

VARIABILITÉ DES SYSTÈMES NUAGEUX CONVECTIFS OBSERVÉS PAR LE SATELLITE GMS SUR LE PACIFIQUE OUEST

G.L. LIBERTI, I. JOBARD, M. DESBOIS

RÉSUMÉ

L'expérience Toga-Coare a permis de recueillir une quantité importante de données sur la zone convective (et pluvieuse) la plus active de la planète. Les résultats préliminaires d'une analyse satellitaire de la variabilité temporelle de ces systèmes convectifs sont présentés ici. En particulier, on montre que l'activité des systèmes est modulée à basse fréquence (40-60 jours et 10-20 jours) ainsi que sur une période de deux jours et par le cycle diurne. Le cycle diurne océanique est surtout marqué pour les tours convectives, qui présentent un maximum vers 2 heures du matin, contrairement à ce qui est observé sur les continents (maximum de fin d'après midi). Le cycle diurne de l'aire précipitante observé par radar se rapproche de celui obtenu pour les tours convectives observées en infrarouge.

¹Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS - École Polytechnique, F-91128 Palaiseau cedex, France.

INTRODUCTION

La forte variabilité spatio-temporelle des précipitations est un phénomène bien connu des hydrologues continentaux. Elle représente un obstacle majeur à la détermination des précipitations par méthodes de télédétection, car même si la mesure instantanée était parfaite, un sous échantillonnage pourrait conduire à de fortes erreurs sur les valeurs moyennes (les satellites à défilement peuvent observer le même point au mieux toutes les douze heures). On pense généralement que la variabilité est plus faible sur les océans pour lesquels l'apport des satellites est encore plus nécessaire. Cependant, l'expérience Gate dans l'Atlantique tropical, grâce à des mesures radar des précipitations, a déjà permis de sérieuses études sur la variabilité des précipitations océaniques, montrant qu'elle était aussi fort importante à diverses échelles spatio-temporelles (MEISNER et ARKIN, 1987). Le but de notre étude, qui porte sur la région du Pacifique équatorial ouest, est dans un premier temps de caractériser la variabilité des systèmes nuageux tels qu'ils apparaissent sur l'imagerie infrarouge du géostationnaire GMS ; une seconde phase de l'étude sera de comparer ces mesures aux mesures de précipitations fournies par les radars pendant l'expérience Toga-Coare (WEBSTER et LUKAS, 1992). Un des objectifs poursuivis est de quantifier les erreurs faites dans les déterminations satellitaires des précipitations, en fonction des échelles spatio-temporelles recherchées. Il faut pour cela connaître à la fois l'erreur de mesure sur les précipitations instantanées et la variabilité spatio-temporelle des précipitations à mesurer. Ce type d'études pourrait se faire de la même manière sur des régions continentales, à condition de disposer d'un réseau de validation adapté, à une échelle plus grande que le réseau mis en place par l'Orstom à Niamey pour Epsat-Niger (LEBEL *et al.*, 1992).

LES DONNÉES UTILISÉES

L'étude présentée ici porte essentiellement sur les données du satellite géostationnaire japonais GMS sur la région de l'expérience Toga-Coare. La figure 1 montre l'emplacement de la zone considérée sur une image IR de GMS (13 décembre 1992). Le carré représenté au centre de l'image est une zone de 5 x 5 degrés où une observation intensive des phénomènes avait été mise en place de novembre 1992 à février 1993. C'est sur ce carré que porte la plupart des analyses présentées ici.

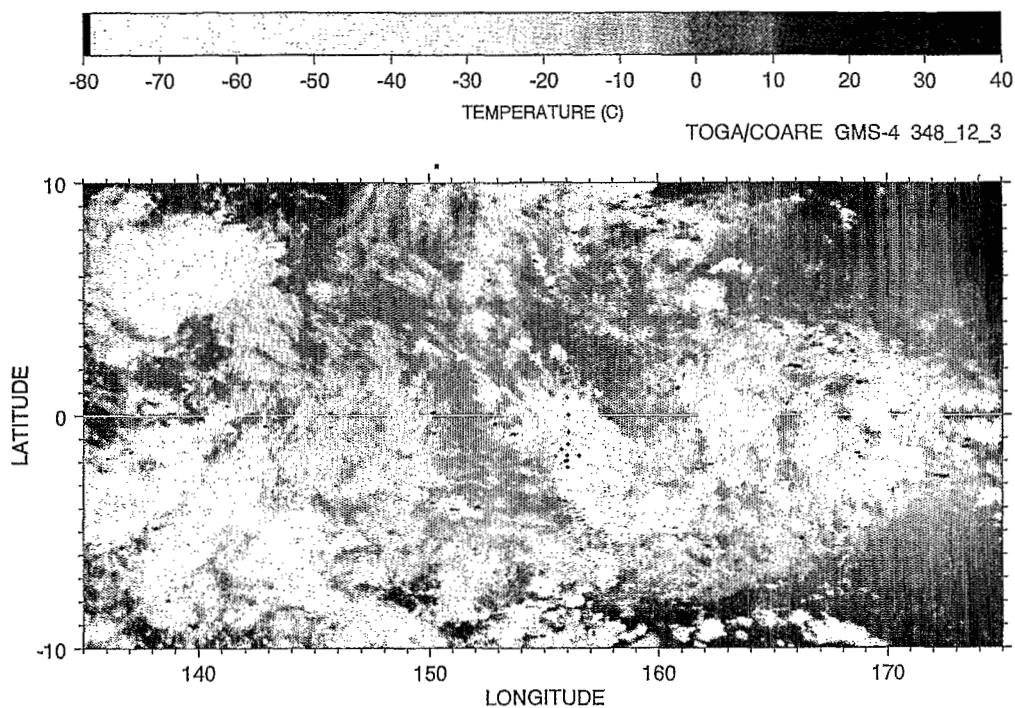


Figure 1 :

La zone de Toga-Coare et la zone centrale de 5 x 5° dont les données sont analysées ici. L'image GMS infrarouge montre la situation générale des nuages le 13 décembre 1992.

Les données de satellite que nous avons utilisées (tableau 1) proviennent de diverses sources : l'une est dédiée à l'expérience Toga-Coare elle-même (FLAMENT et BERNSTEIN, 1993), l'autre à l'expérience d'Intercomparaison d'Algorithmes satellitaires de Précipitations (AIP-3) du Programme de Climatologie Globale des Précipitations (GPCP) à laquelle nous participons au moyen de notre algorithme combiné micro-ondes-infrarouge (MAIA et JOBARD, 1994) et qui concerne la zone centrale seulement. Nous disposons par ailleurs des données micro-onde SSM/I des satellites DMSP F10 et F11 sur la zone centrale et du satellite F11 sur toute la région, par l'intermédiaire du réseau Wetnet (NASA, 1991), ainsi que d'un certain nombre de données recueillies pendant Toga-Coare et des analyses météorologiques du modèle du CEPMMT sur la région.

Tableau 1

Les données utilisées

Images IR	Flament et Bernstein	GPCP : AIP-3
GMS	(Univ. of Hawaii)	(BMRC - Melbourne)
Zone	10° N - 10° S 135° E - 175° E	1° N - 4° S 153° E - 158° E
Période	novembre 92 - février 93	novembre 92 - février 93

À titre d'exemple, nous montrons sur la figure 2 une série de données GMS infrarouge toutes les heures sur le carré central de $5 \times 5^\circ$. Nous pouvons y voir l'évolution d'un des éléments des « gros » systèmes qui ont affecté la région pendant le mois de décembre ; la taille du système observé après 12 heures TU est considérable, elle est de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre.

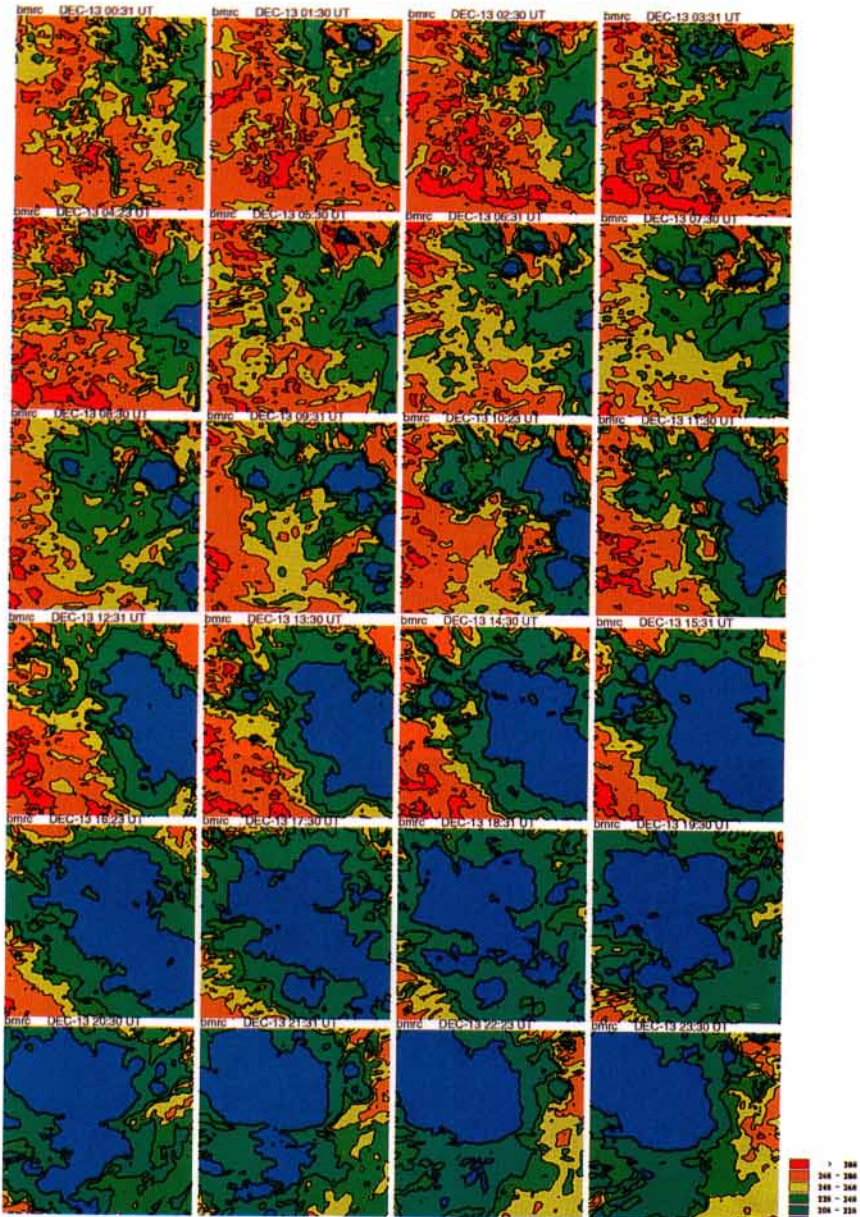


Figure 2 :

Évolution de la couverture nuageuse dans le carré central (voir figure 1) pendant la journée du 13 décembre 1992. Les seuils représentés sur l'image IR GMS correspondent à des températures radiatives allant de 208 à 288 K par pas de 20 K.

ÉVOLUTION TEMPORELLE DES INDICATEURS DE COUVERTURE NUAGEUSE

Les indicateurs étudiés ici sont les proportions de la zone de $5 \times 5^\circ$ présentant des températures radiatives IR inférieures à des seuils choisis. Ce type d'indicateur est souvent utilisé pour l'étude des précipitations, par exemple dans la méthode Goes Précipitation Index (GPI) d'ARKIN et MEISNER (1987). Les seuils ont été choisis à 208 K (seuil utilisé pour la détection de la convection très profonde dans Toga-Coare), 235 K (seuil utilisé dans l'indicateur de précipitation GPI), 253 K (seuil choisi dans certains algorithmes (NEGRI *et al.* 1984, ADLER et NEGRI, 1988) comme étant la température maximale des nuages précipitants) et 273 K (seuil pour délimiter l'aire totale estimée du système nuageux).

L'évolution temporelle de ces quatre indicateurs, sur le carré central défini ci-dessus, pendant les quatre mois de l'expérience Toga-Coare, est présentée sur la figure 3. On distingue immédiatement sur cette figure les grandes périodes d'activité convective intense, par exemple en décembre et en février. Il est également clair qu'à l'intérieur de ces périodes elles-mêmes, il existe une modulation de la convection de périodicité beaucoup plus courte. On observe aussi que les phases aux différents seuils sont légèrement décalées.

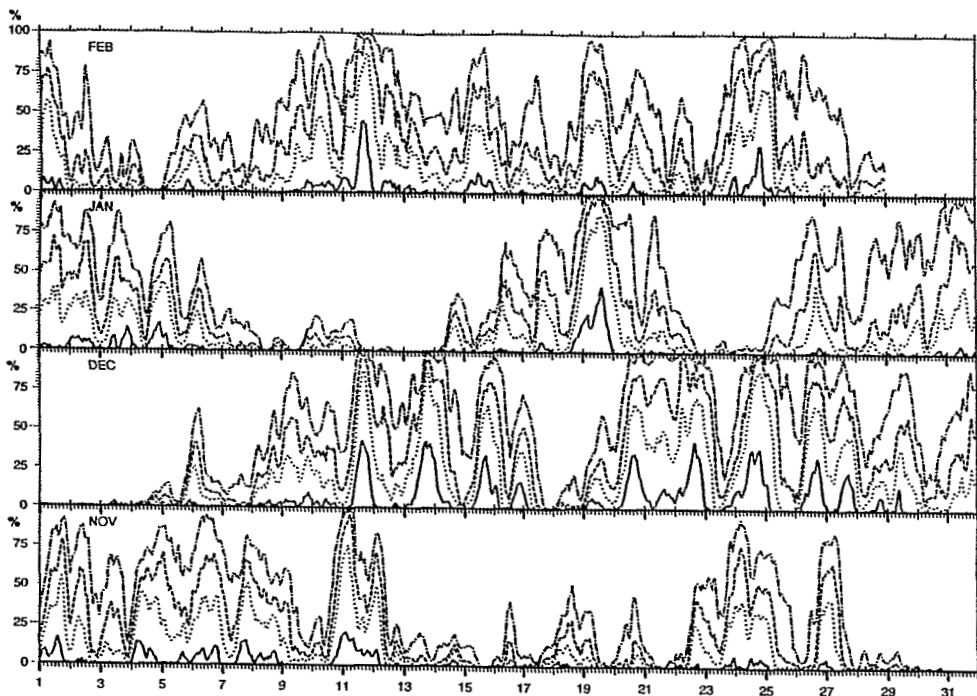


Figure 3 :

Évolution temporelle, sur les 4 mois de l'expérience, des pourcentages de l'aire de $5 \times 5^\circ$ couverts par des nuages de température radiative inférieure aux seuils 208 K (—), 235 K (.....), 253 K (— — —) et 273 K (— · — · —).

Un des moyens de mettre en évidence les échelles temporelles concernées est la construction du corrélogramme des paramètres étudiés (figure 4). Il apparaît une nette différence entre les corrélogrammes construits pour les différents seuils : leur portée est d'autant plus longue que le seuil choisi correspond à une température élevée. Ceci signifie que les amas nuageux pris dans leur ensemble, c'est-à-dire en incluant les nuages convectifs et stratiformes, sont davantage modulés à des échelles de temps longues. Par contre, les parties des nuages qui atteignent des températures inférieures à 208 K sont caractérisées par des échelles de temps beaucoup plus courtes, puisque leur corrélogramme décroît beaucoup plus rapidement en fonction du temps.

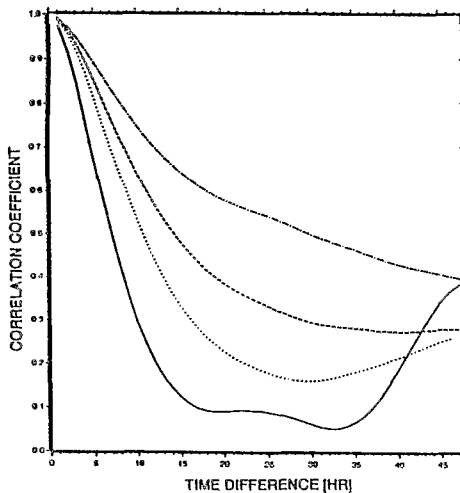


Figure 4 :

Corrélation temporelle entre les paramètres étudiés, correspondants aux seuils 208 K (—), 235 K (.....), 253 K (— —) et 273 K (— · — ·), donnant une indication du temps de corrélation en fonction des classes nuageuses.

Pour avoir une idée plus précise des périodicités intervenant dans la modulation des systèmes, une analyse spectrale a été également effectuée, sur les séries temporelles des quatre indicateurs considérés (figure 5). Le tableau 2 indique les périodes dominantes dans les spectres de ces quatre paramètres. On note en particulier une période de 40-60 jours, pouvant correspondre aux ondes de MADDEN-JULIAN (MADDEN et JULIAN, 1972) ou à la propagation de l'Iso (*Intra Seasonal Oscillation*), une période entre 10 et 20 jours déjà observée dans d'autres régions tropicales, en particulier sur la mousson indienne, une période de deux jours qui semble être principalement associée aux très gros systèmes du mois de décembre, et enfin le cycle diurne, qui apparaît au seuil le plus froid (208 K). Pour les périodes autour de 2 jours et 1 jour, les résultats sont cohérents avec la représentation en corrélogramme de la figure 4.

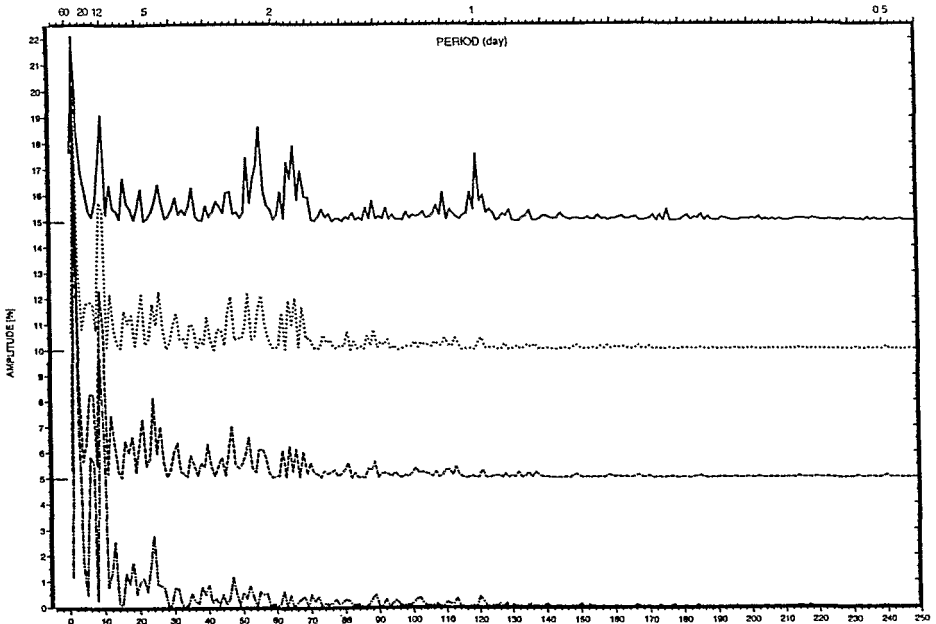


Figure 5 :

Spectre temporel des indicateurs étudiés correspondants aux seuils 208 K (—), 235 K (.....), 253 K (-----) et 273 K (-.-.-.); en abscisse, nombre d'ondes sur les quatre mois considérés (sur l'échelle supérieure sont données les périodes correspondantes, en jour); en ordonnée, module de l'amplitude de l'harmonique correspondant (un décalage de 5% entre les courbes a été imposé).

Tableau 2
Périodes dominantes dans les spectres des paramètres étudiés pour les quatre seuils

208 K		253 K		253 K		273 K	
Période (jour)	Amplitude (%)	Période (jour)	Amplitude (%)	Période (jour)	Amplitude (%)	Période (jour)	Amplitude (%)
60	7,1	60	10,2	60	14,4	60	17,9
12	4	13,3	5,7	13,3	7,3	13,3	9,6
2,1	3,6	12	5,3	12	5,8	40	6,6
40	3,4	40	3,3	40	4,2	12	6,4
1,8	2,8	4,6	2,2	17,1	3,2	20	5,7
120	2,6	2,3	2,1	20	3,2	17,1	5,6
1	2,5	10	2,1	5	3,1	5	2,7
2,3	2,4	5,7	2,1	10	2,4	9,2	2,5
13,3	2,3	2,1	2,1	5,7	2,3	6,7	1,7
1,9	2,2	2,6	2	2,6	2	30	1,7

LE CYCLE DIURNE

Pour mettre en évidence le cycle diurne moyen d'une façon simple, il suffit de calculer la moyenne mensuelle des indicateurs pour chaque heure prise individuellement ; cette méthode a déjà été utilisée, entre autres, dans les études du LMD sur la convection africaine (DESBOIS *et al.*, 1989). La figure 6 montre les variations diurnes moyennes des quatre indicateurs, correspondants aux seuils 208 K, 235 K, 253 K et 273 K, pour les quatre mois pris individuellement sur les figures 6 (a), (b), (c) et (d), et pour l'ensemble des quatre mois, sur la figure 6 (e). Sur chaque figure, deux cycles (soit 48 heures) sont représentés. Les valeurs en ordonnées sont les variations de la moyenne de chaque paramètre pour chaque heure, en valeur relative à la moyenne totale.

Il apparaît sur ces figures :

- i) que le cycle diurne est le plus marqué pour le seuil 208 K (avec un maximum vers 2 heures du matin), comme on le voit sur la figure 5, et qu'il reste cohérent d'un mois sur l'autre. Au mois de novembre, un second maximum apparaît en début d'après midi ;
- ii) qu'un léger cycle existe aux autres seuils, montrant généralement deux *maxima* (matin et après-midi) mais qu'il présente une moins bonne cohérence d'un mois sur l'autre.

À titre de comparaison, nous avons porté sur la figure 6 (f), la variation diurne, sur la même région et la même période de quatre mois, de la surface d'écho radar au seuil 20 dBZ (THIELE *et al.*, 1994). Ce cycle observé, plus directement relié aux précipitations, est proche de celui observé à 208 K, mais présente aussi des analogies avec celui observé à 235 K qui révèle un léger maximum secondaire l'après-midi.

Il apparaît donc, sur la région de $5 \times 5^\circ$ considérée, que le cycle diurne des nuages les plus élevés est assez semblable au cycle diurne des précipitations. Ceci permettrait d'étendre les résultats observés sur la région centrale de Toga-Coare à des régions beaucoup plus vastes grâce à l'utilisation du satellite seul.

Dans un premier temps, nous avons cherché à vérifier que le cycle diurne trouvé dans la *petite* région considérée était cohérent avec ce qui est observable par satellite dans les régions voisines. Pour cela, nous avons utilisé l'ensemble de données dont nous disposons sur la zone entière de Toga-Coare, mais seuls les mois de janvier et février ont été traités, en raison d'un nombre important de données manquantes dans cette série de données pour les autres mois. La figure 7 représente pour le mois de février, les cycles diurnes obtenus pour chacun des carrés de $2,5 \times 2,5^\circ$ de la zone de Toga-Coare.

Le cycle à 208 K est bien sûr mal défini dans les régions où il y a peu de nuages très froids. Toutefois, sur une bonne partie de la région océanique, il y a un maximum qui se situe entre 0 heure et 2 heures du matin, ce qui est cohérent avec le cycle observé sur la zone centrale.

Pour les autres valeurs de seuil, il existe une variation en fonction des régions. Sur les régions océaniques, les *maxima* peuvent être fortement décalés par rapport à ceux observés au seuil 208 K. On note le comportement très spécifique des régions continentales (Nouvelle Guinée) où, lorsqu'il y a le maximum de couverture nuageuse, celle-ci est beaucoup plus étendue sauf pour les nuages très froids. On observe également que le cycle diurne est plus cohérent sur le continent que sur l'océan.

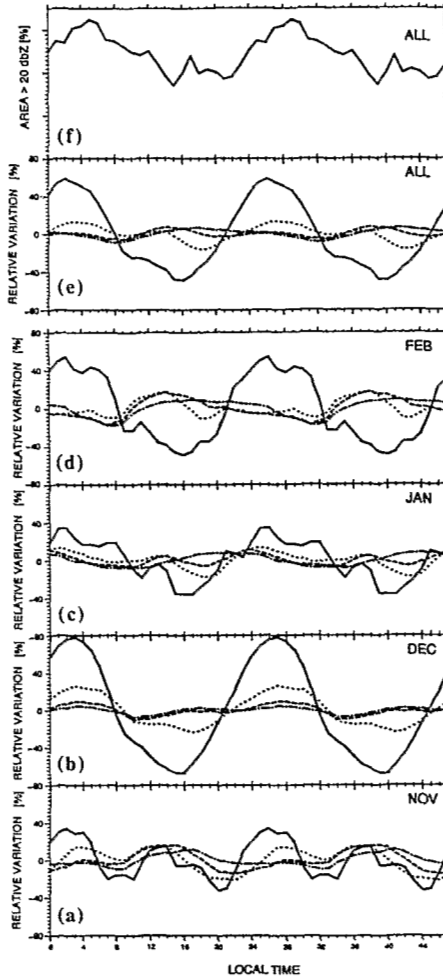


Figure 6 :

Variation diurne moyenne des quatre indicateurs, correspondants aux seuils 208 K (—), 235 K (.....), 253 K (----) et 273 K (-.-.-.-), pour les quatre mois pris individuellement sur les figures 6 (a), (b), (c) et (d), et pour l'ensemble des quatre mois (sur la figure 6 (e)). Sur chaque figure, deux cycles (soit 48 heures) sont représentés. Les valeurs en ordonnées sont les variations de la moyenne de chaque paramètre pour chaque heure, en valeur relative à la moyenne totale.

La figure 6 (f) représente la variation diurne moyenne, sur la période de 4 mois, de la surface d'écho radar au seuil 20 dBZ.

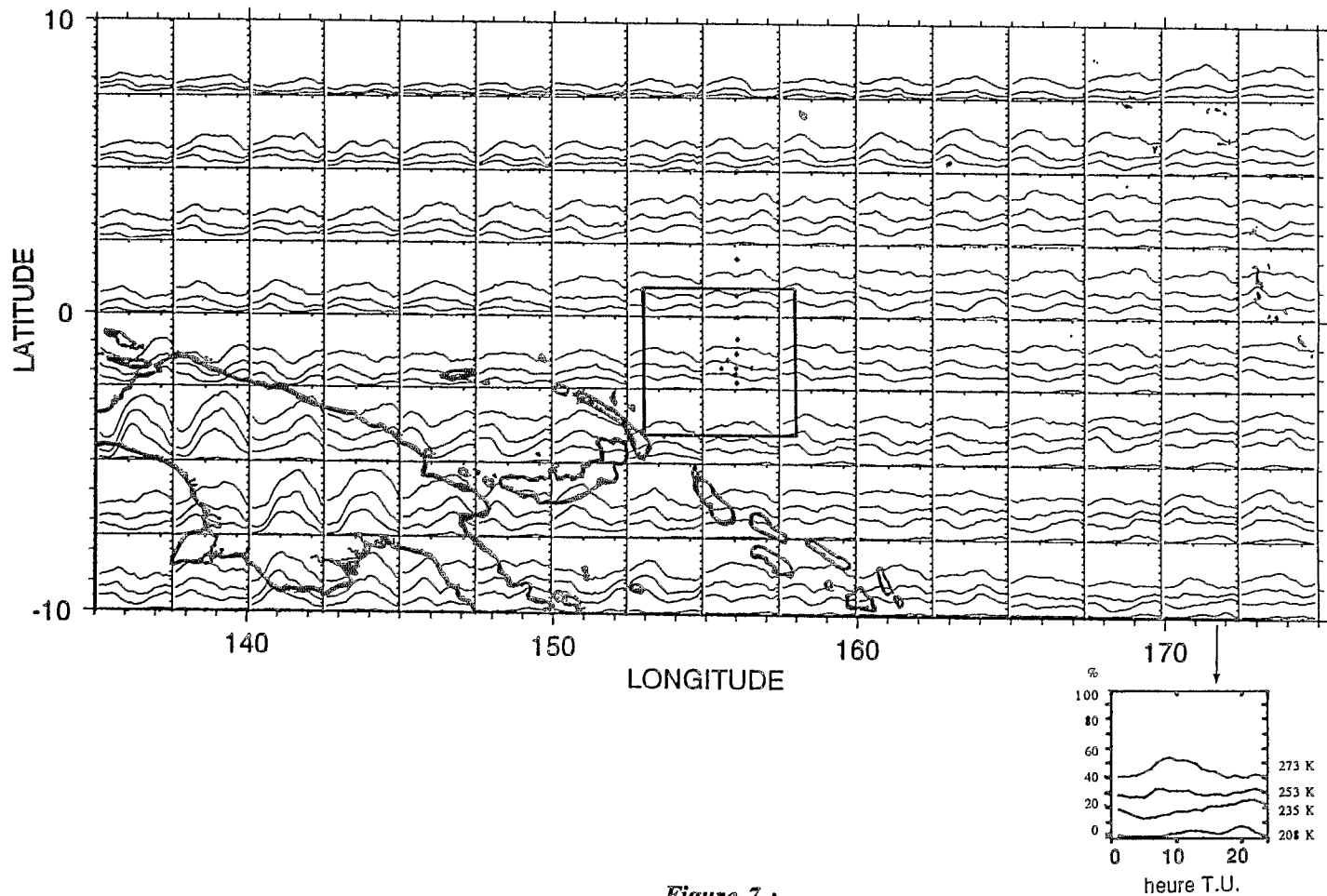


Figure 7 :

Cycles diurnes observés pour le mois de février, pour chacun des carrés de $2,5 \times 2,5^\circ$ de la zone Toga-Coare. Pour chaque carré, sont représentés les valeurs moyennes du pourcentage de couverture nuageuse pour les quatre seuils à chaque heure (en heure TU).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude préliminaire des données GMS pendant la période Toga-Coare a permis de confirmer que les systèmes convectifs (précipitants) du Pacifique Ouest ont des sommets froids beaucoup plus étendus que ceux des régions continentales ou océaniques étudiées antérieurement. Ces systèmes sont soumis à des fluctuations temporelles allant des échelles de l'oscillation intrasaisonnière (40-60 jours) à l'échelle diurne, avec des périodes privilégiées autour de 2 et 13 jours.

Le cycle diurne au-dessus des océans est marqué surtout pour les nuages à sommet très froid, alors qu'il affecte les nuages continentaux d'une manière plus semblable aux différents seuils de température.

Le cycle diurne océanique présente souvent deux *maxima* de nébulosité, le premier affectant les nuages très élevés (tours de convection) avec un maximum à 2 heures du matin, le second les nuages moins froids (nuages stratiformes ?) avec un autre maximum l'après-midi. Par ailleurs, le cycle diurne de l'aire précipitante observée par radar est proche de celui observé par satellite à 208 K.

Nous nous proposons de poursuivre cette étude en comparant nos résultats avec les données de précipitations complètes fournies sur la zone par les radars et les stations ; nous chercherons également à établir des relations entre l'activité, la taille, la structure des systèmes observés sur la grande zone Toga-Coare et les données météorologiques fournies dans la banque de données Toga-Coare. Bien entendu, nous effectuerons sur cette zone une calibration et une évaluation d'algorithmes satellitaires de précipitations utilisant l'IR seul et l'IR plus les micro-ondes (méthode RACC de JOBARD et DESBOIS, 1994) à différentes échelles spatio-temporelles. Nous mettrons en relation ces calibrations avec les observations effectuées dans d'autres régions, en particulier l'Afrique, afin de juger de l'adaptabilité de nos méthodes à différents types de systèmes précipitants.

BIBLIOGRAPHIE

- ADLER R. F., NEGRI A. J., 1988. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Met.*, 27, 30-51.
- ARKIN P. A., MEISNER B. N., 1987. The relationship between convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982-84. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 51-74.
- DESBOIS M., KAYIRANGA T., GNAMIEN B., 1989. Diurnal cycle of convective cloudiness over Tropical Africa observed from Meteosat : Geographic characterization and interannual variations. *Annales Geophysicae*, 7, (4), 395-404.
- FLAMENT P., BERNSTEIN R., 1993. Images from the GMS-4 satellite during Toga-Coare. Soest Technical Report, 93-12, Univ. of Hawaii, Honolulu, 20 p.
- JOBARD I., DESBOIS M., 1994. Satellite estimation of the tropical precipitation using the Météosat and SSM/I data. *Atmos. Research*, 34, 285-298.
- LEBEL T., SAUVAGEOT H., HOEPFFNER M., DESBOIS M., GUILLOT B., HUBERT P., 1992. Rainfall estimation in the Sahel : the Epsat-Niger experiment. *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques*, 37, 3, 201-215.
- MADDEN R., JULIAN P., 1972. Detection of a 40-50-day oscillation in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708.
- MAIA A., JOBARD I., 1994. Les méthodes combinées IR-micro-onde pour la détermination par télédétection des pluies tropicales. Application à l'Afrique et à des régions océaniques. même volume.
- MEISNER B.N., ARKIN P.A., 1987. Spatial and annual variations in the diurnal cycle of large scale tropical convective cloudiness and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2009-2032.
- NASA, 1991. WetNet Users' Manual. Nasa, Marshall Space Flight Center, Al., (USA).

- NEGRI A.J., ADLER R.F., WETZEL P.J., 1984. Rain estimation from satellite : an examination of the Griffith-Woodley technique. *J. Clim. App. Met.*, 23, 102-116.
- THIELE O., GERLACH J., SHORT D., KUCERA P., WOLFF D., FERRIER D., TOKAY A., 1994. Rainfall mapping from Coare shipborne radars. Toga-Coare Data Workshop Report, TCIPPO, Boulder, CO, (USA).
- WEBSTER P.J., LUKAS R., 1992 : Toga-Coare : The coupled ocean-atmosphere response experiment. *Bull. A.M.S.*, 73, N°9, 1377-1416.