

# L'ÉVOLUTION DE LA PLUVIOSITÉ ANNUELLE EN CÔTE D'IVOIRE AU COURS DES SOIXANTE DERNIÈRES ANNÉES

J.P. LHOMME  
O.R.S.T.O.M.

## RESUME

*Cette étude concerne les séries statistiques constituées par les pluviosités annuelles des trois plus anciennes stations de Côte d'Ivoire : Abengourou, Bouna et Daloa. Ces séries sont d'abord analysées fréquemment, ensuite du point de vue chronologique. Sur soixante années, aucune tendance n'apparaît, seulement des fluctuations à allure oscillatoire. Ainsi s'interpréterait la relative «sécheresse» des années soixante dix. L'analyse harmonique fait ressortir certaines contributions rythmiques : l'une de deux à trois ans, une autre correspondant approximativement au triple cycle solaire.*

## INTRODUCTION

Au cours de la dernière décennie, les pluviosités annuelles de nombreuses stations de Côte d'Ivoire ont été très souvent déficitaires par rapport aux normales. On a parlé d'assèchement du climat et mis cela en parallèle avec la grave sécheresse qui a touché le Sahel au début des années soixante dix [ 6 ]. Certains, même, croient y voir une conséquence du déboisement intensif de la zone forestière. Dans ce contexte il nous a paru intéressant de faire une étude exhaustive de la situation à la lumière de l'analyse statistique. Les stations pluviométriques les plus anciennes de Côte d'Ivoire possèdent des relevés depuis 1920. Elles sont au nombre de trois : Abengourou, Bouna et Daloa. Ces trois stations ont en outre l'avantage d'être bien réparties sur le territoire ivoirien (fig. 1) et de constituer, par conséquent, un échantillonnage valable. Ce sont elles que nous avons retenues pour l'analyse.

L'objet de cet article est donc l'examen des séries chronologiques des pluviosités annuelles relatives à ces

trois stations. Les données de 1920 à 1974 ont été tirées du Fichier pluviométrique opérationnel de la Côte d'Ivoire, établi par l'ORSTOM pour le compte du CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques). Celles concernant la période 1975-1979 ont pour origine l'ASECNA (Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar). Les trois séries pluviométriques sont d'abord analysées fréquemment, ensuite du point de vue de la tendance (trend) et des effets cycliques.

En Côte d'Ivoire, le gradient pluviométrique est S.W.-N.E., la zone la plus pluvieuse se situant au S.W. Les trois normales se succèdent dans l'ordre attendu : 1434 mm à Daloa, 1345 à Abengourou et 1094 à Bouna. Le régime pluviométrique annuel est à deux saisons pluvieuses dans le Sud (Abengourou, Daloa) et à une seule saison dans le Nord (Bouna). Les coefficients de variations sont à peu près de mêmes pour les trois stations : ils avoisinent 20 %. Le tableau 1 fournit les principaux paramètres statistiques des trois séries.

Dans cette partie de l'Afrique, la pluviosité obéit au même déterminisme climatique qu'est le balancement du front intertropical. Il paraîtrait normal de trouver une variation temporelle concomitante des totaux pluviométriques annuels. Nous avons donc cherché à comparer les séries chronologiques entre elles en calculant les indices de covariation. Ceux-ci sont définis pour deux séries par :

$$i = \frac{c - d}{c + d}$$

c étant le nombre d'années où l'on a noté des écarts à la normale de mêmes signes dans les deux séries, d le nombre d'années où ces écarts ont été de signes contraires.

Fonds Documentaire ORSTOM



010020960

135

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B \* 20960 Ex : 1

La Météorologie VIe Série n° 25 Juin 1981

TABLEAU 1

Paramètres statistiques caractéristiques des trois séries pluviométriques.

	Abengourou	Bouna	Daloa
Moyenne (mm)	1345	1094	1434
Ecart type (mm)	246	221	263
Coeff. de variation (%)	18	20	18
Val. maximale (mm) (année)	1994 (1963)	1850 (1968)	2185 (1963)
Val. minimum (mm) (année)	852 (1946)	667 (1961)	999 (1958)
Asymétrie ( $\gamma_1$ )	+ 0,52	+ 0,74	+ 0,89
Aplatissement ( $\gamma_2$ )	+ 0,46	+ 0,77	+ 0,33

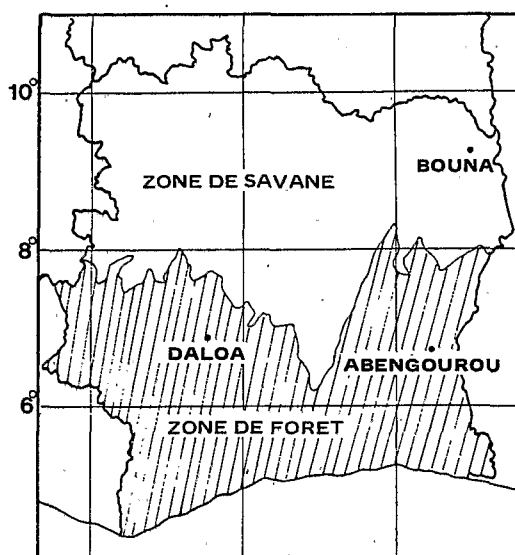


Fig. 1 : Côte d'Ivoire : localisation des trois stations pluviométriques possédant les plus longs enregistrements (60 années).

res.  $i$  varie de -1 (tous les écarts de sens contraires) à + 1 (tous les écarts de mêmes sens). Les résultats sont les suivants :

- pour Abengourou et Bouna,  $i = + 0,43$
- pour Abengourou et Daloa,  $i = + 0,37$
- pour Bouna et Daloa,  $i = + 0,40$

Bien qu'il n'existe, à notre connaissance, aucun test de signification pour  $i$ , les valeurs obtenues permettent de conclure à une certaine covariation. (Par contre d'autres indices peuvent être utilisés tel le coefficient de corrélation pour lesquels de tels tests existent).

### ANALYSE DE LA DISTRIBUTION FREQUENTIELLE

Les distributions fréquentielles des pluviosités annuelles sont unimodales. Elles présentent, comme l'indique le tableau 1, une asymétrie positive assez marquée, c'est-à-dire un étalement sur la droite, et un aplatissement également positif (Courbe plus aigue que celle de Gauss). Une des lois théoriques susceptibles de représenter de telles distributions est la loi gamma incomplète (Pearson III), dont la fonction de répartition s'écrit [ 1 ] :

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^u u^{\gamma-1} e^{-u} du \text{ avec } u = \frac{x - x_0}{s}$$

$x_0$  est le paramètre de position, borne inférieure de l'intervalle de définition,  $s$  est le paramètre d'échelle, strictement positif.  $\gamma$ , le paramètre de forme strictement positif également.  $\Gamma(\gamma)$ , la fonction gamma complète. Lorsque  $x$  varie de  $x_0$  à  $+\infty$ ,  $F(x)$  croît de 0 à 1.

Ce type de loi a été ajusté aux distributions empiriques par la méthode des moments. Elle consiste à tirer les valeurs de  $x_0$ ,  $s$  et  $\gamma$  des équations donnant les moments en fonction de ces paramètres. La figure 2 présente les histogrammes des fréquences des trois séries et les courbes d'ajustement correspondantes. Les valeurs calculées des paramètres sont :

- Abengourou :  $x_0 = 414, s = 66, \gamma = 14,1$
- Bouna :  $x_0 = 510, s = 85, \gamma = 6,9$
- Daloa :  $x_0 = 851, s = 121, \gamma = 4,8$

La figure 2 donne également les courbes intégrales des fréquences des fonctions ajustées. De celles-ci ont été tirées les valeurs des déciles inférieurs (définis par la relation  $F(D1) = 0,10$ ). Pour Bouna  $D1 = 840$  mm ; pour Abengourou  $D1 = 1050$  et pour Daloa  $D1 = 1140$ . Un dixième de l'effectif de chaque population doit théoriquement se trouver au-dessous de  $D1$ . Or durant la dernière décennie, 1970 - 1979, deux totaux pluviométriques sont inférieurs à  $D1$  à Bouna, trois à Abengourou et deux à Daloa. Ces résultats, tout en accréditant l'idée d'une série d'années déficitaires, ne permettent pas de conclure à une quelconque variation du climat. Ces années déficitaires ne sont pas surprenantes : les populations statistiques, que constituent les pluviosités annuelles, ont des structures qui laissent prévoir un tel risque.

### RECHERCHE D'UNE TENDANCE

Nous avons cherché l'existence d'une tendance dans l'évolution de la pluviosité annuelle au cours des soixante années de mesure. Cette recherche a commencé par la comparaison des moyennes partielles. Chaque série pluviométrique a été divisée en deux parties égales : la première comportant les enregistrements de 1920 à 1949, l'autre ceux de 1950 à 1979. Les moyennes correspondantes, sur trente ans, ont été calculées. Trente ans représente la durée recommandée par l'OMM pour le calcul des normales climatologiques. Ensuite le test  $t$  de Student a été appliqué afin de déterminer si ces moyennes partielles étaient significativement différentes. Les résultats sont les suivants :

- pour Abengourou :  $\bar{x}_1 = 1330, \bar{x}_2 = 1361, t = -0,49$
- pour Bouna :  $\bar{x}_1 = 1082, \bar{x}_2 = 1106, t = -0,41$
- pour Daloa :  $\bar{x}_1 = 1414, \bar{x}_2 = 1454, t = -0,59$

Pour aucune des trois séries, les moyennes partielles ne sont significativement différentes au seuil 95%. Qui plus est, les moyennes calculées sur la deuxième période sont toutes légèrement supérieures à celle calculées sur la première. Les trente dernières années auraient donc été, dans l'ensemble, un peu plus pluvieuses que les trente premières, sans toutefois que ce résultat ait une signification statistique.

Deux tests de rangs sont classiquement utilisés pour rechercher l'existence d'une tendance dans les séries chronologiques : celui de Spearman et celui de Mann-Kendall [ 8 ]. Bien qu'ils soient formulés différemment, ils sont essentiellement équivalents. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman  $r_s$  mesure la corrélation existant entre deux classements : dans notre cas,

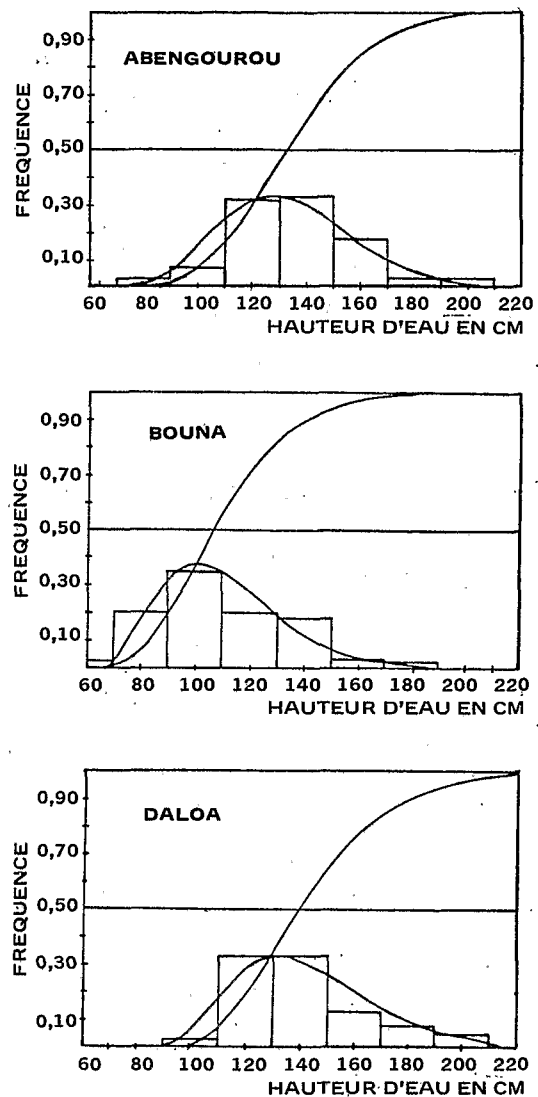


Fig. 2 : Histogrammes des fréquences, courbes d'ajustement et fonctions de distribution des pluviosités annuelles des trois stations.

entre le classement chronologique et le classement par valeurs décroissantes.  $r_s$  varie entre -1 et +1.  $r_s = +1$  indique que les deux classements sont identiques,  $r_s = -1$  qu'ils sont exactement inverses. Pour Abengourou  $r_s$  vaut + 0,07, pour Bouna + 0,15 et pour Daloa + 0,14. Aucune de ces trois valeurs n'est significative à 95 %. On doit, par conséquent, accepter l'hypothèse nulle de l'absence de tendance.

La figure 3 représente les trois séries chronologiques. La hauteur d'eau annuelle  $y$  est exprimée en pourcentage de la normale des soixante années. Sur les mêmes graphiques, des courbes en pointillé relient les moyennes mobiles calculées sur cinq années. De cette façon est éliminé l'effet des fluctuations de très courtes périodes. Ces courbes des moyennes mobiles corroborent visuel-

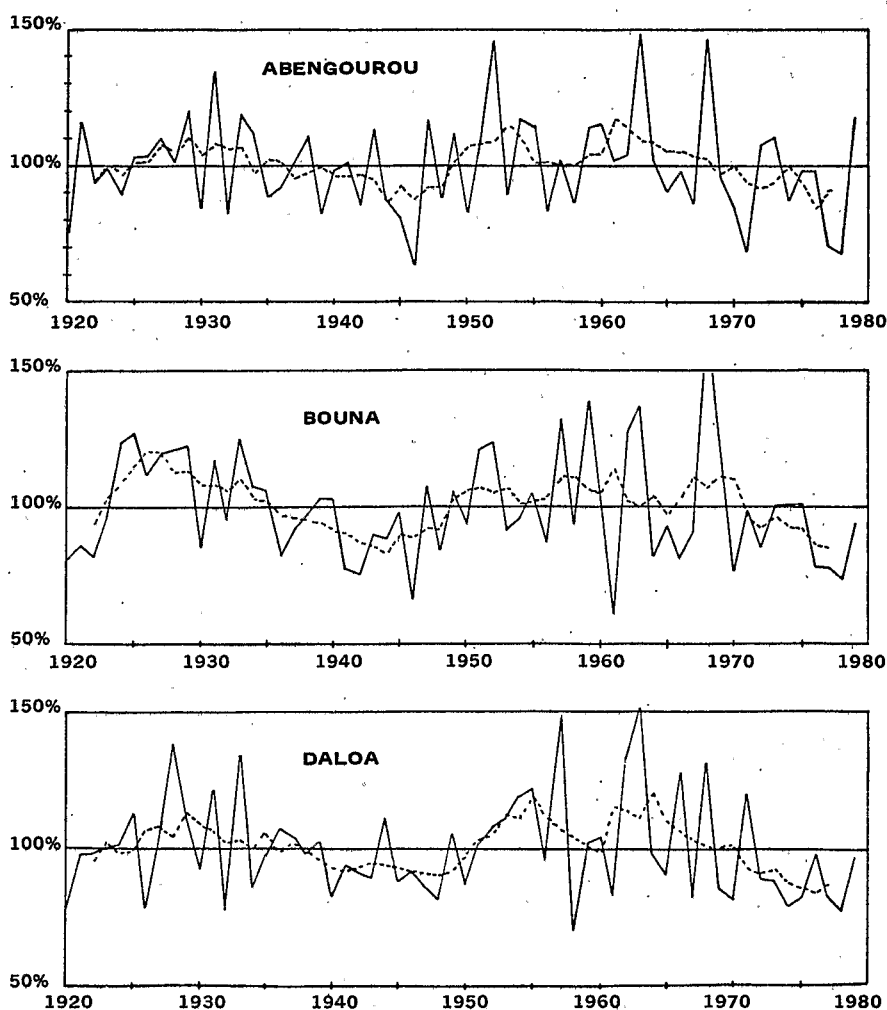


Fig. 3 ; Séries chronologiques des pluviosités annuelles exprimées en pourcentage de la normale des soixante années et courbes des moyennes mobiles calculées sur cinq ans.

lement l'absence de tendance séculaire sur les soixante années d'enregistrement de la pluviosité annuelle. Elles mettent en évidence, par contre, des fluctuations à allure oscillatoire : une série d'années excédentaires (par rapport aux normales) succédant généralement à une série d'années déficitaires.

#### RECHERCHE DES PROPRIETES CYCLIQUES

Le simple examen des graphiques chronologiques montre qu'une période déficitaire, semblable à celle traversée depuis 1970, se retrouve entre 1935 et 1950. Joutant ces périodes déficitaires apparaissent deux périodes d'années plutôt excédentaires, 1925 - 1935 et 1950 - 1970. Mais cette oscillation n'a, à priori, rien de rythmique. Afin de préciser, toutefois, les éventuels éléments cycliques des trois séries chronologiques nous les avons soumises à l'analyse harmonique.

La méthode du périodogramme [ 3 ] est une méthode classique, dérivée de l'analyse harmonique, qui permet de mettre en évidence les périodes et les amplitudes des éléments cycliques qui peuvent interférer dans une série chronologique. Une série  $x_i$  de  $n$  termes sera considérée comme la résultante d'une superposition de mouvements oscillatoires de fréquences  $f_j$  :

$$x_i = \bar{x} + \sum_j A_j \cos(2\pi f_j i - \phi_j) \quad 0 \leq i \leq n-1$$

les fréquences  $f_j$  n'appartenant pas forcément à une même suite de Fourier. La quantité  $A_j^2$  est maximale quand  $f_j$  est voisine d'une fréquence réelle du mouvement considéré. Elle se calcule à partir des termes de la série :

$$A^2(f) = a^2(f) + b^2(f)$$

$$a(f) = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i - \bar{x}) \cos(2 \pi f i)$$

$$b(f) = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i - \bar{x}) \sin(2 \pi f i)$$

Sur le graphe représentatif de  $A^2(f)$ , appelé périodogramme, un sommet bien marqué se manifeste quand la quantité  $A^2$  passe par un maximum. La figure 4 montre le périodogramme relatif à chaque série. En ordonnée est porté  $A^2/2$  qui représente la variance de chaque élément cyclique. Pour la série de Daloa, on remarque clairement deux fortes bandes spectrales, la première centrée sur 2,7 ans ( $f = 0,370$ ), la deuxième sur 30,3 ans ( $f = 0,033$ ). Mais les deux autres périodogrammes ne sont pas aussi clairs. Si on y retrouve effectivement des pics dans la bande des 30 ans, exactement à 30,3 pour Abengourou et 32,3 pour Bouna, ils sont moins marqués. La série d'Abengourou fait apparaître également deux sommets dans la bande des 2 ans, le premier à 2,3, le second à 2,6. Rien de très significatif, par contre, dans cette bande, à Bouna. Mais pour ces deux localités se manifestent des pics relatifs dans la bande des 5 ans qui n'apparaissent pas à Daloa : à 5,7, 5,2 et 4,2 exactement. Comment interpréter ces contributions rythmiques ?

Dans les phénomènes météorologiques il y a deux oscillations bien connues : le cycle de onze années environ des taches solaires et une oscillation quasi-biennale (QBO : quasi-biennial oscillation) qui varie, en réalité, de deux à trois ans [ 5 ]. Bien que le cycle solaire ne figure pas au nombre des oscillations caractéristiques, il peut se retrouver indirectement. En effet, la forte bande spectrale des 30 ans (30,2 - 32,3) correspond approximativement au triple cycle solaire et celle des 5 ans à son second harmonique. Quant à la bande des 2 ans, qui apparaît clairement dans les séries de Daloa et Abengourou, elle doit, bien sûr, être considérée comme une manifestation de la QBO. Cette pulsion quasi-biennale a été mise en évidence dans le nombreux phénomènes météorologiques et séries climatologiques, un peu partout dans le monde [ 7 ].

D. Klaus a consacré récemment une étude [ 4 ] à l'analyse globale des précipitations annuelles au Sud du Sahara. Dans la zone qui englobe la Côte d'Ivoire il mettait en évidence une forte bande spectrale dans les 32 ans et des pics relatifs à 6,9 ans et 2,6 ans. Ces résultats recourent assez bien les nôtres.

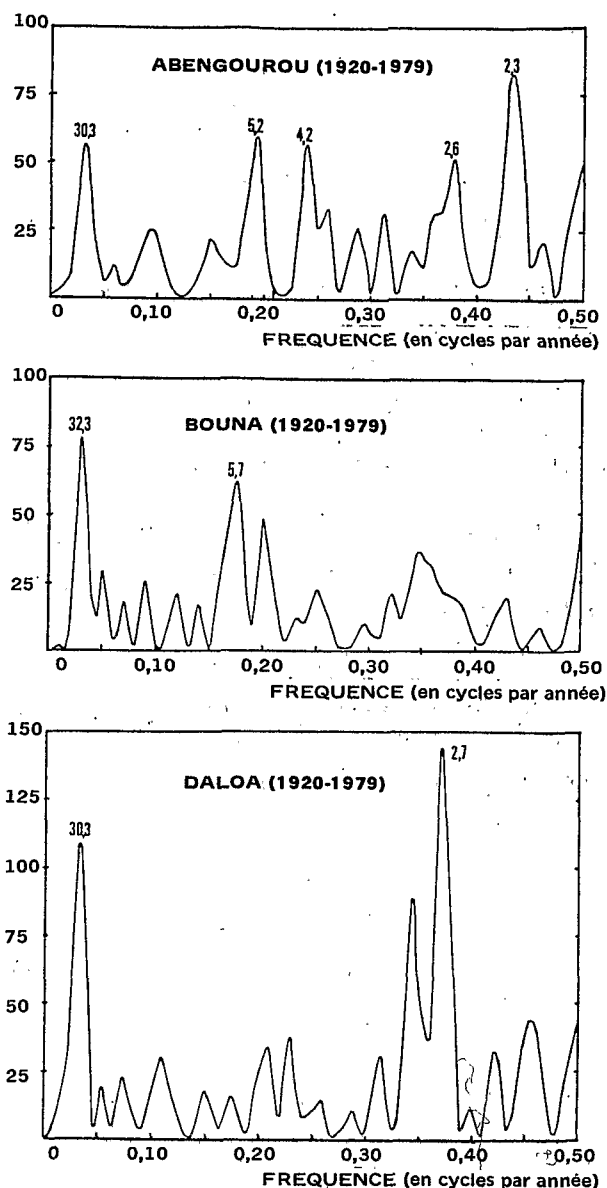


Fig. 4 : Périodogrammes relatifs aux pluviosités annuelles (1920 - 1979).

## CONCLUSION

De cette étude il ressort clairement qu'aucune tendance séculaire ne se manifeste dans l'évolution de la pluviométrie annuelle en Côte d'Ivoire, seulement des oscillations qu'il est difficile d'interpréter compte tenu du faible nombre d'années considérées. L'analyse harmonique fait ressortir des éléments rythmiques : la QBO et le triple cycle solaire en particulier. En fin de compte, la période d'années déficitaires que vient de traverser la Côte d'Ivoire apparaît nullement étrangère aux prévisions statistiques. Elle constitue, tout au plus, l'un des creux d'une évolution oscillatoire. Mais cette évolution, pour être caractéristique, demande à être confirmée par les années à venir.

## BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] Brunet-Moret, Y.  
Étude de quelques lois statistiques utilisées en Hydrologie.  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. VI, n<sup>o</sup> 3 (1969).
- [ 2 ] Bunting, A.H., Dennet, M.D., Elston, J. and  
Milord, J.R.  
Rainfall trends in the West African Sahel. Quart. J.R.  
Met. Soc., 102, 59-64 (1976).
- [ 3 ] Grisolle, H., Guilmet B. et Arlery R.  
Climatologie, méthodes et pratiques. Paris, Gauthier-  
Villars, (1962).
- [ 4 ] Klaus, D.  
Spatial distribution and periodicity of mean annual  
precipitation South of the Sahara. Arch. Met. Geoph.  
Biokl., Ser. B, 26, 17 - 27 (1978).
- [ 5 ] Landsberg, H.E., Mitchell J.M., Crutcher H.L.  
and Quinlan F.T.  
Surface signs of the biennial atmospheric pulse. Mo.  
Weather Rev., 549 - 556 (1963).
- [ 6 ] Landsberg, H.E.  
Sahel drought : Change of climate or part of climate ?  
Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 23, 193 - 200 (1975).
- [ 7 ] Parthasarathy, B. and Dhar O.N.  
A study of trend and periodicities in the seasonal and  
annual rainfall of India. Indian J. Met. Hydrol. Geophys.,  
27, 23 - 28 (1976).
- [ 8 ] WMO, Geneva  
Climatic change. Tech. Note, 79 (1966).

