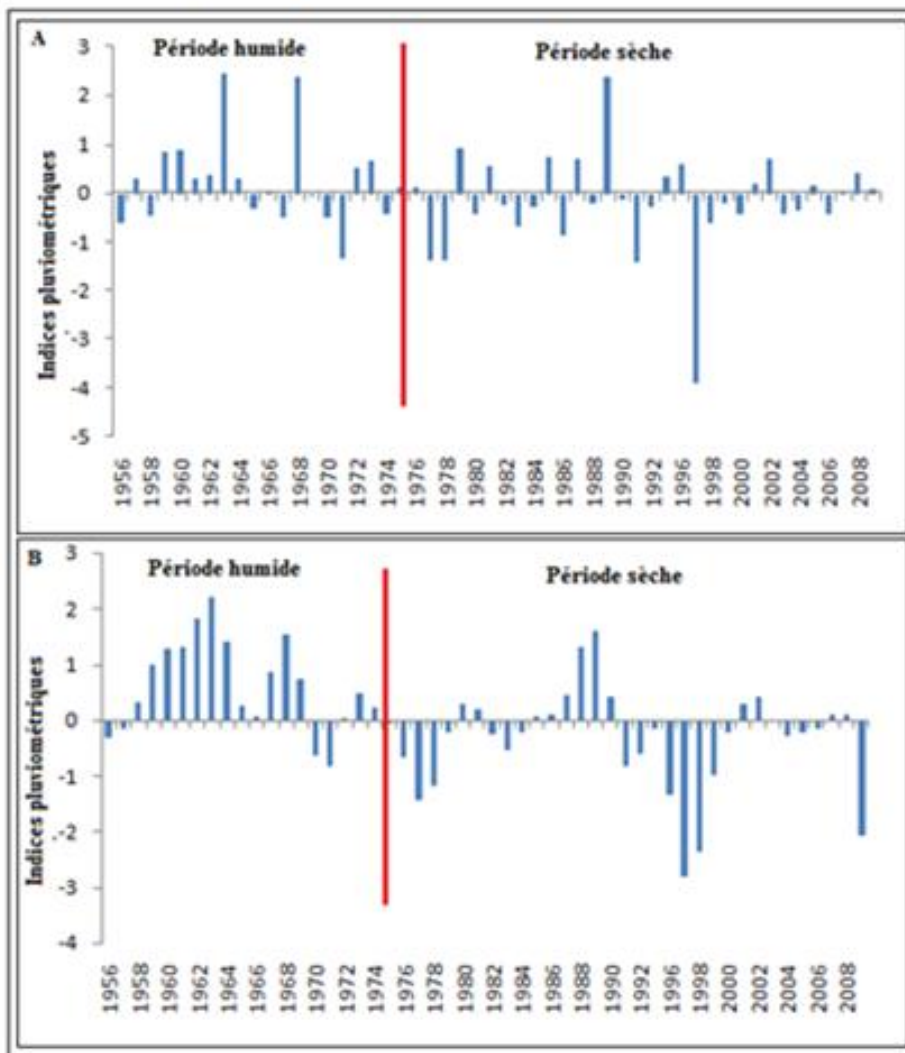


Fig. 4. Evolution de l'indice pluviométrique annuel des stations d'Agnibilékrou (c) et d'Abengourou (d) (1956-2009)

e) Station de M'bahiakro

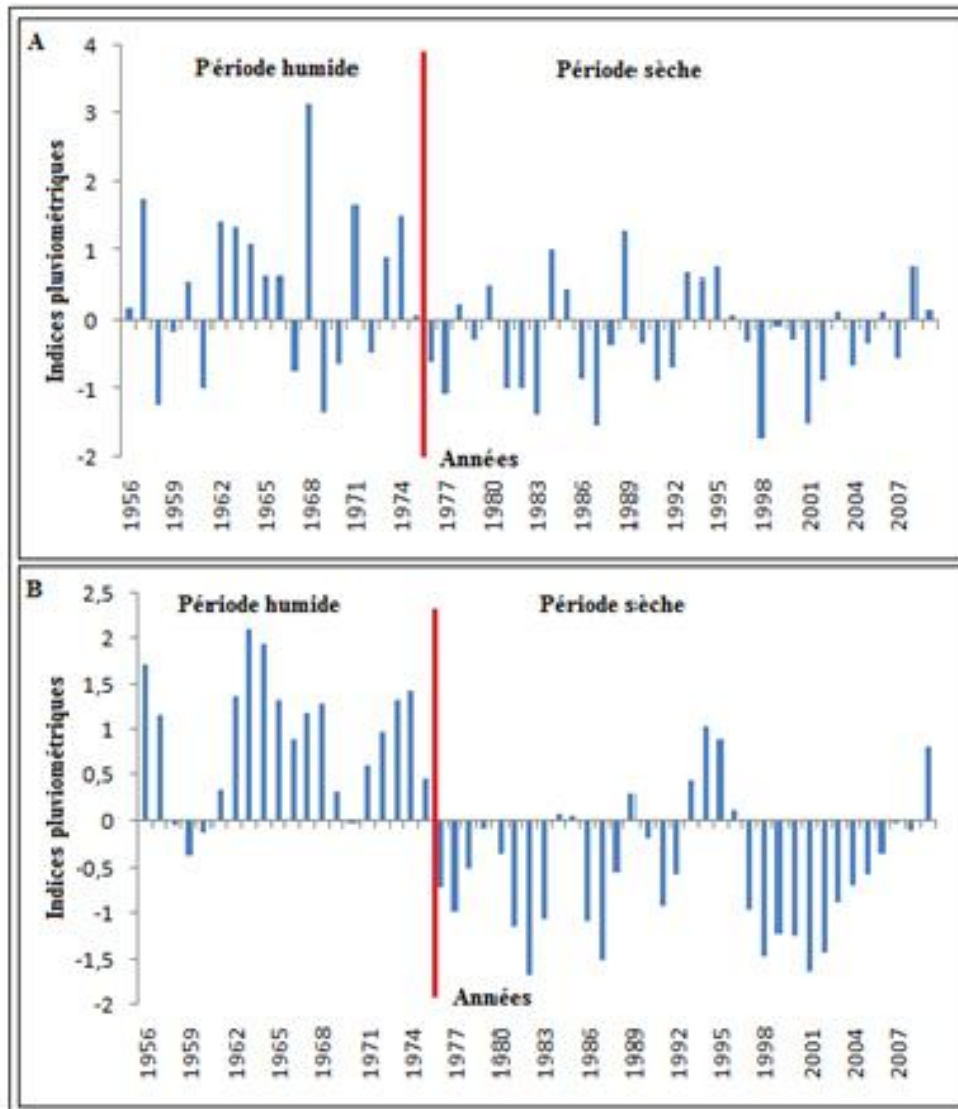


Fig. 5. Evolution de l'indice pluviométrique annuel à la station de M'bahiakro (1956-2009)

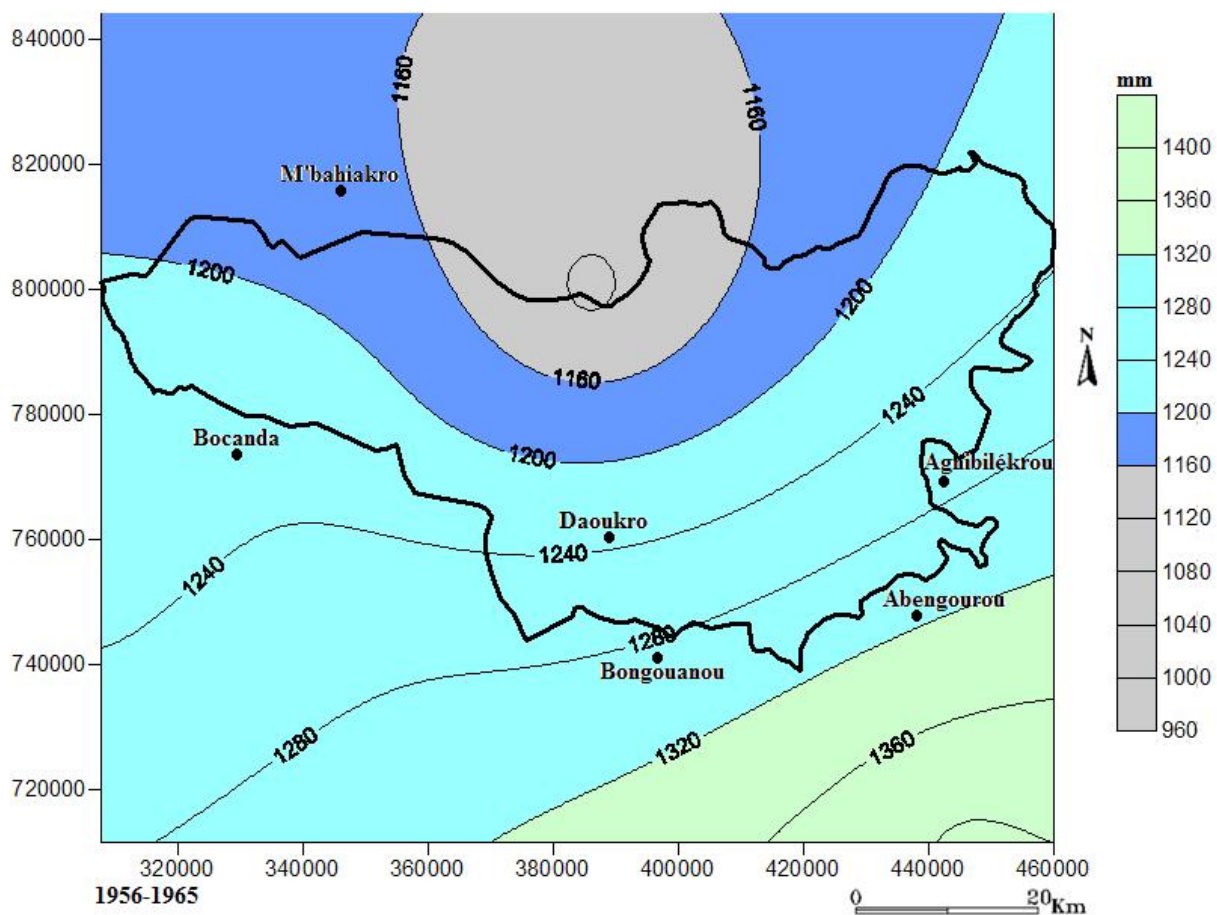


Fig. 6. Hauteurs pluviométriques moyennes interannuelles de la décennie 1956-1965

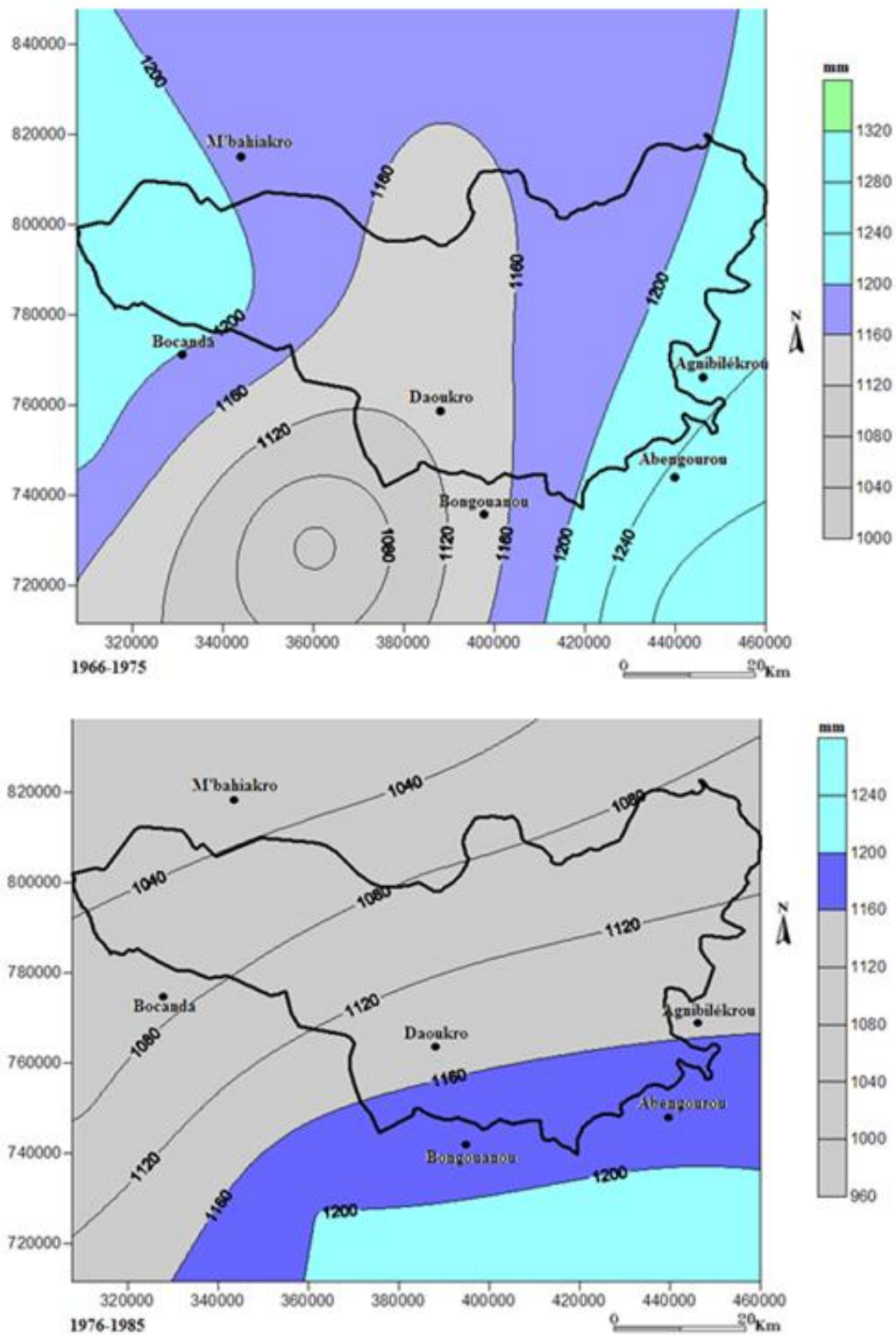


Fig. 7. Hauteurs pluviométriques moyennes interannuelles des décennies 1966 -1975 et 1976 -1985

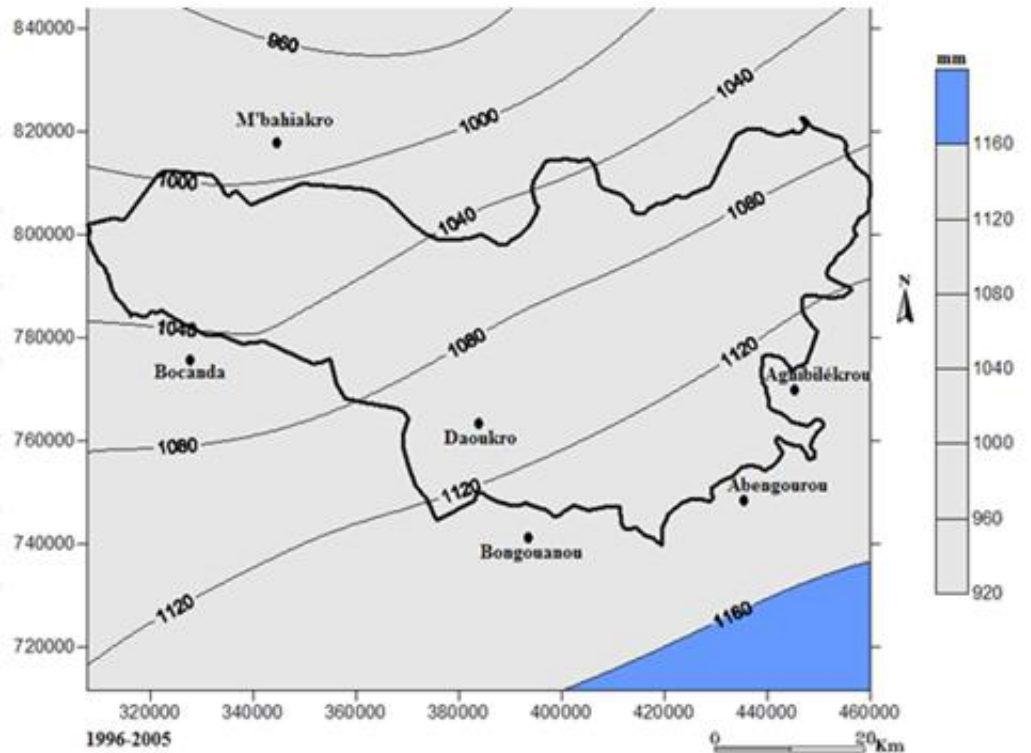
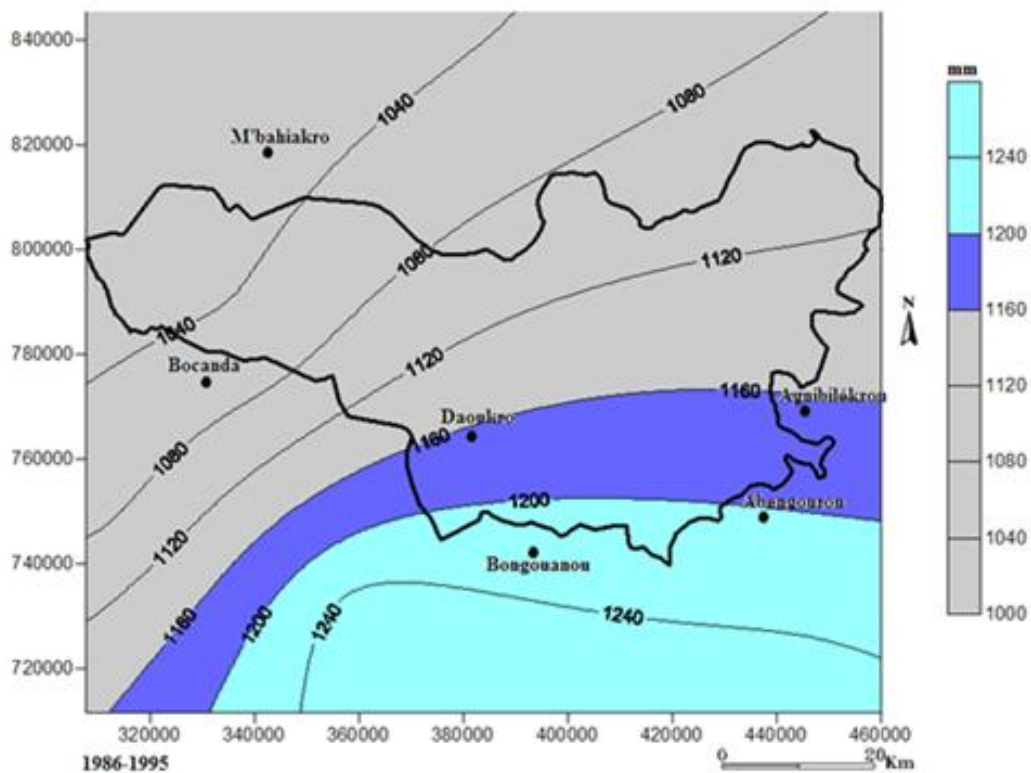
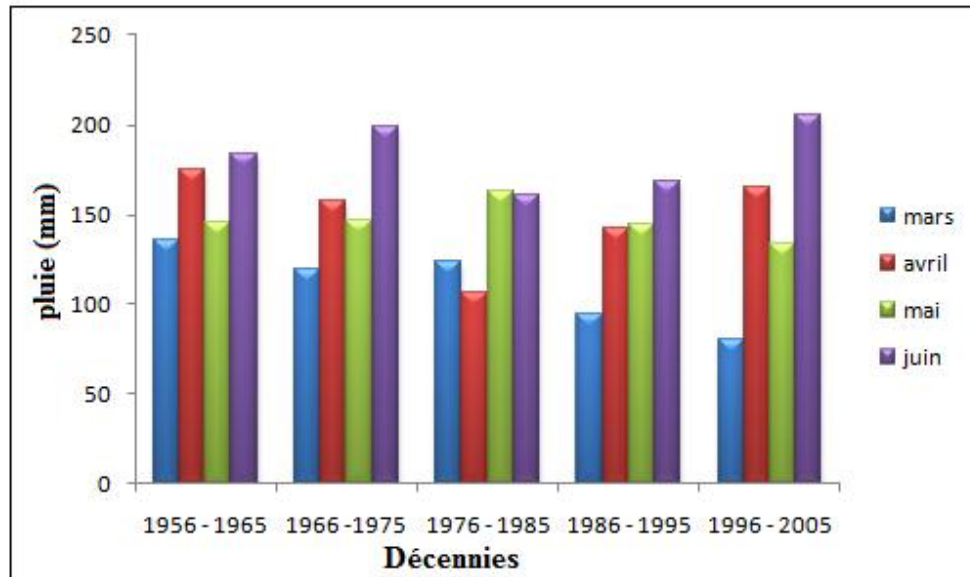


Fig. 8. Hauteurs pluviométriques moyennes interannuelles des décennies 1986 -1995 et 1996

a) Daoukro



b) M'bahiakro

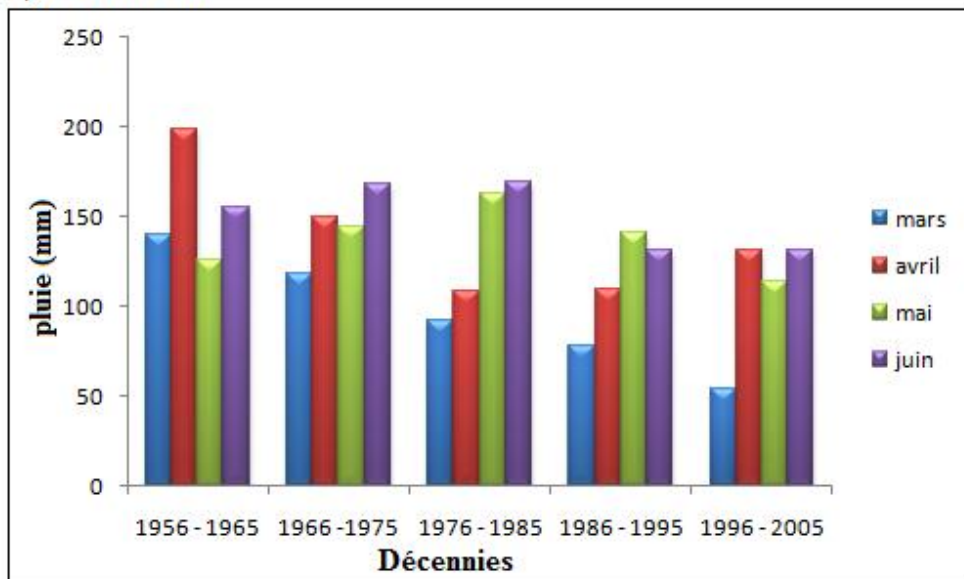
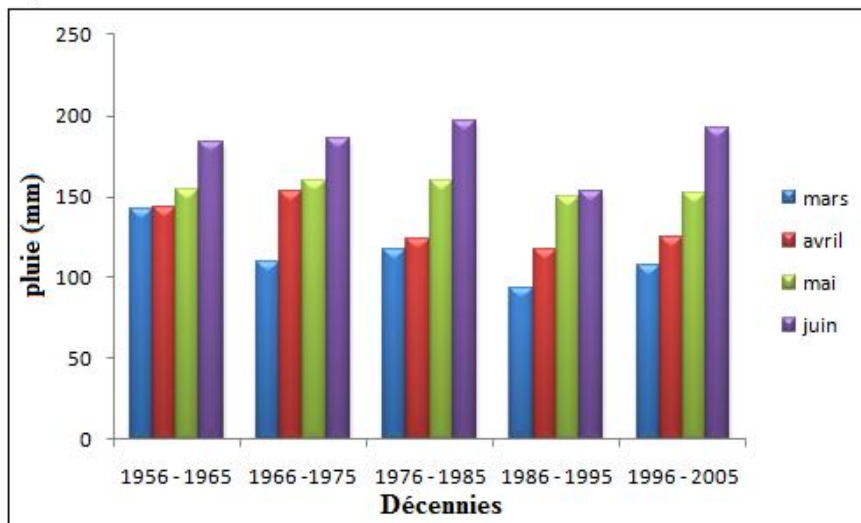
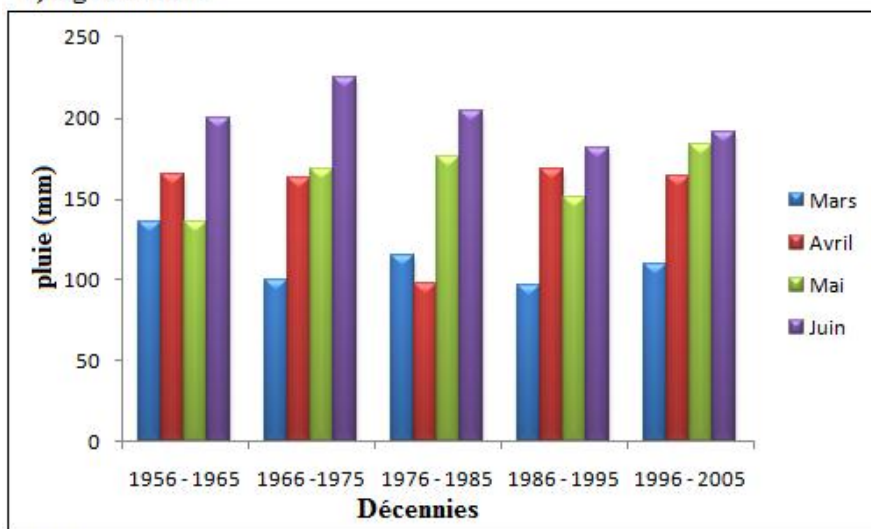


Fig. 9. Variation de la pluviométrie mensuelle (1956-2005). a- Daoukro ; b- M'bahiakro

c) Bocanda



d) Agnibilékrou



e) Abengourou

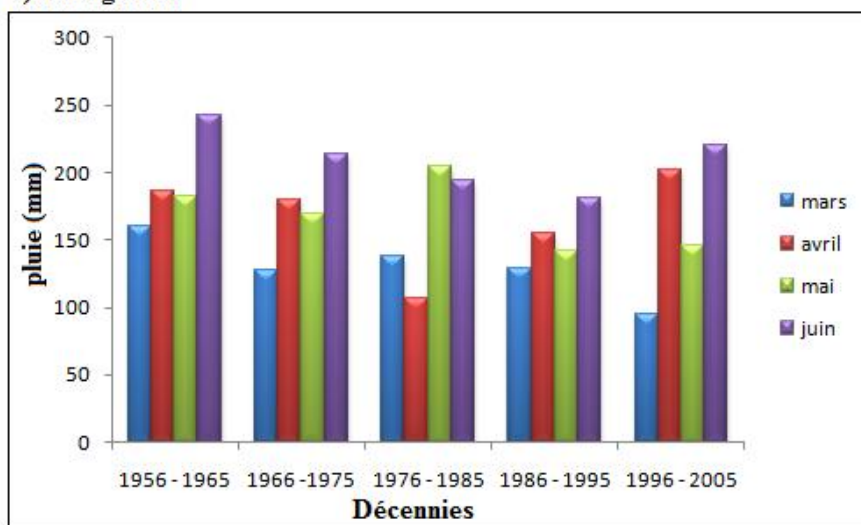


Fig. 10. Variation de la pluviométrie mensuelle (1956-2005). c-Bocanda ; d- Agnibilékrou ; e-Abengourou

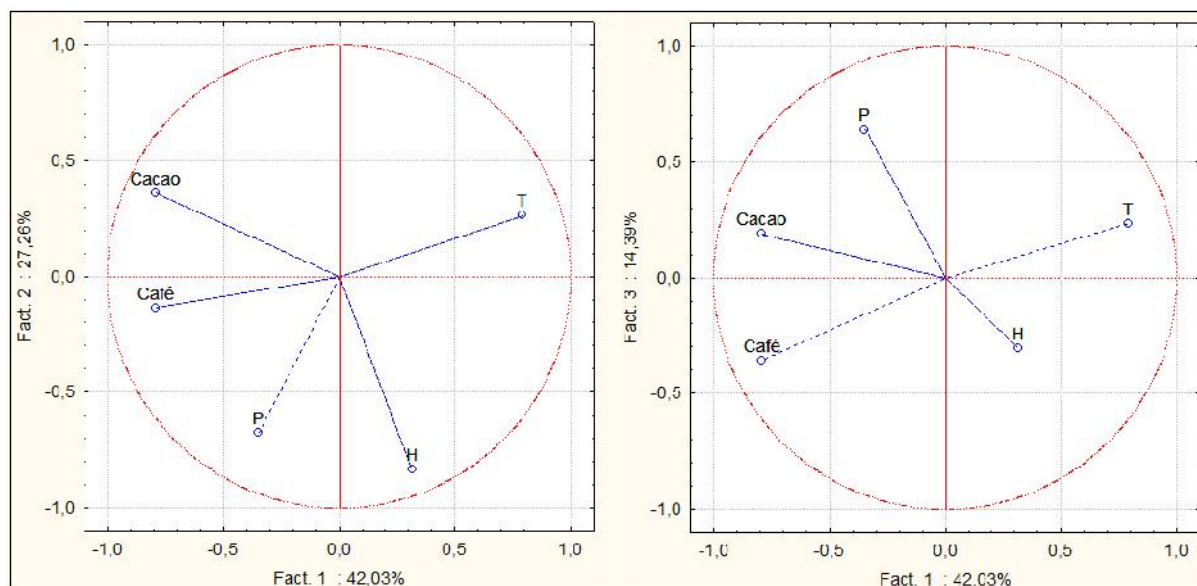


Fig. 11. Cercle des corrélations F1-F2 et F1-F3

5 CONCLUSION

Le déficit pluviométrique évalué dans la région de Daoukro atteint une valeur moyenne de 11% et fluctue entre 5% et 15%. La variabilité pluviométrique saisonnière s'est manifestée par une baisse importante de la pluviométrie mensuelle. Les différentes saisons ont des durées plus courtes qu'auparavant. En effet, la durée de la saison des pluies est passée de 4 mois à 3 mois. La production cacaoyère et caféière a connu une variabilité interannuelle importante causée en partie par la baisse et la mauvaise répartition des pluies au cours de l'année. Daoukro fait partie de l'ex-boucle du cacao qui a connu une expansion économique considérable. Les récessions pluviométriques de ces dernières décennies, le vieillissement des plantations et l'épuisement des réserves forestières ont entraîné une chute de la production de café et de cacao ainsi qu'une forte migration des populations et le déplacement de la boucle du cacao vers le Sud-ouest.

REFERENCES

- [1] B.S. Ardoin, "Variabilité hydroclimatique et impact sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zones soudano-sahélienne", *Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II*, 330 p, 2004.
- [2] M. Ouedraogo, "Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale", *Thèse de Doctorat, Université Montpellier II*, 257p, 2001.
- [3] J.E. Paturol, E. Servat, M.O. Delattre, H. Lubès-niel, "Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique", *Journal des sciences hydrologiques*, vol. 43, n° 6, pp. 937-946, 1998.
- [4] E. Servat, J.E. Paturol, B. Kouamé, M. Travaglio, "Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale", *IAHS Publication*, vol. 252, pp. 323-337, 1998.
- [5] S.E. Nicholson, "Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent", *The Holocene*, vol. 4, n° 2, pp.121-131, 1999.
- [6] S. Bigot, Y.T. Brou, J. Oszwaid, A. Diedhiou, "Facteurs de la variabilité Pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales", *Sécheresse*, vol. 16, n° 1, pp. 5-13, 2005.
- [7] F. Kanohin, B. Saley, I. Savané, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro en Côte d'Ivoire", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 26, n° 2, pp. 209-222, 2009.
- [8] T. Brou, E. Servat, J.E. Paturol, "Activités humaines et variabilité climatique : cas du sud forestier ivoirien", *IAHS Publication*, vol. 252, pp. 365-373, 1998.
- [9] Ins (Institut national de la statistique), "Recensement général de la population et de l'habitat de Côte d'Ivoire, Rapport de synthèse, volume des fiches monographiques des localités : région du N'zi-Comoé", *INS Abidjan*, 50 p, 2001.

- [10] Dcgtx (Direction et contrôle des grands travaux), "Projet local de développement agricole de Daoukro", *DCGTx, Côte d'Ivoire*, 147 p, 1995.
- [11] A.M. Kouassi, "Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire", *Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody*, 210 p, 2007.
- [12] A.A. Assani, "Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Iumbashi (Congo-Kinshassa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (el niño/ la niña)", *Sécheresse*, vol. 10, n° 4, pp. 245-252, 1999.
- [13] J. P. Cailleux, Pages, 1976, "Introduction à l'Analyses des données", *SMASH, Paris*, 616 p.
- [14] Y.T. Brou, Climat, "mutation socio-économique et paysages en Côte d'Ivoire, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches", *Université des sciences et techniques de Lille*, 212 p, 2005.
- [15] I. Savané, K.M. Coulibaly, P. Gion, "Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man", *Sécheresse*, vol. 12, n° 4, pp. 231-237, 2001.
- [16] P. Lachenaud, "Facteurs de la fructification chez les cacaoyers. Influence sur le nombre de graine par fruits (Theobroma Cacao L) Grignon : INA", *Thèse de Doctorat*, 188 p, 1992.
- [17] Y. S. Affou, "L'exploitation agricole villageoise : gaspillage de forêt ou rationalité économique ?" *ORSTOM*, Abidjan, 23 P, 1982.
- [18] G. Mahe, R. Dessouassi, G. Bandia, J.C. Olivry, "Comparaison des fluctuations interannuelles de piézométries, précipitations et débits sur le bassin versant du Bani à Douna au Mali", *IAHS Publication*, vol. 252, pp. 289-295, 1998.
- [19] J.C. Olivry, J.P. Bricquet, G. Mahe, "Variabilité de la puissance des crues des grands cours d'eau d'Afrique intertropicale et incidence de la baisse des écoulements de base au cours des 2 dernières décennies", *IAHS Publication*, vol. 252, pp. 189-197, 1998.
- [20] J.E. Paturel, E. Servat, B. Kouamé, J.F. Boyer, "Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne, Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin", *Sécheresse*, vol. 6, n° 1, pp. 95-102, 1995.
- [21] P. Alvim, "Ecophysiology of the cacao tree", Première conférence internationale sur les recherches cacaoyères (Abidjan), pp. 23-32, 1965.
- [22] A. Perraud, "Le milieu naturel de Côte d'Ivoire : les sols", *Mémoire de l'ORS TOM*, vol. 50, pp 269-391, 1971.
- [23] N.R. Yao, S. Doffissi, B. Koffi, F. Lassina, "Déclin de la pluviosité en Côte d'Ivoire : Impact sur les productions du palmier à huile", *Sécheresse*, vol. 6, n° 3, pp. 65-71, 1995.
- [24] P. Quincey, "Evolution de la pluviosité dans le sud ivoirien", *Culture et forêt*, vol. 2, pp. 50-62, 1987.
- [25] B. Dea, "Champs de comportement, résultats de la 1^{ère} année de production", *Rapport DEA n°14/93T, IDEFOR-département latex*, vol. 53 p, 1993.