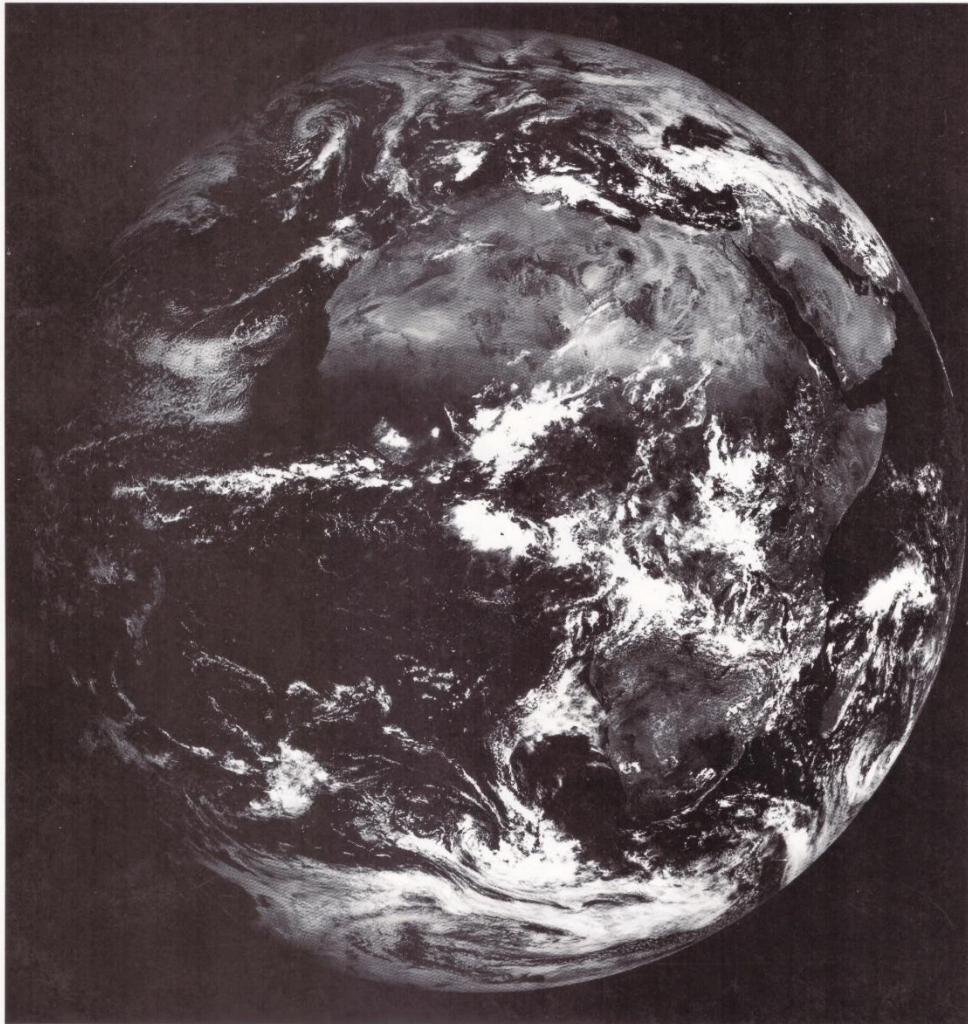




Ministère de la Coopération

VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

METEOFRANCE CMS LANNION - METEOSAT 4 - CANAL VISIBLE - 10/03/93 - 11 H 00 UTC



N° 44 - FÉVRIER 1993

n° ISSN 1144-2026

VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

N° 44

Février 1993

Veille Climatique Satellitaire N° 44

*Directeurs de la publication
Publishing Directors*

G. WINTER
ORSTOM
213 rue Lafayette
75480 Paris Cedex 10

A. LEBEAU
MÉTÉO FRANCE
77 rue de Sèvres
91106 Boulogne-Billancourt

*Rédacteur en Chef
Editor*

B. GUILLOT
ORSTOM-CMS
B.P. 147
22302 Lannion Cedex

COMPOSITION DU COMITÉ DE LECTURE SELECTION COMMITTEE

ARKIN A. Phillip, NOAA/NWS, National Meteorological Center, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, MD 20910, WASHINGTON DC, ETATS-UNIS.

CADET L.D., Directeur Adjoint, Institut National des Sciences de l'Univers, 77 avenue Denfert-Rochereau, 75014 PARIS.

CERON J.P., École Nationale de la Météorologie, 42 avenue Coriolis, 31057 TOULOUSE Cedex.

DESBOIS M., Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire de Météorologie Dynamique, École Polytechnique, Route départementale 36, 91128 PALAISEAU Cedex.

FONGANG Siméon, ENSUT, BP 5085, Dakar, SÉNÉGAL.

JANICOT S., MÉTÉO-FRANCE, Laboratoire de Météorologie Dynamique, École Polytechnique, Route départementale 36, 91128 PALAISEAU Cedex.

LACAUX J.P., Université Paul Sabatier, Observatoire du Pic du Midi, CNRS, Centre de Recherches Atmosphériques, Campistrous, 65300 LANNEMEZAN.

SIRCOULON J., ORSTOM, Département Terre, Océan, Atmosphère, 213 rue Lafayette, 75480 PARIS Cedex 10.

ROCHARD G., CMS, BP 147, 22302 LANNION Cedex.

Cette publication est éditée avec le concours financier du Ministère Français de la Coopération
This review is published with financial aid from the Ministère Français de la Coopération

VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

N° 44

Février 1993
February 1993

SOMMAIRE

- CITEAU J. **Position de la Zone InterTropicale de Convergence le long de 28°W de janvier à mai 1993.** page 5
Position of the InterTropical Convergence Zone along 28°W from January to May 1993.
- MAREC L.
DEMARCO H. **Température de surface de la mer et anomalies climatiques en Atlantique Tropical de septembre à décembre 1992.** page 7
Sea surface temperature and climatic anomalies in the Tropical Atlantic from September to December 1992.
- LAHUEC J.P.
PENNARUN J. **Convergence intertropicale. L'intensité de la convection de décembre 1992 à mars 1993.** page 11
Intertropical convergence. The convection intensity from December 1992 to March 1993.
- GUILLOT B.
PENNARUN J. **Champs thermiques de surface en zone soudano-sahélienne de décembre 1992 à février 1993.** page 29
Surface thermal fields in the sudanese-sahelian zone from December to February 1993.
- MAHE G.
CITEAU J. **Relations océan - atmosphère - continent dans l'espace africain de la mousson atlantique. Schéma général et cas particulier de 1984.** page 34
Interactions between the ocean, atmosphere and continent in Africa, related to the atlantic monsoon flow. General pattern and the 1984 case study.
- SAGNA P. **Etude des saisons des pluies 1989 et 1990 au Sénégal.** page 55
Study of the 1989 and 1990 rainy season in Senegal.
- DONGUY P. **Surveillance de la planète par les satellites météorologiques géostationnaires.** page 72
Earth watch by utilisation of geostationary meteorological satellites.

Coéditeurs : Antenne ORSTOM et Centre de Météorologie Spatiale, B.P. 147, Lannion 22302

© Copyright Editions ORSTOM février 1992. Tous droits de reproduction interdits.

ÉTUDE DES SAISONS DES PLUIES 1989 ET 1990 AU SÉNÉGAL

STUDY OF THE 1989 AND 1990 RAINY SEASONS IN SENEGAL

par P. SAGNA*

RÉSUMÉ

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la zone Sahélo-Soudanienne revêt un aspect particulier si l'on privilégie la notion d'échelle, qui permet de dégager les interférences entre les différents phénomènes météorologiques et les particularités régionales.

C'est ainsi que l'étude des saisons des pluies en 1989 et 1990 au Sénégal révèle que la première année est relativement pluvieuse et la seconde plutôt sèche. La différence dans l'apport pluviométrique est surtout liée à la migration de la Zone InterTropicale de Convergence, dont l'importance dans l'explication de la pluviométrie ouest-africaine apparaît chez Leroux (1983 et 1988), Fontaine (1991), Janicot (1992), Sagna (1992), etc... Cette zone, à travers des situations météorologiques favorables à la pluviogénèse, est responsable d'importantes précipitations en année pluvieuse, tandis qu'en année sèche sa contribution est beaucoup moindre. Ainsi les particularités de la pluviométrie du Sénégal se retrouvent en phase ou en opposition de phase avec des phénomènes qui intéressent une partie ou l'ensemble de l'Afrique de l'ouest.

ABSTRACT

The analysis of the spatio-temporal variability of rainfalls in the Sahelian-Sudanese zone presents a particular aspect if one privileges the notion of scale, which permits the interferences between the different meteorological phenomena and regional particularities to be clearly shown.

It is like this, that the study of the 1989 and 1990 rainy season in Senegal revealed that the first year was relatively wet and the second one rather dry. The difference in the amount of rainfall is principally linked to the migration of the InterTropical Convergence Zone, the importance of this in the explanation of African rainfall was pointed out by Leroux (1983 and 1988), Fontaine (1991), Janicot (1992), Sagna (1992), etc... This zone, through meteorological situations favourable to the production of rainfall, is responsible for significant rainfall in a wet year, whereas during a dry year its contribution is far less. Therefore, the particularities of the rainfall of Senegal are either in or out of phase with the phenomena which affect a part or the whole of western Africa.

* ENSUT, Université C.A. Diop, Département de Géographie, Dakar, Sénégal.

INTRODUCTION

Plusieurs auteurs ont apporté une importante contribution à l'analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la zone soudano-sahélienne. Il suffit, pour s'en convaincre, de se référer aux importants travaux réalisés par Lamb (1978), Nicholson (1981), Palmer (1986), Lough (1986), Folland et al (1986), Leroux (1983 et 1988), Hastenrath (1988), Fontaine (1990, 1991 et 1992) et Janicot (1985, 1990 et 1992). Toutes ces études ont pour but d'expliquer la sécheresse sahélienne et ses relations avec les autres parties de l'Afrique occidentale, la position et le renforcement des cellules anticycloniques des Açores et de Sainte-Hélène, les flux des basses couches et plus particulièrement la mousson qui constitue le principal vecteur d'eau précipitable, les noyaux de vents d'est d'altitude (Jet d'Est Africain et Jet d'Est Tropical), la Température de Surface Océanique (TSO), etc.

Pour ce faire, elles ont particulièrement mis l'accent sur les conditions météorologiques et océanographiques qui engendreraient les éléments d'explication d'un phénomène qui, par ses conséquences, constitue encore, pour les spécialistes, une véritable source de préoccupation.

C'est pourquoi nous pensons que la pluviométrie ouest-africaine doit être appréhendée dans sa globalité. Une telle approche permettrait de définir "deux schémas de sécheresse au Sahel, une décrivant un déficit global sur l'Afrique de l'ouest, lié à une diminution globale de l'intensité des précipitations, l'autre décrivant un déficit au Nord de 10° N et un excédent au Sud, lié à une position plus au Sud de la Zone de Convergence Intertropicale" (Janicot 1991).

En effet, l'importance de cette zone dans l'explication de la pluviométrie ouest-africaine apparaît chez Leroux (1983 et 1988), Fontaine (1991), Janicot (1992) et Sagna (1992). C'est que l'amplitude de sa migration pendant l'été et l'importance de la convection qui lui est associée déterminent pour une grande part l'évolution de la pluviométrie.

A côté des schémas d'ensemble qui expliquent la cohérence de la répartition des pluies en Afrique occidentale, soulignons que le suivi de l'hivernage en temps réel au Sénégal à partir des images Météosat permet de mieux saisir les particularités de l'évolution des précipitations d'une année sur l'autre. Cette démarche tient à privilégier l'importance fondamentale de la notion d'échelle dans l'approche des phénomènes météorologiques et à dégager les interférences entre les différents éléments observés à partir de celle-ci.

INTRODUCTION

Several authors have been contributing a great deal to the analysis of spatiotemporal variability of precipitations in the Sudanese-Sahelian zone. If one needs to be convinced, reference to important studies conducted by Lamb (1978), Nicholson (1981), Palmer (1986), Lough (1986), Folland and Al. (1986), Leroux (1983 and 1988), Hastenrath (1988), Fontaine (1990, 1991 and 1992) and Janicot (1985, 1990 and 1992) is sufficient. All these studies aim to explain Sahelian drought and its relation with other areas of western Africa, the position and the re-enforcement of the Azores and Saint-Helena anticyclonic cells, the flows in the lower layers and more particularly the monsoon which is the principal vector of precipitable water, the easterly high wind nuclei (East African Jet and East Tropical Jet), the Oceanic Surface Temperature (OST), etc...

In order to do this, they have especially studied meteorological and oceanic conditions which would provide an explanation for a phenomenon which, by its consequences, still constitutes, an important research theme for specialists.

This is why we believe that western African pluviometry must be understood as a whole. Such an approach would enable "two schemes for Sahelian drought, one describing a global deficit over West Africa, linked to a global decrease of rainfall intensity, the other describing a deficit to the north of 10° N and an excess in the south, linked to a more southerly position of the Intertropical Convergence Zone" (Janicot, 1991) to be defined.

In fact, the importance of this zone in the explanation of western Africa pluviometry appears in the works of Leroux (1983 and 1988), Fontaine (1991), Janicot (1992) and Sagna (1992). Its migration amplitude during summer and the importance of the convection which is associated with it, is mainly responsible for the pluviometric evolution.

Next to these global schemes which explain the coherence and distribution of rainfall in western Africa, we would like to underline that the monitoring of the rainy season in real time in Senegal from Météosat images enables the particularities of the evolution of rainfall from one year to the next to be better understood. This method privileges the fundamental importance of the notion of scale in the approach to meteorological phenomena and to highlight the interferences between the different elements observed from it.

C'est dans ce contexte que nous étudions les saisons des pluies 1989 et 1990 qui, comme bien d'autres auparavant, témoignent de la grande variabilité interannuelle de la pluviométrie au Sénégal. L'année 1989 est un bel exemple d'année relativement pluvieuse par rapport à l'année suivante qui était plutôt sèche. La différence apparaît plus nettement si l'on tient compte des perturbations relevées au cours des deux saisons et si l'on considère leur apport pluviométrique.

Par rapport à la normale 1951-1980, en 1989 les stations synoptiques de Podor, Linguère et Dakar sont excédentaires, celles de Thiès et Kaolack sont voisines de la normale tandis que Kédougou est fortement déficitaire (-20%). En 1990 le déficit s'étend sur tout le pays. La comparaison des deux saisons montre qu'en 1989 la totalité des stations a enregistré au moins 80% de la normale tandis qu'en 1990, seules celles de Tambacounda et de Matam ont dépassé ce pourcentage avec respectivement 81,3% et 80,2% (cf Tab. 1).

It is within this context that we have studied the 1989 and 1990 rainy season which, like many before, showed a great interannual variability in Senegal. 1989 was a good example of a relatively wet year compared with the previous one which was rather dry. The difference appeared more clearly if one took into account the perturbations recorded during the two seasons and if one considered their pluviometric contribution.

Compared with the 1951-1980 average, in 1989 the synoptic stations recorded excesses in Podor, Linguere and Dakar. Those in Thies, Kaolack recorded values near to the average whereas Kedougou showed a marked deficit (-20%). In 1990 the deficit spread over all the country. The comparison of the two seasons showed that in 1989 all the stations recorded less than 80% of the normal value whereas in 1990, only the ones in Tambacounda and Matam exceeded this percentage with 81.3% and 80.2% respectively (see table 1).

	1951-80	1989	1990
Saint-Louis	296,3	81,3	64,2
Podor	279,8	121,6	47,2
Matam	436,9	81,7	80,2
Linguère	453,9	129,4	69,9
Diourbel	646,3	86	62,4
Thiès	606,9	99,9	67,4
Dakar	494,1	107,3	53,9
Kaolack	712,7	100,5	63,9
Tambacounda	863,6	87,5	81,3
Ziguinchor	1.403,9	83	79,3
Kolda	1.179,8	93,4	66,7
Kédougou	1.288,1	80	62,7

	1971-80	1989	1990
	214,9	112,1	88,5
	192,1	177,1	68,8
	294,2	121,3	119,2
	344,7	170,5	92,1
	488,7	113,7	82,5
	482,7	125,7	84,7
	330	160,7	80,7
	548,2	130,6	63,6
	742,9	101,7	94,5
	1.149,1	101,4	96,6
	958,4	114,9	82,1
	1.173,2	87,8	68,8

Tableau 1 : % des précipitations par rapport à la normale 1951-1980 et par rapport à la moyenne 1971-1980.

% of precipitations in relation to the 1951-1980 and in relation with the 1971-1980 average.

Par rapport à la moyenne 1971-1980, la saison 1989 est largement excédentaire avec des pourcentages de 160,7% à Dakar, 170,5 à Linguère, 177,1 à Podor. Seul l'extrême Sud-Est avec Kédougou (87,8%) est déficitaire. L'année 1990, en revanche, l'est globalement à l'exception de Matam (119,2%) dont l'évolution pluviométrique apparaît ainsi plus stable (cf. Tab. 1).

Compared with the 1971-1980 average, the 1989 season is largely in excess with percentages ranging from 160.7% at Dakar, 170.5% at Linguere, 177.1% at Podor. Only the south-eastern extremity with Kedougou (87.8%) showed a deficit. On the other hand 1990 was globally deficient, apart from Matam (119.2%) whose pluviometric evolution thus appeared more stable (see table 1).

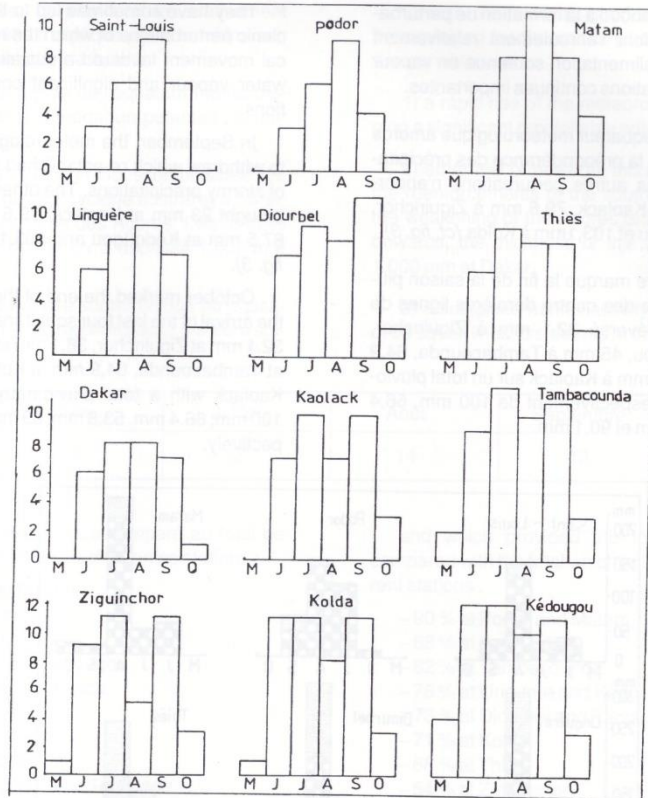


Figure 2 : LIGNES DE GRAINS ENREGISTRÉES AU SÉNÉGAL EN 1989.
SQUALL LINES RECORDED IN SENEGAL IN 1989.

En juillet, les lignes de grains continuent d'apporter la plus grande partie des précipitations avec notamment 107,4 mm à Podor, 123,3 mm à Thiès, 141,3 mm à Kaolack et 196,6 mm à Ziguinchor. Cependant, l'activité pluvieuse de la Zone Intertropicale de Convergence s'affirme progressivement dans le Sud, occasionnant des chutes de 56,2 mm à Kédougou, 58,6 mm à Ziguinchor et 88,4 mm à Kolda (cf fig. 3).

In July, the squall lines continued to provide most of the rainfall with notably 107.4 mm at Podor, 123.3 at Thiès, 141.3 mm at Kaolack and 196.6 at Ziguinchor. However, the rainfall activity of the Intertropical Convergence Zone grew progressively stronger in the south, causing 56.2 mm to fall at Kédougou, 58.6 mm at Ziguinchor and 88.4 mm at Kolda (see fig. 3).

En août, l'activité pluvieuse conserve sa principale particularité liée d'une part à l'apport très significatif des perturbations pluvio-orageuses mobiles notamment au Nord, à l'Est et au Sud-Est avec 128,1 mm à Saint-Louis, 137,7 mm à Podor, 204,7 mm à Matam, 180,9 mm à Tambacounda et 216,6 mm à Kédougou et d'autre part aux remontées de la Zone Intertropicale de Convergence dont les manifestations sont bien marquées sur la façade Ouest avec 283,8 mm à Dakar et 329,5 mm à Ziguinchor. Ces remontées ont favorisé un déplacement plus septentrional des lignes de grains dont 9 sont passées à Saint-Louis et à Podor et 5 seulement à Ziguinchor (cf fig. 1 et 2).

In August, the rainfall activity kept its principal particularity linked, on the one hand, to the very significant contribution of mobile thunder-storms notably in the North, in the East and in the South-East with 128.1 mm at Saint-Louis, 137.7 mm at Podor, 204.7 mm at Matam, 180.9 mm at Tambacounda and 216.6 mm at Kédougou and, on the other hand, to the rise of the Intertropical Convergence Zone whose manifestations were well marked over the western front with 283.8 mm at Dakar and 329.5 mm at Ziguinchor. The rises favoured a more northern shift in the squall lines of which 9 passed over Saint-Louis and Podor and only 5 at Ziguinchor (see fig. 1 and 2).

Elles ont parfois abouti à la formation de perturbations cycloniques dont l'enroulement relativement lent a favorisé une alimentation soutenue en vapeur d'eau et des précipitations continues importantes.

En septembre, l'équateur météorologique amorce un retrait qui rétablit la prépondérance des précipitations orageuses. Les autres perturbations n'apportent que : 23 mm à Kaolack, 79,6 mm à Ziguinchor, 87,5 mm à Kédougou et 103,1 mm à Kolda (cf. fig. 3).

Le mois d'octobre marque la fin de la saison pluvieuse avec l'arrivée des quatre dernières lignes de grains. Elles ont déversé 32,1 mm à Ziguinchor, 36,1 mm à Kédougou, 45 mm à Tambacounda, 64,9 mm à Kolda et 65,5 mm à Kaolack sur un total pluviométrique du mois respectivement de 100 mm, 66,4 mm, 53,8 mm, 89 mm et 90,1 mm.

They have sometimes led to the formation of cyclonic perturbations of which the relatively slow vortical movement favoured a sustained alimentation of water vapour and significant continuous precipitations.

In September, the meteorological equator began to withdraw which re-established the preponderance of stormy precipitations. The other perturbations only brought 23 mm at Kaolack, 79.6 mm at Ziguinchor, 87.5 mm at Kedougou and 103.1 mm at Kolda (see fig. 3).

October marked the end of the rainy season with the arrival of the last four squall lines. They poured out 32.1 mm at Ziguinchor, 36.1 mm at Kedougou, 45 mm at Tambacounda, 64.9 mm at Kolda and 65.5 mm at Kaolack with a total pluviometry for the month of 100 mm, 66.4 mm, 53.8 mm, 89 mm and 90.1 mm respectively.

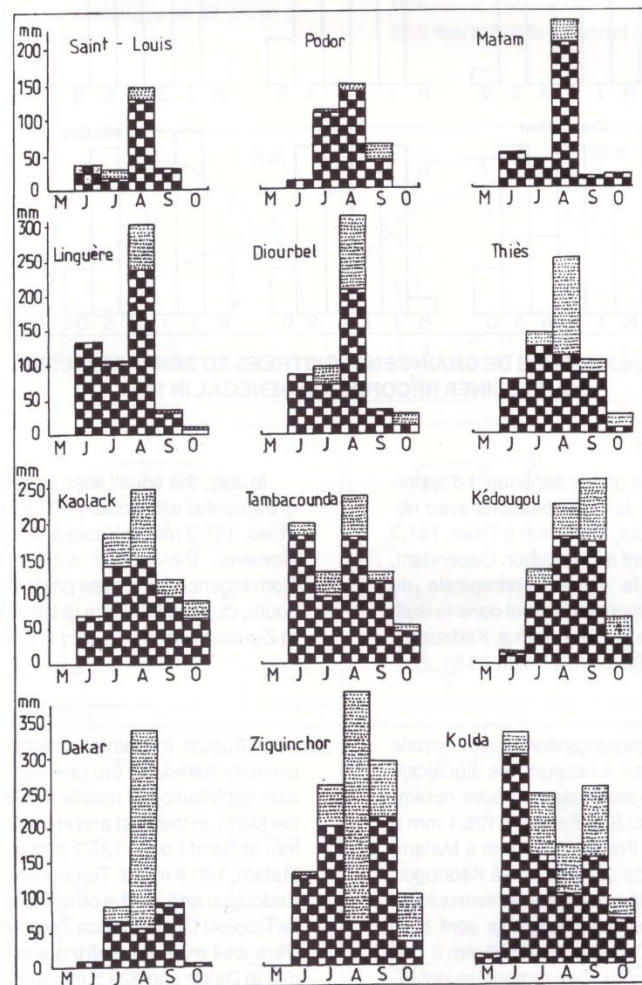


Figure 3 : DIFFÉRENTS APPORTS PLUVIOMÉTRIQUES AU SÉNÉGAL EN 1989.
DIFFERENT PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION IN SENEGAL IN 1989

Dans l'ensemble, la pluviométrie relativement bonne de l'année 1989 s'explique par la combinaison de plusieurs facteurs parmi lesquels :

- 1) une remontée rapide de l'équateur météorologique apportant sur le Sénégal un potentiel précipitable important,
- 2) une arrivée d'un flux de mousson puissant liée aux renforcements de l'anticyclone austral et à l'affaiblissement de l'anticyclone des Açores. Dès le mois de mai, l'épaisseur de ce flux a dépassé 1.000 m à Dakar,
- 3) une activité pluvieuse soutenue due au passage de 60 lignes de grains, réparties de la manière suivante :

Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
4	12	13	14	13	4

et dont l'apport pluviométrique comparé au total de l'année s'établit ainsi dans les différentes stations :

- 90 % à Podor et Matam,
- 88 % à Saint-Louis,
- 82 % à Tambacounda,
- 76 % à Linguère et Kédougou,
- 73 % à Diourbel et Kaolack,
- 71 % à Kolda,
- 68 % à Thiès,
- 54 % à Ziguinchor,
- 42 % à Dakar (cf fig. 4 et 5 et image 1),

4) des chutes de pluie abondantes provoquées par les remontées de la Zone InterTropicale de Convergence, en particulier en juillet et en août et qui peuvent s'accompagner dans le cas de la formation de perturbations cycloniques, d'une convection étendue à la plus grande partie du territoire (images 2 et 3),

5) des précipitations, moins significatives quantitativement, dues aux perturbations locales notamment dans le Sud.

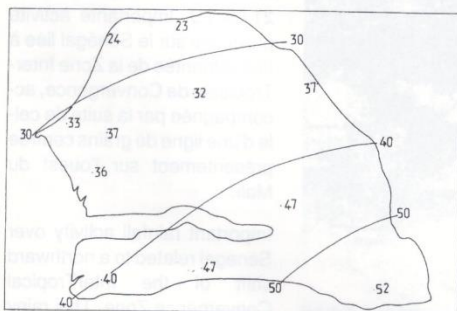


Figure 4 : LIGNES DE GRAINS ENREGISTRÉES AU SÉNÉGAL EN 1989. - SQUALL LINES RECORDED IN SENEGAL IN 1989.

Overall, the relatively good 1989 pluviometry can be explained by the combination of several factors among which were :

- 1) a rapid rise of the meteorological equator bringing a significant precipitable potential,
- 2) an arrival of powerful monsoon flows linked to the reinforcements of the southern anticyclone and the weakening of the Açores anticyclone. From May onwards, the thickness of this flow was more than 1.000 mm at Dakar,
- 3) a sustained rainfall activity due to the passage of 60 squall lines, distributed in the following manner :

and which provided the following pluviometry compared with the total which fell that year in the different stations :

- 90 % at Podor and Matam,
- 88 % at Saint-Louis,
- 82 % at Tambacounda,
- 76 % at Linguere and Kedougou,
- 73 % at Diourbel and Kaolack,
- 71 % at Kolda,
- 68 % at Thies,
- 54 % at Ziguinchor,
- 42 % at Dakar (see figs. 4 and 5 and image 1),

4) abundant rainfall caused by the rise in the Inter-Tropical Convergence Zone especially in July and in August and which can be accompanied with, in the case of the formation of cyclonic perturbations, a convection spread over most of the region (images 2 and 3).

5) precipitations, quantitatively less significant due to local perturbations especially in the south.

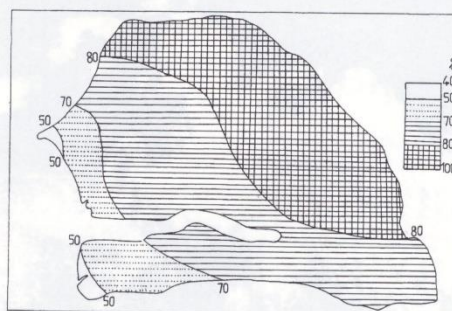
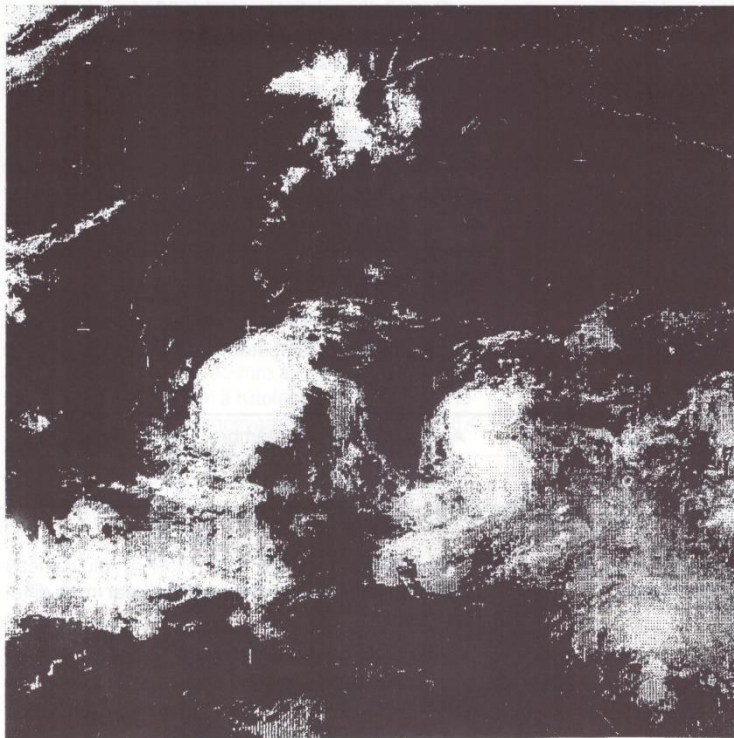
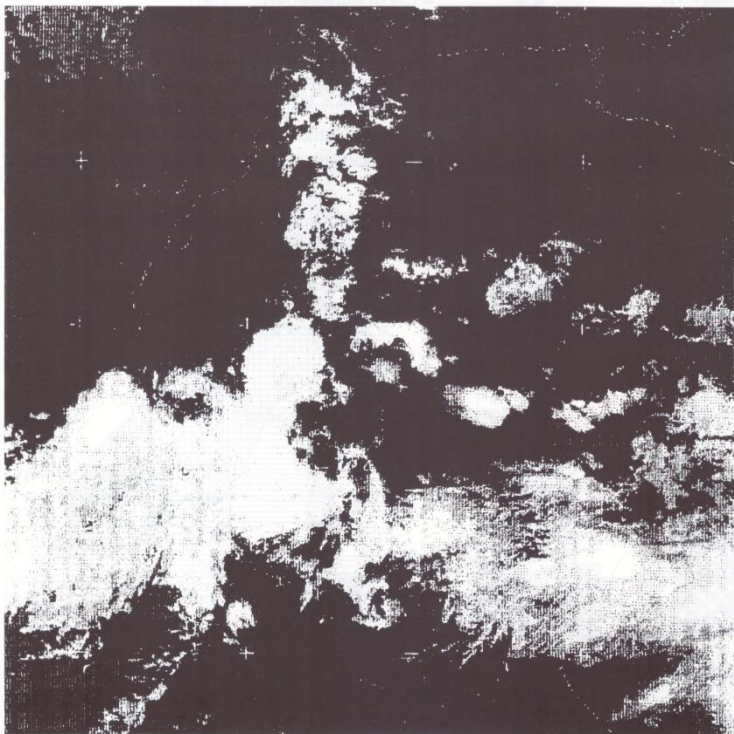


Figure 5 : APPORT PLUVIOMETRIQUE DES LIGNES DE GRAINS EN 1989. - PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION OF SQUALL LINES IN 1989.



1) **UTIS/ISRA/ORSTOM. -**
IMAGE DU 20 AOUT 1989 A
09.00 TU. Ligne de grains arri-
 vant sur le Sénégal. **20/08/89**
9.00 UT. Squall line crossing
 Senegal



2) **UTIS/ISRA/ORSTOM. -**
IMAGE DU 1^{ER} AOUT 1989 A
21.00 TU. Importante activité
 pluvieuse sur le Sénégal liée à
 une remontée de la Zone Inter-
 Tropicale de Convergence, ac-
 compagnée par la suite de cel-
 le d'une ligne de grains centrée
 présentement sur l'ouest du
 Mali.

Important rainfall activity over
 Senegal related to a northward
 shift of the InterTropical
 Convergence Zone. This rainy
 event would be followed later
 on by another one due to a
 squall line currently centered
 over western Mali.

2. LA SAISON DES PLUIES 1990

Elle débute timidement en mai dans l'extrême sud-est où Kédougou recueille 5,3 mm.

A partir de juin, la trace au sol de l'équateur météorologique migre lentement vers le Nord et avec elle l'extension de la zone pluvieuse. Les perturbations mobiles concernent surtout l'Est et le Sud du pays où elles déversent 115,8 mm à Tambacounda, 41,6 mm à Ziguinchor, 46,4 mm à Kédougou et 73,1 mm à Kolda (cf. fig. 6 et 7). Les autres activités pluvieuses se limitent à 8,5 mm à Tambacounda, 29,6 mm à Ziguinchor, 36 mm à Kolda et 45,6 mm à Kédougou.

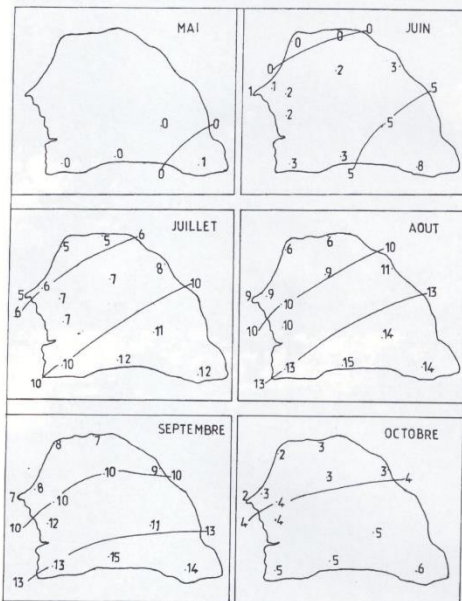


Figure 6 : LIGNES DE GRAINS ENREGISTRÉES AU SÉNÉGAL EN 1990.
SQUALL LINES RECORDED IN SENEGAL IN 1990.

En juillet, l'ensemble du pays est soumis à une circulation de mousson. On peut cependant noter quelques incursions d'alizé maritime sur le nord-ouest. Les lignes de grains sont plus nombreuses (14) et fournissent l'essentiel des précipitations : 51,2 mm à Saint-Louis, 24,5 mm à Dakar et 162,6 mm à Ziguinchor (cf. fig. 8).

Le mois d'août, globalement le plus pluvieux, enregistre 16 lignes de grains dont la répartition varie entre 6 à Saint-Louis et Podor et 15 à Kolda (cf. fig. 6 et 7).

2. THE 1990 RAINY SEASON

It started hesitantly in May in the far south-east where 5.3 mm fell at Kedougou.

From June, the trace at the surface of the meteorological equator migrated slowly northward and with it the extension of the rain zone. The mobile perturbations affected above all the east and the south of the country where 115.8 mm fell at Tambacounda, 41.6 mm at Ziguinchor, 46.4 mm at Kedougou and 73.1 mm at Kolda (see fig. 6 and 7). Elsewhere, only 8.5 mm at Tambacounda, 29.6 mm at Ziguinchor, 36 mm at Kolda and 45.6 mm at Kedougou were recorded.

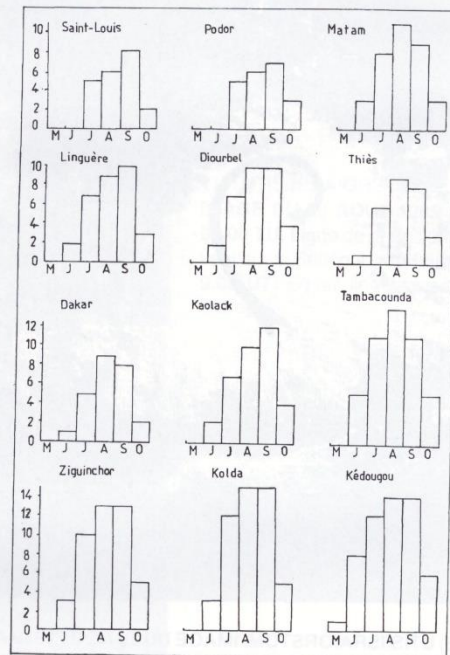


Figure 7 : LIGNES DE GRAINS ENREGISTRÉES AU SÉNÉGAL EN 1990.
SQUALL LINES RECORDED IN SENEGAL IN 1990.

In July, the whole of the country was subjected to a monsoon circulation. However, one can note a few incursions of the maritime trade-winds over the north-west. The squall lines were more numerous (14) and provided most of the precipitations : 51.2 mm at Saint-Louis, 24.5 mm at Dakar and 162.6 mm at Ziguinchor (see fig. 8).

August, generally the wettest month, recorded 16 squall lines, their distribution varied between 6 at Podor and 15 at Kolda (see fig. 6 and 7).

Leur apport pluviométrique atteint 43,4 mm à Saint-Louis, 171,2 mm à Tambacounda, 277,5 mm à Kédougou et 416,2 mm à Ziguinchor contre respectivement 8,8 mm, 34,6 mm, 22,9 mm et 183,2 mm. Ces précipitations sont dues à l'activité de la Zone Inter-Tropicale de Convergence et à la convection locale. Il faut souligner que ces deux phénomènes ont été peu importants cette année-là.

En septembre la migration rapide de cette Zone InterTropicale de Convergence vers le sud laisse aux perturbations pluvio-orageuses la quasi-totalité des apports. Cette situation est confirmée en octobre. On note cependant des précipitations significatives (47,9 mm) à Tambacounda dues aux perturbations locales (cf fig. 8).

Le déficit pluviométrique quasi général de l'année 1990 peut s'expliquer par :

1) une remontée très lente de l'équateur météorologique, liée d'une part à une intense activité des alizés notamment sur le nord-ouest du Sénégal et d'autre part à un flux de mousson moins puissant, incapable de couvrir rapidement le pays et d'y installer des conditions pluvio-géniques favorables,

2) l'apport pluviométrique déterminant de 61 lignes de grains réparties de la manière suivante :

Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
1	8	14	16	16	6

Leur apport dans le total annuel est de :

- 99,9 % à Matam,
- 99 % à Linguère,
- 98,9 % à Podor,
- 95,7 % à Saint-Louis,
- 94 % à Dakar,
- 93 % à Thiès,
- 92 % à Diourbel,
- 88,6 % à Kédougou,
- 85 % à Kaolack,
- 82 % à Tambacounda,
- 81,7 % à Kolda,
- 75,8 % à Ziguinchor,

Their pluviometric contribution reached 43.4 mm at Saint-Louis, 171.2 mm at Tambacounda and 277.5 mm at Kedougou and 416.2 mm at Ziguinchor against 8.8 mm, 34.6 mm, 22.9 mm and 183.2 mm respectively. These precipitations were due to the activity of the InterTropical Convergence Zone and local convection. It must be underlined that these two phenomena were not very significant that year.

In September, the rapid southward migration of the InterTropical Convergence Zone meant that the thunder-storm events provided almost all of the rainfall. This situation was confirmed in October. However one can note important precipitations (47.9 mm) at Tambacounda due to local perturbations (see fig. 8).

The almost generalized 1990 pluviometric deficit can be explained by :

1) a very slow rise of the meteorological equator, linked on the one hand to an intense activity of the trade-winds notably over north-western Senegal and on the other hand, to a less powerful monsoon flow, incapable of rapidly covering the country and setting-up there favourable pluviogenic conditions,

2) the pluviometric contribution provided by 61 squall lines distributed in the following manner :

Their contribution to the yearly total is as follows :

- 99.9 % at Matam,
- 99 % at Linguere,
- 98.9 % at Podor,
- 95.7 % at Saint-Louis,
- 94 % at Dakar,
- 93 % at Thies,
- 92 % at Diourbel,
- 88.6 % at Kedougou,
- 85 % at Kaolack,
- 82 % at Tambacounda,
- 81.7 % at Kolda,
- 75.8 % at Ziguinchor,

3) une très faible activité de la Zone InterTropicale de Convergence qui n'a pratiquement concerné que le Sud du pays, en juillet et en août, le privant ainsi de précipitations continues dont l'importance sur le plan agricole est bien connue,

4) une convection locale réduite du fait d'une instabilité limitée, accentuant ainsi le déficit.

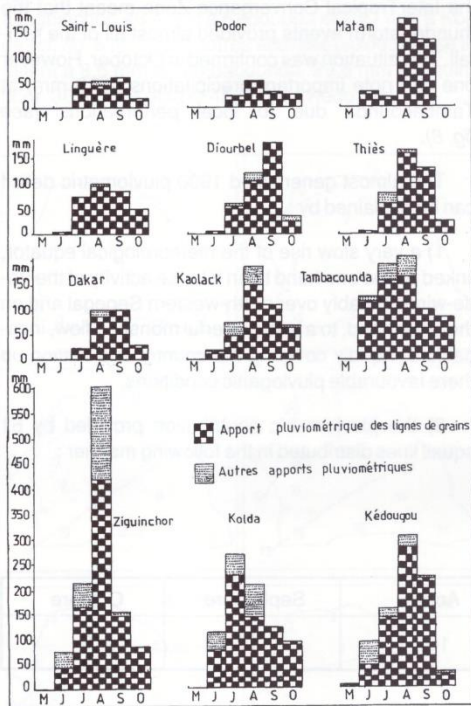


Figure 8 : DIFFÉRENTS APPORTS PLUVIOMÉTRIQUES AU SÉNÉGAL EN 1990. – DIFFERENT PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION IN SENEGAL IN 1990.

3. REMARQUES ET CONCLUSIONS

Si l'on en juge par les totaux annuels, la pluviométrie de l'année 1989 apparaît plus importante que celle de 1990 (cf. fig. 11, 12 et 13). Dans la première figure, l'isohyète 500 mm passe au Nord de M'Boro, Linguère et au Sud de Matam tandis que l'isohyète 1000 mm traverse le Sénégal d'Ouest en Est dans sa partie méridionale. L'ensemble du pays a reçu plus de 200 mm. Dans la seconde figure, l'isohyète 500 mm se situe très au Sud par rapport à 1989 et n'atteint même pas Kaolack qui avait reçu 716,1 mm l'année précédente. Seul l'extrême Sud-Ouest du pays dépasse 1.000 mm alors que le Nord enregistre plus de 200 mm.

3) a very weak activity in the InterTropical Convergence Zone almost only affected the south of the country, in July and August, thus depriving it of continuous precipitations of which the importance for agriculture is well known,

4) reduced local convection due to a limited instability, therefore accentuating the deficit.

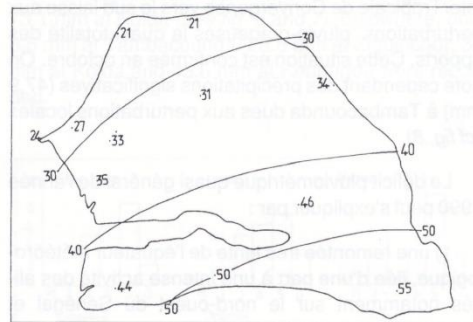


Figure 9 : LIGNES DE GRAINS ENREGISTRÉES AU SÉNÉGAL EN 1990. – SQUALL LINES RECORDED IN SENEGAL IN 1990.

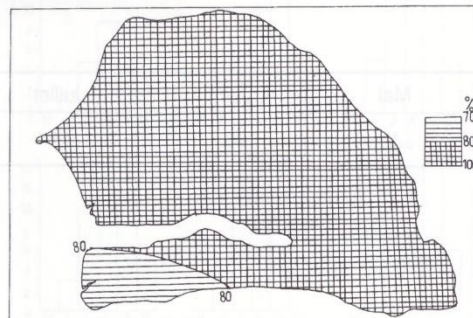


Figure 10 : APPORT PLUVIOMÉTRIQUE DES LIGNES DE GRAINS EN 1990. – PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION OF SQUALL LINES IN 1990.

3. REMARKS AND CONCLUSIONS

If one can judge the pluviometry by the annual totals, in 1989, pluviometry seemed to be more significant than in 1990 (see fig. 11, 12 and 13). In the first figure, the 500 mm isohyetal crosses in the north of M'Boro, Linguère and the south of Matam whereas the 1000 mm isohyetal crosses Senegal from West to East in its meridional region. The whole of Senegal experienced more than 200 mm. In the second figure, the 500 mm isohyetal is found very much to the south compared with 1989 and does not even reach Kaolack which had experienced 716.1 mm the previous year. Only the far south-west had more than 1000 mm whereas the north recorded more than 200 mm.

Les perturbations mobiles, pourvoyeuses d'abondantes précipitations ont pourtant été plus nombreuses en 1990 (61) qu'en 1989 (60). Leur durée de vie a été cependant plus courte et leur extension méridienne moins développée, ce qui s'est traduit par un nombre moins important de passages en 1990 qu'en 1989 dans les différentes stations sauf dans la partie méridionale à Ziguinchor, Kolda et Kédougou (cf fig. 4 et 9). En 1990, les fréquentes incursions des alizés provenant de l'anticyclone des Açores sur le nord-ouest du Sénégal ont connu parfois une extension méridionale et zonale plus importante même au cœur de l'hivernage et ont constitué, compte tenu des caractères thermiques et hygrométriques des flux ainsi advectés, un facteur contraignant voire paralysant à l'activité pluvieuse. Les lignes de grains qui s'approchent du littoral Nord, se retrouvent, dans ces situations, privées de mousson et elles se disloquent. C'est ce qui explique, entre autres, leur brusque disparition.

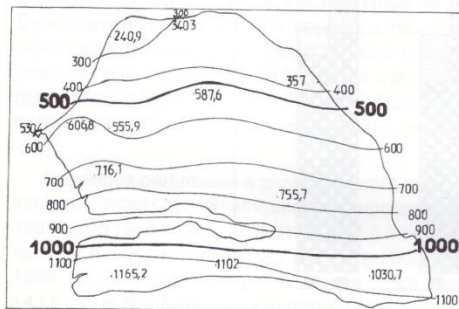


Figure 11 : PRÉCIPITATIONS AU SÉNÉGAL EN 1989. – ANNUAL RAINFALL IN SENEGAL IN 1989.

Elles ont trouvé en 1989 des conditions plus favorables à leur évolution, qui se sont traduites par d'intenses activités pluvio-orageuses et qui ont permis de toucher beaucoup de stations et un plus vaste espace géographique. Ces conditions tiennent compte des caractères thermodynamiques du flux de mousson, de la stratification aérologique et de l'importance du noyau de vent d'Est qui est reconnue par Hamilton et al (1945) et Nevière (1959) et dont l'augmentation de vitesse entraîne "une recrudescence de l'activité" et sa baisse "une diminution de l'activité orageuse" Nevière (1959). Les remontées de la Zone InterTropicale de Convergence ont offert aux lignes de grains un domaine d'évolution beaucoup plus septentrional en 1989 qu'en 1990.

Elles ont apporté plus de précipitations en 1989 que l'année suivante, sauf à Matam, Dakar et Ziguinchor (cf fig. 13).

The mobile perturbations, purveyors of abundant precipitations were nevertheless more frequent in 1990 (61) than in 1989 (60). However their longevity was shorter and their meridional extension less developed. This meant that there was a less significant number of crossings in 1990 than in 1989 in the different stations apart from in the meridional region at Ziguinchor, Kolda and Kedougou (see fig. 4 and 9). In 1990, the frequent incursions of the trade-winds originating from the Azores anticyclone over north-western Senegal have sometimes had a more significant meridional and zonal extension even in the middle of the rainy season and have formed, taking into consideration thermal and hygrometric characters of the flows so advected, a restraining even paralysing factor for rainfall activity. The squall lines which approached the northern littoral, found themselves, in these situations, deprived of monsoon and they broke down. This is what explained, among other factors, their brusque disappearance.

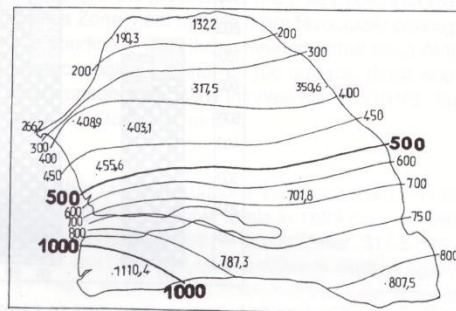


Figure 12 : PRÉCIPITATIONS AU SÉNÉGAL EN 1990. – ANNUAL RAINFALL IN SENEGAL IN 1990.

In 1989, conditions were more favourable to their evolution, which enabled more stations to be concerned and a much wider geographical area to be touched. These conditions took into account the thermodynamic character of the monsoon flow, the aerological stratification and the importance of the easterly wind nucleus which was identified by Hamilton and Al. (1945) and Nevière (1959) and its increase in speed causes a "recrudescence of activity" and its reduction in speed "a reduction in storm events" Nevière (1959). The rise in the InterTropical Convergence Zone offered squall lines a far more northern domain to evolve in 1989 than in 1990.

They brought more precipitations in 1989 than the following year, apart from Matam, Dakar and Ziguinchor (see fig. 13).

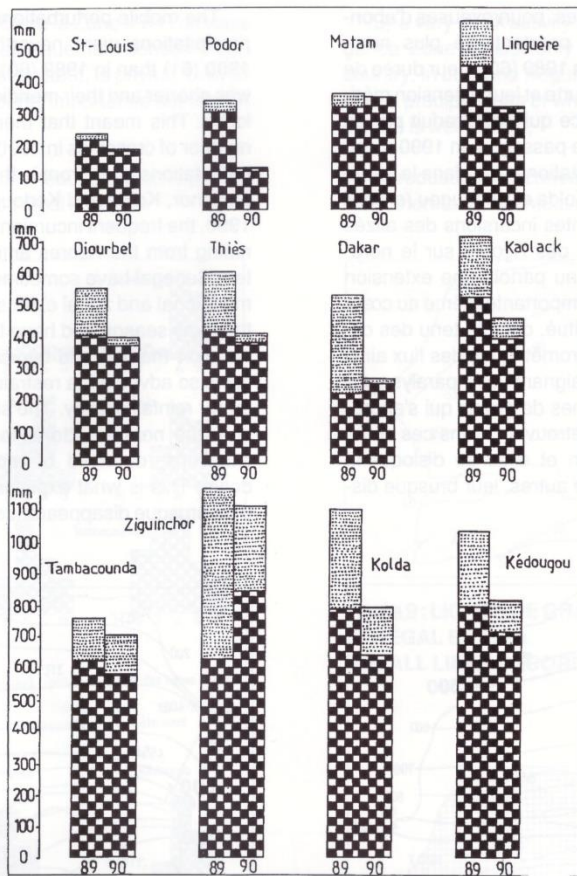


Figure 13 : DIFFÉRENTS APPORTS PLUVIOMETRIQUES AU SÉNÉGAL EN 1989 ET EN 1990.
DIFFERENT PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION IN SENEGAL IN 1989 AND 1990.

Dans ces deux dernières stations, la Zone Inter-Tropicale de Convergence dont les migrations sur la façade occidentale ont entraîné une évolution plus septentrionale de certaines perturbations, y a provoqué de fortes précipitations. Il n'en a pas été de même l'année suivante, où la faible activité de cette zone n'a pas modifié de façon significative le déplacement normal des perturbations et leur activité pluvieuse. A Matam, c'est la quasi absence des précipitations étrangères aux lignes de grains qui explique la différence entre les deux années.

Les quantités d'eau déversée par chaque perturbation mobile sont en moyenne de 13 mm par station en 1989 et de 12 mm en 1990, ce qui traduit une meilleure utilisation du potentiel précipitable pendant la première saison, où les moyennes varient entre 7,4 mm à Dakar et 16,7 mm à Kolda alors que pendant la seconde elles évoluent entre 6,2 mm à Podor et 19 mm à Ziguinchor.

Les figures 14 et 15 témoignent de la grande variabilité de leur apport pluviométrique. Les chutes les plus importantes sont enregistrées sur la partie méridionale (régions de Ziguinchor et de Kolda) et les plus faibles, sur la partie septentrionale.

In these latter two stations, the migrations of the InterTropical Convergence Zone on the western front led to a more northern evolution of certain perturbations, and caused heavy rainfall there. This was not the case the following year, where the weak activity of this zone did not modify in a significant manner the normal shift of perturbations and the rain consequences. At Matam, it is the quasi absence of precipitations which do not come from the squall lines which explained the difference between these two years.

The quantities of rain poured out by each mobile perturbation are on average 13 mm per station in 1989 and 12 mm per station in 1990, which led to the better use of the precipitable potential during the first season, where the averages varied between 7.4 mm at Dakar and 16.7 mm at Kolda, whereas during the second one they varied between 6.2 mm at Podor and 19 mm at Ziguinchor.

Figures 14 and 15 show the great variability in their pluviometric contribution. The most significant rainfall was recorded over the meridional part (Ziguinchor and Kolda regions) and the lightest over the northern part.

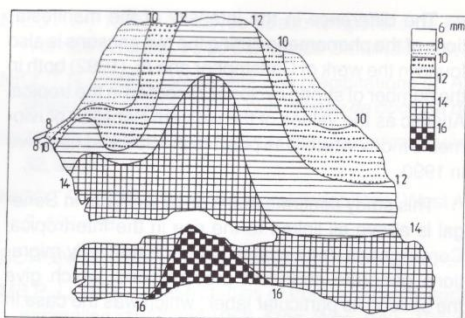


Figure 14 : APPORT PLUVIOMÉTRIQUE MOYEN D'UNE LIGNE DE GRAINS EN 1989. – MEAN PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION PER SQUALL LINE IN 1989.

Cela s'explique par le fait que les lignes de grains évoluant à proximité de la Zone InterTropicale de Convergence rencontrent des conditions pluviogéniques plus favorables que celles qui sont les plus proches de la trace au sol de l'équateur météorologique, là où le flux de mousson est moins épais et de ce fait, moins propice à d'abondantes chutes de pluie.

Les autres perturbations pluvieuses sont responsables de totaux pluviométriques plus importants en 1989 qu'en 1990 : 192,8 mm à Thiès, 307,8 mm à Dakar, 317,8 mm à Kolda et 538,7 mm à Ziguinchor en 1989 contre respectivement 27,1 mm, 15,9 mm, 143,5 mm et 269,1 mm en 1990 (cf fig. 13).

La différence entre les deux stations réside surtout dans leur dynamique propre qui permet de mettre en évidence des situations météorologiques favorables à la pluviogénèse dont le nombre et la durée déterminent pour une grande part les précipitations de l'hivernage. "Ces situations se caractérisent en surface par l'existence d'un couloir dépressionnaire creusé et allongé au Nord de l'Afrique, pouvant se prolonger jusqu'au niveau de la Péninsule Ibérique, par une remontée très significative de l'équateur météorologique notamment au Sud de ce couloir et par un renforcement de l'anticyclone de Sainte Hélène qui se traduit par des pressions élevées sur la partie méridionale de l'Afrique occidentale" (Sagna P., 1992). Elles peuvent s'accompagner d'une remontée de la Zone InterTropicale de Convergence, donc d'une plus grande advection de potentiel précipitable, d'une circulation cyclonique dans les basses couches accompagnées d'abondantes formations nuageuses et de précipitations considérables pouvant s'étaler sur une longue durée. Ces situations ont eu plus d'impact en 1989 qu'en 1990. Entre juillet et septembre nous en avons enregistré 16 s'étalant sur 46 jours la première année et 6 seulement pour 21 jours, la seconde.

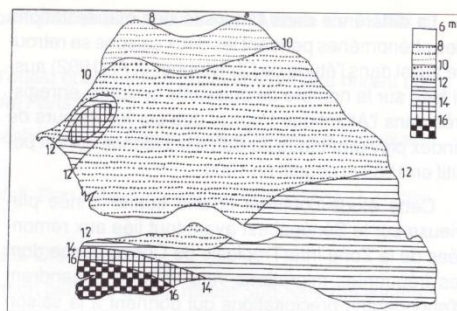


Figure 15 : APPORT PLUVIOMÉTRIQUE MOYEN D'UNE LIGNE DE GRAINS EN 1990. – MEAN PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION PER SQUALL LINE IN 1990.

This is explained by the fact that the squall lines evolving in the proximity of the InterTropical Convergence Zone meet up with more favourable pluviogenic conditions than those nearest to the trace of the meteorological equator on the surface, there where the monsoon flow is the thinnest and due to this, less propitious to heavy rainfall.

Other rain perturbations were responsible for the more significant rainfall totals in 1989 than in 1990 : 192.8 mm at Thies, 307.8 mm at Dakar, 317.8 mm at Kolda and 538.7 mm at Ziguinchor in 1989 as against 27.1 mm, 15.9 mm, 143.5 mm and 269.1 mm respectively in 1990 (see fig. 13).

The difference between the two stations lies above all in their very own dynamic which enables meteorological situations favourable to pluviogenesis to be emphasized. The number and duration of these situations are mainly responsible for rainy season precipitations. "These situations are characterised at their surface by the presence of a low pressure trough hollowed and stretched out in the north of Africa, being able to extend up to the level of the Iberian peninsula, by a very significant rise of the meteorological equator notably in the south of this trough and by a re-enforcement of the Saint-Helena anticyclone which led to high pressures over the meridional part of western Africa" (Sagna P., 1992). They can be accompanied with a rise in the InterTropical Convergence Zone, therefore by a more important advection of precipitable potential, of a cyclonic circulation in the lower levels accompanied with abundant cloud formations and considerable precipitations being able to be spread over a long time. These situation had more impact in 1989 than in 1990. Between July and September we recorded 16 spreading over 46 days the first year and only 6 spreading over 21 days the second year.

La différence dans l'intensité des manifestations des phénomènes pendant les deux saisons se retrouve aussi dans l'étude de Christopher et Al (1992) aussi bien sur le nombre de puissants cyclones enregistrés dans l'Atlantique tropical que sur les valeurs de l'index pluviométrique du Sahel occidental qui est positif en 1989 et négatif en 1990.

Cette étude confirme qu'une bonne année pluvieuse sur le Sénégal est avant tout liée aux remontées de la Zone InterTropicale de Convergence dont les fréquentes migrations vers le Nord engendrent d'abondantes précipitations qui donnent à la saison son cachet particulier ; ce qui est le cas en 1989. Au contraire, une année sèche se caractérise par une intervention limitée de la structure Zone InterTropicale de Convergence (ZITC) ; ce qui est le cas en 1990. Cette moindre remontée vers le Nord "est associée à des eaux anormalement chaudes sur le golfe de Guinée, qui tendent à diminuer l'amplitude de migration estivale du système, voire à le maintenir à de plus basses latitudes" Fontaine et Al (1991). Elle se manifeste aussi par une plus faible extension méridienne du flux de mousson (Lamb et Al 1992), autrement dit, par une advection moins importante du potentiel précipitable et par un Jet d'Est Africain plus violent et un Jet d'Est Tropical affaibli (Fontaine et Janicot, 1992).

Ainsi, l'évolution de la pluviométrie au Sénégal se retrouve en phase ou en opposition de phase avec des phénomènes qui intéressent aussi bien l'Afrique de l'Ouest, l'Atlantique tropical que les ensembles encore plus vastes. C'est pourquoi, les particularités locales et régionales doivent trouver dans les anomalies de la circulation générale, autrement dit dans des interactions météorologiques et océanographiques un champ d'explications plus significatif et plus cohérent.

The difference in the intensity of the manifestations of the phenomena during the two seasons is also found in the work of Christopher and Al. (1992) both in the number of strong cyclones recorded in the tropical Atlantic as the values of the western Sahelian pluviometric index which was positive in 1989 and negative in 1990.

This study confirms that a good wet year in Senegal is above all linked to the rise in the Intertropical Convergence Zone whose frequent northerly migrations generate abundant precipitations, which give the season its particular label ; which was the case in 1989. On the other hand, a dry year is characterised by a limited intervention of the ITCZ structure ; which was the case in 1990. This lesser rise towards the north "is associated with abnormally hot waters in the Gulf of Guinea, which tended to reduce the amplitude of the estival migration of the system, even to keep it at its lowest latitudes" Fontaine and Al. (1991). It is also manifested by a lesser meridional extension of the monsoon flow (Lamb and Al. 1992), in other words, by a less significant advection of the precipitable potential and by a more violent East African Jet and a weakened East Tropical Jet (Fontaine and Janicot, 1992).

Therefore, the evolution of the pluviometry in Senegal is either in phase or counter-phase with phenomena which affect both West Africa and the tropical Atlantic as well as even vaster regions. This is why, local and regional particularities must detect in general circulation anomalies, that is to say in the meteorological and oceanographical interactions, a more coherent and significant field of explanations.

BIBLIOGRAPHIE

- LANDSEA Christopher W. and M. GRAY William, 1992. – The strong Association between Western Sahelian Monsoon rainfall and intense Hurricanes. *J. of Clim.*, 5, 435-453.
- DHONNEUR G., 1974. – Nouvelle approche des réalités météorologiques de l'Afrique occidentale et centrale. *ASECNA, Thèse Université de Dakar, Sénégal, 385 p. et 472 p.*
- FOLLAND C.K., PALMER T.N. and PARKER D.E., 1986. – Sahel rainfall and Worldwide Sea temperatures. 1901-85. *Nature*, 320, 602-607.
- FONTAINE B., 1990. – Champs atlantique, pluviométrie ouest africaine et oscillation australe. *Veille Climatique Satellitaire*, 32, 34-51.
- FONTAINE B., 1991. – Variabilité et téléconnexion des moussons pluvieuses indiennes et ouest africaines. *Publ. Ass. Internat. de Clim.*, Vol. 3, 129-140.
- FONTAINE B. and JANICOT S., 1992. – Wind-Field coherence and its variations over West Africa. *J. of Clim.*, 5, 512-524.
- HAMILTON R.A. and ARCHBOLD J.W., 1945. – Meteorology of Nigeria and adjacent territories. *Quarterly J. of R.M.S.* Vol. 71, n° 309-310, 231-264.
- HASTENRATH S., 1988. – Climate and circulation of the tropics. *D. Reider Publishing Company Atmospheric Sciences Library*, 455 p.

- JANICOT S., 1985. – Analyse spatio-temporelle du champ de précipitations annuelles sur l'Afrique de l'ouest et l'Afrique centrale. *Veille Climatologique Satellites*, 10, 32-34.
- JANICOT S., 1990. – Variabilité des précipitations en Afrique de l'ouest et circulation quasi-stationnaire durant une phase de transition climatique. *Thèse de doctorat de l'université Paris 6*.
- JANICOT S., 1990. – Deux facteurs principaux impliqués dans la sécheresse au Sahel. *Veille Climatologique Satellites*, 32, 24-33.
- JANICOT S., 1992. – Spatiotemporal variability of West African rainfall. Part I. Regionalisations and typings. *J. of Clim.*, 5, 489-498.
- LEBORGNE J., 1988. – La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. *Ed. Orstom*, 93 p.
- LAMB P.J., 1978. – Case studies of tropical Atlantic surface circulation patterns during recent Sub-Saharan weather anomalies : 1967 and 1968. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 482-291.
- LAMB P.J. and PEPLER R.A., 1992. – Further case studies of tropical Atlantic Surface Atmospheric and Oceanic Patterns associated with sub-saharan drought. *J. of Clim.*, 5-476-488.
- LEROUX M., 1983. – Le climat de l'Afrique tropicale. *Ed. Champion/Slatkine, Paris/Genève*, t. 1, 636 p, t. 2, 250 cartes.
- LEROUX M., 1988. – La variabilité des précipitations en Afrique occidentale : les composantes aérologiques du problème. *Veille Climatologique Satellites*, n° 22, *Orstom : CMS, Lannion* pp. 26-45.
- LOUGH J.M., 1986. – Tropical Atlantic sea surface temperatures and rainfall variations in Subsaharan Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 561-570.
- NEVIERE E., 1959. – Relations entre courants rapides et les types de temps en Afrique équatoriale. *Monog. Met. Nat.* n° 14, Paris.
- NICHOLSON S.E., 1981. – Rainfall and atmospheric circulation patterns during drought periods and wetter years in West Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 2.191-2.208.
- PALMER T.N., 1986. – The influence of the Atlantic, Pacific and Indian oceans on Sahel rainfall. *Nature*, 322, 251-253.
- SAGNA P., 1988. – Étude des lignes de grains en Afrique de l'Ouest. *Thèse de doctorat de 3^e cycle. Université C.A. DIOP, Dakar*.
- SAGNA P., 1992. – Dynamique des précipitations soudano-sahéliennes. Application à la pluviométrie du Sénégal de 1983 à 1990. *Actes du colloque de Fribourg 11-14 septembre 1991, Assoc. Int. de Clim., Suisse*.