



**XXVI<sup>ème</sup> Colloque International  
Association Internationale de Climatologie**

**CLIMAT AGRICULTURE  
RESSOURCES EN EAU  
d'hier à demain**



**Actes du Colloque**

**3 - 7 Septembre 2013 – Cotonou - BENIN**



*Editeurs scientifiques*  
**Michel BOKO, Expédit W. VISSIN, Fulgence AFOUDA**

**Ce volume est une compilation, classés par ordre alphabétique du nom du premier auteur, des résumés étendus des communications orales ou posters présentées au XXVI<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), organisé à Cotonou (Bénin) du 3 au 7 septembre 2013.**

**Ce document aborde une diversité de sujets relatifs au thème principal du colloque "Climat, Agriculture et Ressources en Eau d'hier à demain". De nombreux articles ont été consacrés à la question de la variabilité climatique et des changements climatiques dans leurs interactions avec les hydrosystèmes et les agrosystèmes dans le monde.**

**L'analyse de la dynamique du système climatique, des manifestations du climat et de ses impacts sur l'agriculture et les ressources en eau a conduit à l'évaluation de la vulnérabilité, des stratégies d'adaptation et à la proposition des mesures de mitigation.**

### *Composition du Comité scientifique international*

Pr BLIVI A. Adoté, Université de Lomé (Togo)  
 Pr ZAHARIA Liliana, Université de Bucarest (Roumanie)  
 Pr TSALEFAC Maurice, Université de Dschang (Cameroun)  
 Pr SAMBA KIMBATA Marie Joseph, Université de Brazzaville (Congo)  
 Pr SAGNA Pascal, Université Cheikh Anta Diop (Sénégal)  
 Pr RICARD Yves, Université de Dijon (France)  
 Pr MORON Vincent, Université d'Aix-Marseille 1 (France)  
 Pr MALOBA MAKANGA Jean Damien, Université Omar Bongo (Gabon)  
 Pr KERGOMARD Claude, ENS-Paris (France)  
 Pr HENIA Latifa, Université de Tunis (Tunisie)  
 Pr FONTAINE Bernard, Université de Dijon (France)  
 Pr ERPICUM Michel, Université de Liège (Belgique)  
 Pr DUBREUIL Vincent, Université Rennes 2 (France)  
 Pr CARREGA Pierre, Université de Nice-Sophia Antipolis  
 Pr CAMBERLIN Pierre, Université de Dijon (France)  
 Pr BROU Téléphore, Université de la Réunion (France)  
 Pr BIGOT Sylvain, Université Joseph Fourier de Grenoble 1 (France)  
 Pr BENISTON Martin, Université de Genève (Suisse)  
 Pr BELTRANDO Gérard, Université Paris Diderot (France)  
 Dr TRAMBLAY Yves, IRD-Hydrosociences (France)  
 Dr TOURRE Yves, Météo-France (France)  
 Dr SULTAN Benjamin, IRD-LOCEAN (France)  
 Dr SEGUI Luc, IRD-Hydrosociences (France)  
 Dr SEGUIN Bernard, INRA (France)  
 Dr SEBAG David, Université de Rouen (France)

Dr ROUCOU Pascal, Université de Dijon (France)  
 Dr RONCHAIL Josyane, Université Paris Diderot (France)  
 Dr ROME Sandra, Université Joseph Fourier de Grenoble 1 (France)  
 Dr QUENOL Hervé, CNRS-COSTEL (France)  
 Dr POHL Benjamin, Université de Dijon (France)  
 Dr PLANCHON Olivier, CNRS-COSTEL (France)  
 Dr PAGE Christian, CERFACS (France)  
 Dr MAHE Gil, IRD-Hydrosociences (France)  
 Dr MADELIN Malika, Université Paris Diderot (France)  
 Dr LEBEL Thierry, IRD-LTHE (France)  
 Dr CRETAT Julien, Université de Texas, Austin (USA)  
 Dr KAMAGATE Bamory, Université Abobo-Adjamé, UFR-SGE (Côte d'Ivoire)  
 Dr HINGRAY Benoît, CNRS-LTHE (France)  
 Dr GALLEE Hubert, CNRS-LGGE (France)  
 Dr FORTIN Guillaume, Université de Moncton (Canada)  
 Dr FAZZINI Massimiliano, Université de Ferrara (Italie)  
 Dr FALLOT Jean-Michel, Université de Lausanne (Suisse)  
 Dr ETCHEVERS Pierre, Météo-France-CEN (France)  
 Dr EL MELKI Taoufik, Université de La Manouba (Tunisie)  
 Dr DIEDHIOU Arouna, IRD-LTHE (France)  
 Dr CANTAT Olivier, Université de Caen Basse-Normandie (France)  
 Dr BONNARDOT Valérie, Université Rennes 2 (France)  
 Dr BEN BOUBAKER Habib, Université de la Manouba - Tunis (Tunisie)



## IMPACTS DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER ET DU FLUX DE MOUSSON SUR LA PLUVIOMETRIE EN BASSE-CASAMANCE (SUD-OUEST DU SENEGAL)

SANE T.<sup>1-2</sup>, SOW B. A.<sup>3-4</sup>, DIEYE El Hadji B.<sup>1-2</sup>, CAMARA M.<sup>3-4</sup>, DIATTA S.<sup>3-4</sup>

*tsane@univ-zig.sn, bsow@univ-zig.sn, ebdieye@univ-zig.sn, mocamara@univ-zig.sn, sdiatta@univ-zig.sn*

<sup>1</sup>Département de Géographie, UFR des Sciences et Technologies, Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal).

<sup>2</sup>Chercheurs associés au Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG), Campus ESP, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal)

<sup>3</sup>Laboratoire d'Océanographie, des Sciences de l'Environnement et du Climat (LOSEC), UFR des Sciences et Technologies, Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal)

<sup>4</sup>Chercheurs Associés au Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan Siméon Fongang (LPAO-SF), Campus ESP, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal).

**Résumé :** Certaines études ont montré une corrélation entre les anomalies de précipitations et de température de surface de la mer (SST) en Afrique de l'Ouest. Ainsi, avant les années 1970, il a été observé un dipôle dont les centres sont situés au-dessus du golfe de Guinée et au-dessus du Sahel et qui a disparu après cette période. D'un autre côté, l'évolution pluviométrique observée au Sahel et particulièrement au Sénégal a montré une forte variabilité avec des anomalies positives avant et négatives après les années 1970. Cette étude analyse la co-variabilité saisonnière et interannuelle entre la pluviométrie au Sud-ouest du Sénégal, les anomalies de SST et les champs de vent. Les résultats permettent de mieux comprendre l'influence de la dynamique atmosphérique, des anomalies de SST sur la variabilité pluviométrique observée dans la zone.

**Mots-clés :** Impact, SST, Vents, Pluviométrie, Basse-Casamance.

**Abstract:** Many studies have shown a significant correlation between Sea Surface temperature (SST) and rainfall anomalies over West Africa. Before 1970s, a dipole with centers located over the Gulf of Guinea and Sahel has been observed; these maxima disappeared after that period. On the other hand, the rainfall observed in Sahel and particularly in Senegal showed a strong variability with positive (negative) anomalies before (after) 1970s. This study analyzes the seasonal and inter-annual co-variability between the rainfall in Lower Casamance, the anomalies of SST and the wind fields. The results allow a better understanding of the influence of wind conditions, SST anomalies on the observed rainfall variability over the region.

**Key-words:** Impact, SST, winds, rainfall, Lower Casamance

### Introduction

Le climat de la Basse-Casamance est déterminé par deux éléments essentiels dont les caractéristiques confèrent à cette région son originalité. Il s'agit d'une part de sa situation en domaine climatique soudanien atlantique à pluviométrie relativement importante et d'autre part, l'alternance sur cet espace de trois flux de vents (alizé maritime, harmattan et mousson) dont le déplacement est facilité par la platitude du relief (Sané, 2003, 2008 ; Sagna, 2006). La région a cependant connu au cours de ces quarante dernières années, une forte variabilité pluviométrique à l'instar des pays de l'Afrique de l'Ouest (Sultan et Janicot, 2004 ; Leroux, 1982, 1986, 1988 et 1995 ; Sagna, 2006). Cette variabilité se caractérise par d'importants déficits pluviométriques.

Plusieurs études ont été menées en Afrique de l'Ouest pour comprendre les mécanismes dynamiques et physiques (Lafore et al., 2012 ; Fontaine et al., 2012 ; Caniaux et al., 2012) afin d'expliquer l'origine du déficit pluviométrique. Notre article s'inscrit dans le même sillage et cherche à comprendre l'influence des températures de la surface de la mer et des vents sur les pluies.

## 1. Données et méthodes

### 1.1. Données

Différents jeux de données ont été mis à contribution dans cette étude. Il s'agit des pluies mensuelles et annuelles mesurées au sol (stations Bignona, Ziguinchor et Oussouye choisies selon un gradient Nord-Sud), des données du flux de mousson et des températures de la surface de la mer de l'Atlantique 3. Les données pluviométriques, obtenues auprès de l'antenne régionale de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal, vont de 1968 à 2011. Cette série tient compte de deux aspects fondamentaux dans l'évolution de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest : 1968 est considérée comme l'année du début de la grande sécheresse, ensuite la série couvre deux périodes aux caractéristiques pluviométriques plus ou moins différentes, déficits et retour timide à la normale.

A côté de ces données in situ, nous avons utilisé les réanalyses du NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) qui sont une combinaison d'observations très diverses (radiosondages, estimations satellitales, etc.) et de sorties d'un modèle de prévision. L'indice de mousson utilisé dans ce travail a été calculé à partir des réanalyses car la série de vent issue des radiosondages est incomplète.

Quant aux données de température de surface de la mer (SST pour la suite), elles sont issues du Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) (Rayner et al., 2003). Ces données du HadISST ont une résolution de 1x1 et sont utilisées pour extraire les moyennes zonales de SST dans une région du bassin central de l'Atlantique comprise entre les latitudes 3°S-3°N et les longitudes 0°W-20°W et 3°S-3°N (Zebiak, 1993) et appelée l'Atlantique zone 3 (ATL3). Des études menées dans le cadre du programme AMMA ont montré que le maximum de la langue d'eau froide est localisé sur l'ATL3, et la SST dans cette zone influence fortement l'activité de la mousson sur les régions du Golfe de Guinée (Brandt et al., 2011).

### 1.2. Démarche méthodologique

Le traitement des pluies mensuelles et annuelles a été fait sur la base des méthodes statistiques simples. Il s'agit de la moyenne des pluies mensuelles et de celle de la série 1968-2011. Le calcul des anomalies standardisées est effectué selon la formule suivante:

$$A_s = \frac{P - \overline{X}}{\sigma}$$

$P$  étant la valeur de l'observation,  $\overline{X}$  la moyenne de la série et  $\sigma$  correspond à l'écart type de cette série. Cette méthode a l'avantage de mieux faire ressortir la variabilité pluviométrique.

L'indice de mousson a été calculé suivant la méthode de Fontaine et al. (1995) :  $I_m = \text{Vent}_{925} - U_{200}$ ,  $\text{Vent}_{925}$  et  $U_{200}$  étant respectivement les anomalies standardisées du module du vent à 925 hPa et du vent zonal à 200 hPa. Cette formule tient en compte de l'intensité du flux de mousson dans les basses couches et la divergence dans les hautes couches de l'atmosphère qui accompagne la convection profonde et augmente l'intensité du Jet d'Est Tropical (Janicot, 1990).

Les anomalies de SST sur l'ATL3 sont calculées de la même manière que les anomalies de précipitation en prenant comme référence la période 1968-2011. Cependant, trois jeux de données d'anomalies de SST ont été élaborés. Il s'agit de l'anomalie de SST moyennée du

mois d'avril au mois de juillet (amjj), du mois de mai au mois d'août (mjja) et du mois de juin au mois de septembre (jjas). L'intérêt d'avoir trois jeux de données avec des décalages mensuelles est de voir la nature retardée ou simultanée de l'influence de la SST sur la pluie en Basse-Casamance.

## 2. La variabilité interannuelle des pluies en Basse-Casamance

L'analyse des pluies moyennes mensuelles et annuelles enregistrées au niveau des stations de Bignona, Ziguinchor et Oussouye, entre 1968 et 2011 est riche d'enseignements. Les moyennes mensuelles enregistrées montrent que la saison des pluies se déroule globalement entre les mois de juin et d'octobre, les apports des mois de mai et de novembre étant globalement négligeables. Les totaux mensuels les plus importants sont enregistrés en entre juillet et septembre, août reste un peu partout le mois le plus pluvieux de la période étudiée. Par ailleurs, la figure 1 montre que les volumes mensuels sont fonction de la latitude. Bignona, station la plus septentrionale, dispose des quantités moyennes mensuelles les plus faibles alors que la localité d'Oussouye est la plus arrosée.

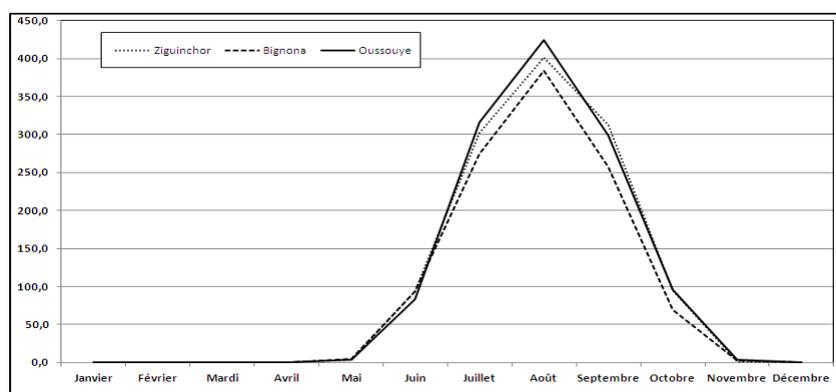


Figure 1. Evolution moyenne mensuelle des pluies en Basse-Casamance (1968-2011)

L'analyse de l'évolution interannuelle révèle une forte variabilité des pluies en Basse-Casamance marquée par une succession de périodes déficitaires, normales et excédentaires. L'élément le plus déterminant de cette évolution reste l'importance des déficits pluviométriques. Les périodes les plus caractéristiques de ce déficit sont 1971-1972, 1977-1986, 1994-1998 et 2002-2004. La période 1977-1986 est la plus déficitaire avec comme année charnière 1980 où Bignona, Ziguinchor et Oussouye ont connu respectivement des déficits records de 52,3%, 42,9 % et 48,7 (fig. 2).

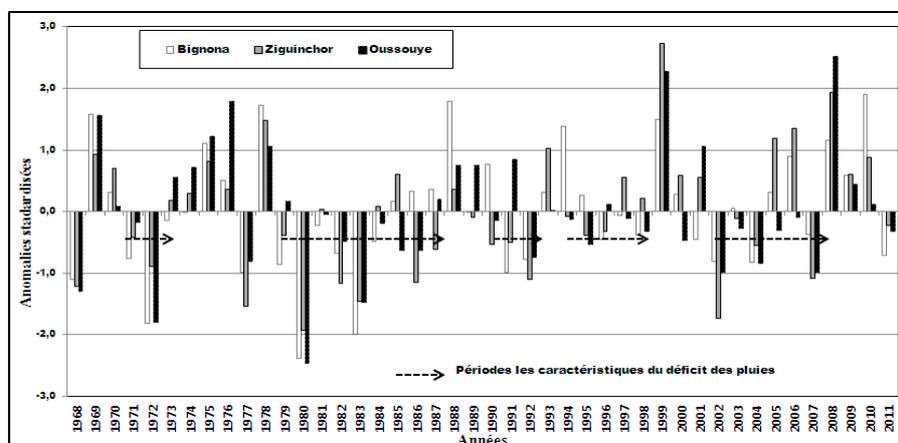


Figure 2. Anomalies standardisées des pluies annuelles en Basse-Casamance (1968-2011)

### 3. Relations indice de mousson et pluies en Basse-Casamance

L'étude de la dynamique atmosphérique est basée sur l'utilisation de l'indice de mousson définie dans Fontaine et *al.* (1995). Les données utilisées sont les réanalyses du NCEP/NCAR. La figure 3 présente l'indice de mousson sur la Basse-Casamance et la pluie enregistrée à la station de Ziguinchor sur la période 1968-2011. L'analyse de l'indice de la mousson et de la pluie enregistrée à Ziguinchor entre 1968 et 2011 (fig.3) montre une certaine reprise de la pluviométrie à partir des années 1998. Cependant, force est de constater que cette reprise reste timide car la hausse n'est que de 8% durant cette récente période. A la variabilité inter-décennale, s'ajoute celle interannuelle caractérisée par une pluviométrie globalement au-dessus de la moyenne malgré des années relativement sèches (2002, 2005 et 2007). Le flux de mousson présente la même tendance que la pluviométrie avec une forte hausse durant la période récente (après 1998). A l'échelle interannuelle, les années relativement humides (sèches) ne sont pas toujours accompagnées d'une hausse (diminution) de l'indice de mousson ; ce qui se traduit par l'existence d'un faible coefficient de corrélation entre ces deux indices (0.3).

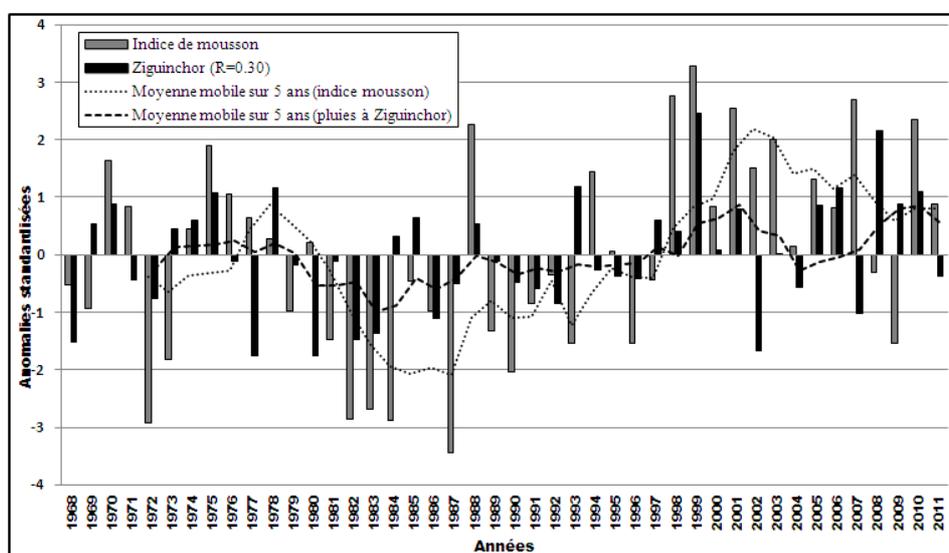


Figure 3. Indice de mousson et des pluies à Ziguinchor (1968-2011)

### 4. Relations SST Golfe de Guinée et précipitations au Sahel

L'évolution temporelle de l'anomalie de SST sur l'Atlantique 3 (ATL3) permet de remarquer que des anomalies positives (négatives) de SST sont généralement associées à une remontée au Nord plus faible (forte) de la Zone de Convergence Intertropicale et donc à des déficits (excédents) pluviométriques au Sahel (Janicot et Fontaine, 1997 ; Nicholson, 2008). En effet, une anomalie positive de SST dans l'ATL3 correspond à un réchauffement des eaux de surface qui initie un phénomène de convection en mer avec une forte évaporation au dessus des eaux chaudes et une advection d'humidité vers le nord dans le flux de mousson. Cette situation favorable à une augmentation des précipitations le long de la côte du Golf de Guinée entraîne par la même occasion un affaiblissement du gradient de température entre les surfaces océanique et continentale et donc une réduction de l'incursion du flux de mousson vers la région sahélienne pouvant expliquer un déficit pluviométrique au Sahel. Dans le cas contraire, une anomalie négative de la SST dans l'ATL3 maintient et entretient le gradient de température entre l'océan et le continent favorisant ainsi l'incursion du flux de mousson vers le Sahel.

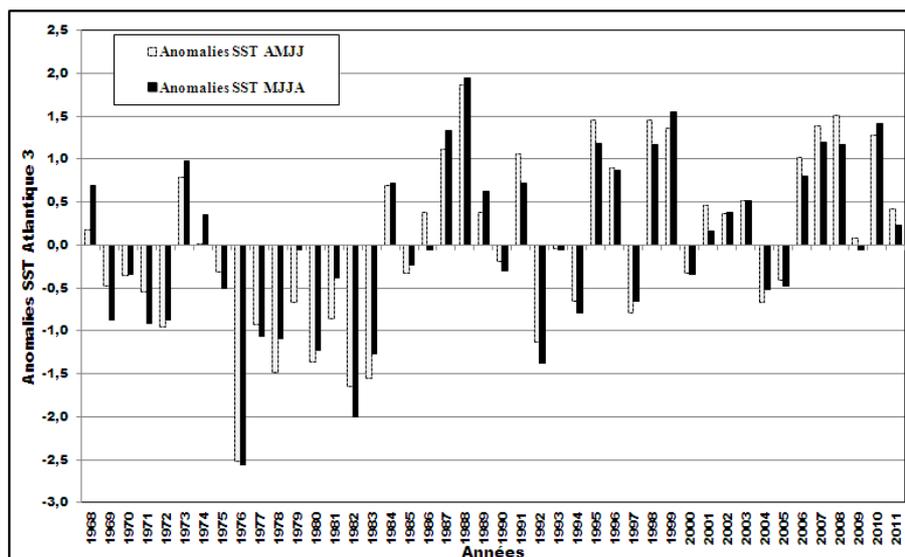


Figure 4. Evolution temporelle des anomalies de SST des mois AMJJ et MJJA dans l'Atlantique 3

En Basse-Casamance, on observe une faible corrélation entre les anomalies de SST de l'Atlantique 3 et les pluies enregistrées au Sol. Cette situation est perceptible à travers la faiblesse des coefficients de corrélation entre SST et pluies (tableau 1). L'analyse du tableau 1 montre également que l'influence du signal de la SST de l'atlantique 3 sur la pluie, est décalée souvent d'un à 2 mois.

Tableau1. Coefficients de corrélation entre la SST de l'Atlantique 3 et la pluie en Basse-Casamance

Stations	Atlantic 3 (amjj)	Atlantic 3 (mjja)	Atlantic 3 (jjas)
Précipitations à Ziguinchor (jjas)	0,183	0,3410	0,2959
Précipitations à Bignona (jjas)	0,3840	0,3685	0,2969
Précipitations à Oussouye (jjas)	0,2834	0,2749	0,1791

## Conclusion

Notre analyse montre que la variabilité pluviométrique est caractérisée en Basse-Casamance par un important déficit de 1968 au milieu des années 1990. De cette période en 2011, il a été observé un retour à une situation normale mais de très faible ampleur. La comparaison des pluies à la station de Ziguinchor et de l'indice de mousson montre globalement la même tendance. Cependant, la corrélation n'est pas très bonne entre la pluie mesurée au sol et l'indice de mousson, notamment pour ce qui concerne l'échelle interannuelle. En effet, les années humides (sèches) ne correspondent pas forcément à une augmentation (diminution) de l'indice de mousson.

Par ailleurs, la mise en relation SST et pluies en Basse-Casamance atteste qu'il y a une faible corrélation entre les anomalies de SST de l'atlantique 3 et les pluies enregistrées au sol.

De façon générale, la variabilité interannuelle des pluies en Basse-Casamance, tout comme sur l'ensemble du Sahel, reste soumise à la circulation due aux phénomènes de convection, de subsidence et des flux de mousson. De même, le comportement de la température de la surface de la mer dans le Golfe de Guinée influence positivement ou négativement la pluviométrie de la zone d'étude.

## Bibliographie

- Brandt P., G. Caniaux, B. Bourlés, A. Lazar, M. Dengler, A. Funk, V. Hormann, H. Giordani and F. Marin, 2011: Equatorial upper-ocean dynamics and their interaction with the West african monsoon. *Atmos. Sci. Let.* 12, 24-30.
- Caniaux G. et al., 2012 : Les avancées d'AMMA sur les interactions océan-atmosphère. In La Météorologie - Spécial AMMA - octobre 2012, pp. 17-24.
- Fontaine B. et al., 2012 : Variabilité pluviométrique, changement climatique et régionalisation en région de mousson africaine. In La Météorologie - Spécial AMMA - octobre 2012, pp. 41-48.
- Fontaine, B., S. Janicot, and V. Moron, 1995: Rainfall anomaly patterns and wind field signals over West Africa in August (1958-1989), *J. Clim.* 8, 1503-1510, doi:10.1175/1520-0442(1995)008<1503:RAPAWF>2.0.CO;2.
- Janicot, S., 1990 : Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulations quasi- stationnaires durant une phase de transition climatique. Thèse de doctorat, Paris VI, 600 p.
- Janicot S. et Fontaine, B., 1997 : Évolution saisonnière des corrélations entre précipitations en Afrique guinéenne et températures de surface de la mer (1945-1994). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, série Ila*, 324, pp. 785-792.
- Kalnay, E. M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, and al., 1996 : The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- Lafore J. P et al., 2012 : Évolution de notre compréhension du système de mousson ouest-africain. In La Météorologie - Spécial AMMA - octobre 2012, pp. 11-16.
- Leroux M., 1982 : Températures marines et précipitations sur les littoraux de l'Afrique Tropicale. In *Noroiis. N°116*, 1982. Octobre-décembre 1982. pp. 479-497.
- Leroux M., 1986 : Les mécanismes des changements climatiques en Afrique. *ORSTOM, collect. Travaux et documents n°197*, pp. 256-260.
- Leroux M., 1988 : Variabilité des précipitations en Afrique Occidentale. Les composantes aérologiques du problème. *Veille Climatique Satellitaire n°22, ORSTOM/CMS Lannion*, pp. 26-45.
- Leroux M., 1995 : La dynamique de la Grande sécheresse sahélienne. *Revue de Géographie de Lyon*, vol. 70, n°3-4, pp. 223-232.
- Nicholson, S. E., 2008: The intensity, location and structure of the tropical rainbelt over west Africa as factors in interannual variability. *International Journal of Climatology*, 28, 1775–1785, doi:10.1002/joc.
- Rayner, N. A., D.E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander , D. P. Rowell, E. C. Kent, A. Kaplan, 2003: Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geoph. Res*, 108, doi:10.1029/2002JD002670.
- Sagna P., 2006 : Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique Occidentale. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2006. Tome I, 270p. ; Tome II, 516p.
- Sané T., 2003 : La variabilité climatique et ses conséquences sur l'environnement et les activités humaines en Haute-Casamance (Sud Sénégal). Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar 2003, 367 p.
- Sultan B. et Janicot S., 2004 : La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière. Mise en place de la mousson et variabilité intra-saisonnière de la convection. *Sécheresse* 2004, 15 : 4, 321-330.
- Zebiak S. E.1993: "Air-sea interaction in the equatorial Atlantic region," *J. Clim.*, vol. 6,8, pp. 1567–1586.