

10 • Dynamique de la Zone Intertropicale de Convergence et climat des régions sahéliennes

JEAN CITEAU

Océanographe ORSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

GIL MAHÉ

Allocataire de Recherche de l'ORSTOM/Université Paris-Sud, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

HERVÉ DEMARCQ

Océanographe ORSTOM, CRODT/ISRA, BP 2241, Dakar, Sénégal

RÉSUMÉ

Les satellites météorologiques fournissant un moyen original de suivre la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC), nous en avons dressé la chronique en analysant l'imagerie d'archive (NOAA/Meteosat) sur la période 1971-1987. Les anomalies climatiques ayant été, par le passé, attribuées à la position de la ZITC, une étude de celles-ci a été reprise en utilisant une information satellitaire (suivie le long de 28°W). Dans cette étude, il a été considéré que le débit du fleuve Sénégal représentait une référence significative du suivi de la sécheresse en région sahélienne. De même, ont été étudiés d'autres paramètres du climat tels que la température de surface océanique (TSM), le vent au niveau de la mer et, en altitude, le contenu en vapeur d'eau de la basse troposphère. Des études antérieures ayant suggéré qu'une position plus septentrionale de la ZITC devait se traduire par une saison des pluies au Sahel plus arrosée (la situation inverse devant aussi être vraie), nous avons observé que cette relation se trouvait mieux vérifiée durant les années 1970 que durant les années 1980. A côté de changements durables du climat, tels que l'indiquerait la persistance de débits déficitaires du fleuve Sénégal, ou la diminution de l'intensité de l'upwelling équatorial Atlantique, une analyse nouvelle de la position de la Zone de Convergence est proposée. Un schéma typique d'année sèche (ou humide) peut en effet être identifié, selon que la ZITC amorce sa migration vers le nord de façon précoce (ou tardive); ce nouveau paramètre qui peut aussi se traduire en termes de vitesse moyenne de migration de la ZITC vers le nord, permet de mieux différencier deux groupes d'années caractérisant des épisodes secs ou humides, sur l'ensemble de la série 1971-1987. La variabilité du contenu en humidité de la basse troposphère sur la période 1980-1987, indique la persistance d'anomalies durables à l'échelle inter-annuelle, et contredit l'acception selon laquelle ce paramètre ne serait pas un facteur limitant d'une bonne pluviométrie. Le transport de vapeur d'eau au dessus des régions sahéliennes semble être plus efficace quand le refroidissement équatorial est plus intense. En couplant les données de vapeur d'eau à celles de la position de la ZITC, il a été observé qu'une bonne pluviométrie sahélienne s'observait en présence d'une vitesse plus élevée de la remontée de la ZITC vers le nord, et d'une anomalie positive de la disponibilité en eau dans la basse troposphère.

ABSTRACT

Meteorological satellite imagery providing an original way to watch the ITCZ (Intertropical Convergence Zone), we followed its daily locations (along 28°W), using archive imagery (NOAA/Meteosat) which cover the 1971-1987 period. An attempt was made to study further some of the relationships between ITCZ locations, and climate anomalies in the Sahel, which was affected by periodic drought for the last seventeen

years. We assumed that runoff from the Senegal River was representative of the relative drought estimate for Sahelian area, and we paid also a closer attention to some of the more frequently studied parameters, such as wind at sea level, sea surface temperature, and humidity content in the lower troposphere. As the rainfall amount in the Sahelian area was assumed to be related to the Northernmost position reached by ITCZ, we found a better fit of this assessment during the seventies than during the eighties. Beside a possible change of climate suggested either by the trend of the Senegal river runoff or, on the other hand, by the continuous tendency for less intense equatorial upwelling in the Atlantic, another analysis of the ITCZ migrations is proposed: a close look on the first half of the year, reveals typical wet (or dry) schemes of the ITCZ migration in reporting the date at which ITCZ begins its northward migration; a sooner (respectively later) date of northward ITCZ migration corresponds to dry (respectively wet) episodes during the rainy season in the Sahelian areas. This observation can also be reported in other words, by computing the « mean speed » of ITCZ during its northwards movement. The study of moisture content in the lower troposphere contradict the assessment according which, this parameter was not a limiting factor for rainy season. Taking into account the sea surface temperature (which primarily determines convective process), we observed that moisture transportation over Sahelian area seemed to be more effective when larger negative SST anomalies occur in the equatorial area. Coupling moisture analysis and ITCZ migration (1980-1987 period), wetter rainy seasons were observed each time that positive humidity anomalies coincided with a later northward ITCZ migration (or greater northward ITCZ speed).

INTRODUCTION

C'est l'ouverture de nouvelles routes aériennes qui a valu à la climatologie tropicale un réel développement; il est donc normal que ce soit à ce titre que nombre d'anciennes publications consacrées à ce sujet aient été éditées (parfois de façon anonyme) à l'usage des pilotes (Air France, 1965; rapports internes Asecna).

Plus proches de nous, les périodes de sécheresse prolongée qui ont affecté les régions sahéliennes ont justifié la poursuite de ces études vers une compréhension des anomalies du climat; on peut citer à ce titre les contributions de météorologistes de terrain (Dhonneur, 1985; Finaud, 1977), de géographes (Leroux, 1983), ou autres océanographes et climatologistes (Hastenrath, 1984; Lamb, 1978; Nicholson, 1980, 1981, 1983).

Selon les travaux, une importance plus particulière a été accordée à :

- la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC) durant la saison pluvieuse,
- l'importance des flux d'Est en altitude (African et Tropical Easterly Jets ou AEJ et TEJ).

Le premier de ces paramètres, qui fait référence à la

position la plus septentrionale atteinte par la ZITC, a été le plus cité, car il se manifeste de façon très perceptible en surface de diverses manières: un minimum barométrique, une zone de convergence ou de confluence de vents, un maximum thermique de la Température de Surface de la Mer (TSM) ou en altitude un maximum de nébulosité (Hastenrath et Lamb, *ibid.*). A la diversité des définitions qui s'y rapportent, ajoutons enfin la trace au sol du FIT (Front InterTropical) déterminée par l'isohyète 25mm (Nicholson, 1981).

Le fait, d'une part, que l'imagerie satellitaire permette d'identifier clairement cette zone de convergence, et que, d'autre part, l'archive déjà constituée auprès de la NOAA remonte à 1971, justifiait donc qu'une analyse systématique en fût réalisée, et une comparaison des résultats entreprise, avec ceux déjà obtenus à partir des seuls paramètres de surface. Tel est l'objet de la présente étude.

De la variété des propositions présentées, nous avons tenté de faire une synthèse critique en essayant de les confronter (quand cela était possible) à nos propres séries de données, à savoir la ZITC à 28°W et la TSM dans le Golfe de Guinée.

SYNTHÈSE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

Les conclusions rapportées principalement par Hastenrath et Lamb (1977), Lamb (1978), Hastenrath (1984), se fondaient essentiellement sur des observations de température de surface océanique en océan Atlantique et de pression barométrique au niveau de la mer (celle-ci déterminant la position de la ZITC), ou encore sur la trace au sol du FIT (Nicholson, 1981, 1983). Nous en rappelons ci-après les principaux éléments concernant les zones sahéliennes.

Pour Hastenrath et Lamb (1977), une bonne pluviométrie dans ces régions s'observerait en présence d'anomalies négatives de la température de surface océanique dans le Golfe de Guinée et simultanément à une position plus septentrionale de la ZITC, les situations opposées (en TSM, position de la ZITC et pluviométrie) devant être également vraies. Nicholson (1980, 1981, 1983) qui ne fait référence qu'à la trace de l'isohyète 25mm sur le continent considère au contraire que seule une position plus méridionale de la Zone de Convergence peut être associée à une mauvaise pluviométrie, la situation opposée n'étant pas nécessairement vraie.

En ce qui concerne les paramètres d'altitude, les travaux de Dhonneur (1985), Lambergeon *et al.* (1981), s'accordent à attribuer un rôle déterminant aux flux d'Est en altitude (African et Tropical easterly Jets, respectivement AEJ et TEJ): de bonnes saisons des pluies en Afrique sahélienne s'observeraient avec un TEJ fort et un AEJ faible (les résultats opposés devant là-aussi être vrais). Par ailleurs, selon Dhonneur, la vapeur d'eau ne constituerait pas un facteur limitant, les épisodes humides ou secs n'ayant pas montré de différences significatives pour ce paramètre déduit de radiosondages au dessus de Niamey.

Enfin la répartition spatiale des pluies en Afrique de

l'Ouest est connue d'après une étude statistique due à Janicot (1985); elle permet de distinguer plusieurs zones de pluviométrie homogène: l'une d'elles située au nord de 7°N, peut être assimilée à la région sahélienne, l'autre se trouvant au sud de ce parallèle, correspond à la région de la Basse Côte; ces régions ont pour particularité de présenter des anomalies pluviométriques de signes opposés lors de conditions climatiques extrêmes (large excédent ou déficit en pluie).

DONNÉES ET MÉTHODE

Notre première démarche a été de tenter la réalisation d'une série temporelle de 1971 à 1988 des différents paramètres que sont la position de la ZITC, la TSM et les flux et humidité en altitude.

La position de la ZITC a été suivie, le long de 28°W (à mi-chemin des continents sud-américain et africain), dans une région moins soumise aux influences continentales. Suivant une définition de la ZITC donnée par Frank (1983), «the East-West line of maximum convection», la localisation des nuages convectifs a été systématiquement effectuée à partir d'une image par jour disponible sur support photographique de 1971 à 1984 (imagerie NOAA); de 1985 à 1987, c'est la donnée numérique fournie par la série METEOSAT qui a été traitée en réalisant une image de synthèse par «maximum thermique» à partir de 8 images par jour (Citeau *et al.*, 1984). Que ce soit sur le plan de la définition physique de la ZITC, ou celui de la région étudiée, ce canevas d'étude reste très proche de celui qui a été effectué par Hastenrath et Lamb (*ibid.*).

La nécessité de choisir une base de temps pour représenter cette série de données (entre la pentade, la décade ou la semaine fréquemment utilisée par les océanographes) nous a conduit à définir des valeurs moyennes de la position de la ZITC par quart de mois. La série temporelle ainsi constituée couvre la période de 1971 à 1989.

La température de surface dans le Golfe de Guinée a été également calculée, mais sur un domaine limité à la région où se mesurent chaque année les températures les plus faibles de l'upwelling équatorial: celui-ci en effet d'après l'imagerie METEOSAT peut être circonscrit à la région 2N-2S, 8W-12W (Citeau *et al.*, 1984). Les données de TSM nécessaires ont été tirées des atlas de Picaut *et al.* (1985), et Servain *et al.* (1987) qui les fournissent sur une base mensuelle.

Enfin des données d'altitude, produites par les analyses quotidiennes du Centre Européen de Reading, pour la période 1980-1987, nous avons extrait le vent aux niveaux 1000 et 200 hpa, et calculé le contenu intégré en vapeur d'eau de 1000 à 300 hpa, aux noeuds d'un réseau de 2.5°x2.5°.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Si le schéma simplificateur, qui veut qu'une bonne (respectivement mauvaise) pluviométrie sahélienne soit observée lors d'anomalies négatives (positives) de TSM

et de position plus septentrionale (méridionale) de la ZITC, s'avère généralement acceptable pour les années 70, il ne l'est pas toujours pour les années 80: pour ces dernières en effet, les observations indiqueraient soit une insuffisance (peu vraisemblable) du schéma proposé, soit une modification durable du régime climatique (Citeau *et al.*, 1986): En effet, l'analyse de la TSM dans le carré 2N-2S, 8W-12W, révèle que des upwellings équatoriaux voisins de la norme (1972, 1982, 1983) ou présentant même d'importantes anomalies négatives (1976) peuvent co-exister avec des périodes de sécheresse sahélienne.

De même, au titre des variations à long terme en TSM, en regroupant les valeurs moyennes mensuelles de température de surface océanique sur l'ensemble de la période de l'hivernage (juillet à septembre), on observe une tendance nette à un réchauffement (sur le long terme) de la région équatoriale dans le Golfe de Guinée (fig. 1). Dans le même temps, la moyenne effectuée sur les mois de saison sèche (janvier à mars) ne fait apparaître aucune tendance.

En ce qui concerne la ZITC le long de 28°W, ont été tracées les enveloppes des positions observées lors d'épisodes typiquement secs ou typiquement humides (fig. 2). D'après ces courbes, aucune différence significative n'apparaît entre années sèches et années humides, quant à la position la plus septentrionale atteinte par la ZITC en été boréal; le désaccord apparent entre notre analyse et celles des travaux précédemment cités doit être davantage recherché soit dans une modification récente du climat (celle-ci serait plus manifeste sur notre série temporelle plus récente), soit encore dans le fait que les séries de paramètres étudiés ne sont pas strictement identiques.

Par contre, on peut observer que de janvier à mai, au coeur de la saison sèche sahélienne, les positions de la ZITC en épisode sec ou en épisode humide se différencient nettement mieux (fig. 2); ceci revient encore à distinguer les deux types d'années par la vitesse de remontée de la ZITC vers le nord durant les mois précédant l'hivernage. Bien qu'un mécanisme physique soit nécessaire à la compréhension des phénomènes, l'indication qualitative ainsi fournie sur la tendance de l'hivernage à venir nous a semblé suffisamment intéressante (Citeau *et al.*, 1988), pour être validée sur une période plus longue, soit de 1971 à 1987.

Une étude comparative (non publiée) entre pluviométrie au «Nordeste» brésilien et pluviométrie sahélienne a montré qu'un certain parallélisme est manifeste entre pluviométrie au «Nordeste» (janvier à avril), et pluviométrie sahélienne (juillet à septembre): en cas d'année remarquablement excédentaire ou déficitaire, ces anomalies s'observent avec le même signe au «Nordeste» et au Sahel. Cette similitude disparaît quand les anomalies climatiques sont peu importantes.

Si l'on peut comprendre que la pluviométrie de la région du «Nordeste» répond directement à la sollicitation de la ZITC localisée à l'ouest des côtes brésiliennes, la relation qui semble exister entre pluviométrie

Fig. 1

Température de surface océanique de juillet à septembre dans le carré 2N-2S,8W-12W.

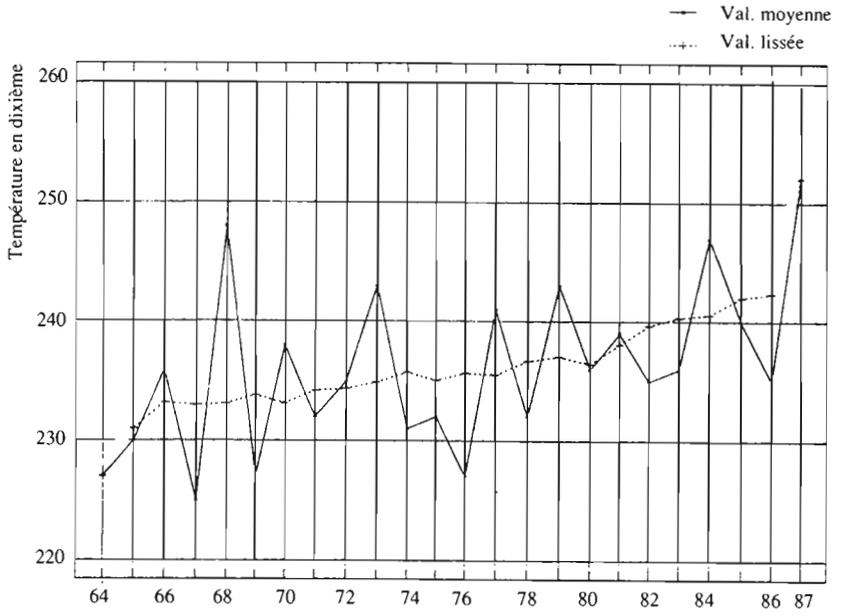


Fig. 2

Positions de la ZITC en épisodes sec et humide pour la région sahélienne.

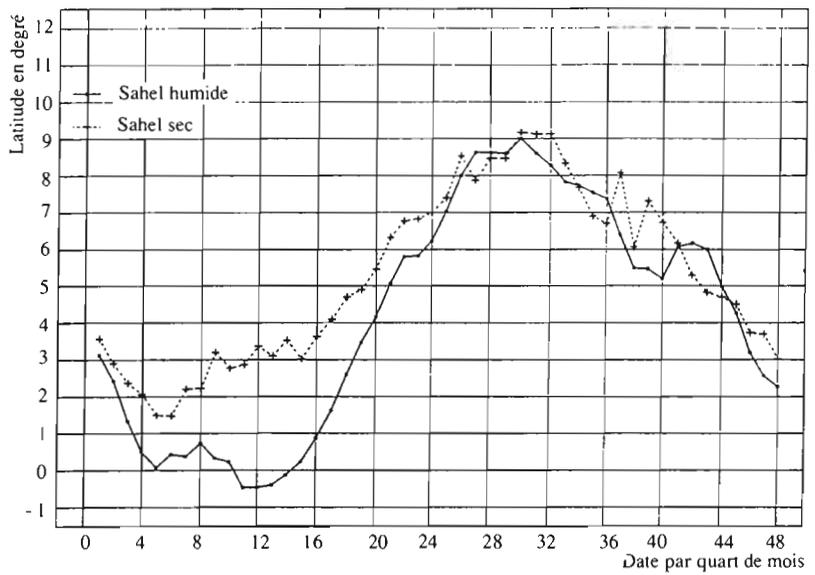
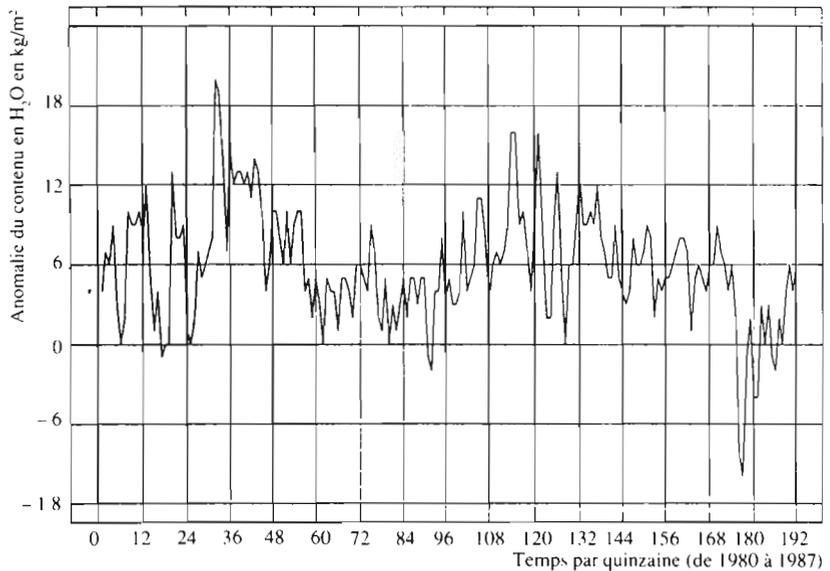


Fig. 3

Anomalie du contenu intégré en vapeur d'eau de 1000 à 300 hpa en kg/m^2 dans la zone «Sahel».



en région sahélienne et ZITC à 28°W est nettement moins évidente à établir, celle-ci ne pouvant se concevoir que si l'on admet que la ZITC traduit également à une plus grande échelle les anomalies du climat.

L'analyse du champ de vent en altitude ne permet pas de suivre toutes les conclusions de Dhonneur (*ibid.*) sur l'importance des flux AEJ et TEJ relatifs à la qualité de l'hivernage; toutefois, un AEJ fort semble gêner le développement de la convection et est observé en différentes années sèches. La situation inverse n'est cependant pas aussi nette. De même, en ce qui concerne enfin la vapeur d'eau disponible, l'étude que nous avons faite sur la période 1980-1987 a montré que celle-ci n'était pas disponible de la même façon chaque année. En prenant pour climatologie la moyenne mensuelle des situations fournies par l'analyse du Centre Européen, l'anomalie du contenu intégré en vapeur d'eau de 1000 à 500hpa a été calculée de 1980 à 1987; La figure 3 montre que des anomalies positives ou négatives peuvent s'observer continuellement sur plusieurs années.

Une première analyse de cette figure permet de reconnaître parmi les années à anomalies négatives, celles qui se signalèrent au cours de cette période, par de remarquables sécheresses (années 82, 83 et 87). La situation inverse (anomalie positive de contenu en vapeur d'eau) peut se traduire (années 85, 86), mais non nécessairement (années 80, 81) par de meilleures pluviométries.

CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES

Si l'on admet que la vapeur d'eau des régions sahéliennes provient essentiellement de l'Atlantique sud, on peut admettre que cette dernière soit toujours disponible en quantité suffisante au dessus de l'océan tropical, quel que soit le signe des anomalies de TSM.

Le transport de cette vapeur d'eau est lié à l'intensification des alizés de sud-est, ces derniers étant eux-même responsables (pour partie) du déclenchement de l'upwelling équatorial (Servain, 1984); la présence d'un upwelling fort, traduction d'un flux de mousson fort et épais, ne suffit cependant pas à assurer un bon hivernage en zone sahélienne.

L'étude de la migration de la ZITC, analysée d'après sa vitesse de remontée vers le nord, met en évidence des différences de quantité de mouvement entre épisodes secs et épisodes humides.

Des résultats précédents, on peut tirer l'analyse suivante qu'un bon hivernage en région sahélienne puisse résulter d'une présence de vapeur d'eau (facteur limitant à partir d'un certain seuil) et d'une condition dynamique demandant à être validée par un mécanisme physique: vitesse de remontée de la ZITC vers le nord plus importante, ou encore remontée tardive de la ZITC.

L'analyse des processus favorisant la convection et la pluviogenèse reste à faire; elle est actuellement amorcée par l'étude des flux d'altitude.

BIBLIOGRAPHIE

- Air France, 1965. Climatologie Afrique, Doc. Nav. Infra., M3, Ed. Département des vols, Division Navigation Infrastructure, Air France Roissy, 145 p.
- Citeau, J., B. Guillot and Lae R. 1984. Opération Listao: Reconnaissance de l'environnement physique en Atlantique intertropicale à l'aide des satellites Meteosat et Goes-E, Ed. ORSTOM IDT sér. Télédétection, 63, 10, 28p.
- Citeau J., Finaud L., Cammas J.P. and Gouriou Y. 1986. Questions about the ITCZ migration over the tropical Atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the runoff of Senegal river. Proceedings of the 6^e Meteosat Scientific User's Meeting, Amsterdam, 25-27 november 1986. EUMP01, vol 2, edited by Eumetsat, Darmstadt (RFA).
- Citeau J., Berges J.C., Demarcq H. et Mahé G. 1988. The watch of ITCZ migrations over the tropical Atlantic ocean as an indicator in drought forecast over the sahelian area, TOAN, 45, 1-3.
- Dhonneur, G. 1985. *Traité de Météorologie tropicale*. Ed. Direction de la Météorologie Nationale Paris, 151p.
- Finaud, L. 1977. Mousson et perturbations mobiles sur l'Afrique de l'Ouest. Conférence Technique sur l'utilisation des données de l'ETGA. Le Caire, 3-8 dec 1977, Université du Caire éd.
- Frank, W.M. 1983. The structure and energetics of the East Atlantic intertropical convergence zone. *J. Atmos. Sci.*, 40, 1916-1929.
- Hastenrath, S. and P. Lamb. 1977. Some aspects of circulation and climate over the Eastern equatorial Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1280-1287.
- Hastenrath, S. 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1097-1107.
- Janicot S. 1985. Analyse spatiotemporelle du champ de précipitations annuelles sur l'Afrique de l'ouest et l'Afrique centrale. *Veille Climatique Satellitaire*, 10, 32-44, Orstom Lannion éd.
- Lamb, P.J. 1978. Case studies of the tropical Atlantic surface circulation patterns during recent sub-saharan weather anomalies: 1967 and 1968. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 4, 482-491.
- Lambergeon, D., S. Dziera and Janicot R. 1981. Comportement du champ de vent sur l'Afrique occidentale. *La Météorologie*, 25, 69-82.
- Leroux, M. 1983. *Le climat de l'Afrique tropicale*. Ed. Champion/Slatkine Paris/Genève, t.1: 633pp, 350 fig., t.2: 24p, 250 fig.
- Nicholson, S.E. 1980. The nature of rainfall fluctuations in subtropical West Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 473-487.
- Nicholson, S.E. 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought and wetter period in West Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 2191-2208.
- Nicholson, S.E. 1983. Sub-saharan rainfall in the years 1976-80: Evidence of continued drought. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1646-1654.
- Picaut, J., J. Servain, P. Lecomte, M. Seva, S. Lukas and Rougier G. 1985. *Climatic Atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1964-1979*. Université de Bretagne Occidentale-University of Hawaï, 467 pp.
- Servain, J. 1984. Réponse océanique à des actions éloignées du vent dans le golfe de Guinée en 1967-1968. *Oceanol. Acta*, 7, 297-307.
- Servain, J., M. Seva, S. Lukas and Rougier G. 1987. *Climatic atlas of the tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature: 1980-1984, Ocean-Air Interactions*. 1, 109-182.