

CONVECTION INTERTROPICALE ET PLUVIOMETRIE — ESSAI DE MISE EN RELATION POUR L'AFRIQUE DE L'OUEST DU 11 MAI AU 20 AOUT 1985

B. Guillot,* B. Bellec** and J. P. Lahuec*

**Antenne ORSTOM de Lannion, Centre de Météorologie Spatiale, BP 147
22302, Lannion Cédex, France*

***Centre de Météorologie Spatiale, BP 147 22302 Lannion Cédex, France*

ABSTRACT

RELATIONSHIP BETWEEN DEEP CONVECTION AND RAINFALL IN WEST AFRICA
MAY 11 - AUGUST 20 1981

From May 11 to August 20, an attempt at monitoring convective clouds over West Africa was carried out in Lannion by ORSTOM and the "Centre de Météorologie Spatiale". Since most of the rain in sudanese countries is the result of convective activity, it was assumed that the measure of occurrences of cold top clouds with infrared Meteosat II data could give us a good relation with synoptic stations rainfall data. The comparison of visible and infrared data gave us a threshold of -40°C . Five scenes were computed daily (9h, 12h, 15h, 18h, 24h) during 102 days. This attempt led us to discover homogeneous areas according to zonal climatic features and topography. Further research including the use of radar data, the setting up of a better network for rainfall measurements, special experiments to improve the threshold efficiency are expected to be carried out next year. Several French research laboratories are involved in this program. Good results are also expected in the field of crop monitoring.

INTRODUCTION

Dans le cadre du programme Veille Climatique Satellitaire, l'antenne ORSTOM auprès du Centre de Météorologie Spatiale de Lannion tente de mettre sur pied un projet de suivi des amas convectifs à partir des images infrarouge thermique fournies par METEOSAT II. Cette recherche, dont l'ambition finale est d'aboutir à une meilleure connaissance de la répartition des pluies en Afrique de l'ouest, répond à plusieurs objectifs. Le premier est d'ordre scientifique : cerner au plus près la relation entre les données fournies par le satellite d'une part, et, d'autre part, la pluviométrie au sol afin d'établir des bilans à une échelle de temps donnée (la décade, le mois, la saison). Les seconds découlent du premier et sont essentiellement d'ordre agrométéorologique : il s'agit de pouvoir donner une appréciation synoptique sur le déroulement de la saison des cultures dans la zone soudano-sahélienne à un instant donné. L'enjeu est important puisque la réussite de ce projet permettrait d'envisager une politique d'intervention à différents stades du calendrier agricole et, en fin de saison, de contribuer efficacement à une évaluation différenciée des récoltes à l'échelle de la région.

Seul, le premier aspect de la question, c'est-à-dire l'estimation des pluies à partir d'un suivi routinier de la convection intertropicale pendant une période donnée (102 jours) est envisagé dans cet exposé.

LES PRINCIPES DE L'OPERATION

1) Rappel

L'estimation des pluies d'après l'imagerie satellitaire et la discrimination des types de nuages ont déjà fait l'objet de nombreuses études qui ont donné des résultats assez satisfaisants. Les plus connues sont celles de GRIFFITH et al (1981) et de SCOFIELD and OLIVER (1977). La première prend en compte un seuil de température dans l'infrarouge, la surface de la partie active du nuage étalonnée par des données radar, la notion de cycle de vie du nuage (en cours de développement ou, au contraire, de dissipation). La seconde fait appel à des critères plus interactifs et à des critères morphologiques. L'estimation quantitative repose ici sur le stade de maturation du nuage, l'étendue des contours de températures (seuillage à -32°C). La quantité d'eau précipitable, calculée à partir de radio sondages entre la surface et 500 mb est également prise en compte. Cette méthode donne de bons résultats en ce qui concerne les pluies générées par des orages violents sur les plaines des Etats-Unis.

- une très large vallée entre 1° ouest et 4° est (carte des occurrences), entre 3° ouest et 3° est (carte des isohyètes). Cette vallée englobe le Togo et le Bénin. L'adéquation entre les cartes est cependant nettement moins bonne au sud de ces deux pays dans la mesure où les fortes variations de pluviométrie entre Lomé (420 mm), Tabligbo (382,5 mm), Atakpamé (914,5 mm) d'une part, Cotonou (549,4 mm), Bohicon (380,1 mm) et Savé (727 mm) d'autre part, n'apparaissent nullement sur la carte des occurrences;
- un décrochement vers le sud aux abords du lac Tchad;
- des séquences légèrement décalées mais très comparables de l'Adamaoua et de son versant sud avec des gradients très élevés (variation du simple au double en nombre d'occurrences et en pluviosité).

Sur la carte des isocontours d'occurrences, la séquence Adamaoua-Plateau de Jos apparaît non moins remarquable avec la dépression de la Bénoué très bien dessinée. De même, sur cette carte, le massif guinéen se trouve lui aussi remarquablement sculpté. Le dessin des isocontours laisse deviner la pénétration continentale des vents de mousson depuis l'océan (eaux chaudes en permanence au large des côtes guinéennes à cette époque de l'année) jusqu'au nord-ouest de Bamako. Malheureusement pour la Guinée et la Nigéria nous n'avons aucune donnée pluviométrique pour l'année 1985. Cette reconnaissance du bloc guinéen nous conduit néanmoins à un découpage de l'Afrique en zones d'influences dont les limites apparaissent très nettement sur la carte des isocontours.

2) Les ensembles régionaux

La carte des isocontours fait ressortir cinq ensembles régionaux nettement distincts :

- l'Afrique "sahélienne" au nord de 12°-13° nord;
- le bloc guinéen, déjà cité;
- la boucle du Niger au sud de 12° nord;
- l'Afrique "nigériane" dont les contours sont sensiblement quadrangulaires (de 5° est à 15° est, de l'équateur à 12° nord);
- le sud de la région étudiée (Sud Cameroun, Gabon, Congo) avec une organisation des contours grossièrement parallèle à la côte et où l'on reconnaît les influences australes (saison sèche durant la période étudiée).

Cette différenciation en ensembles sous-régionaux laisse deviner la plupart des éléments moteurs de la répartition des pluies dans cette partie de l'Afrique. On reconnaît en effet le rôle de la température de la mer, (les blocs guinéens et nigériens : eaux chaudes), l'effet côtier, l'effet du relief, l'effet latitude ou de mousson... A tous ces facteurs, il faut en ajouter un autre, moins évident, qui est celui des conditions de circulation générale propres à la saison des pluies 1985 (fluctuations du FIT et pénétration de masses d'air maritime, fréquence des ondes d'est, etc.).

La naissance et le développement de systèmes pluvio-orageux sont une manifestation du jeu de l'ensemble de ces facteurs tandis que la pluviométrie au sol en est la résultante finale mesurable. Le rapport pluviométrie/nombre d'occurrences de nuages à sommet froid doit donc posséder, par essence, pourrait-on dire, une signification autre que localisée ou aléatoire. C'est pourquoi nous avons cartographié ce quotient pour l'ensemble des stations du réseau synoptique possédant une série complète de données pluviométriques du 11 mai au 20 août. Il faut bien reconnaître cependant qu'une telle démarche présente de nombreux risques liés à son côté empirique, au nombre d'images traitées très limité par rapport au nombre d'images théoriquement possible, à l'instabilité qui caractérise un passage pluvio-orageux. Chacun sait, en effet, qu'un orage isolé ou une ligne de grain libère une quantité de pluies éminemment variable dans l'espace. Il peut donc sembler à première vue tout à fait paradoxal de vouloir combiner pluviométrie et nombre de passages pluvio-orageux en un point donné pour en retirer un algorithme de distribution des pluies utilisable dans une région donnée. Hormis quelques résultats aberrants, cette démarche effectuée à l'échelle de la saison permet pourtant de mettre en évidence des cohérences régionales assez étonnantes.

LE RAPPORT PLUVIOMETRIE/NOMBRE D'OCCURRENCES - L'expression de cohérences régionales (figure 3)

Nous avons donc construit une donnée tout à fait artificielle, qui est la quantité moyenne de pluies (en mm) par nuage à sommet froid répertorié entre le 11 mai et le 20 août 1985 dans les stations du réseau synoptique. Par commodité, ce quotient sera appelé PCB (Pluie moyenne par cumulonimbus, exprimée en mm) dans la suite de l'exposé.

Une première constatation s'impose : la plupart des PCB présentent une relation très proche

Ces deux méthodes ont pour but de quantifier (et de prédire) les pluies tombées au cours d'un épisode pluvieux déterminé (cyclone, orage). Notre préoccupation est cependant quelque peu différente dans la mesure où nous cherchons à établir une relation valable à l'échelle d'une saison des pluies.

2) La méthode utilisée

Le champ d'occurrences de nuages à sommet froid. Le principe de l'opération repose sur la distinction des nuages à sommet froid à partir de l'utilisation d'un seuil de température radiative fixé, après différents essais, à -40°C (1). Tout nuage, dont le sommet est à une température égale ou inférieure à ce seuil est réputé faire partie d'une cellule convective pluvio-gène. L'opération présente un intérêt dans la mesure où il est communément admis que 90 à 95% des pluies en Afrique soudano-sahélienne sont générées par des amas convectifs.

"Le traitement consiste donc à rechercher dans les images les comptes numériques correspondant à la température de chaque pixel et à comptabiliser les résultats sur une matrice en lignes et points, en attribuant la valeur 1 en cas de présence de nuages à sommet froid (température -40°C) et la valeur 0 dans le cas contraire. Des sommes peuvent être ainsi effectuées par décade, par mois et pour la saison, créant ainsi des champs qui équivalent à une statistique des fréquences d'apparition de nuages convectifs" (BELLEC et al, 1985). La figure 2 représente le champ d'occurrences de nuages à sommet froid pour la période du 11 mai au 20 août 1985. Les dates ne recouvrent qu'imparfaitement la durée de la saison des pluies en zone soudano-sahélienne (mai à septembre). Elles nous ont été imposées par des impératifs opérationnels tout comme l'a été le nombre d'images traitées tous les jours : 5 images IR à 9h, 12h, 15h, 18h et 24h TU. Compte tenu du développement rapide des systèmes pluvio-orageux, il est évident que le taux d'observation gagnerait à être amélioré. Néanmoins, la suite de cet article montre que le rythme adopté recouvre une réalité tangible quand on compare le champ d'occurrences obtenu sur l'ensemble de la période (102 jours, 447 images traitées sur un total possible de 510) au champ pluviométrique correspondant.

Le champ pluviométrique (figure 1). Le champ pluviométrique a été obtenu à partir de données décennales transmises par le Centre AGRHYMET de Niamey, par l'ASECNA de Dakar (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) via le CRODT (Centre Régional Océanographique de Dakar Thiaroye), et par les services nationaux de certains pays (Gambie, Togo, Mali). Ce réseau est toutefois incomplet, puisqu'il manque les données des pays anglophones en général et de quelques pays francophones (Guinée, Gabon, Congo). Ces manques sont très regrettables notamment au Ghana et au Nigéria. Dans ce dernier pays, en particulier, on aurait aimé comparer la pluviométrie aux forts gradients observés entre le Plateau de Jos et l'Adamaoua.

COMPARAISON DU CHAMP PLUVIOMETRIQUE ET DU CHAMP D'OCCURRENCES

1) Généralités

A partir du cumul des occurrences pendant les dix décades étudiées (V.C.S. n°9, p. 25), il a été dressé une carte des isocontours d'occurrences de nuages à sommet froid après lissage des données sur Péricolor 2000 (figure 2).

La comparaison des figures 1 et 2 montre une adéquation relativement bonne entre pluviométrie et occurrences de nuages froids en ce sens que les courbes de niveau dessinent, à quelques exceptions près, les mêmes thalwegs, les mêmes sommets, les mêmes zones à fort gradient. On remarque en effet sur les deux documents :

- une légère remontée des isocontours le long de la côte du Sénégal, suivie d'un thalweg assez prononcé, en ce qui concerne les occurrences tout au moins, de Diourbel à Podor;
- un fort gradient à la frontière sud du Sénégal de Ziguinchor à Kédougou;
- une vallée nettement marquée entre les méridiens $9^{\circ}5$ et $7^{\circ}5$ (Nara, Bamako, Odienné);
- un sommet au sud-est du Mali et au sud-ouest du Burkina-Faso;

(1) Essais effectués par BELLEC B. et NOYALET A., nephanalystes au C.M.S. de Lannion. Ce seuil permet de dessiner, dans l'infrarouge, les cellules actives d'un amas convectif dont les contours se rapprochent le plus de ceux du visible, considéré comme valeur étalon. On élimine ainsi une grande partie des cirrus qui entourent les amas convectifs de grande étendue. D'autre part, on s'autorise ainsi à traiter des images de nuit et à prendre en compte la convection nocturne qui se révèle être souvent plus importante que la convection diurne. Une méthode plus affinée, tenant compte de l'hétérogénéité spatiale des cirrus et par conséquent des gradients de température, a également été mise au point. Elle donne de bons résultats sur les grands amas convectifs; elle est nettement moins adaptée aux cumulonimbus isolés.

avec leurs voisins immédiats. On peut donc parler de cohérence régionale pour un grand nombre d'aires :

- 1) le nord et le centre du Sénégal : PCb compris entre 11 et 14 (exception faite de Kaolack);
- 2) le sud du Sénégal;
- 3) le sud de la Côte d'Ivoire, où l'on reconnaît 2 auroles, l'une au sud-ouest (PCb : 30 pour trois stations), l'autre, concentrique (PCb = 23 à 26 pour quatre stations). Trois stations sont cependant aberrantes (San Pedro : PCb = 67, Man : 50 et Adiaké pourtant très proche d'Abidjan : 12).

L'absence de séries pluviométriques complètes sur les stations du nord de la Côte d'Ivoire (Korhogo-Ferkessedougou-Bondoukou) nous interdit de compléter le schéma de régression (logique) de PCb du sud vers le nord-est.

- 4) le Mali et le Burkina-Faso, le Niger.

C'est dans cette région que le PCb offre le maximum de cohérence spatiale. Du sud vers le nord, trois bandes se distinguent :

- a) au sud, la bande soudanienne, de Bamako à Koutiala et de Fada N'Gourma à Natitingou (nord Bénin), soit une bande de 200 à 300 km et de 1.000 km de long, dans laquelle les PCb varient entre 14 mm et 16 mm. La corrélation pluies-occurrences de nuages convectifs est très forte ($R = 0,98$ (10 couples de valeur)) (cf. figure 4). A titre d'exemple, nous faisons ressortir le cas de Sikasso (11°21 nord, 5°41 ouest et de Fada N'Gourma (12°21 nord-0°22 est). Le PCb, identique (16 mm), repose sur des pluviométries et un nombre d'occurrences différents (Sikasso : 835,7 mm de pluie pour 54 occurrences, Fada N'Gourma : 534,9 mm de pluie pour 39 occurrences).
- b) au centre, la bande soudano-sahélienne, zone moins large (1°5 en moyenne du nord au sud) dans laquelle toutes les stations présentent un PCb compris entre 11 et 13. Cette bande s'étire de Bamako jusqu'à Zinder au Niger, soit sur près de 2.000 km. La corrélation pluviométrie-occurrences est ici de 0.96 pour 9 couples de valeur.
- c) au nord, on reconnaît l'ébauche d'une bande sahélienne comprenant les stations de Mopti, Ouahigouya, Tillabery qui s'inscrivent dans un intervalle compris entre 8 et 10 mm. Dori, situé à la même latitude est un cas aberrant dans ce contexte. Son PCb (16 mm) et sa pluviométrie nettement excédentaire en 1985 (cf. Bulletin n°9) en font une exception et le rattachent à l'aire du sud du Burkina Faso. Plus au nord, Gao, avec un PCb de 22 mm est un cas d'exception caractéristique des stations les plus septentrionales, dans lesquelles les épisodes pluvio-orageux sont rares et où une pluie diluvienne exceptionnelle localisée peut modifier considérablement les PCb. (C'est aussi le cas des stations de Mauritanie : Nouakchott, Zouérate...).
- 5) au Togo et au Bénin, on reconnaît également une amorce de cohérence spatiale fondée sur l'effet côtier, la latitude et le relief. Le manque de données de part et d'autre empêche toutefois de développer la relation.
- 6) A l'est, le commentaire souffre du même mal, mais on observe néanmoins une cohérence entre les PCb, du fond du Golfe de Guinée à N'Djamena et de Kribi à N'Délé. Outre la diminution des PCb le long de ces deux axes, on constate qu'ils s'organisent en sous-ensembles dont les plus caractéristiques sont :

- la partie centrale du Centrafrique (PCb = 11-13 mm);
- le sud-ouest du Centrafrique (PCb = 9 et 10 mm);
- le centre-sud du Cameroun et l'ouest du Centrafrique (PCb = 15 et 16 mm).

CONCLUSION

La conclusion s'impose d'elle-même. La démarche utilisée permet, dans le cas de cette expérience étalée sur presque toute la durée de l'hivernage 85, de repérer des aires homogènes. Chacune d'elles est définie par une quantité moyenne de pluie tombée à chaque passage de nuages convectifs. Dès lors, on imagine l'intérêt de cette démarche pour d'autres disciplines telles que l'agronomie ou l'hydrologie, fondamentalement intéressées par le calcul des quantités de pluies tombées à l'échelle du terroir, de la région ou du bassin versant. Avant d'être utilisée en routine, elle doit cependant souffrir une amélioration de l'algorithme de traitement, du nombre d'images traitées, du nombre et de la qualité de l'information pluvio-

métrique (réseau dense de pluviomètres et surtout de pluviographes), d'une confrontation aux données obtenues simultanément par radar. Ce projet fait l'objet d'une proposition de recherche regroupant l'antenne ORSTOM de Lannion, le Laboratoire de Météorologie Dynamique, le laboratoire de géologie dynamique de l'université Paris VI, la section d'Hydrologie de l'ORSTOM, le centre AGRHYMET de Niamey et d'autres collaborateurs potentiels. Ce projet devrait entrer dans sa phase opérationnelle en 1988.

BIBLIOGRAPHIE

- BELLE C., GUILLOT B., NOYALET A. - 1985 - Surveillance de la convection intertropicale. Extraction de nuages à sommet froid et étude de leur répartition géographique du 11 mai au 10 juin 1985. *Veille Climatologique Satellitaire*, 8, 17-22, ORSTOM-CMS Lannion.
- GRIFFITH C.G., AUGUSTINE J.A. and WOODLEY W.L. - 1981 - Satellite rain estimation in the U.S. High Plains. *J. Appl. Meteor.*, 20, 53-66.
- LAHUEC J.P., BELLE C., DAGORNE D., GUILLOT B., NOYALET A., SOULABAIL C. - 1986 - Convection intertropicale et pluviométrie. Essai de mise en relation pour l'Afrique de l'ouest du 11 mai au 20 août 1985. *Veille Climatologique Satellitaire*, 12, 13-19, ORSTOM-CMS Lannion.
- SCOFIELD R.A. and OLIVER V.J. - 1977 - A scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery. *NOAA Tech. Memo NESS 86*, Washington, D.C. 47p.

AUTRES REFERENCES

- ARKIN P.A. - 1979 - The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1382-1387.
- DESBOIS M. - 1985 - De l'utilisation de l'information spatiale dans les classifications de nuages par satellite. *Veille Climatologique Satellitaire*, 10, 27-31, ORSTOM-CMS Lannion.
- KILONSKY B.J. and RAMAGE C.S. - 1976 - A technique for estimating tropical open-ocean rainfall from satellite observations. *J. Appl. Meteor.* 15, 972-975.
- LACOMBA P., CREUTIN J.P., OBLED Ch. - 1986 - Relation spatiale entre champs de nébulosité et de précipitations : une approche statistique combinant des données de satellite et de pluviométrie. *Veille Climatologique Satellitaire*, 11, 38-48, ORSTOM-CMS Lannion.
- RICHARDS F. and ARKIN P. - 1981 - On the relationship between satellite observed cloud cover and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 1081-1093.
- ROSSIGNOL D. - 1985 - Estimation des précipitations par satellite. Résumé des méthodes utilisées. Doc. interne ORSTOM, 6 pages.

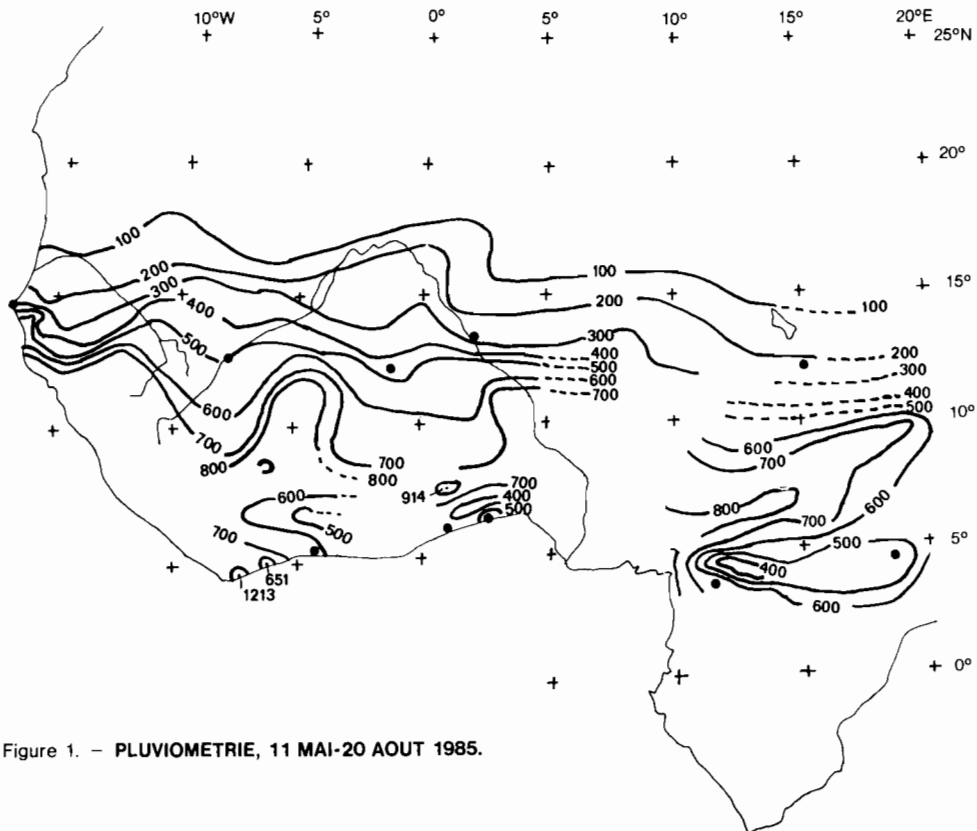


Figure 1. - PLUVIOMETRIE, 11 MAI-20 AOUT 1985.

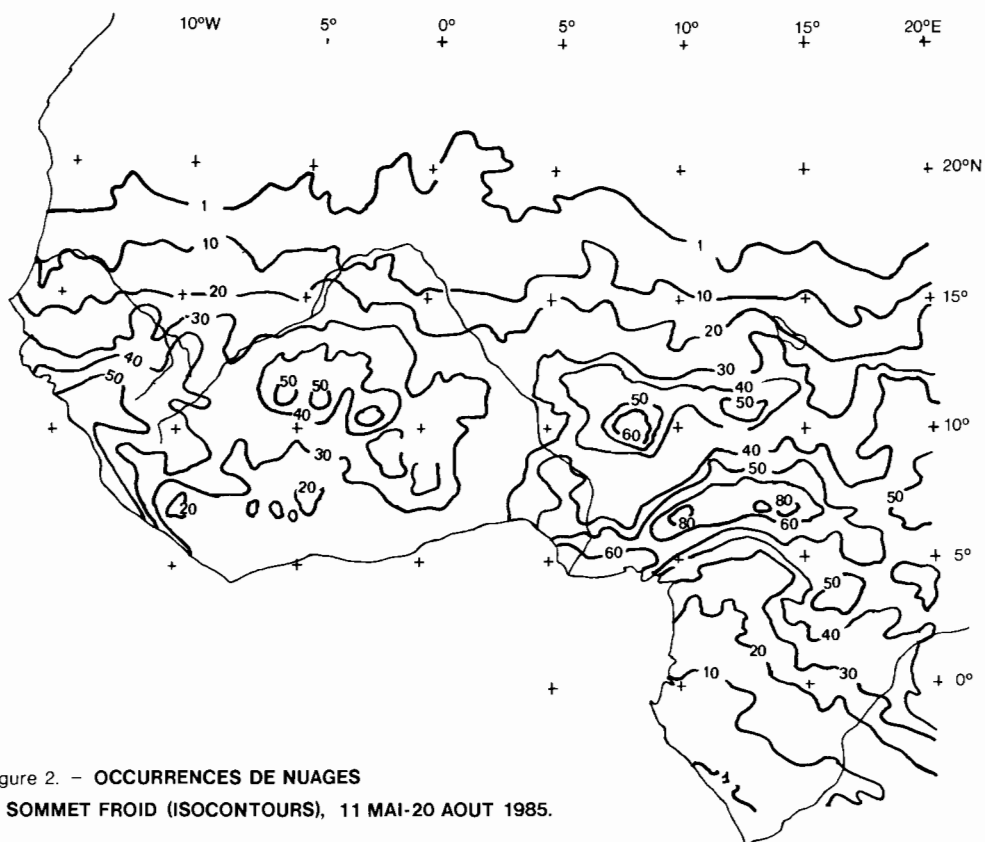


Figure 2. - OCCURRENCES DE NUAGES
A SOMMET FROID (ISOCONTOURS), 11 MAI-20 AOUT 1985.

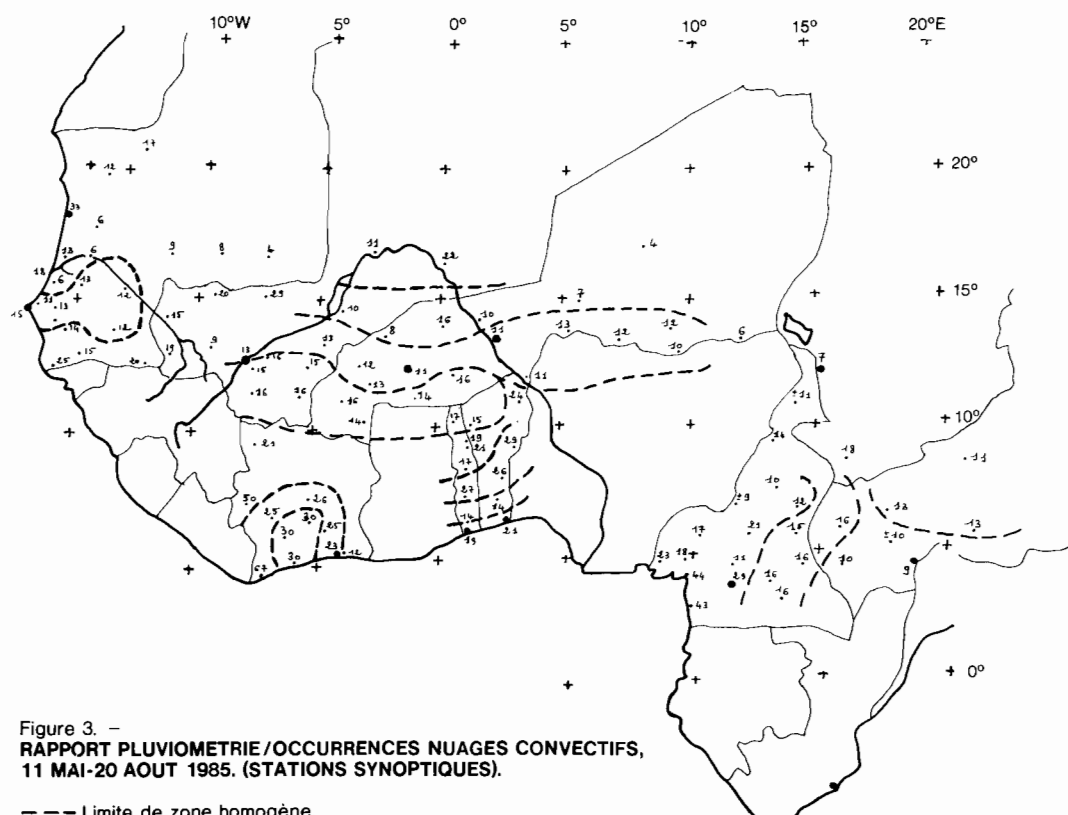


Figure 3. -
RAPPORT PLUVIOMETRIE/OCCURRENCES NUAGES CONVectifs,
11 MAI-20 AOUT 1985. (STATIONS SYNOPTIQUES).

--- Limite de zone homogène.

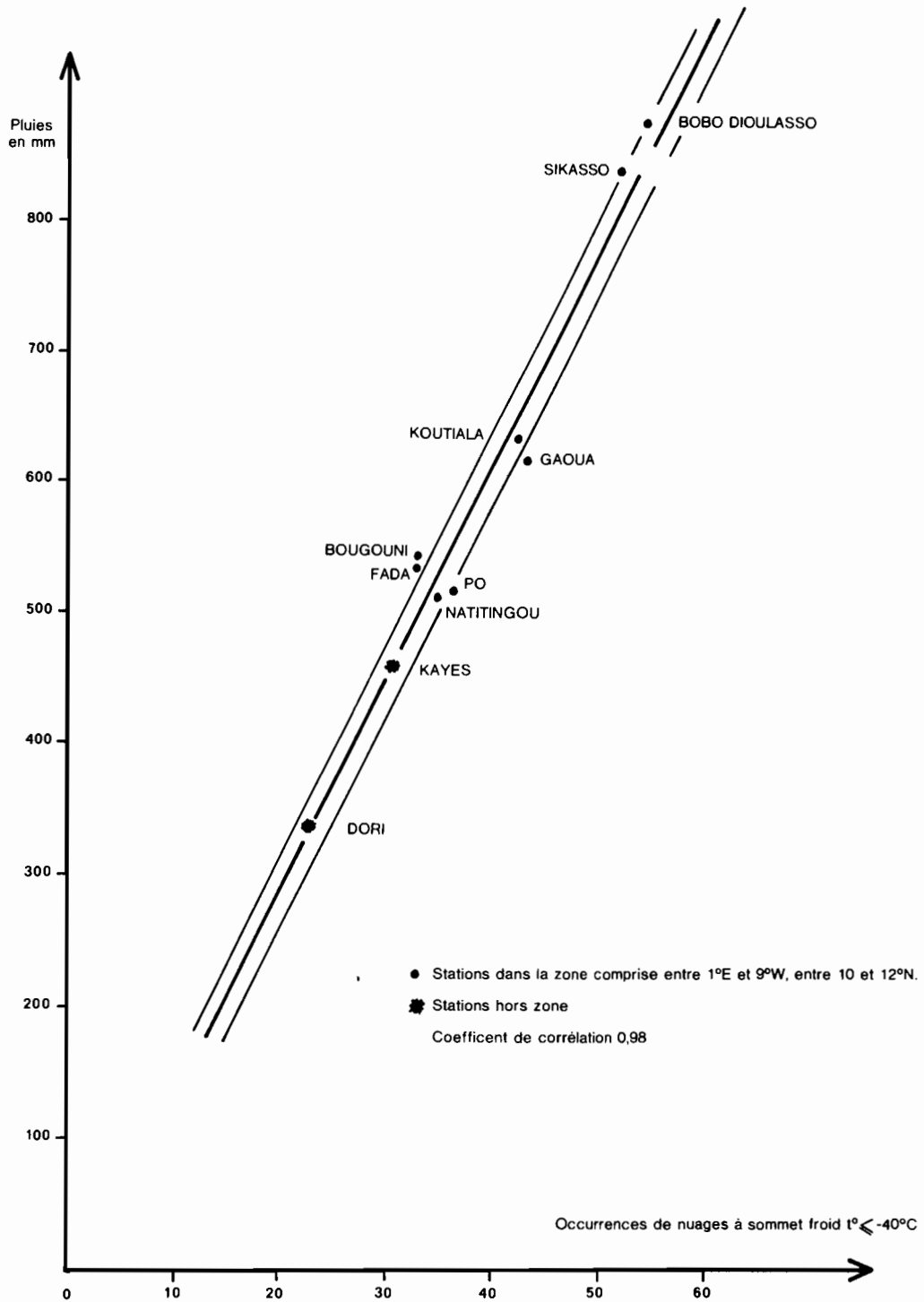


Figure 4. - RELATION PLUIE - OCCURRENCES DE NUAGES A SOMMET FROID, 11 MAI-20 AOUT 1985.

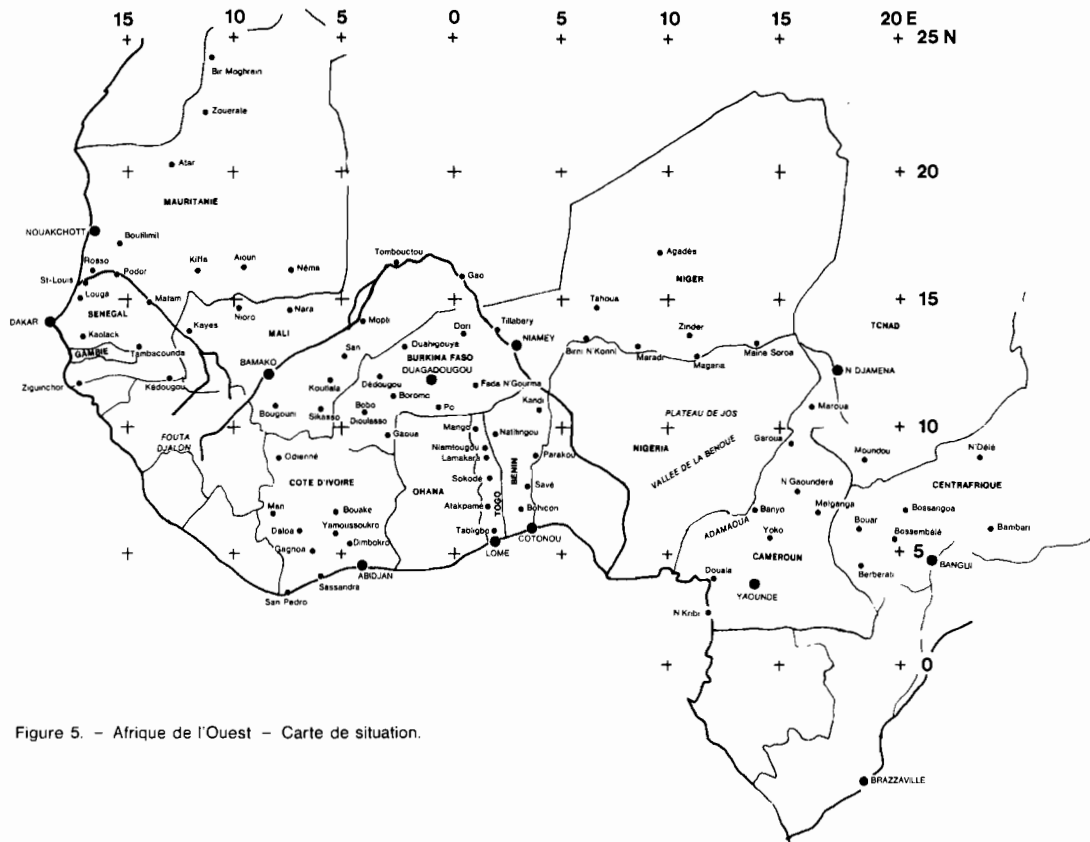


Figure 5. - Afrique de l'Ouest - Carte de situation.

Guillot Bernard, Bellec B., Lahuec Jean-Paul (1987)

Convection intertropicale et pluviométrie : essai de mise en relation pour l'Afrique de l'Ouest du 11 mai au 20 août 1985

Advanced in Space Research, 7 (3), 59-66

ISSN 0273-1177