

VEILLE CLIMATIQUE SATELLITAIRE

SOMMAIRE

CITEAU J. BERGES J.C. DEMARCO H.	Position de la Zone Intertropicale de Convergence le long de 28°W et température de surface de l'océan	page 2
LAHUEC J.P	Convergence intertropicale. L'intensité de la convection en juillet-août-septembre 1986	page 4
GUILLOT B.	Fronts et champs thermiques en Afrique de l'ouest en juillet-août 1986	page 14
LAHUEC J.P.	La convection profonde en Afrique intertropicale. Premier bilan de l'hivernage 1986	page 21
LAMARRE B. TABEAUD M.	Approche des inter-relations atmosphère /océan sur l'Atlantique tropical en 1978 et 1979 à partir des images Météosat et Goes-est	page 25
GUILLOT B. NOYALET A.	Commentaire de la photographie de couverture	page 40

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B*16535 ca **Ex :** usg-
B* 16538

LA CONVECTION PROFONDE EN AFRIQUE INTERTROPICALE PREMIER BILAN DE L'HIVERNAGE 1986

1^{er} mai-31 août

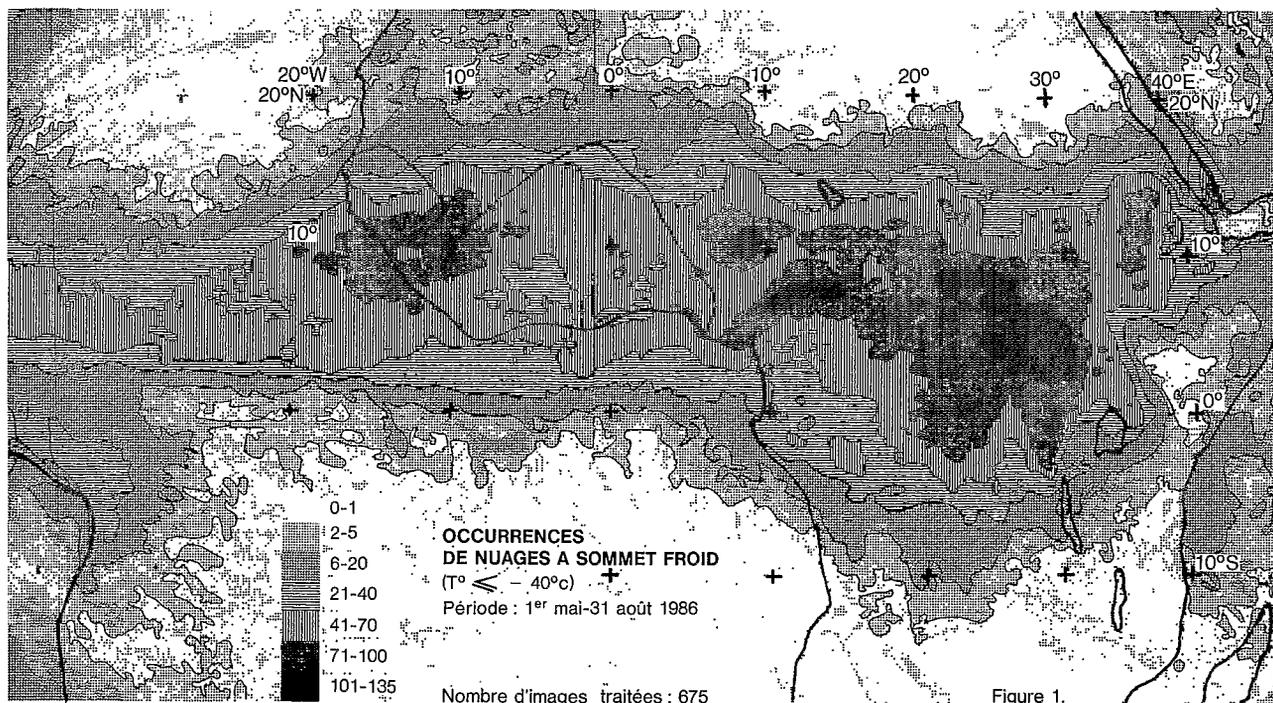
par J.P. LAHUEC

Dans le but d'apprécier la convection profonde en Afrique intertropicale, 675 images IR METEOSAT II ont été acquises et traitées au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, selon une procédure déjà plusieurs fois exposée dans les précédents bulletins de la Veille Climatique Satellitaire (cf. Bulletins n° 8, p. 17-22 ; n° 9, p. 23-25 ; n° 12, p. 13).

En 1986, le nombre d'images analysées quotidiennement a été porté à 6 (0 h, 9 h, 12 h, 15 h, 18 h, 21 h TU). Ce n'est pas encore le nombre idéal, mais c'est tout de même un réel progrès par rapport à 1985 (5 images par jour), qui nous autorise un meilleur suivi de la convection nocturne. Les 675 images traitées représentent 91 % du nombre d'images virtuellement possible. Ce score, compte tenu des interruptions d'acquisition de METEOSAT II et d'aléas techniques divers, constitue une bonne performance à mettre à l'actif de la chaîne d'acquisition du CMS.

Nous rappellerons que la base de comptage des occurrences de nuages à sommet froid est la décade, tout comme les données pluviométriques des stations synoptiques. Cette base laisse le champ libre à l'établissement de bilans mensuels ou saisonniers, en phase avec le suivi de la pluviométrie réalisé par l'ASECNA (1) et le centre AGRHYMET (2).

Les figures 1 et 2 représentent précisément le bilan des occurrences de nuages à sommet froid pour la période du 1^{er} mai au 31 août 1986, qui correspond sensiblement à l'hivernage utile des régions situées en zone soudanienne au sens climatique du terme. Cette courte introduction au bilan 1986 ne comportera qu'un commentaire de la figure 2 (Afrique de l'Ouest), fondé essentiellement sur la comparaison avec la carte correspondante de 1985 (figure 3) analysée en détail dans le bulletin n° 12 de la Veille Climatique Satellitaire (mai 1986).



(1) ASECNA – Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne – Dakar.

(2) AGRHYMET – Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle.
Emanation du CILSS : Comité permanent Interétats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel – Niamey.



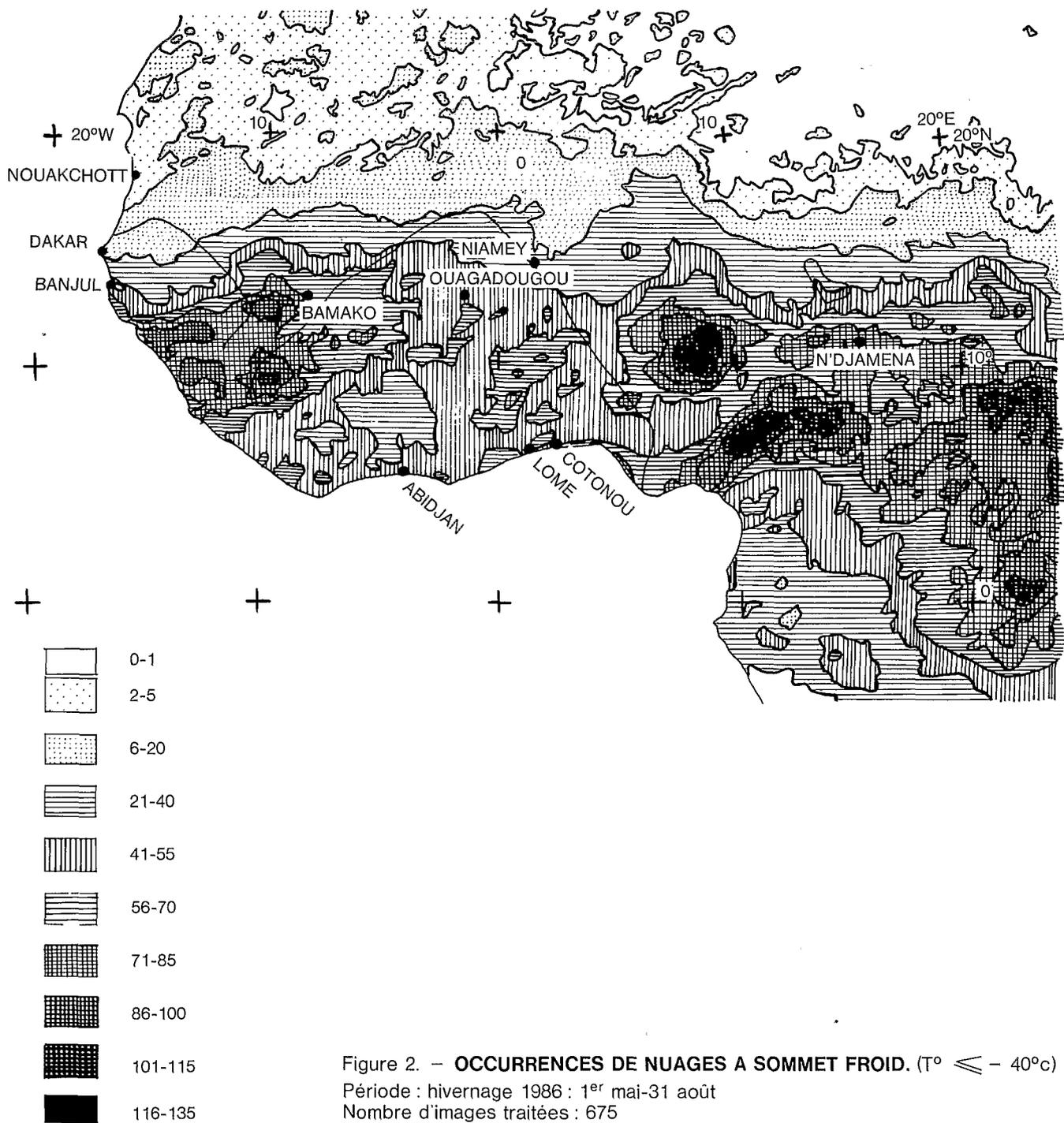


Figure 2. — OCCURENCES DE NUAGES A SOMMET FROID. ($T^{\circ} \leq -40^{\circ}C$)
 Période : hivernage 1986 : 1^{er} mai-31 août
 Nombre d'images traitées : 675

Au premier coup d'œil, il apparaît que la distribution régionale des occurrences de nuages à sommet froid présente les mêmes traits structurels que celle décrite l'année passée. En effet, comme en 1985, cinq zones ou régions apparaissent :

- une zone « sahélienne », avec une distribution zonale, plus ou moins festonnée, des occurrences. Celles-ci sont peu nombreuses (moins de 40) ;

- un bloc « guinéen » qui englobe la Guinée Bissau, la Guinée, la Sierra Leone, une partie du sud Sénégal et du sud-ouest malien. Ce bloc présente des occurrences élevées (plus de 70 occurrences en moyenne, localement plus de 100). Il s'organise de part et d'autre d'un axe sud-ouest/nord-est Conakry-Bamako. Il est entouré d'une auréole d'occurrences plus faibles (56 à 70). Cette auréole est très mince à la frontière sud du Sénégal et de la frontière Libéria-Sierra Leone au nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Par contre, au nord-est, elle englobe tout le sud du Mali (limite nord : de Kayes à San) et le sud-ouest du Burkina Faso à la frontière du Mali. Ces gradients se retrouvent dans la carte de répartition des pluies pour la même période. L'exemple le plus « pédagogique » est fourni par le sud-Sénégal (856,4 mm de pluie à Kolda, 299,9 mm à Kaolack du 1^{er} mai au 31 août - chiffres Agrhymet, Bulletin n° 12/86, 3^e décade d'août).

– **la boucle du Niger :**

Dans cette région, dominée par la plage de valeurs comprises entre 41 et 55, la distribution spatiale des occurrences de nuages à sommet froid est en apparence beaucoup moins organisée qu'ailleurs. On reconnaît toutefois une plage d'occurrences moyennes (56-70 et, localement, 71-85 sur les massifs du Togo et de l'Atakora au Bénin) contrastant avec un thalweg d'occurrences faibles depuis le littoral togolais jusqu'à la frontière Niger-Nigéria. Ce thalweg est particulièrement accusé de Lomé à Savé (Bénin). Cette constatation cadre bien avec un phénomène climatique souvent noté : la faible pluviométrie du littoral togolais et béninois qui a pour conséquence l'existence de savanes à des latitudes très méridionales.

Dans cette même zone, il faut aussi relever la présence d'une plage de basses valeurs (moins de 40) qui occupe tout le centre et le nord-est de la Côte d'Ivoire, indice probable d'une petite saison sèche bien marquée en 1986 (nous n'avons pas la pluviométrie globale pour cette zone) ;

– **l'Afrique « Nigériane » :**

La distribution spatiale est fondée ici sur la présence de reliefs : le plateau de Jos et d'Adamoua, enserrant la vallée de la Bénoué. Les valeurs sont très fortes, les gradients très élevés, la dépression de la Bénoué sculptée entre les deux massifs. Plus à l'est, le sud du Tchad et le Centre Afrique s'inscrivent dans la continuité des valeurs de l'Adamoua avec toutefois des pics moins élevés ;

– **le sud de la région étudiée** avec une orientation des contours sud-est/nord-ouest et des valeurs d'occurrences faibles à très faibles, révélatrices de la prédominance des influences australes (saison sèche à cette époque de l'année).

La suite logique de ce commentaire consisterait à étudier la correspondance entre l'occurrence des nuages à sommet froid et la pluviométrie. Cette démarche, effectuée en 1985, (cf. Bulletin n° 12, mai 1986) nous avait permis de mettre en évidence une relation simple entre la pluviométrie mesurée dans les stations du réseau synoptique (Pmm) et le nombre d'occurrences de nuages à sommet froid répertoriés au pixel de la station considérée (NCb). La distribution spatiale des quotients Pmm NCb, autrement dit, la quantité de pluie moyenne tombée par passage de nuage à sommet froid, révélait une organisation de proche en proche, expression de cohérences régionales significatives, fondées elles-mêmes sur différents facteurs invariables (latitude, relief, etc...) ou changeants d'une année à l'autre (les spécificités météorologiques de l'hivernage considéré).

Une telle démarche reste cependant prématurée pour l'hivernage 1986 car nous ne disposons pas, pour le moment, de l'ensemble des données pluviométriques requises. Les résultats partiels en notre possession (Burkina Faso, Mali, Niger), nous permettent cependant d'envisager une relation équivalente, voire plus fine, que celle obtenue l'année dernière, ce qui s'expliquerait facilement par la taille plus grande de l'échantillon.

Une autre application pratique consisterait à détecter les zones à risque de mauvaise récolte en suivant d'une décennie à l'autre la localisation des plages dépourvues de toute apparition de nuages à sommet froid. D'ores et déjà, on peut annoncer que le Sénégal, plus particulièrement au nord d'un axe Mbour-Matam, et le sommet de la boucle du Niger (Gao-Tombouctou-Hombori) ont été les plus défavorisés sur ce plan-là. Une analyse plus détaillée en sera faite dans le prochain numéro de la Veille Climatique et confrontée aux données de terrain.



APPROCHE DES INTER-RELATIONS ATMOSPHERE/OCEAN SUR L'ATLANTIQUE TROPICAL EN 1978 ET 1979 A PARTIR DES IMAGES METEOSAT ET GOES-EST

par Denis LAMARRE * et Martine TABEAUD **

Note liminaire : Durant la première tranche (1983-85) du PNEDC (Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat), les climatologues-géographes participants étaient réunis dans le sous-programme GEOCONNEX. C'est dans ce cadre que l'étude présentée ci-après a été conduite. Les premiers résultats en furent livrés lors du Symposium de Climatologie Tropicale tenu à Dijon, en prologue du 25^e Congrès International de Géographie, du 22 au 25 août 1984. Un aperçu plus complet fut ensuite donné par l'un d'entre nous, lors des Journées Nationales de Climatologie à Rennes, le 7 décembre 1984.

INTRODUCTION

1.) Tenter de tirer parti de l'énorme quantité d'informations présentes dans les images, disponibles ou archivées en France, des satellites météorologiques GOES-EST (depuis 1974) et Météosat (depuis 1978), en particulier déterminer quotidiennement les types d'ensembles nuageux à l'échelle synoptique repérables sur une moitié de la surface du globe, voilà l'idée de départ. Elle a été exprimée ailleurs et a donné lieu à une première application dans le domaine tropical atlantique.

Quelques éléments de la méthode employée valent d'être soulignés ici :

– l'échelle adoptée pour la prise en compte des phénomènes correspond à un maillage de 5° en 5° de latitude/longitude. C'est donc l'échelle synoptique, celle des macro-phénomènes atmosphériques, qui est délibérément privilégiée. Ce choix a paru adapté à une problématique annuelle, puis pluriannuelle, sur un vaste espace. Il ne convient pas, en revanche, pour l'étude de la convection locale, par exemple ;

– l'observation quotidienne d'un double couple (GOES-Météosat) d'images VIS-IR en principe simultanées (12 h TU) ne permet d'ailleurs pas de suivre l'évolution diurne de la convection. Il est évident que celle-ci est plus avancée, à l'heure considérée, sur l'Afrique que sur l'Amérique, saisie en situation matinale.

Il s'agit bien ici d'observations quotidiennes vraies ; on aura pris soin, en fixant la limite d'utilisation des deux satellites au 35° méridien ouest (Cap Sao Roque), d'éliminer les déformations bordières des images. Somme toute, saisir chaque jour les événements atmosphériques sur un espace semi-planétaire, en particulier sur les océans, s'avère irremplaçable.

– grâce au numéro de code (*voir tableau 1*) qui définit, dans chaque « carré » du maillage, le type d'ensemble nuageux dominant qui y est observé chaque jour, il est clair que l'objectif poursuivi n'est pas seulement qualitatif, mais surtout quantitatif. Une large panoplie de techniques statistiques peut être mise en œuvre, après saisie des codages sur support informatique (disquettes, par exemple) et traitement sur micro-ordinateur. Nous en livrons quelques résultats dans la première et la seconde partie.

2.) Dès l'origine de ce travail, nous avons pensé que d'autres données numériques, également tirées des satellites météorologiques, devaient être utilisées : les températures de surface de la mer. Une mesure est disponible tous les 7 jours environ ; la température moyenne a été calculée, à 0,5°C près, dans chaque « carré » du maillage.

* Maître de conférences agrégé à l'Université de Dijon, Unité Associée n° 909 du C.N.R.S.

** Maître de conférences agrégé à l'Université de Paris I, Unité Associée n° 909 du C.N.R.S.

Adresse : Centre de Recherches de Climatologie, 36 rue Chabot-Charny 21000 Dijon, tél. 80.65.39.27.

Tableau I. – INTERPRETATION VISUELLE DES PHOTOS DE SATELLITES GEOSTATIONNAIRES
CLASSIFICATION CODEE DES ENSEMBLES NUAGEUX, CRITERES D'INTERPRETATION

A – TYPES AZONAUX A DOMINANTE NON PERTURBEE

CODE	ENSEMBLES NUAGEUX	SYSTEMES SYNOPTIQUES	MORPHOLOGIE	VIS (niveaux de gris)	I.R.
0	Ciel clair				
1	Stratus, bas brouillards	Anticyclones : secteurs chauds de perturbations	Bandes plus ou moins larges : limites selon des conditions topographiques	Blanc très blanc	Gris foncé, se détache difficilement du substrat
2	Stratocumulus étalés sur grandes surfaces avec parfois alignements secondaires	Alimentation froide des anticyclones océaniques subtropicaux	Structure particulière, cellules fermées : grains nuageux entourant ciel clair	Blanc	Gris
3	Cumulus dispersés Cu d'alizé	Convection peu développée	Texture particulière fine ou moyenne, grains dispersés selon écoulement de l'air	Blanc	Gris s'éclaircit avec l'augmentation de la taille du grain
4	Cumulonimbus et cirro-cumulus en amas inorganisés	Convection développée. Perturbation locale orageuse	Tâches étendues – formes globulaires – structures grossières	Blanc	Blanc

B – PERTURBATIONS DES LATITUDES MOYENNES

12	Alignement courbe de stratocumulus	Prolongement du front de perturbation. Discontinuité interne d'anticyclone correspondant à l'expulsion polaire	Bande étroite en forme d'arc, plus ou moins continue	Blanc	Gris
13	Cirrus-cirro-cumulus	Bordure de dépression Jet polaire	Voiles allongés isolés	Blanc. Franges mal délimitées peu visibles	Blanc. Plus étendus que dans le visible

C – ORGANISATIONS NUAGEUSES EN REGIONS TROPICALES

14	Cirrus-cirro-cumulus	Jet subtropical et bandes tropicales	Bande allongée oblique SW-NE	Peu visible	Très blanc
(41)	Amas triangulaires cirrus, cumulostratus et cumulonimbus	Perturbations subtropicales	Accrétion nuageuse pouvant évoluer vers forme spiralée	Blanc	Blanc
15	Cirrus-cumulonimbus	C.I.T. linéaire	Bande unique plus ou moins large composée de cumulonimbus rapprochés	Blanc	Blanc
16	Cirrus-cumulonimbus	C.I.T. dédoublée	Alignement double. Les bandes ne sont pas strictement parallèles	Blanc	Blanc
17	Cumulus-cumulonimbus dominants mais dispersés	Zones de liaison	Mosaïque irrégulière. Nombreuses cellules de cumulonimbus d'aspect erratique	Blanc	Blanc et plages de gris
18	Cumulonimbus-cirrus en amas	Perturbations isolées	Amas étoffés de cumulonimbus, mais de formes irrégulières	Blanc	Blanc
19	Cumulonimbus-cirrus avec organisations tourbillonnaires	Perturbations isolées	Amas de cumulonimbus de forme circulaire à grand diamètre	Blanc	Blanc
20	Cumulonimbus-cirrus avec organisations tourbillonnaires	Dépression ou tempête tropicale	Amas tourbillonnaires de grande envergure	Blanc	Blanc
21	Cumulonimbus-cirrus avec organisations tourbillonnaires	Ouragan – Cyclone tropical	Développement maximal du phénomène. Oeil bien visible	Blanc	Blanc

Les inter-relations atmosphère/océan sont scientifiquement établies depuis longtemps pour un certain nombre de phénomènes d'échelles spatiales ou temporelles diverses. Cette direction de recherches demeure assurément féconde ; il convient de la vérifier à l'échelle adoptée ici, et en rapport avec les types d'ensembles nuageux déterminés.

La troisième partie est consacrée à cela.

3.) La méthode employée permet d'envisager l'étude de toute la surface couverte par GOES et par Météosat, de 120°W à 60°E, soit la moitié du globe, comprenant la totalité de l'océan Atlantique et une bonne partie du Pacifique oriental.

Une étude liminaire se doit d'être plus modeste. Le cadre adopté ici correspond à celui qui a été retenu pour l'approche de la CIT atlantique, pour les mêmes raisons, soit :

- 15°N - 5°S
- 70°W (Saint-Domingue) - 15°E (N'Djamena).

Tel quel, partagé entre GOES et Météosat, il s'étend pour les deux-tiers environ (55 carrés sur 85) sur l'Atlantique intertropical.

D'un bord à l'autre de l'océan, à latitude égale, l'opposition des rythmes pluviométriques saisonniers est bien connue. Entre la Guyanne et la Guinée, on observe une convergence intertropicale souvent complexe et certainement fugace dans sa forme linéaire (codée 15 et 16). Une question fondamentale se pose : tout cela est-il lié au dispositif thermique de la surface de l'océan, à son hétérogénéité ?

De même, il est bien entendu souhaitable d'envisager la période la plus longue possible. La première année durant laquelle GOES et Météosat ont fonctionné de concert est 1978 : elle sert de base à cette étude qui intègre également l'analyse de l'année 1979. Une année nécessite la détermination de près de 30.000 codages d'ensembles nuageux et le calcul de 4.000 températures, sans parler de leur saisie et de leur traitement informatiques. C'est un labeur considérable pour un petit nombre de chercheurs, tâcherons autant que concepteurs. Ils sont bien convaincus de présenter ici le stade initial de leur travail.

I. - DISPOSITION DES TYPES D'ENSEMBLES NUAGEUX

1.) Les types les plus fréquents observés dans chaque carré durant l'année 1978 entière (figure 1).

D'abord, le ciel clair s'impose sur l'Afrique de l'ouest, au nord du 10° parallèle, de même que sur le proche Atlantique jusqu'aux îles du Cap Vert. On peut mesurer ainsi le poids de la saison sèche en Afrique sahélienne.

Mais le trait le plus marquant tient sans doute, dans deux carrés sur trois, à la domination de l'ambiance peu convective des ciels à cumulus (Cu d'alizé ou faible convection continentale). Tout le fuseau américain est concerné, y compris l'Amazonie (saisie à une heure matinale, il est vrai) ; de même, l'Atlantique équatorial, le golfe de Guinée, en particulier le golfe du Bénin et sa bordure, et aussi le Cameroun du nord. A l'inverse, le type fortement convectif (n° 18, Cb en amas) ne domine que dans un seul carré, au fond du golfe de Guinée, tandis que le type lié à une convection notable (n° 4, Cu-Cb) domine dans cinq carrés africains, riverains de l'océan.

La CIT, dans sa forme linéaire, parvient à l'emporter sur les autres types, au total plus fréquents mais concurrents entre eux, uniquement dans la bande latitudinale 5-10°N, du 10° au 35° méridien ouest, c'est-à-dire du côté africain par rapport à l'axe médio-atlantique. En marge, il convient de noter la fréquence des bandes uniformes (n° 14) sur les confins guinéo-maliens.

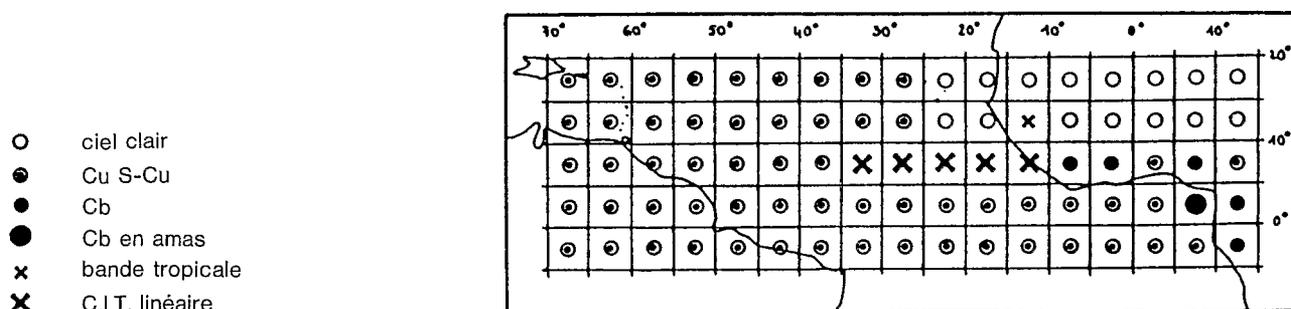


Figure 1. - TYPES D'ENSEMBLES NUAGEUX LES PLUS FREQUENTS EN 1978.

2.) Fréquence de la CIT linéaire en 1978-79.

La figure 2 confirme que la CIT linéaire, qu'elle se présente en bande unique (n° 15) ou dédoublée (n° 16), est bien un phénomène essentiellement océanique. Sa disposition zonale (0-10°N) est remarquable, mais sa fréquence assez faible ne l'est pas moins : au total, elle ne dépasse un jour sur trois que dans sept carrés. Partout, même sur l'océan entre l'équateur et 10°N, on compte plus de jours sans que de jours avec bandes nuageuses liées à la CIT. Vu le modèle largement admis sur les océans de l'équateur météorologique, cela peut surprendre.

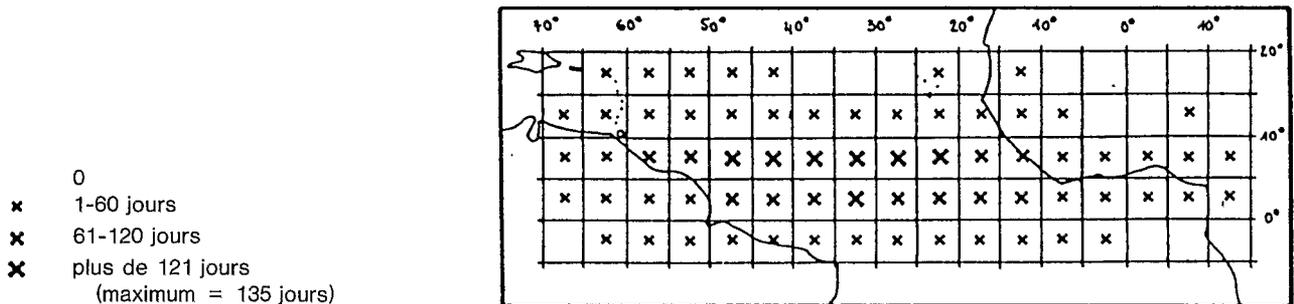


Figure 2. - FREQUENCE DE LA C.I.T. LINEAIRE.

En mai et juin 1978 (figure 3), les formations nuageuses convectives alignées soulignent, de manière quasi exclusive, la disposition océanique de la CIT. Localisées en mai entre l'équateur et 10° de latitude nord, elles se concentrent en juin de 5 à 10° nord, d'un bord à l'autre de l'océan. Mis à part le massif guyanais et le bassin inférieur de l'Orénoque, les continents, l'Afrique surtout, sont peu affectés.

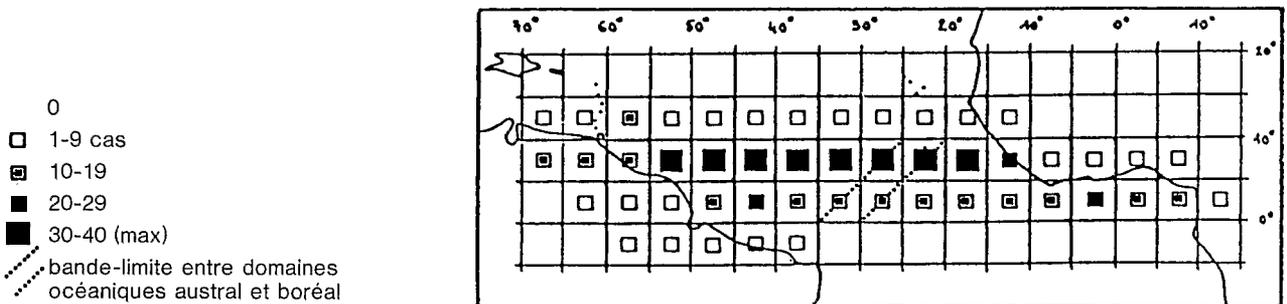


Figure 3. - C.I.T. LINEAIRE (CUMUL 15 + 16), MAI + JUIN 1978.

En juillet-août (figure 4), avec un parallélisme rigoureux, la CIT océanique se maintient entre 5 et 10°N. Mais elle s'effrite du côté américain tandis qu'elle s'étoffe du côté africain jusqu'à 15°N, de l'archipel du Cap-Vert au Fouta Djallon ; c'est la période de mousson à Dakar (16 observations pour les deux mois).

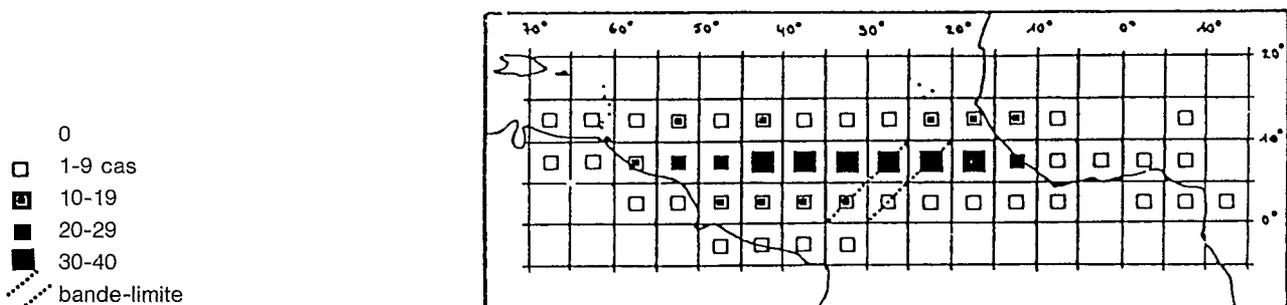


Figure 4. - C.I.T. LINEAIRE (CUMUL 15 + 16), JUILLET + AOUT 1978.

Les dispositions ne sont pas identiques durant les quatre mêmes mois de 1979. En mai-juin (*figure 5*), la CIT linéaire, qui n'est pas moins fréquente qu'en 1978, se situe plus au sud, entre l'équateur et 5°N. Cela dénote, en tout état de cause, un retard dans la migration vers le nord de la CIT par rapport à l'année précédente. En juillet-août 1979, la CIT linéaire est bien calée sur l'océan Atlantique entre 5 et 10°N, mais son effrètement vers l'ouest, au-delà du 35° méridien, est beaucoup plus net qu'en 1978.

Figure 5. - C.I.T. LINEAIRE (15 + 16),
MAI + JUIN 1979.

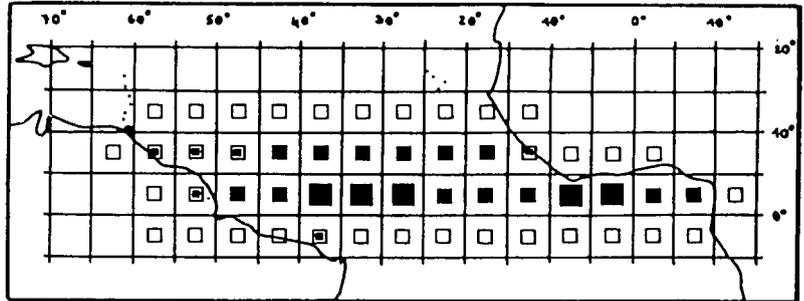
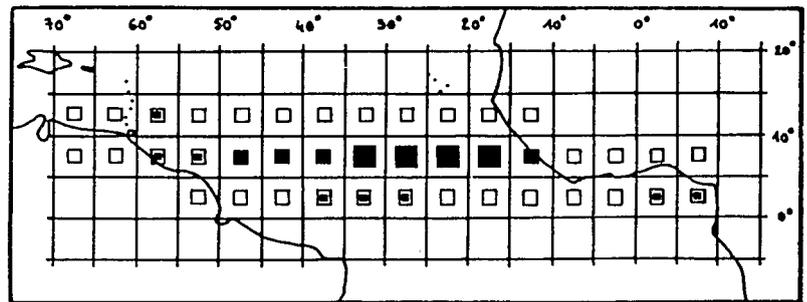


Figure 6. - C.I.T. LINEAIRE (15 + 16),
JUILLET + AOUT 1979.

- 0
- 1-9 cas
- ▤ 10-19
- ▥ 20-29
- 30-40



De plus, il convient de distinguer la CIT linéaire dédoublée (code n° 16 du Tabl. 1). Cette forme a pu être maintes fois notée en 1978, en particulier dans l'Atlantique équatorial, côté américain (*figure 7*). D'ailleurs, si l'on rapporte, en 1978, sa fréquence par rapport au total des observations de la CIT linéaire (*figure 8*), une remarque s'impose : lorsque la convergence linéaire apparaît à l'extrême sud (0-5°S) ou à l'extrême nord (15-20°N) du cadre étudié, elle correspond le plus souvent à un dédoublement de la bande nuageuse.

- 0
- × 1-10 jours
- × 11-20 jours
- × 21-30 jours
- × 31-40 jours

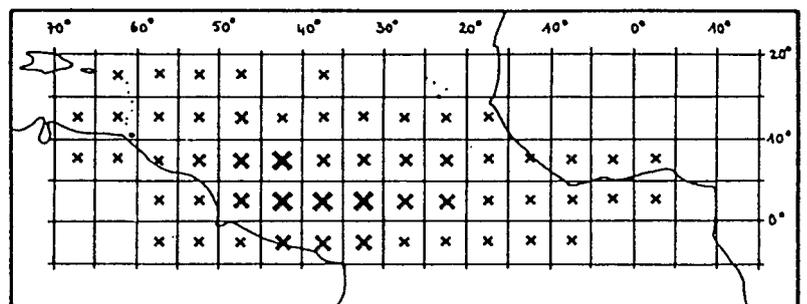


Figure 7. - OBSERVATION DE LA C.I.T. LINEAIRE DEDOUBLEE.

- 0
- + 0-20 %
- + 20-50 %
- + 50 %
- + 100 %

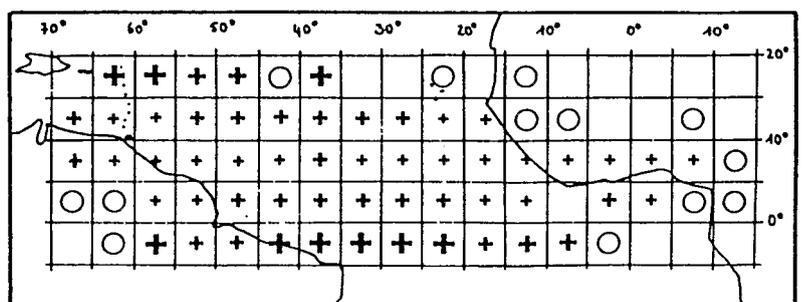


Figure 8. - FREQUENCE D'OBSERVATION DE LA C.I.T. LINEAIRE DEDOUBLEE PAR RAPPORT A LA C.I.T. LINEAIRE TOTALE.

Anaïk Vulquin fait intervenir, au large du Nordeste brésilien, l'intercalation d'une cellule anticyclonique du type de Hadley, entre les deux cellules principales australe et boréale. D'autres hypothèses envisagent au contraire une cellule intermédiaire de Walker, avec une branche subsidente sur cette longitude

On sait, d'autre part, que le dédoublement de la CIT linéaire a atteint une envergure et une fréquence exceptionnelle en 1984, en liaison avec des configurations particulières dans la carte thermique de la surface de l'océan Atlantique (Figure 9). En 1978, les cas les plus nombreux de dédoublement ont été notés en avril. En 1979 (figure 10), la courbe des observations marque un maximum en mai ; la forme caractéristique de cette courbe indique qu'il s'agit d'un phénomène lié à la saison intermédiaire qui précède le stationnement de la CIT Atlantique dans la bande zonale 5-10°N en juillet-août.

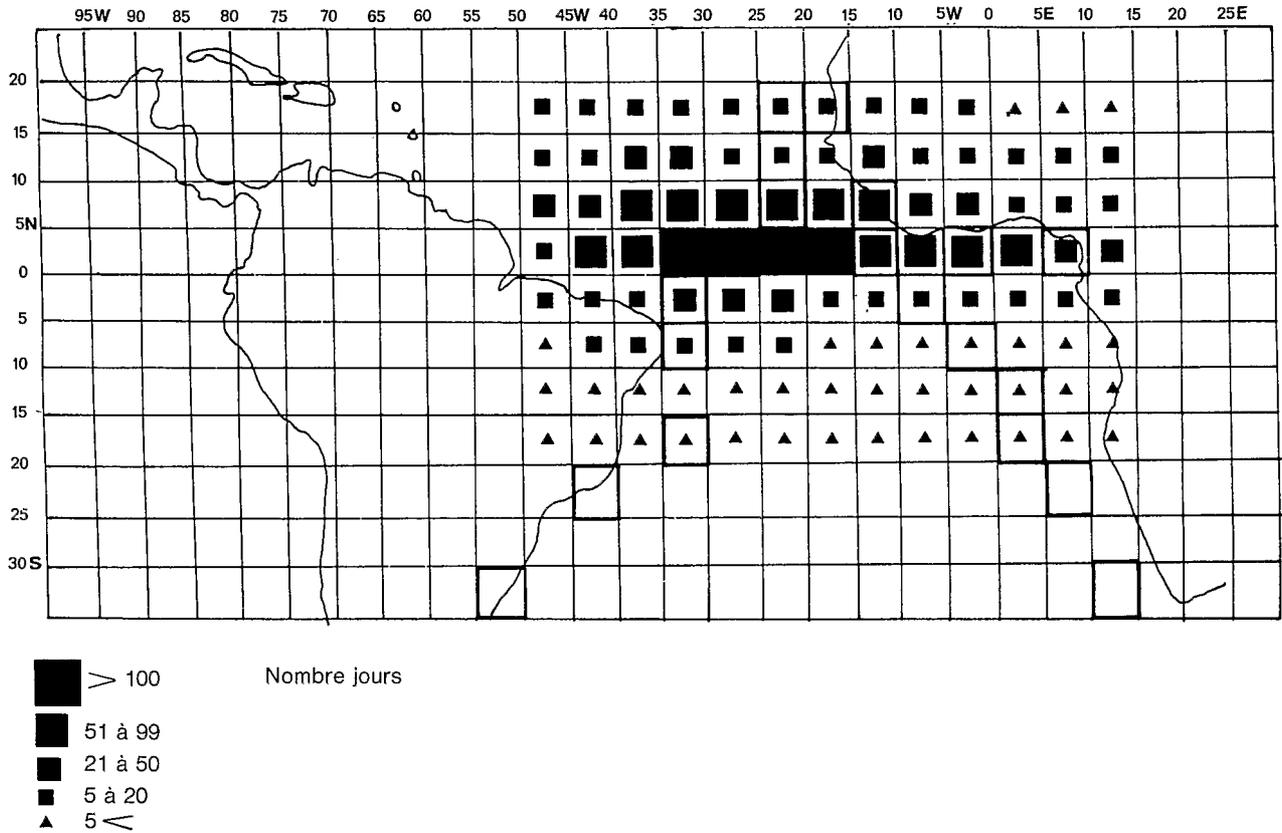


Figure 9. - REPRESENTATION DE LA FREQUENCE D'APPARITION DU CODE 16 CUMUL ANNUEL, ANNEE 1984.

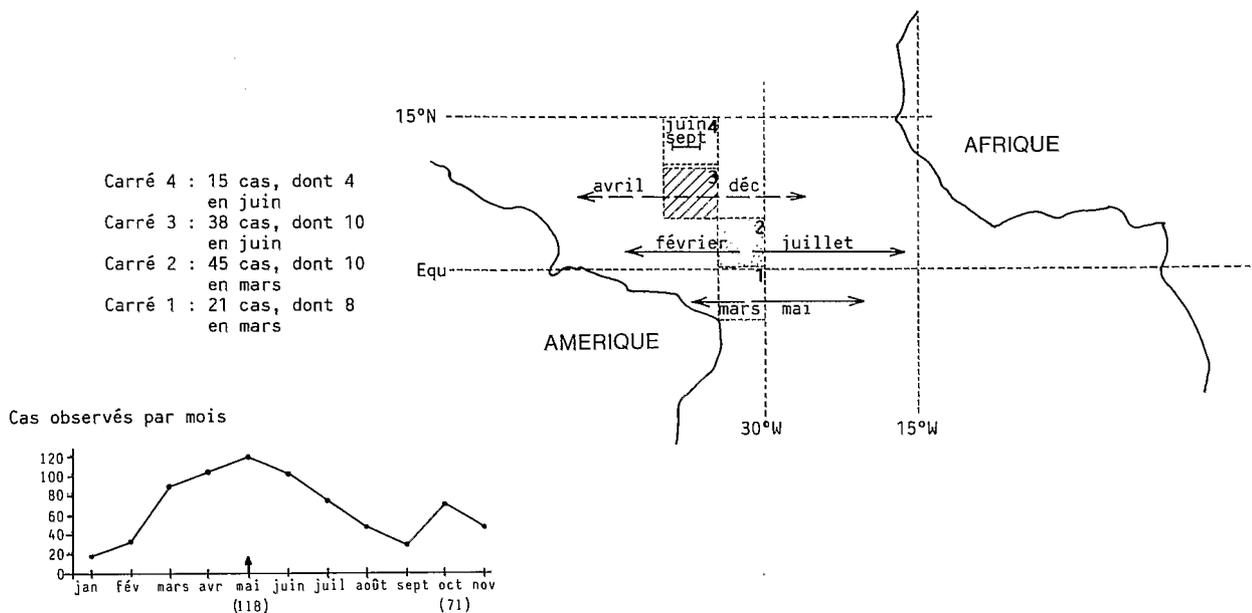


Figure 10. - OCCURRENCE DE LA CIT LINEAIRE DEDOUBLEE EN 1979 (PLUS DE 15 CAS).

3.) Les bandes nuageuses tropicales (n° 14).

Ces bandes nuageuses, cirriformes, s'échappent en oblique depuis la convergence intertropicale vers les latitudes moyennes (vers le NE dans l'hémisphère nord). Leur développement peut atteindre plusieurs milliers de kilomètres en longueur. Par l'intermédiaire de la vapeur d'eau, elles soulignent les transferts énergétiques dans les couches supérieures de la troposphère tropicale. Elles intègrent souvent des éléments du courant-jet tropical.

Pendant de nombreux jours, les voiles de cirro-stratus font partie intégrante du ciel ouest-africain, en particulier sur la bordure malienne du Grand Désert (*figure 11*). On l'a vu (*figure 1*), leur présence l'emporte sur celle du ciel clair, sur les confins guinéo-maliens.

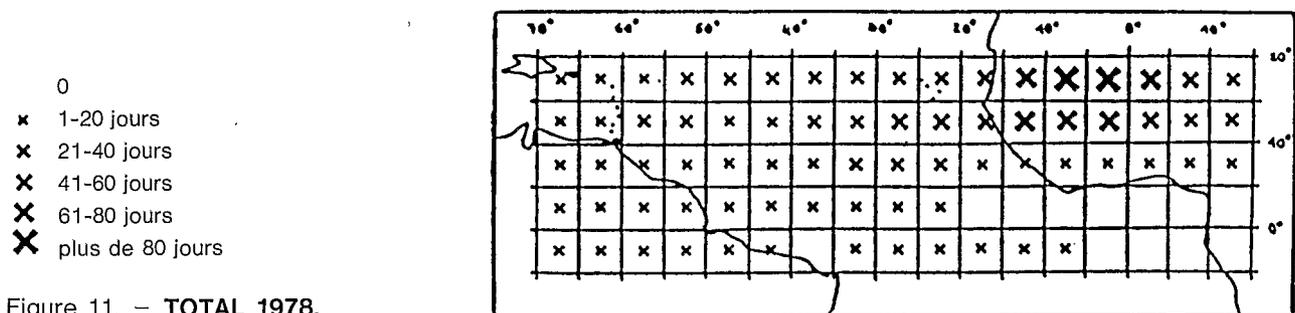


Figure 11. – TOTAL 1978.

En réalité, il s'agit, là aussi, d'un phénomène de saison intermédiaire, au moment où culminent les échanges atmosphériques méridiens. Ainsi, en 1978, les deux mois d'avril et de novembre concentrent la moitié environ des observations. Mais les deux situations sont différentes. En avril (*figure 12*), apparaît une seule zone-source pour les bandes tropicales, située sur l'intérieur de l'Afrique occidentale sahélienne. En novembre (*figure 13*), deux zones-sources sont mises en évidence, principalement entre 10 et 15°N, sur le Sénégal d'une part, et à l'ouest de l'archipel du Cap-Vert d'autre part.

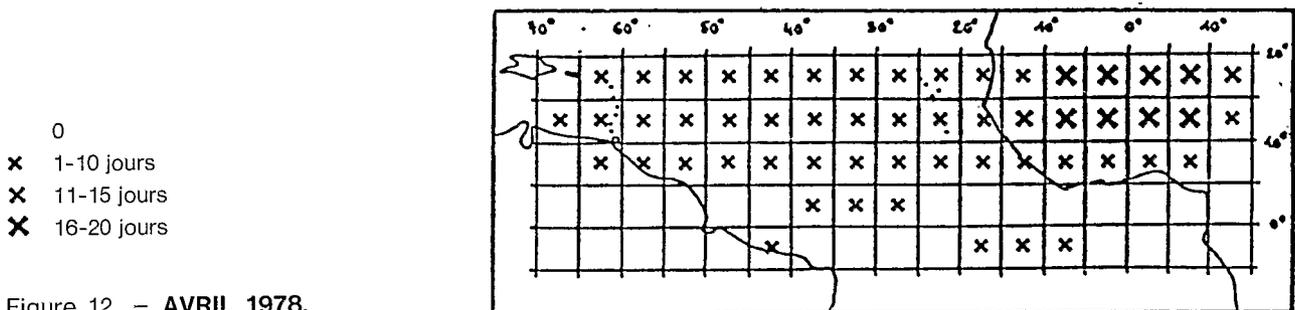


Figure 12. – AVRIL 1978.

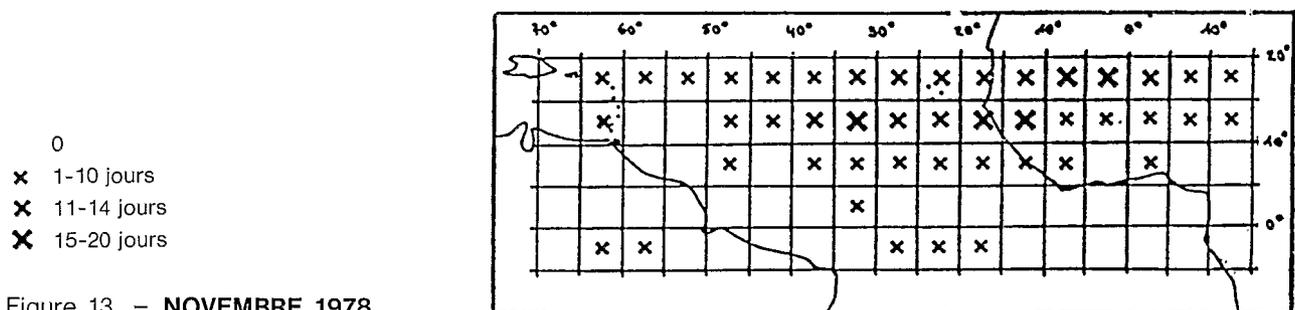


Figure 13. – NOVEMBRE 1978.

En 1979, la majorité des bandes nuageuses tropicales est observée en mai et en octobre. En mai (*figure 14*), la zone-source ouest-africaine est bien présente ; mais il y en a une autre, moins importante, en plein océan à mi-chemin des Petites Antilles et des îles du Cap-Vert. En octobre 1979 (*figure 15*), le phénomène est plus rare qu'en novembre 1979 et il est plus confiné dans l'espace.

Ces bandes sont associées à des dispositions spéciales de la CIT, notamment avec des formes linéaires dédoublées. On sait que ces formes ne sont pas indifférentes à l'état thermique de la surface de l'océan : les liaisons entre bandes tropicales (code n° 14) et formes linéaires de la CIT (n°s 15 et 16) intègrent donc de manière complexe l'interaction océan/atmosphère jusqu'aux niveaux supérieurs de celle-ci, en particulier pendant les saisons intermédiaires. Des recherches plus poussées mériteraient d'éclaircir ce point.

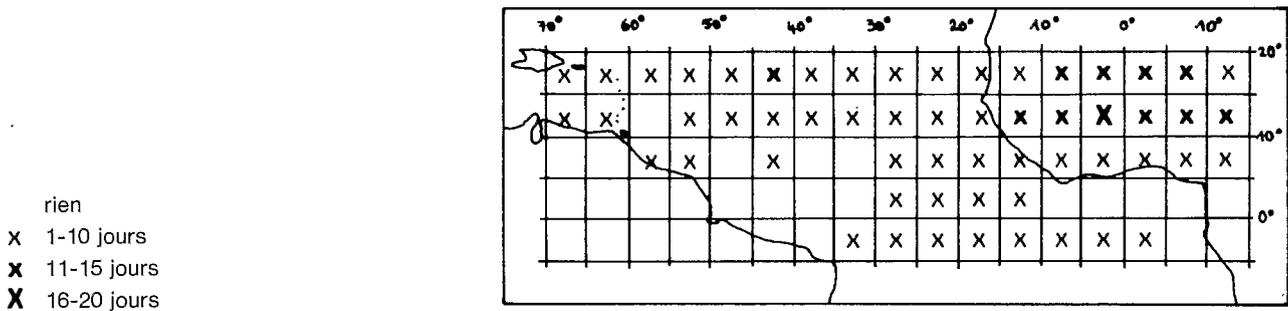


Figure 14. – BANDES TROPICALES, MAI 1979.

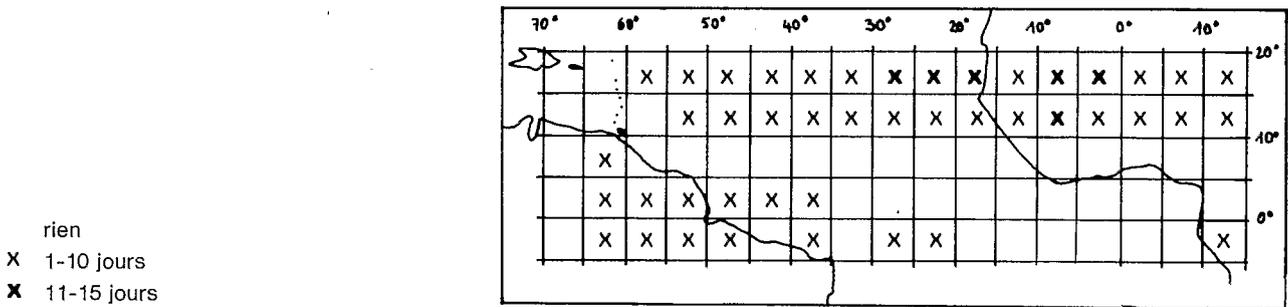


Figure 15. – BANDES TROPICALES, OCTOBRE 1979.

4.) Les ensembles nuageux à caractère convectif.

Outre les bandes convectives correspondant à la CIT (n^{os} 15 et 16), composées de cellules de cumulonimbus (Cb) en gros alignées, ont été comptabilisés les amas (cloud clusters) ou les cellules de Cb de moindre dimension (n^{os} 17, 18, 19). Ces formes dispersées sont localisées surtout au-dessus des continents ; mais elles ne sont pas absentes de l'espace océanique. Cela veut dire qu'existent soit des formes non linéaires de la CIT océanique, soit des zones de liaison, des « trous », dépourvus d'alignements réguliers de Cb, qui peuvent s'intercaler entre des segments de la CIT linéaire. Rappelons que celle-ci n'est ni très stable en durée ni très continue dans l'espace.

Quoi qu'il en soit, dans chaque carré de la grille, en l'absence de toute tempête tropicale ou d'ouragan (n^{os} 20, 21), le total 15 + 16 + 17 + 18 + 19 rend compte de l'ensemble des phénomènes convectifs repérables à l'échelle de référence et liés à ce qu'il est convenu d'appeler l'équateur météorologique, ou zone de convergence intertropicale.

Ce total a été établi pour la période de mai à août 1978 correspondant à l'installation et au développement des pluies ouest-africaines.

Cette activité convective cumulée apparaît plus nettement sur l'océan que sur les continents, et plus du côté africain que du côté américain, que ce soit en mai-juin (figure 16) ou en juillet-août 1978 (figure 17). Dans cette dernière période, la CIT linéaire océanique prévaut largement sur la longitude américaine. A l'est du 35^e méridien, la situation est plus complexe : le faciès linéaire de la CIT domine massivement sur l'océan et sur sa bordure guinéo-sénégalaise, et la mousson à Dakar semble bien lui être liée ; sur le continent africain, la convection cellulaire l'emporte, en particulier à l'est du méridien d'origine ; mais, entre celui-ci et le 10^o ouest, s'interpose un domaine de

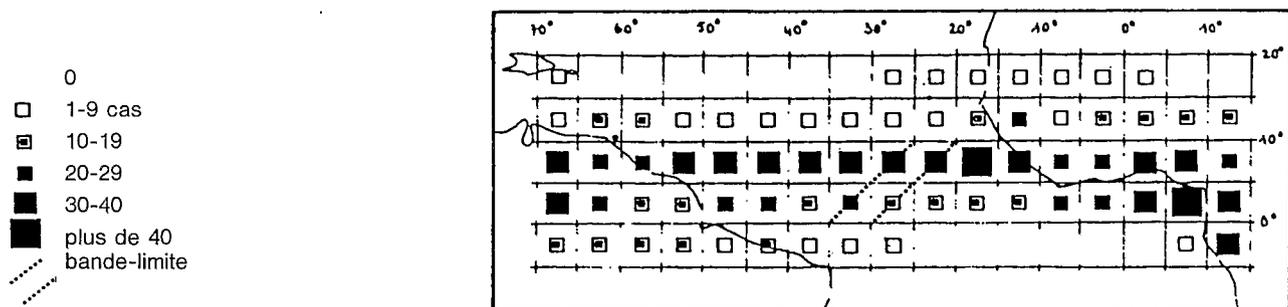


Figure 16. – TOTAL DES ENSEMBLES NUAGEUX CONVECTIFS (15 + 16 + 17 + 18 + 19), MAI + JUIN 1978.

faiblesse relative de la convection, à proximité de l'ancrage africain de la CIT océanique. Cette disposition particulière ne peut laisser l'observateur indifférent.

Quoi qu'il en soit, dans l'ensemble, la disposition zonale de la convection s'impose, en particulier dans la bande 5-10°N, de juin à août. Il n'en est pas de même en ce qui concerne l'évolution thermique différentielle de la surface de l'océan. Ce problème doit maintenant retenir l'attention.

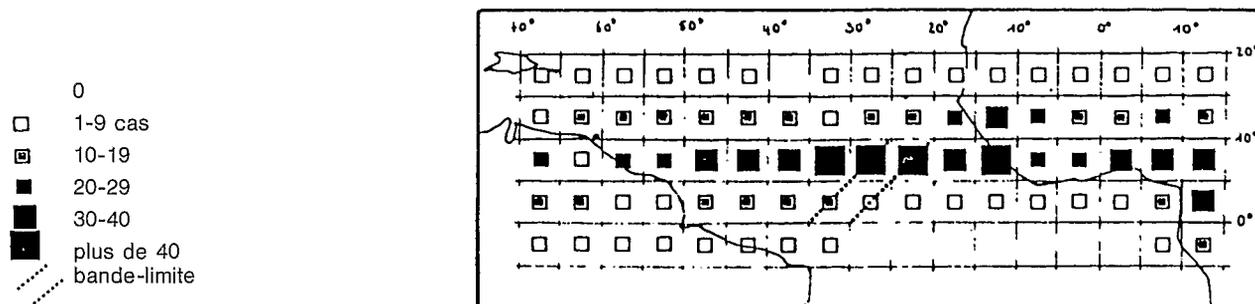


Figure 17. – TOTAL DES ENSEMBLES NUAGEUX CONVectifs (15 + 16 + 17 + 18 + 19),
JUILLET + AOUT 1978.

II. – EVOLUTION COMPAREE DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE L'OCEAN ET DE LA CONVECTION ATMOSPHERIQUE

a) Les températures de surface de l'océan sont obtenues, chaque jour, à partir des données infra-rouges des satellites en orbite polaire. Le modèle utilisé pour définir les températures de surface est un procédé entièrement automatique appelé GOSSTCOMP (Global Operational Sea Surface Temperature Computation). Chaque température est calculée à partir des techniques d'histogrammes sur 100 km², corrigées ensuite à partir du gradient vertical de l'atmosphère déduit des VTPR (Vertical Temperature Profil Radiometer). Le modèle traite ainsi 8.000 à 10.000 données par jour. Toutes ces données thermiques sont archivées sur disque (computer disk) à la NOAA. La véracité des données calculées est enfin confrontée aux observations des navires. L'écart toléré ne doit jamais excéder + 1,5°C pour un point donné, deux fois dans la même journée, sinon « l'erreur » est corrigée à partir d'un fichier historique. Les données sont donc assez précises, mais un gommage d'anomalies thermiques locales peut se produire à leur apparition.

Tous ces calculs aboutissent à l'élaboration de cartes en projection Mercator (50°N – 50°S), disponibles pour un jour sur sept environ, c'est-à-dire à intervalle quasi hebdomadaire. La valeur moyenne de la température a été retenue, dans chaque « carré » de 5° de latitude/longitude, pour chaque carte.

b) A partir de là, on a d'abord procédé, pour l'ensemble de l'année 1978, puis de l'année 1979, à une analyse en composantes principales (variances-covariances) sur 27 carrés régulièrement répartis dans le domaine de référence (figure 18). La variance 1978 s'établit à 74 %, sur les deux axes, dont 56 % de la variance totale sur l'axe 1. Ces excellents résultats statistiques autorisent, sans ambiguïté, à distinguer deux espaces océaniques, où les températures de surface évoluent de façon autonome et divergente au cours de l'année : d'une part un domaine boréal, d'autre part un domaine qui s'étend jusqu'à la façade guinéenne, vers 10°N que l'on peut appeler austral car il s'agit bien du débordement au-delà de l'équateur de la cellule océanique tropicale australe. Une courte transition est ménagée, en situation oblique, entre les deux domaines : les carrés numérotés 15 et 20 ne sont corrélés ni à un système ni à un autre.

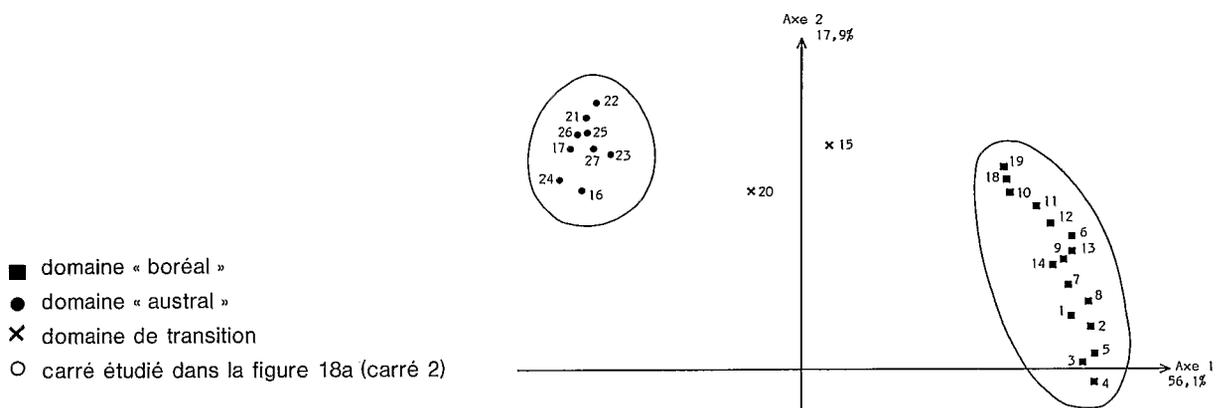
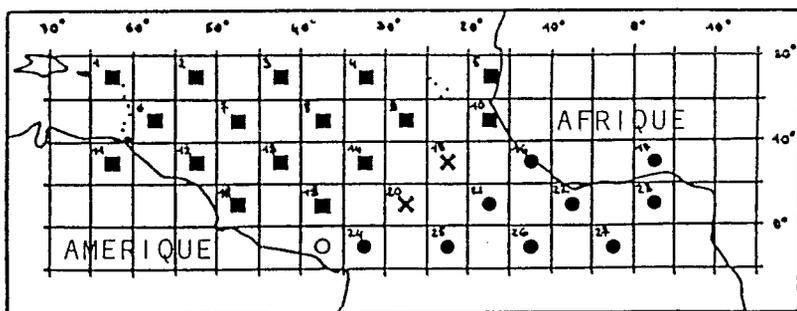


Figure 18. – TEMPERATURES DE SURFACE DE LA MER. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (1978).

Une analyse analogue a été effectuée sur les 20 carrés contigus situés dans la bande zonale 0°-10°N (figure 19). Cela permet d'apporter des précisions dans ce domaine de transition. Les carrés incriminés, en x sur la figure 18, sont indiqués en diagonale pointillée ; logiquement, ils apparaissent sur l'axe 1 plus proches du domaine « austral » alors que leurs voisins, numérotés 8 et 16, se rattachent au domaine boréal.

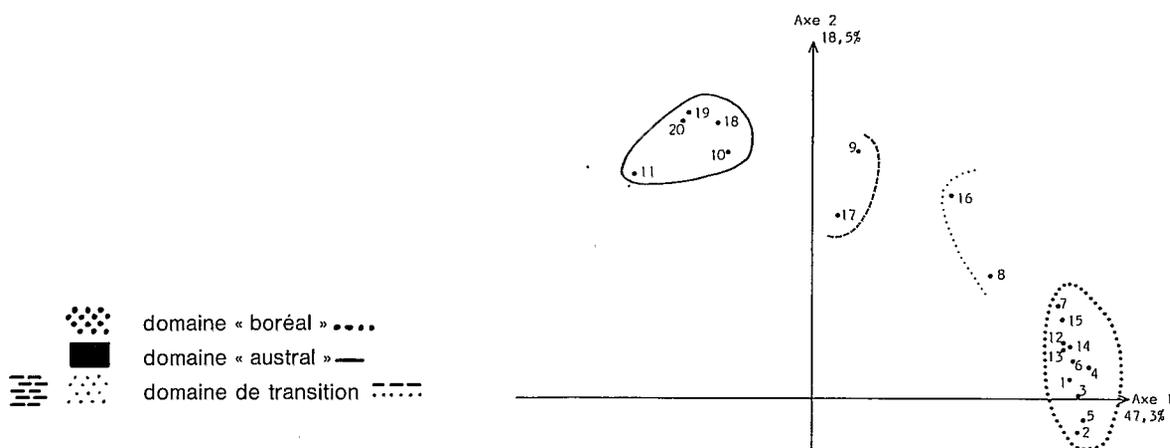
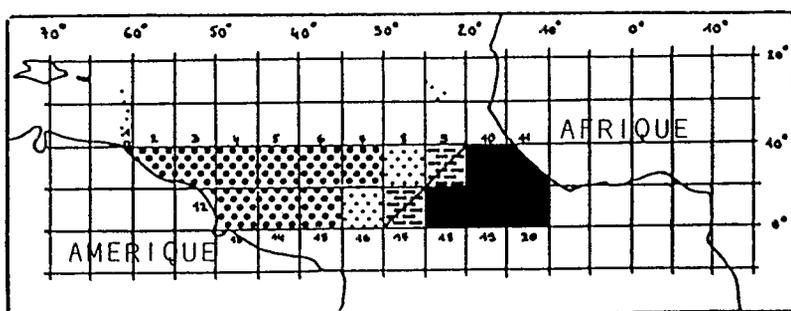


Figure 19. – TEMPERATURES DE SURFACE DE LA MER. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES.

Les résultats de la même analyse pour 1979 (figure 20) signalent une emprise plus réduite du domaine « austral », avec un déplacement de la bande limite par rapport à l'année précédente, d'un ou deux carrés vers l'est.

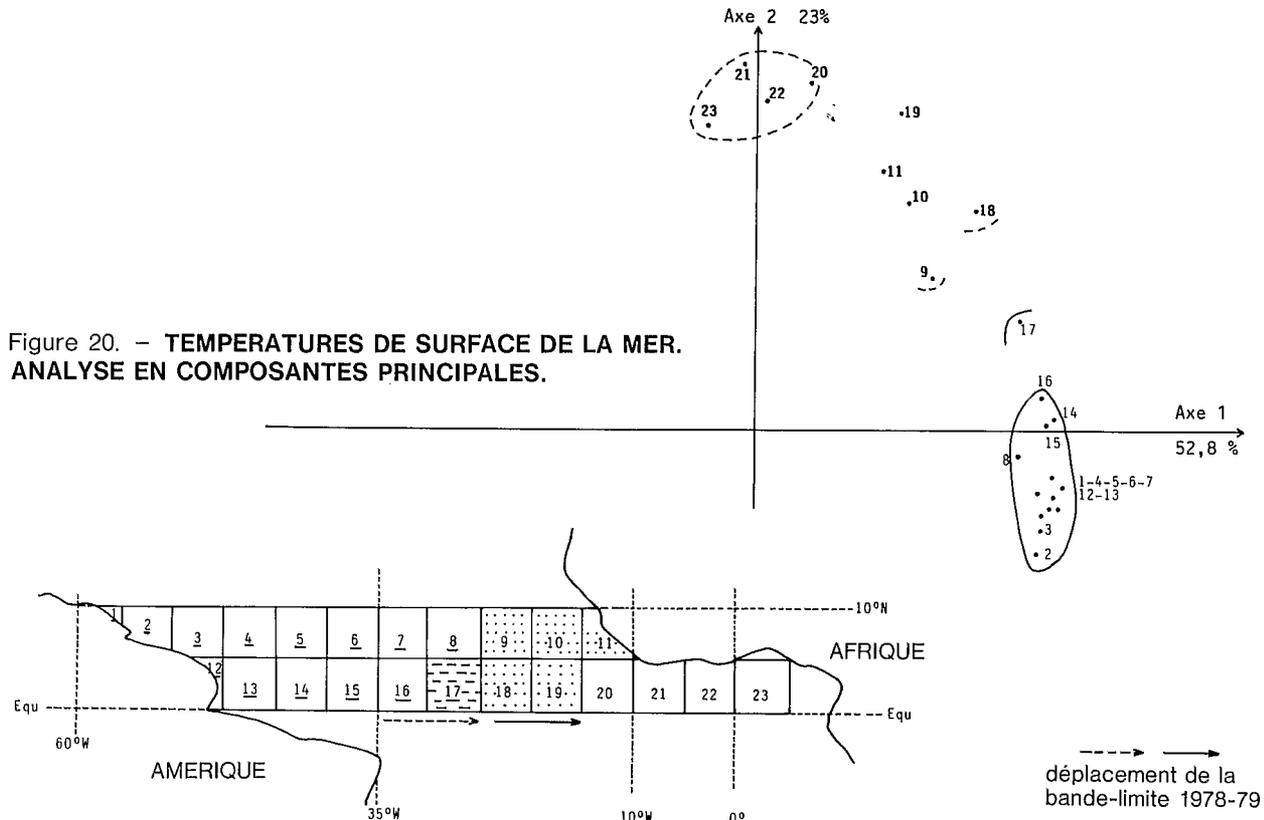


Figure 20. – TEMPERATURES DE SURFACE DE LA MER. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES.

c) Il convient également de suivre l'évolution dans le temps des températures de surface de l'océan. A cette fin, quatre carrés ont été choisis : deux en façade ouest-africaine, deux au large des côtes américaines (figure 21) ; dans les deux cas, un des carrés s'intègre au domaine océanique « austral » et l'autre au domaine boréal. Les courbes de la figure 21 montrent, en effet, un léger réchauffement de la surface de l'océan. D'autre part, les contrastes saisonniers et spatiaux sont très émoussés par rapport à 1978.

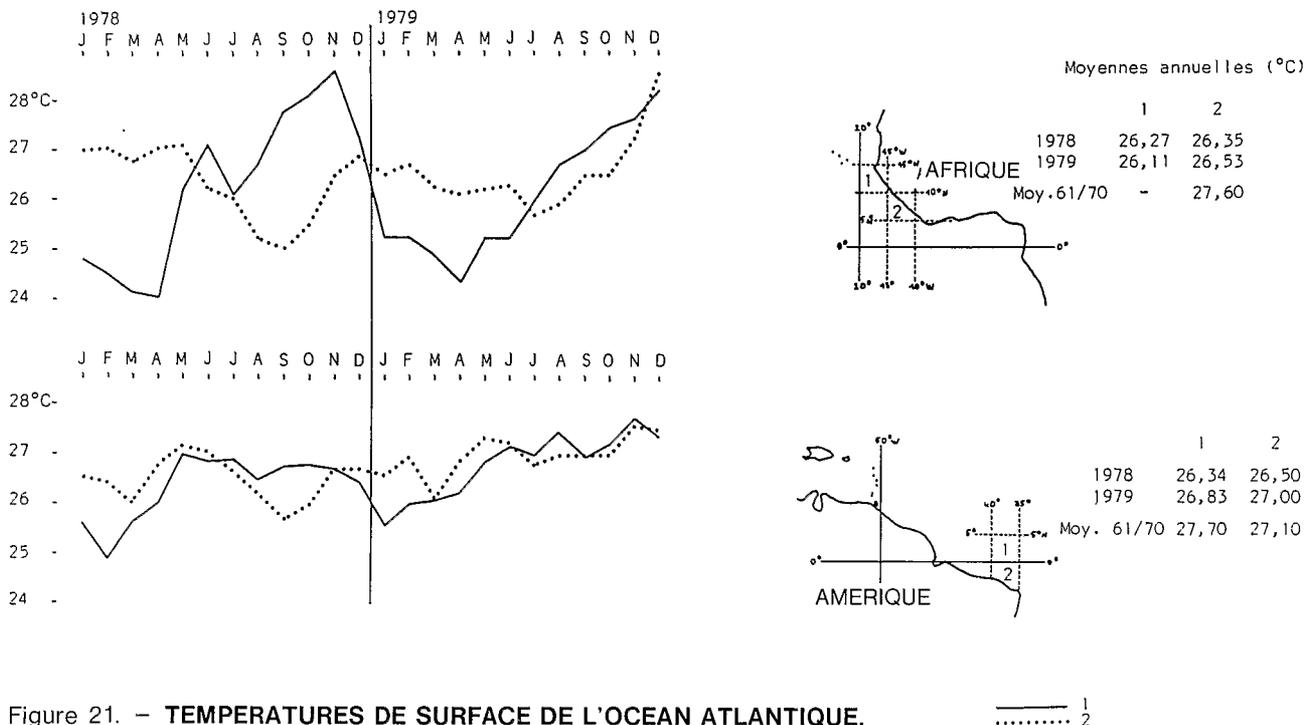


Figure 21. – TEMPERATURES DE SURFACE DE L'OCEAN ATLANTIQUE.

Pour chaque carré ont été calculés les écarts à la moyenne annuelle (1978 et 1979) des températures hebdomadaires de la surface de l'océan. Les figures 22, 23 et 24 indiquent bien l'évolution inverse des carrés boréaux et des carrés austraux, avec des périodes de transition où les écarts se réduisent fortement. Ainsi en est-il en mai-juin 1978 pour les deux carrés africains (figure 22). En revanche, en 1979 (figure 23), le réchauffement du carré n° 1 est retardé jusqu'à la fin août ; le carré n° 2 présente un refroidissement anormal dans la seconde quinzaine de janvier et un brutal réchauffement dans le dernier mois de l'année. Côté américain, l'évolution est sensiblement plus complexe et plus tardive dans l'année (figure 24).

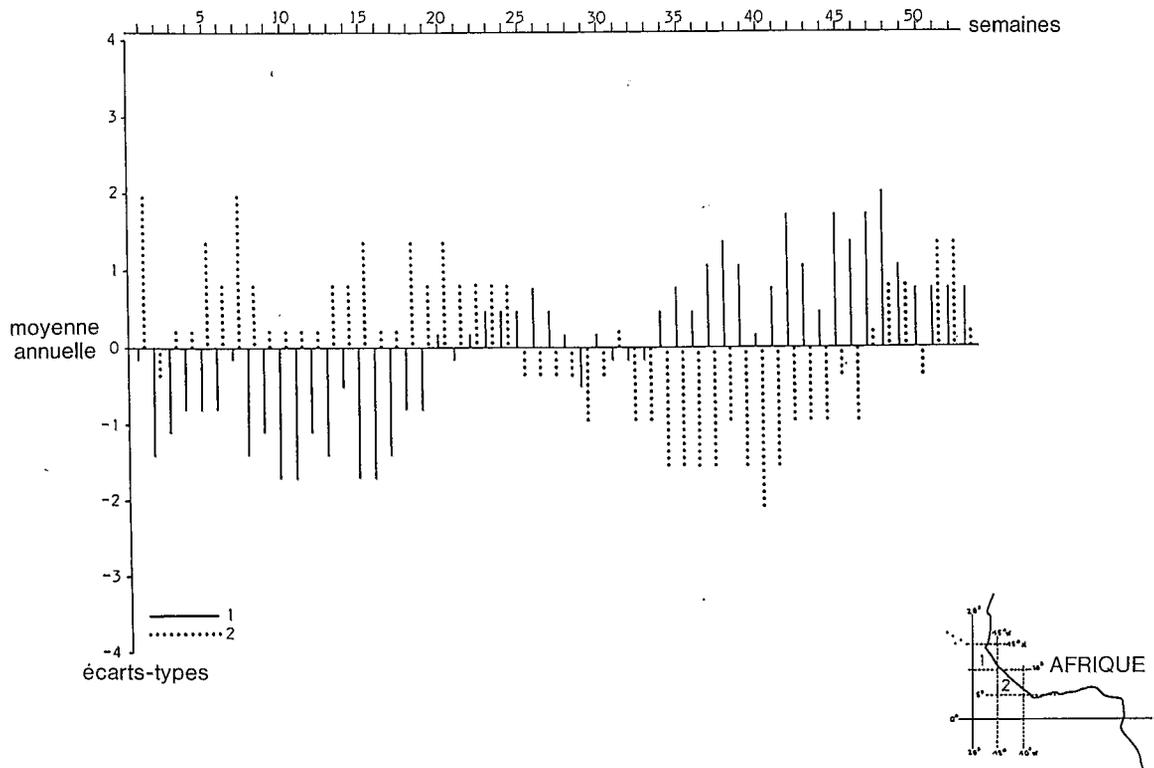


Figure 22. — TEMPERATURES DE SURFACE DE LA MER.

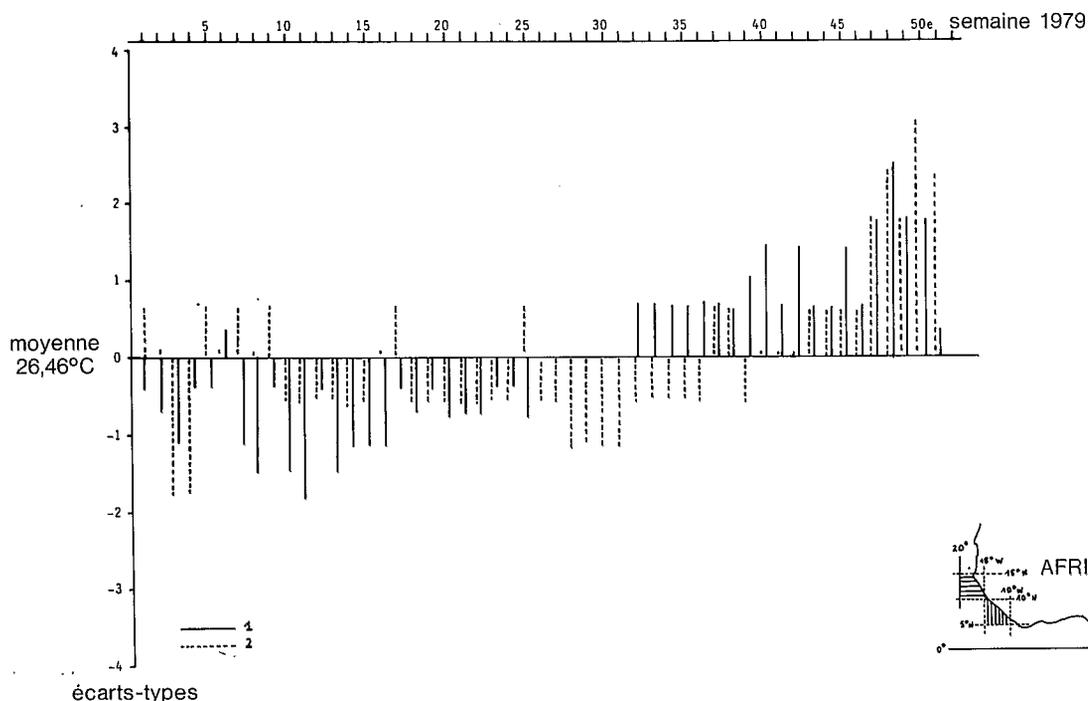


Figure 23. — TEMPERATURES DE SURFACE DE L'OCEAN : ECARTS A LA MOYENNE ANNUELLE 1979.

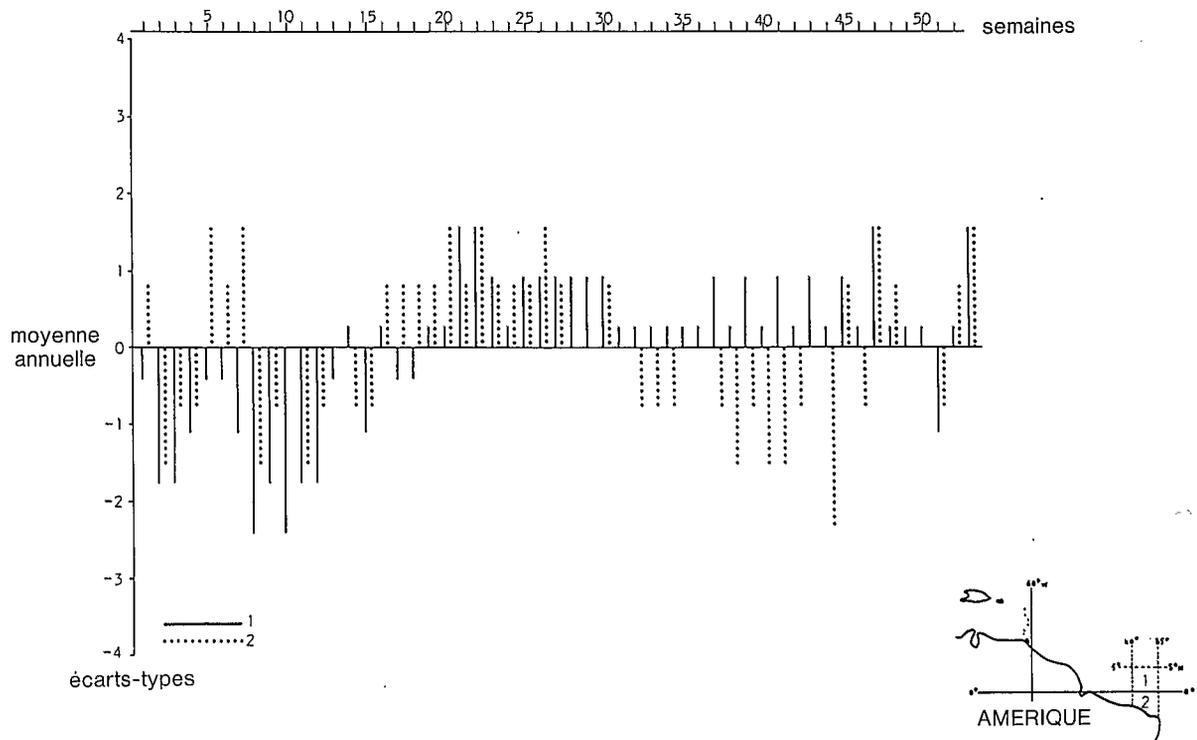


Figure 24. – TEMPERATURES DE SURFACE DE LA MER (1978).

Ces périodes d'inversion des structures thermiques des eaux de surfaces de l'océan ont fait l'objet, pour chaque carré, d'une analyse des ensembles nuageux (cf. tableau 1) à caractère convectif. Quatre niveaux de convection ont été retenus :

- 1.) convection nulle (ciel clair),
- 2.) convection faible : Cu d'azilé (n° 3 du tableau 1),
- 3.) convection cellulaire développée (n° 4 du tableau 1),
- 4.) forte convection, sous ses différentes formes (nos 15 à 19).

Dans le carré « austral » africain (figure 25), la convection ne cesse d'être forte en mai-juin 1979, alors que dans le carré « boréal », au sud-du Cap-Vert, la forte convection apparaît dès le changement des températures de surface de l'océan, sans atteindre le niveau qu'elle a plus au sud-est.

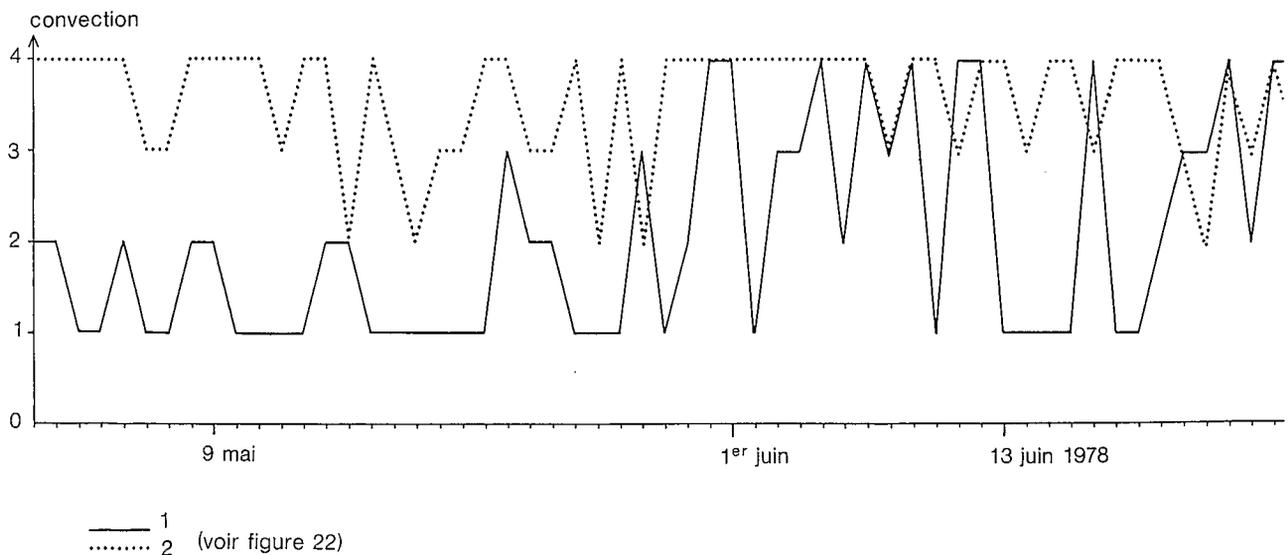


Figure 25. – VARIATIONS DES TYPES DE NUAGES.

Le même synchronisme apparaît entre l'anomalie froide de janvier 1979 dans le carré 2 et une spectaculaire raréfaction, sinon disparition, des ensembles nuageux convectifs (*figure 26*).

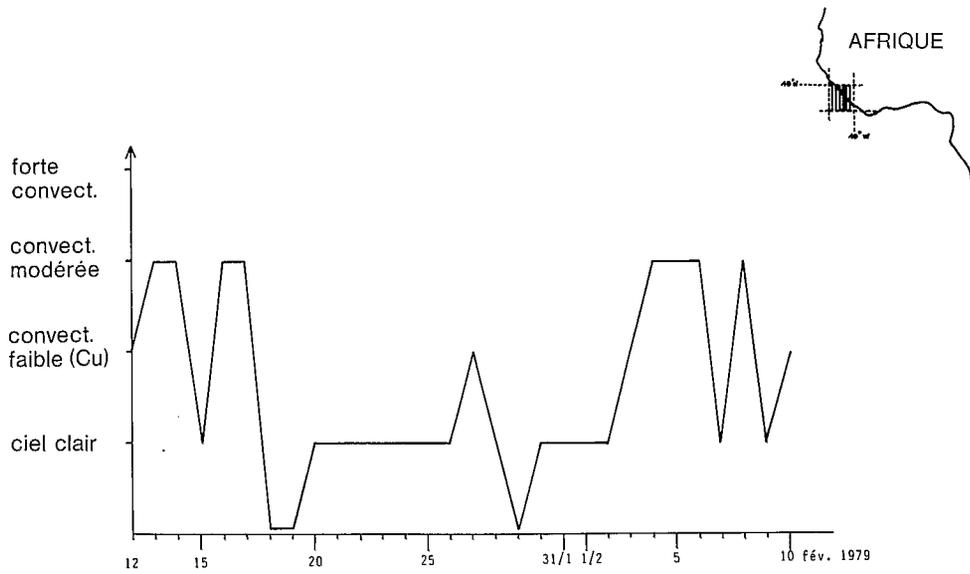


Figure 26. – TYPES D'ENSEMBLES NUAGEUX EN JANVIER-FEVRIER 1979 AU LARGE DES COTES DE GUINEE.

Côté américain (*figure 27*), la convection est dans l'ensemble moins marquée. Elle est comparable dans les deux carrés de référence jusqu'au 1^{er} août : ensuite, elle se limite pratiquement aux Cu d'alizé dans le carré austral (au sens complet ici), alors qu'elle se renforce légèrement dans le carré boréal : ce phénomène apparaît donc quasi synchrone avec l'inversion thermique de la surface de l'océan.

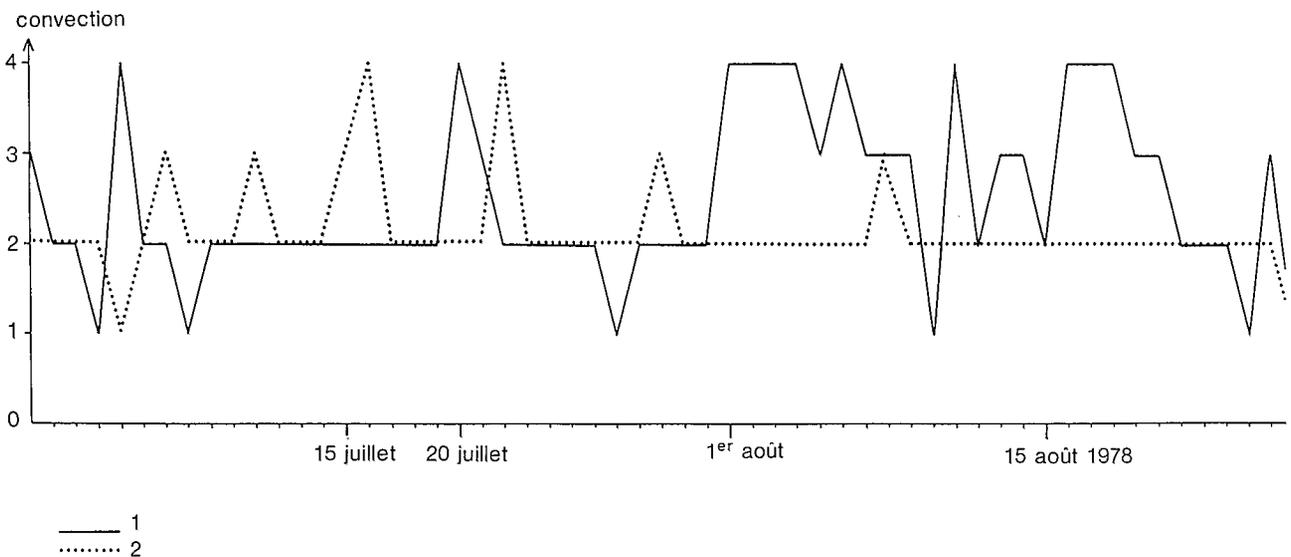


Figure 27. – VARIATIONS DES TYPES DE NUAGES.

CONCLUSIONS

Ces faits peuvent susciter les remarques suivantes :

a) La situation géographique (et climatique) des deux carrés océaniques « africains » et des deux carrés « américains » n'est évidemment pas la même. Du point de vue aérologique, la tendance à la convergence est beaucoup plus affirmée du côté africain, où la nébulosité est, dans l'ensemble, supérieure, surtout entre 5 et 10°N : ici, la fréquence et la situation zonale de la CIT linéaire ne semblent guère affectées par les températures de surface de l'océan, supérieures de 2°C en juin (28°C) par rapport à août. A l'inverse, du côté américain, avec des températures de l'océan pourtant identiques, la convection est gênée par la faible convergence dynamique dans l'atmosphère au NW du Cap Sao Roque, et même par la divergence en août, au nord de l'équateur.

En somme, la disposition des types d'ensembles nuageux convectifs, cumulés mensuellement, paraît largement indépendante de celle des températures de surface de l'océan.

b) Le point de vue se révèle sensiblement différent si l'on considère les phénomènes convectifs dans leur succession quotidienne. Certes, le mode de calcul des températures du type GOSSTCOMP utilisé ici, tend, on l'a vu, à réduire d'éventuelles anomalies thermiques ; celles-ci sont influencées, d'autre part, par la situation météorologique présente sur place : ainsi, une forte nébulosité à caractère pluviogène abaissera les températures et un ciel dégagé les élèvera. Du moins, l'évolution thermique d'ensemble dans l'année et dans les périodes d'inversion de cette évolution sont-elles mises en évidence.

L'important est que l'activité convective dans l'atmosphère peut se manifester, quasiment jour par jour, en phase avec l'évolution thermique de la surface océanique (*figures 17 et 18*).

Voici, sans doute, une voie de recherches à suivre, si l'on pense que le film des événements peut aider à s'approcher de l'enchaînement des processus.

RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

- DIAGNE M (1980) : Recherches sur la physionomie des pluies des espaces forestiers guinéo-libériens et guyanais : étude comparée. Thèse de 3^e cycle, Université de Dijon, 287 p. multigr.
- DIAGNE M., D. LAMARRE, P. PAGNEY (1984) : Remarques sur la convergence intertropicale : l'exemple de l'Atlantique. Supplément au n° 57 du Courrier du CNRS : la Géographie, images des sciences de l'homme, pp. 64-67.
- GUILCHER A. et P. PAGNEY, édit. (1982) : Les interrelations air-mer. Actes du colloque de Marseille-Endoume. Norois, n° 116.
- HASTENRATH and LAMB (1977) : Climatic atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific oceans. The University of Wisconsin Press, Madison.
- LAMARRE D., J. MOUNIER, M. TABEAUD (1984) : Interprétation de la circulation atmosphérique d'après les images des satellites géostationnaires GOEST-Est et Météosat. Revue Géographique de l'Est, tome XXIV, n° 1, pp. 89-99.
- PAGNEY P. et S. NIEUWLOT, édit. (1986) : Etudes de climatologie tropicale. Masson, Paris, 206 p. ouvrage bilingue français/anglais.
- PAGNEY P. et MM. YOSHINO, édit. (1986) : Climatologie tropicale et établissements humains. Actes du symposium de Dijon, Université de Dijon, Centre de Recherches de Climatologie, USA 909/CNRS, 504 p.
- THEPENIER R.M. (1983) : Etude des perturbations nuageuses de l'hémisphère nord. Thèse Sciences, Université de Paris VI, 181 p. + 1 vol. de fig.
- VULQUIN-LUCAS A. (1980) : Comparaison entre le climat de Buenos-Aires et les climats de la façade orientale du Brésil. Thèse Lettres, Université de Dijon, 553 p. multigr.