

Publications de l'Association Internationale de Climatologie

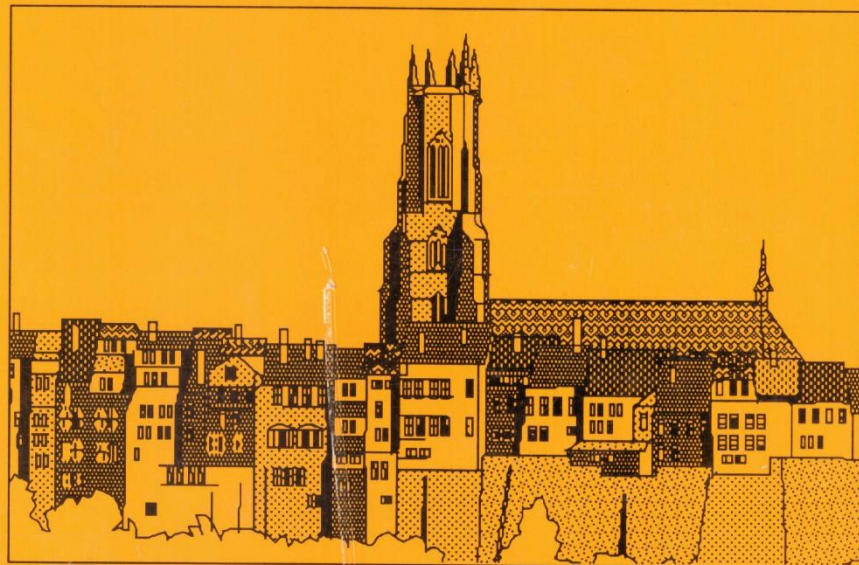
Volume 4

# CLIMAT URBAIN ET QUALITÉ DE L'AIR

Actes du Colloque  
de Fribourg (Suisse)  
11 - 13 septembre 1991

édités par  
MICHEL ROTEN  
en collaboration avec  
PIERRE-ALAIN BAERISWYL

*Association  
Internationale  
de Climatologie*



Institut de Géographie Université de Fribourg (Suisse)

1991

*Association  
Internationale  
de Climatologie*



Publications de l'Association Internationale de Climatologie

Volume 4

# CLIMAT URBAIN ET QUALITÉ DE L'AIR

Actes du Colloque  
de Fribourg (Suisse)  
11 - 13 septembre 1991

édités par  
MICHEL ROTEN  
en collaboration avec  
PIERRE-ALAIN BAERISWYL

Institut de Géographie Université de Fribourg (Suisse)

1991

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	3
CLIMATOLOGIE URBAINE, QUALITÉ DE L'AIR ET AUTRES THEMES.....	5
<b>Berlincourt P.</b> : Le cas d'une petite ville suisse : Bienne.....	7
<b>Ruffieux D.</b> : Quelques aspects de la ventilation et de la pollution de l'air dans l'agglomération de Denver (USA).....	15
<b>Hertig J.</b> : Modélisation des impacts sur l'atmosphère des transformations énergétiques.....	23
<b>Alcoforado M.J.</b> : Influence de l'advection sur les champs thermiques urbains à Lisbonne.....	29
<b>André P., Mabilie G., Erpicum M.</b> : Comparaison des températures mesurées en Belgique dans un site urbain (Uccle) et un site rural (Thimister).....	37
<b>Marzol M.V., Dorta P., Rodriguez J.</b> : Variations temporelles et particularités de la température horaire dans la ville de Santa Cruz de Tenerife (îles Canaries).....	43
<b>Boko M.</b> : La pollution urbaine à Cotonou (République du Bénin, Afrique Occidentale).....	55
<b>Monteiro A.</b> : Les calendriers de probabilités appliqués à la variabilité des températures minimales et maximales de Porto.....	63
<b>Baeriswyl P.-A.</b> : Ventilation et immissions de O <sub>3</sub> et NO <sub>2</sub> par situation anticyclonique dans une grande vallée alpine : la vallée du Rhône en Valais (Suisse).....	71
<b>Paszynski J., Rojan P., Kuczumarski M.</b> : Structure du rayonnement solaire global en Pologne.....	79
<b>Hufty A.</b> : Les régimes des sérénités solaires en Chine.....	85
<b>Beltrando G.</b> : Localisation des nuages hauts à partir des données ISCCP C1.....	91
<b>de Buman A.-M., Bühler K.</b> : Application de la régression linéaire pour compléter des séries de mesures.....	97
<b>Sandoz H.</b> : Influence du taux d'humidité du sol sur la répartition de la végétation subalpine des Alpes.....	103
<b>Nola P., Bracco F.</b> : Stabilité temporelle des relations cerne-climat.....	113
<b>Pita F., Ojeda J.</b> : Les variations spatiales de l'amplitude thermique diurne au parc national de Doñana (Espagne).....	121
CLIMATOLOGIE DES ZONES EXTRATROPICALES.....	127
<b>Carrega P.</b> : L'advection froide surplombante : une cause d'orages sur le sud-est de la France.....	129
<b>Kutiél H.</b> : Variations temporaires et spatiales récentes de la pression atmosphérique au-dessus de l'Europe et du Moyen Orient, et leur influence sur le régime des pluies en Israël.....	139
<b>Leroux M.</b> : Les pluies diluviennes de janvier 1990 en Tunisie : rencontre fortuite d'anticyclones mobiles polaires de trajectoires différentes.....	145
<b>Maheras P.</b> : Analyse en composantes principales des précipitations en Albanie.....	155
<b>Mangia C., De Santis L.V., Ruggiero L., Zuanni F., Zito G.</b> : Périodes de retour des précipitations intenses dans une région semi-aride (Pouille-Italie).....	163
<b>Arseni-Papadimitriou A., Kozuchowski K., Maheras P.</b> : Variabilité et changement des températures dans les Balkans durant la période 1863-1988.....	171

<b>Comby J.</b> : La vague de froid de la deuxième semaine de février 1991 sur l'Europe.....	179
<b>Daget P., Djellouli Y.</b> : Le climat méditerranéen change-t-il ? La sécheresse à Alger au cours des cents dernières années.....	187

**CLIMATOLOGIE DES ZONES INTERTROPICALES.....197**

<b>Kalombo K., NTombi M.K., Erpicum M.</b> : Caractérisation des anomalies pluviométriques de la saison des pluies 1989-1990 dans le sud-est du Zaïre.....	199
<b>Morel R.</b> : Evolution de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest depuis 1950.....	207
<b>Moron V.</b> : Approche non-paramétrique de la pluviométrie au Sahel Central.....	217
<b>NTombi M.K.</b> : Importance de la confluence inter-océanique "C.I.O" pour la prévision du début de la saison des pluies en Afrique tropicale australe occidentale.....	225
<b>Sagna P.</b> : Dynamique des précipitations soudano-sahéliennes. Application à la pluviométrie du Sénégal de 1983 à 1990.....	229
<b>Lamarre D.</b> : Ouragans d'origine atlantique sur l'Amérique Centrale. Echelles d'espace et "risque climatique".....	237
<b>Tsalefac M.</b> : Convection et formations végétales au Cameroun.....	243
<b>Bokonon-Ganta E.</b> : Les sources de l'ethnoclimatologie. Application à la région du Golfe du Bénin.....	249
<b>Traore K., Konare K., Diarra B.</b> : Application de la climatologie à l'élaboration des calendriers agricoles au Sahel.....	259

**TOPOCLIMATOLOGIE.....265**

<b>Erpicum M., Mabile G., Vlassis P.</b> : Variabilité spatiale et temporelle de l'enneigement du sol en Belgique.....	267
<b>Carollo A., Ambrosetti W., Libera V.</b> : Effets des lacs sur les températures maximales et minimales de l'air.....	275
<b>Grégoire F.</b> : Problèmes d'échelle de mesure : application à la mesure de la température de l'air.....	283
<b>Litynski J.</b> : Gradients verticaux climatologiques de la température et des précipitations au Québec.....	291
<b>Bensaad A.</b> : Variabilité du surplus d'eau (éléments pour un budget prévisionnel des eaux).....	299
<b>Jeanneret F.</b> : Une coupe phénologique à travers le Jura suisse.....	307

<b>Liste des participants.....</b>	<b>315</b>
<b>Conseil d'administration.....</b>	<b>319</b>
<b>Comité de lecture.....</b>	<b>321</b>
<b>Bulletin d'adhésion à l'AIC.....</b>	<b>323</b>

## DYNAMIQUE DES PRÉCIPITATIONS SOUDANO-SAHÉLIENNES. APPLICATION À LA PLUVIOMÉTRIE DU SÉNÉGAL DE 1983 À 1990

PASCAL SAGNA

DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE  
UNIVERSITÉ C.A. DIOP DAKAR  
UTIS/CRODT/ORSTOM SÉNÉGAL

### Résumé

La zone soudano-sahélienne se caractérise par une irrégularité spatiale et temporelle des précipitations qui dépend, entre autres conditions, de la migration de l'équateur météorologique, de l'instabilité locale, de la lutte d'influence entre les différents flux de la zone tropicale, du nombre et de la fréquence des perturbations et enfin de l'importance du potentiel précipitable mis à leur disposition. L'analyse des saisons pluvieuses de 1983 à 1990 au Sénégal permet de déterminer l'importance des différents apports pluviométriques et de suivre leur évolution interannuelle. Cette approche contribue à mieux comprendre la dynamique des précipitations et leur variabilité temporelle.

### Abstract

The Sahel-Soudan area is characterized by non-regular space and time rainfall patterns which depend, among others, on the Meteorological Equator migration, local instabilities, influence fight between the different fluxes of the tropical area, the number and frequencies of disturbances, and at last the importance of the available precipitable potential. The analysis of the rainy seasons from 1983 to 1990 over Senegal enables to determine the importance of the different rainfall sources and to survey their interannual evolution. This approach contributes to better understand the rainfall dynamics and their temporal variability.

### Mots clés :

Précipitations, zone soudano-sahélienne, perturbations tropicales, lignes de grains, zone intertropicale de convergence.

### Keywords :

Rainfall, Sahel-Soudan area, tropical disturbances, squall lines, intertropical convergence zone.

La zone soudano-sahélienne se caractérise par une irrégularité spatiale et temporelle des précipitations qui est étroitement liée à la dynamique de chaque saison pluvieuse. Elle s'insère en Afrique occidentale entre la zone désertique du Sahara et celle de la forêt qu'on retrouve sur sa marge méridionale. "On passe graduellement du type Sahélien au type Soudanien par un allongement de la saison des pluies, une augmentation de la pluviométrie annuelle, une diminution de l'amplitude annuelle des courbes de pression, de température et de tension de vapeur" (J.M. Giraud et al., 1976). L'unicité de cet ensemble réside dans les mécanismes de la circulation qui, lors de la migration vers le nord de l'équateur météorologique apportent le potentiel précipitable indispensable à l'installation de la saison pluvieuse et lors du retrait vers le sud s'accompagne de l'installation du flux d'alizé, et partant de la saison sèche.

En 1983 Dakar, Linguère et Matam ont enregistré respectivement 154.9, 189.4 et 311.5 mm alors qu'en 1989 elles ont recueilli 530.4, 587.6 et 357 mm. La station de Matam, qui a reçu pratiquement le double de Dakar en 1983 se retrouve avec 67% de celle-ci en 1989. Cet aperçu de la grande variabilité des totaux pluviométriques ne peut être appréhendé qu'en étudiant la dynamique interannuelle des précipitations. Celle-ci dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels nous pouvons inclure l'importance de la migration de l'équateur météorologique, celle du potentiel précipitable essentiellement advecté dans les basses couches par la mousson et mis à la disposition des perturbations, la lutte d'influence entre les flux (alizé, mousson, noyaux de

vents d'est d'altitude) de la zone tropicale, le nombre, la fréquence et l'importance de l'apport pluviométrique des différentes perturbations et enfin l'instabilité thermodynamique locale.

Pour étudier cette dynamique des précipitations, nous avons exploité les images Météosat de l'Agence Spatiale Européenne, celles des archives de l'Unité de Traitement de l'Imagerie Satellitaire (UTIS) du Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT), et les cartes synoptiques tri-horaires de l'ASECNA, afin de suivre la naissance, l'évolution et l'apport pluviométrique des différentes perturbations. Ce dernier aspect est en étroite relation avec la structure de l'équateur météorologique, car les précipitations s'organisent en fonction de sa migration saisonnière et du dynamisme des flux qui l'accompagnent.

## 1. L'équateur météorologique et les zones pluviométriques en Afrique occidentale

En 1965, la Direction de l'Exploitation de la Division Navigation Infrastructure (Air France) publiait un document dans lequel "la coupe type du FIT" permettait de distinguer du nord au sud "quatre zones climatiques". Ces zones sont parallèles à sa trace au sol et se déplacent avec lui. Elles sont souvent appelées A,B,C et D. Cette délimitation devait servir à aider les aviateurs à faire face à différents types de temps.

Cette délimitation, qui n'est initialement qu'une distinction de zones pluvieuses, a été reprise et améliorée par M. Leroux (1970 et 1983), c'est-à-dire intégrée dans la structure verticale de la troposphère. D'autres météorologues et climatologues s'en sont inspiré dans leurs travaux (G. Dhonneur, 1974; J. Leborgne, 1988; P. Sagna, 1988; S. Janicot, 1990 ...).

Avec la mise en évidence de la double structure de l'équateur météorologique au niveau de l'Afrique occidentale par M. Leroux, formé d'une structure verticale plus connue sous le nom de Zone Intertropicale de Convergence (ZIC) et d'une structure inclinée ou FIT, et de la connaissance du processus de formation et d'évolution des lignes de grains, nous avons retenu trois zones pluvieuses qui correspondent respectivement à la structure FIT, puis à la structure ZIC et enfin au sud à l'alizé austral (cf. fig. 1). Ainsi l'équateur météorologique apparaît le facteur principal d'explication de la répartition de la pluviométrie en Afrique occidentale.

Au nord de la trace au sol de l'équateur météorologique se trouve une zone intéressée par des pluies liées aux invasions d'air polaire et aux talwegs d'altitude associés. Ces perturbations sont surtout fréquentes pendant la période hivernale parce que les invasions sont plus violentes, ce qui leur permet d'atteindre des latitudes plus méridionales. "*Elles sont par contre très rares durant la saison des pluies*" (E. Altes, 1981) ce qui fait que cette zone n'est pratiquement pas arrosée en période estivale.

Au sud de la trace au sol de l'équateur météorologique, apparaît la première zone pluvieuse qui correspond à la structure FIT et qui se caractérise par une épaisseur de mousson variable mais suffisante pour permettre le développement des formations nuageuses liées aux lignes de grains. La mousson est surmontée à ce niveau par un flux d'est dont le noyau de basse couche (Jet d'Est Africain Nord) peut provoquer par suite de son incursion dans le flux de mousson la formation d'une ligne de grains, dont "*l'activité pluvio-orageuse se manifeste généralement à plus de 500 kilomètres au sud de la trace au sol de l'équateur météorologique*" (P. Sagna, 1988). Ce type de perturbation peut résulter aussi d'une incursion en surface du flux d'alizé dans la mousson. Dans ce cas, l'activité de la perturbation débute à proximité de la trace au sol de l'équateur météorologique (cf. fig. 2 et 3). Cette zone voit naître entre 12 et 22.00 TU 77% des lignes de grains (P. Sagna, 1988). Celles qui ont une courte durée de vie ou celles dont le processus de formation n'a pas abouti apportent des précipitations orageuses sur un espace restreint.

Les précipitations deviennent plus abondantes au fur et à mesure que l'on se rapproche de la structure verticale de l'équateur météorologique et que le potentiel précipitable mis à la disposition des perturbations devient plus important. Les régions intéressées par cette structure subissent de "*graves aléas pluviométriques liés à la variabilité de la fréquence de passage des perturbations, et à l'aire d'extension du flux d'ouest de basses couches*" (M. Leroux, 1983).

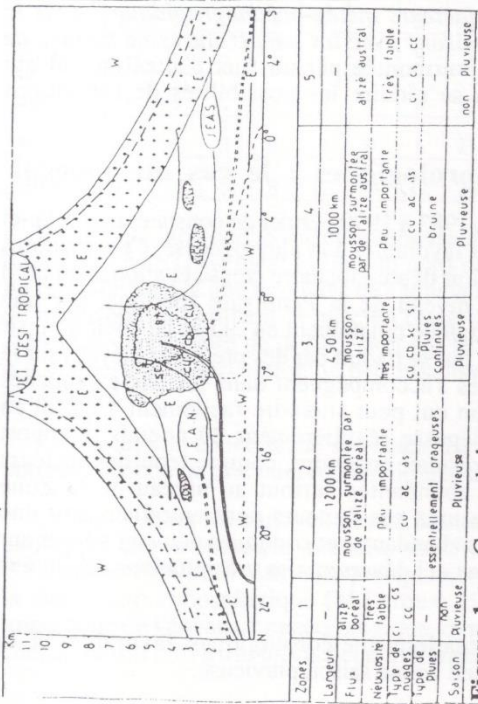


Figure 1 : Coupe de la troposphère ouest-africaine en août le long du méridien 0°.

LEGENDE COMMUNE AUX FIGURES

- 1012 isobare
- 1015 isobare
- H ++ Hautes Pressions
- Equateur Météorologique
- ===== Inversion d'alizé
- Flux
- Flux de mousson
- Nuages
- H.P.T. : Hautes Pressions Tropicales
- Axe des Hautes Pressions Tr
- L Basses Pressions
- == Discontinuité d'alizés
- J.E.A.N. Jet d'Est Africain Nord
- J.E.A.S. Jet d'Est Africain Sud
- W E Composante zonale du vent
- ⊙ Noyau de vents d'Est

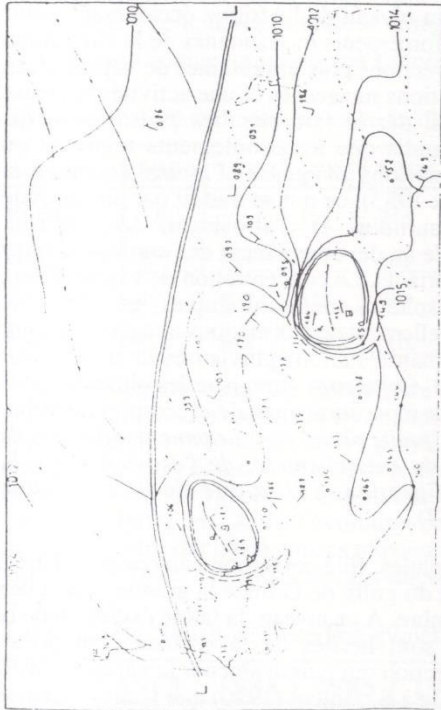


Figure 2 : 06 juillet 1987, niveau, surface, 1800 TU.

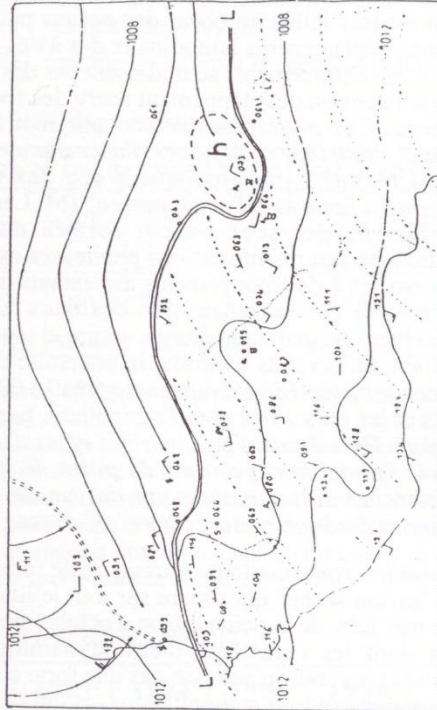


Figure 3 : 01 juillet 1987, niveau, surface, 0600 TU.

La deuxième zone pluvieuse qui correspond à la Zone Intertropicale de Convergence s'étend sur environ 450 km et enregistre des précipitations abondantes et continues. Cette zone dont la migration est très faible au coeur des océans peut, au niveau de l'Afrique occidentale, subir d'importants déplacements latitudinaux dus à des renforcements momentanés de la circulation tropicale. Ces renforcements se traduisent par des advections plus importantes de vapeur d'eau qui conditionnent un développement accru des formations nuageuses et une activité pluvieuse plus intense. Ces manifestations s'expliquent aussi par le fait que *"les pulsations plus vigoureuses contribuent à forcer l'ascendance"* tandis que les écoulements réguliers ou faiblement perturbés ne provoquent que des formations nuageuses *"moins étendues et essentiellement limitées à l'étage moyen"* (M. Leroux 1983), ce qui se traduit par une activité réduite. Les nuages sont surtout formés d'altocumulus et d'altostratus (Ac et As). L'intensification des manifestations pluvieuses est liée au développement des cumulo-nimbus qui sont associés à des mouvements ascendants importants. La concentration de vapeur d'eau, mise en oeuvre par le dynamisme des deux hémisphères météorologiques, en raison de l'évolution thermodynamique diurne, assure le renouvellement des formations nuageuses et leur renforcement en certains endroits, la poursuite des manifestations pluvieuses et surtout leur recrudescence observée généralement après 15.00 TU. Cette zone enregistre les pluies les plus régulières et les plus utiles pour l'agriculture, par leur répartition spatiale et temporelle et par leur quantité. Ceci d'autant plus que *"les effets d'une "petite pluie" sont nettement différents de ceux d'une "pluie d'orage" tant du point de vue du ruissellement, de l'érosion et de la dégradation des sols que du point de vue de l'infiltration, c'est-à-dire de la circulation souterraine et des besoins des plantes"* (C. Barat, 1957).

La troisième zone pluvieuse enregistre de faibles pluies. Elle correspond au coeur de l'été à la petite "saison sèche" qui sépare sur tout le littoral du golfe de Guinée la grande saison des pluies de mai-juin, de la petite saison d'octobre-novembre. A ce niveau, la faible évolution de la mousson dont les caractères thermodynamiques sont hérités de la surface d'un océan relativement plus frais, n'autorise pas une forte convection qui puisse amener la vapeur d'eau à la condensation puis aux précipitations, ce qui fait dire à S. Janicot (1990) que la pluviométrie de cette zone est *"fortement influencée par des facteurs météo-océanographiques, dans la mesure où les précipitations y sont en étroites liaisons avec les températures de surface de l'océan et l'humidité spécifique"*. La mousson, surmontée par un flux d'alizé austral qui provoque un fort cisaillement en altitude, voit se réduire les possibilités de formations nuageuses qui lui sont liées.

## 2. Précipitations et situations météorologiques : le cas du Sénégal

L'analyse de la dynamique des précipitations de 1983 à 1990 permet de constater que celle-ci est étroitement liée aux situations météorologiques favorables à la pluviogenèse. Ces situations se caractérisent en surface par l'existence d'un couloir dépressionnaire creusé et allongé au nord de l'Afrique et 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. Elles s'accompagnent dans les basses couches d'une rentrée très importante du flux de mousson qui peut atteindre facilement 1500 m au niveau de la structure FIT et dont la vitesse dépasse régulièrement 20 noeuds. L'apport considérable d'un potentiel précipitable qui en résulte, engendre, compte tenu des facteurs thermodynamiques, des formations nuageuses abondantes surtout au niveau de la Zone Intertropicale de Convergence. L'interaction de tous ces facteurs peut entraîner, soit une remontée de la ZIC accompagnée de précipitations abondantes et continues pouvant s'étaler sur plusieurs jours, soit une succession de perturbations qui déversent des précipitations non moins importantes (fig. 4a,4b).

Ainsi la régularité et la persistance de situations météorologiques favorables à la pluviogenèse sont déterminantes pour engendrer une bonne saison pluvieuse.

L'évolution de la pluviométrie entre 1983 et 1990, très différente d'une station à une autre, peut se diviser approximativement, en minimisant les particularités locales, en trois phases :

- la première s'arrête en 1985 et peut être considérée comme une période sèche;
- la seconde, liée à une amélioration significative des précipitations, avec cependant des poches déficitaires çà et là, se termine en 1989, est plutôt pluvieuse;
- et la troisième, qui concerne l'année 1990, marque un retour à la sécheresse (tab. 1).

**Tableau 1 : Pluviométrie en mm de 1983 à 1990 dans 4 stations**

Années	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1951-80	1971-80
<b>Podor</b>	76	66	138	246	201	310	340	132	279.8	192.1
<b>Linguère</b>	189	380	382	363	559	452	588	320	453.9	344.7
<b>Tamba</b>	489	590	554	767	697	950	756	702	863.6	742.9
<b>Kolda</b>	726	865	794	1110	1072	1018	1102	787	1180	958.4

Cette évolution ne reflète pas celle du nombre des lignes de grains. En effet, les années 1983 et 1988 (fig. 5) sont celles qui en ont enregistré le moins. L'année 1983 a été particulièrement sèche et l'année 1988 relativement pluvieuse. Dans le premier cas, les remontées de la ZIC ont été limitées (tab. 2) tandis que dans le deuxième cas, de fréquentes migrations très au nord de cette structure par rapport à sa position moyenne (10° nord en août) ont favorisé la chute de fortes précipitations. Ainsi l'évolution de la pluviométrie telle qu'elle apparaît sur la figure 6 permet de constater qu'en années pluvieuses les apports pluviométriques non liés aux lignes de grains et associés à la ZIC sont plus importants qu'en années sèches.

**Tableau 2 : Situations météorologiques (S) et leur durée (J=Jour)**

	1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		total	
	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J
<b>juillet</b>	4	5	2	4	4	7	3	4	3	4	6	6	4	11	1	6	27	47
<b>août</b>	4	5	-	-	5	8	4	11	4	11	7	11	5	24	3	8	28	78
<b>septe.</b>	4	5	3	4	3	9	5	11	5	11	4	10	7	11	2	7	33	67
<b>total</b>	12	15	5	8	12	24	12	26	12	26	17	27	16	46	6	21	88	192

En somme, une bonne saison pluvieuse dans la zone soudano-sahélienne se caractérise par des pressions relativement faibles au nord de la trace au sol de l'équateur météorologique, par un renforcement et une remontée de l'anticyclone de Sainte Hélène, par des rentrées importantes de mousson qui facilitent la mise en place d'un potentiel précipitable considérable et par une remontée vers le nord de la ZIC; bref par l'existence de situations météorologiques favorables qui permettent la succession de perturbations déversant parfois des précipitations diluviennes généralisées.

En retour, une année sèche se caractérise par des conditions contraires, c'est-à-dire par une non intervention ou une intervention limitée de la structure ZIC sur le territoire sénégalais.

Ce sont surtout les anticyclones de Sainte Hélène et des Açores qui sont mis en avant pour expliquer la pluviométrie soudano-sahélienne (E.B.Krauss, 1977; D.Lambergeon, 1977; B.Fontaine, 1990). En réalité les précipitations soudano-sahéliennes résultent du dynamisme de la circulation atmosphérique (M.Leroux, 1988), responsable de la migration plus ou moins importante de l'équateur météorologique, dynamisme variable d'une année à l'autre qui donne à chaque saison pluvieuse un cachet pluviométrique propre

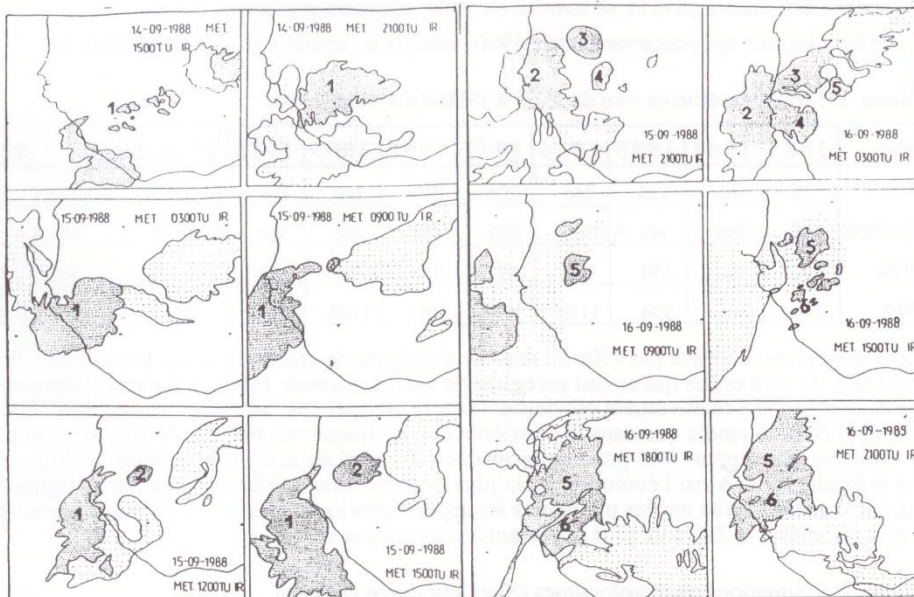


Figure 4 a : Déplacement des formations nuageuses.

Figure 4 b : Déplacement des formations nuageuses.

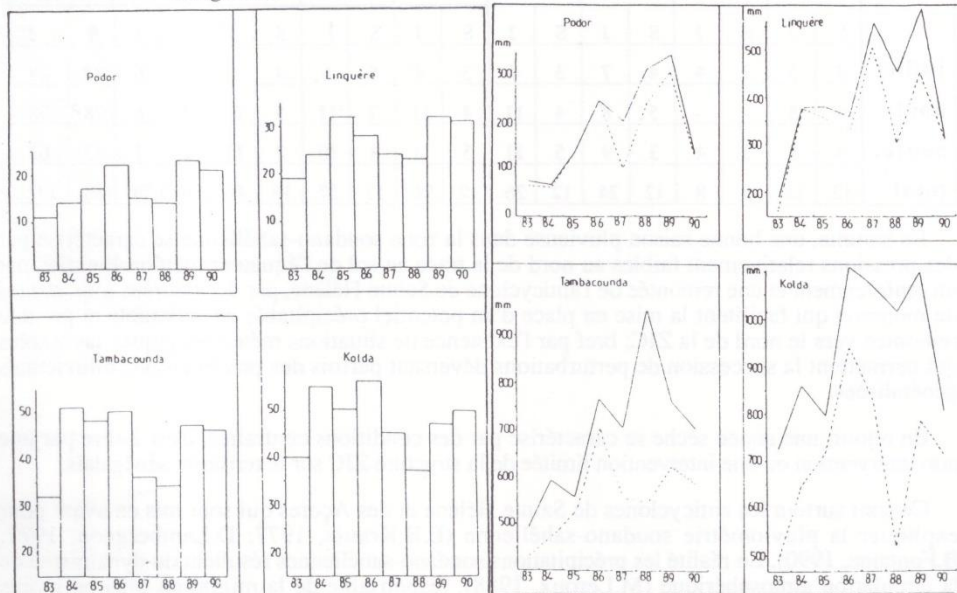


Figure 5 : Nombre de lignes de grains de 1983 à 1990.

Figure 6 : --- Evolution de la pluviométrie de 1983 à 1990  
— Evolution de l'apport pluviométrique des lignes de grains.

## Conclusion

Les explications de la variabilité de la pluviométrie dans la zone soudano-sahélienne doivent être recherchées dans les anomalies de la circulation générale de l'atmosphère dont les conséquences se reflètent sur la position latitudinale et zonale des anticyclones, sur le renforcement ou l'affaiblissement de la circulation de mousson, sur la migration de l'équateur météorologique aussi bien en surface que dans les basses et moyennes couches, sur la puissance des noyaux de vents d'est d'altitude, sur l'importance de la convection, sur le nombre et la fréquence des perturbations et sur la régularité dans l'apparition de situations météorologiques favorables à la pluviogenèse. Tous ces éléments associés à des signaux océanographiques (ENSO/antiENSO) contribuent à mieux cerner la succession d'années sèches et d'années pluvieuses. Ainsi, l'explication de la dynamique des précipitations paraît complexe dans la mesure où elle met en jeu l'ensemble du système "Terre-Océan-Atmosphère". C'est donc en tenant compte de l'interaction dynamique entre ces différents éléments que les manifestations locales trouveront dans un espace plus vaste des explications plus cohérentes.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALTES E. : *Evolution des invasions polaires de l'Afrique septentrionale à l'Afrique occidentale côtière*. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Dijon, 1981.
- BARAT C. : *Pluviométrie et aquidimétrie dans la zone intertropicale*. Mémoires de l'IFAN, n° 49, Dakar, 1957.
- AIR FRANCE : *Climatologie Afrique*. Doc. Nav. Infra. n° 3, 1965.
- DHONNEUR G. : *Nouvelle approche des réalités météorologiques de l'Afrique occidentale et centrale*. Thèse de doctorat d'université, Dakar, ASECNA, 1974.
- FONTAINE B. : *Etude comparée des moussons indienne et ouest-africaine: caractéristiques, variabilité et téléconnexions*. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne, Dijon, 1990.
- GIRAUD J.M. et GREGOIRE P. : Le climat soudano-sahélien. Année sèche-année pluvieuse. *in la Météorologie*, VI Série, n° 6, 1976.
- JANICOT S. : *Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulation quasi stationnaire durant une phase de transition climatique*. Thèse de doctorat. Université Paris 6, 1990.
- KRAUSS E.B. : Subtropical droughts and equatorial energy transports. *M.W.R.* 105, 1977, pp. 1009-1018.
- LAMBERGEON D. : *Relations entre les pluies et les pressions en Afrique occidentale*. PDEM n° 57, ASECNA, Dakar, 1977.
- LEBORGNE J. : *La pluviométrie au Sénégal et en Gambie*, 1988, 93 p.
- LEROUX M. : *La dynamique des précipitations en Afrique occidentale*. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Dakar, PDEM n°22, ASECNA Dakar, 1970.
- LEROUX M. : *Le climat de l'Afrique tropicale*. Ed.H. Champion/Slatkine, Paris/Genève, t.1, 1983, 636 p T.2 250 cartes.
- LEROUX M. : La variabilité des précipitations en Afrique occidentale : les composantes aérologiques du problème. *V.C.S.*, n° 22, ORSTOM/CMS, Lannion, 1988, pp. 26-45.
- SAGNA P. : *Etude des lignes de grains en Afrique de l'Ouest*. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle. Université C.A.DIOP, Dakar, 1988.