

LES ONDES LONGUES DANS L'ATLANTIQUE EQUATORIAL

Joël PICAUT

Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale,
29 N - BREST

Mots-clés :

Interaction océan-atmosphère
Ondes longues
Equateur
Atlantique

Key words :

Ocean-atmosphere interaction
Long waves
Equator
Atlantic

RESUME :

L'intérêt des océanographes pour les zones équatoriales date de moins de 15 années. Sources d'énergie considérable, ces régions sont caractérisées par des courants très importants. L'équateur semble agir comme un guide d'onde et il est facile pour l'atmosphère d'exciter différents types d'ondes qui demeurent piégées autour de l'équateur.

Grâce à l'opération GATE, on a pu mettre en évidence de grandes oscillations dans les niveaux de surface et sub-surface dans les gammes de période 3-5 jours, 14-18 jours et 30-40 jours. De même, le long de la côte du Golfe de Guinée, on a retrouvé des oscillations importantes autour de 15 et 45 jours de période. De prochaines mesures au point fixe de longue durée devraient permettre de mieux connaître le mécanisme de ces nombreuses oscillations.

SUMMARY : *LONG WAVES IN THE EQUATORIAL ATLANTIC.*

Oceanographers have been interested in the equatorial oceans for the past fifteen years only. Recent interest is due to the extremely large amount of energy and strong currents in these areas. The equator may act as a wave guide and thus the atmosphere may easily stir up many different kinds of waves trapped in the equatorial zone.

During the GATE experiment oceanographers made an extensive survey on the equator and found very important oscillations in the surface and sub-surface layers in the range of 3-5 day, 14-18 day and 30-40 day periods. At the same time along the coast of the Gulf of Guinea we have found important oscillations around the periods of 15 and 45 days. **Current and temperature measurements of long duration** are being obtained in an attempt to understand the physical mechanisms of these numerous oscillations.

Introduction.

Jusqu'à une époque récente les zones équatoriales ont été délaissées, et pourtant elles sont le siège de mouvements horizontaux et verticaux très importants qui déplacent d'énormes quantités de chaleur et de mouvement.

L'apport océanographique le plus important de l'opération GATE aura été la mise en évidence du caractère oscillant de l'ensemble des courants le long de l'équateur.

La connaissance de cet ensemble est fondamentale pour les études climatologiques à l'échelle mondiale, mais aussi pour les études de production car les zones équatoriales se sont révélées être des zones de forte productivité très prometteuses pour l'avenir des Nations environnantes.

Historique des mesures.

Il a fallu attendre l'opération internationale de grande envergure EQUALANT en 1963-65 pour avoir une vue d'ensemble de la zone équatoriale. Malheureusement, l'absence presque totale de mesures au point fixe et d'observations vraiment synoptiques a fait que ces oscillations n'ont été mises en évidence que de façon occasionnelle. Rinkel, par des mesures répétées à proximité de l'équateur vers 8° W, note la présence d'oscillation du sous courant. Il trouve une période d'environ 14 jours. Neumann et William, par des observations de trajectoires à l'aide de dragues-parachutes entre 15° W et 14° W, notent la présence de méandres à l'équateur. Plus récemment (1972) notre Laboratoire a observé des variations marquées du sous-courant au sud d'Abidjan. Quatre radiales distantes de 60 milles, visitées 3 fois en moins d'un mois, montrent que le maximum de salinité se déplace

de façon régulière de 40 milles de part et d'autre du parallèle $0^{\circ} 15' S$, avec une période très approximative de 16 jours.

Objectifs de GATE, les opérations.

L'un des objectifs océanographiques de l'expérience GATE était de déterminer l'échelle spatiale et temporelle de ces oscillations, d'étudier leur importance dans les systèmes de courants équatoriaux et de déterminer l'origine éventuelle de ces variations par l'influence de variations atmosphériques ou d'instabilités dans les systèmes de courants. La durée relativement courte de l'ensemble de cette opération (3 mois) devant l'échelle temporelle des oscillations (3 à 40 jours) limite l'étude de ces ondes à un point de vue pratiquement descriptif.

En fait le maximum d'effort apporté dans l'étude de la bande équatoriale a eu lieu durant la phase II de GATE, du 27 juillet au 16 août 1974, seules des mesures complémentaires ont eu lieu dans cette zone durant les phases I et III (Fig. 1). Quatorze navires, représentant huit pays différents, ont participé à cette opération purement équatoriale par : la mise en place de mouillages, d'observations au point fixe ou en déplacement des champs de salinité, de température et de vitesse (ce dernier type de mesures étant assuré par des profileurs de courant mis au point par l'Université de Miami).

Les méandres observés durant GATE.

Trois types d'oscillations ont pu être ainsi mis en évidence. La faible longueur des enregistrements a rendu très imprécises les quelques études statistiques tentées, on a donc défini des bandes de fréquence assez larges pour chacun de ces phénomènes.

1) Oscillation de 3 à 5 jours de période :

Cette oscillation apparaît dans les mesures de courant filtrées, effectuées à l'aide de mouillages de sub-surface, et ce sur trois niveaux différents (Fig. 2). L'analyse spectrale des sonnées brutes confirme ce résultat (Fig. 3). Un calcul de cohérence, entre deux points de mesure distants de 240 km, donne une propagation vers l'ouest de 4 m/s donc $\lambda = 1500$ km. Ce type d'oscillation semble intéresser toute la couche d'eau. La faible cohérence entre les niveaux de mesure indiquerait que l'énergie serait prédominante dans les modes autres que le premier mode barocline.

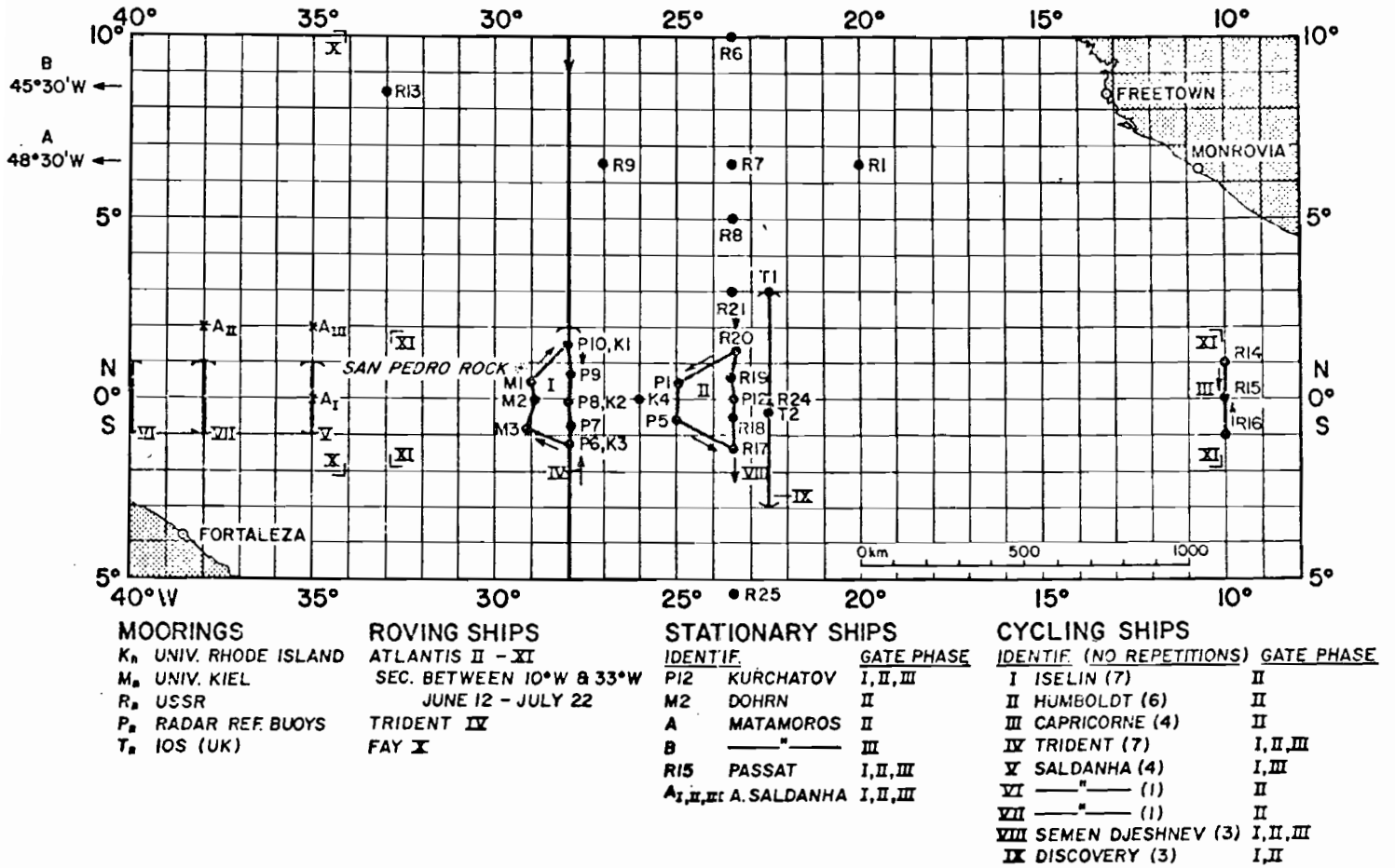
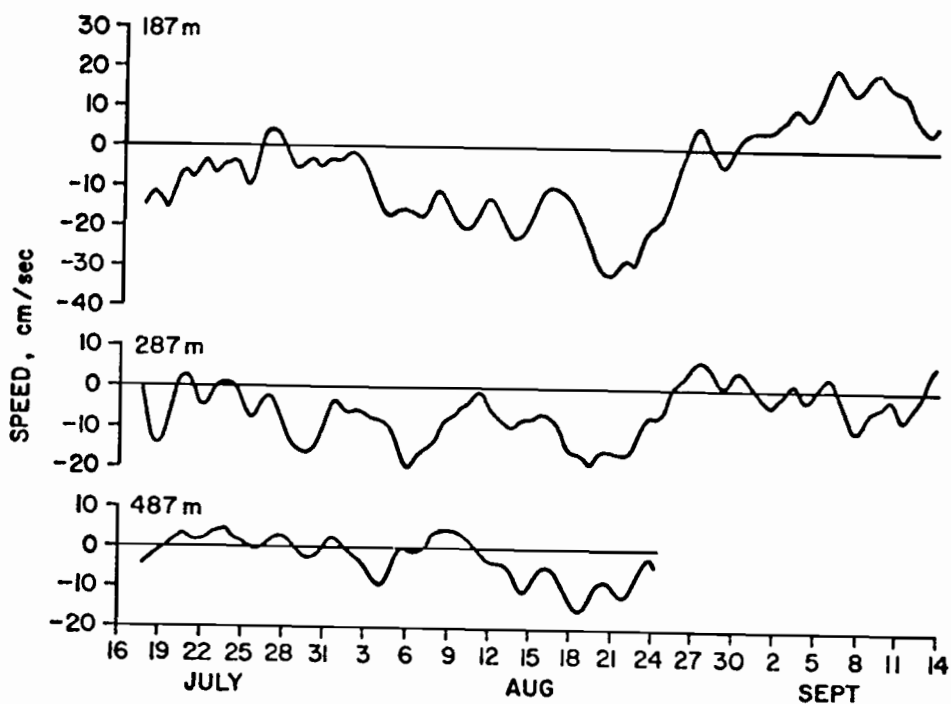
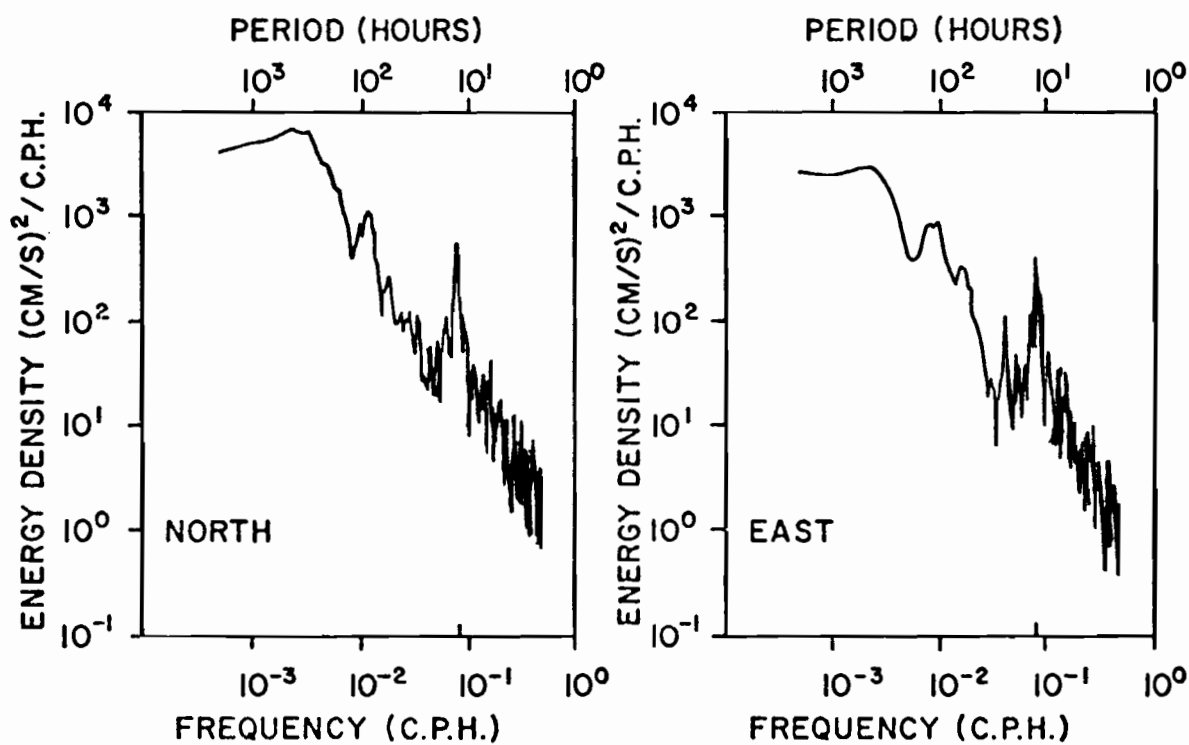


Figure 1 : Répartition des mouillages, navires en déplacement et au point fixe.
(d'après W.P. Duïng)



Composante N-S après filtrage passe bas à 0°, 28° 11' W (d'après R.H. Weisberg).

Figure 2



Energie spectrale des composantes N-S et E-W à 287 m sur le mouillage K2 (d'après R.H. Weisberg).

Figure 3

De tels phénomènes ont déjà été observés dans le Pacifique (WUNSCH and GILL, 1976). Les théories existantes classeraient ces oscillations dans les ondes inertielles de gravité, piégées à l'équateur. L'existence de perturbations atmosphériques, dans cette même bande de fréquence, avec une longueur d'onde de 2500 km, se propageant vers l'ouest le long de la zone intertropicale de convergence (Fig. 4) pourrait expliquer cette onde océanique comme une onde forcée par ce phénomène atmosphérique.

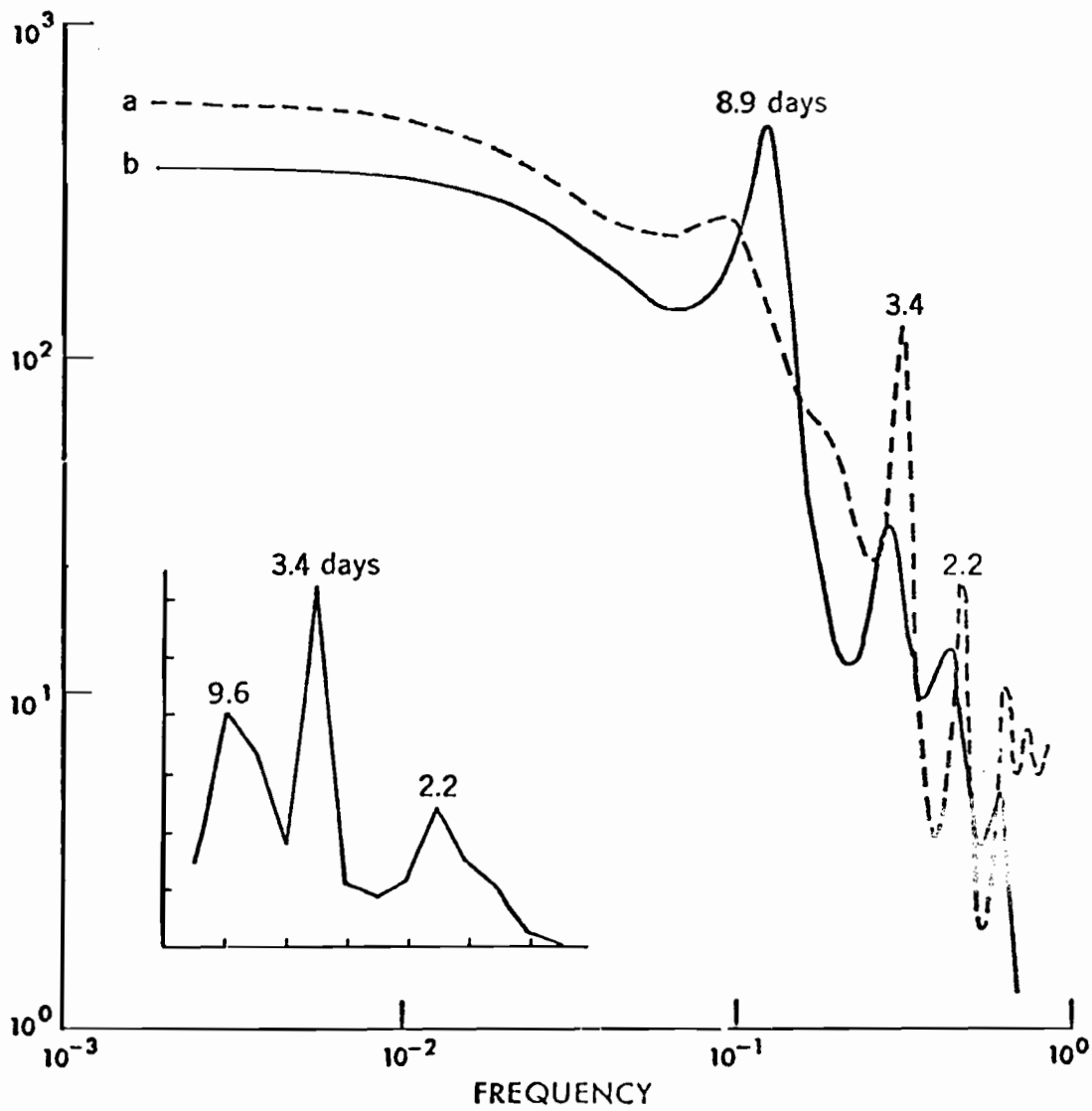
2) Oscillation de 14 à 18 jours de période :

Toujours présente à l'équateur durant l'ensemble de GATE, elle doit faire intervenir des énergies considérables puisqu'elle induit des méandres sur 50 milles de part et d'autre de l'équateur.

Elle a été mise en évidence par toutes les mesures effectuées à proximité de l'équateur : mouillage durant la phase I (Fig. 5), navires décrivant une portion de méridien (Fig. 6). Elle apparaît très nettement au niveau du maximum de salinité (Fig. 7) et sollicite de façon importante la structure thermique (Fig. 8). On notera que l'amplitude de ce phénomène décroît assez rapidement avec la profondeur et qu'il se propage de bas en haut (Fig. 9). L'étude du déphasage entre deux points de mesure distant de 500 km semble indiquer une propagation de cette onde vers l'ouest avec une célérité de 1,9 m/s, la longueur d'onde correspondante étant de 2600 km. Mais une certaine incertitude demeure dans ce calcul qui ne pourra être levée que par des mesures de plus longue durée.

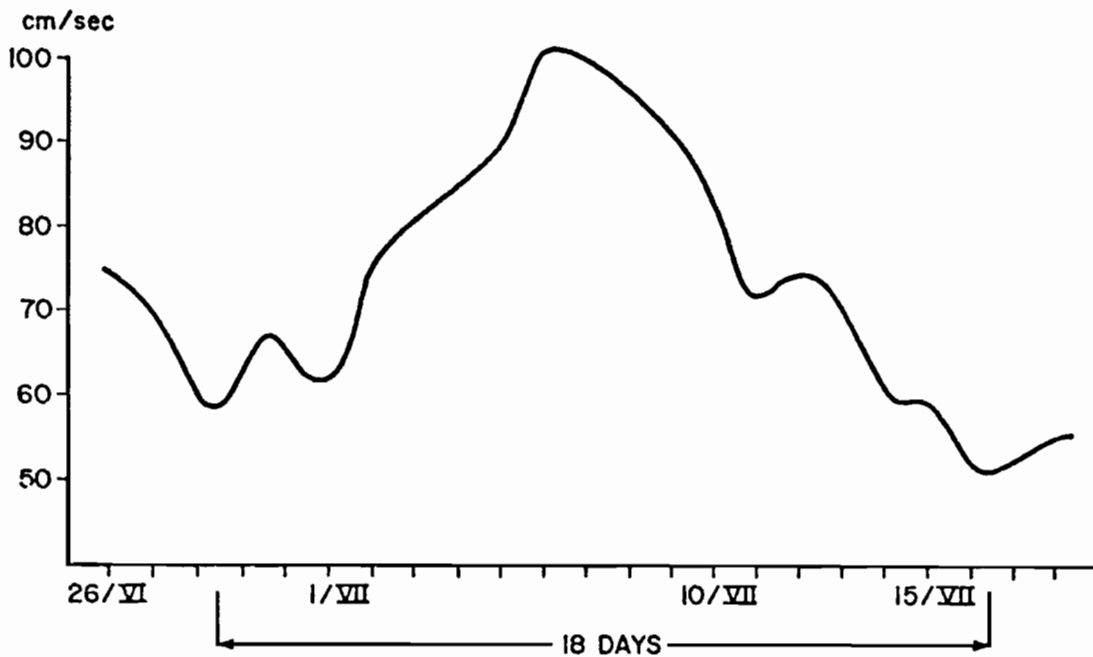
L'origine de cette onde a d'abord été recherchée dans l'atmosphère. Une brusque variation du champ de vent pourrait induire les méandres du contre-courant équatorial. Cette première hypothèse ne semble pas vérifiée par les mesures météorologiques de GATE qui à l'équateur sont demeurées remarquablement stables durant toute l'opération. Une deuxième explication mettrait en cause les alizés qui peuvent osciller à une période voisine de 14 jours (KRISHNAMURTI, 1975). Malheureusement cette oscillation atmosphérique est maximum au-dessus de l'Amazonie mais est très faible en amont des méandres observés.

L'étude de la stabilité des courants équatoriaux par Philander (1976) montre que si le contre-courant portant Ouest est toujours stable, les courants portants Est peuvent être rendus instables par l'effet β et la divergence équatoriale. Cette instabilité donnerait naissance à des ondes se propageant vers l'ouest, de 2-3 semaines de période et d'environ 2000 km de longueur d'onde. La largeur relativement



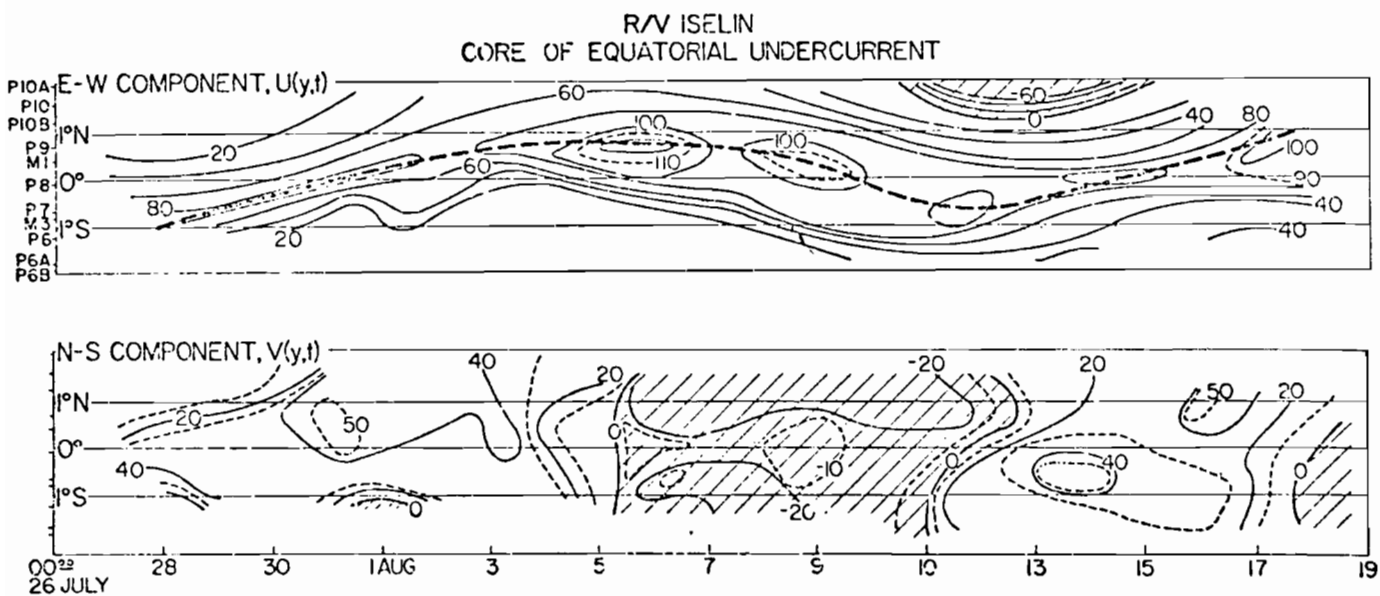
Spectre de la composante méridienne du courant à :
a) $0^{\circ}, 28^{\circ}W, 287m$
b) $1^{\circ}S, 28^{\circ}W, 313m$ (d'après R.H. Weisberg).
en encadré : spectre du vent à 850 mb (d'après D. Rhodenhuis)

Figure 4



Série temporelle de la composante S-N à 0°, 10°W, 5m de profondeur (d'après A. Rybnikov).

Figure 5



Sections temps-latitude des composantes de la vitesse au coeur du contre-courant, d'après les stations le long de 28°W et 29°W. Les maxima des composantes E-W ont été sélectionnés à partir des profils entre 60 et 90 m. (d'après W.P. DuIng).

Figure 6

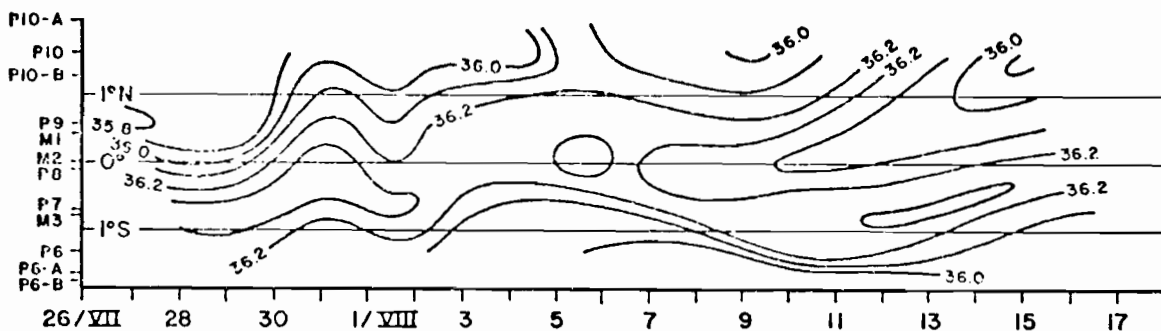
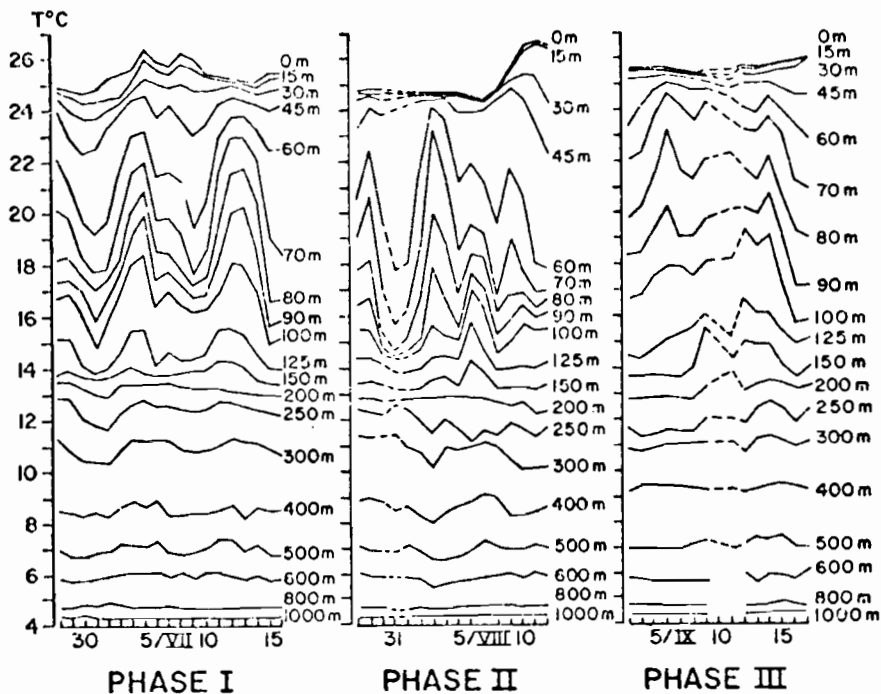


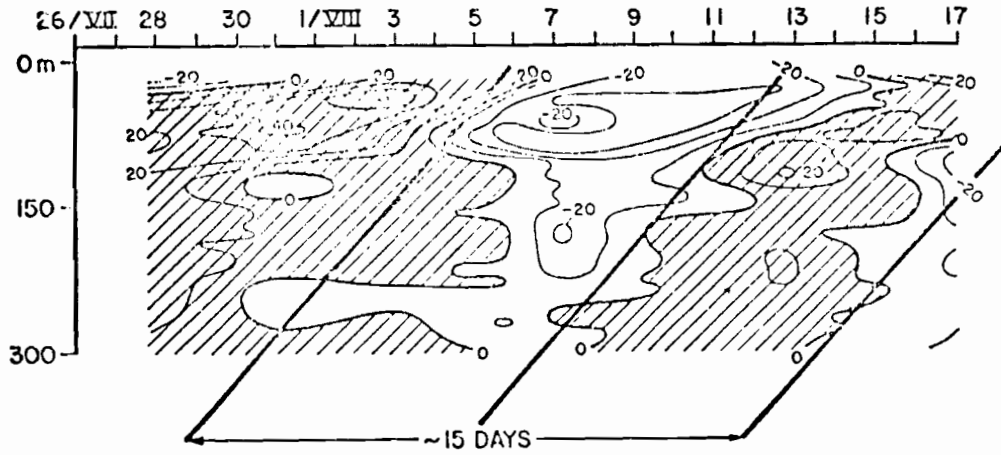
Diagramme temps-latitude du maximum de salinité correspondant au contre-courant équatorial, à partir des observations le long de 28°W et 29°W. (d'après W. Duïng).

Figure 7



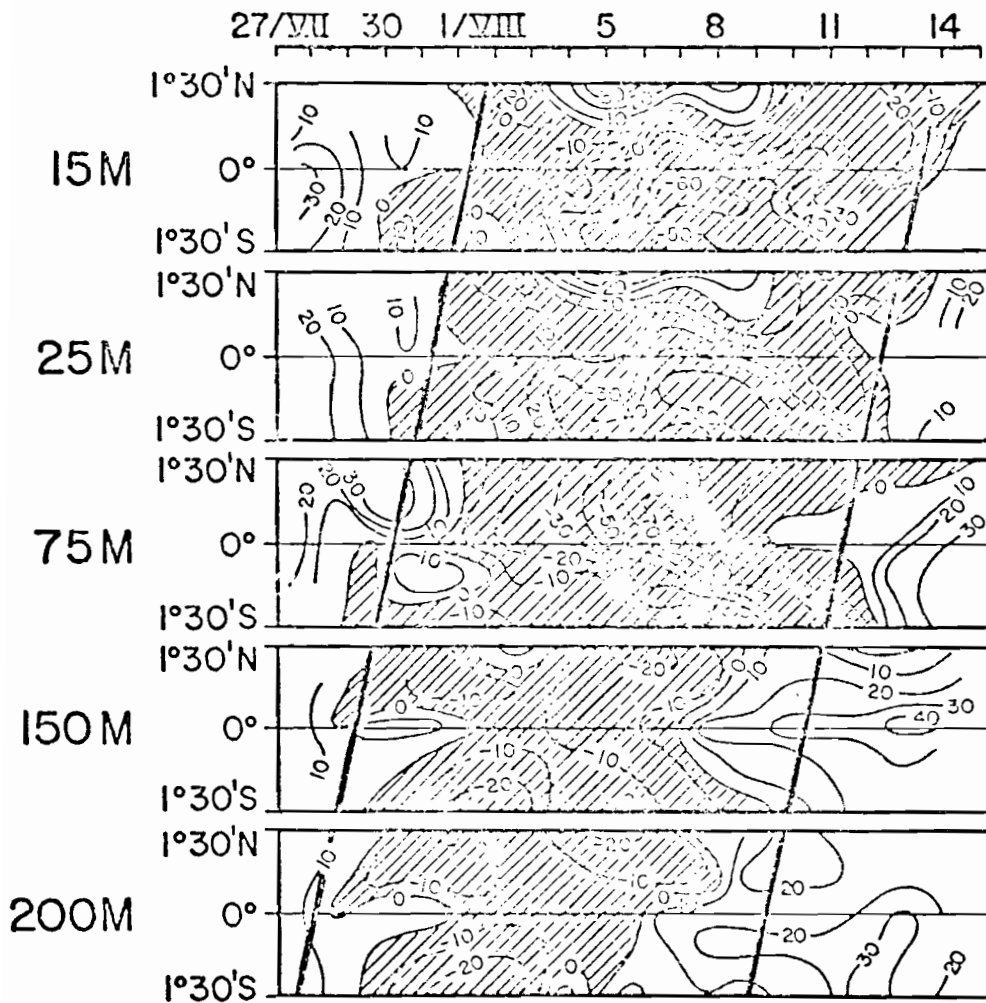
Distribution des températures en fonction du temps et de la profondeur à 0°, 23,5°W durant les 3 phases de GATE (d'après V. Bubnov).

Figure 8



Distribution des anomalies de la composante V en fonction du temps et de la profondeur à 28° W. Les stations ont été sélectionnées de façon à suivre les méandres du cœur du contre-courant. Les traits pleins représentent la propagation verticale de la phase. (d'après W. Duing).

Figure 9 (a et b)



Séquence verticale des diagrammes temps-latitude pour la composante V à 23,5°W d'après les observations des mouillages de l'URSS. Les traits pleins représentent la propagation verticale de la phase. A noter la décroissance des amplitudes d'environ 40cm/s à la surface à environ 10cm/s à 200 m (d'après V. Bubnov).

faible de l'Océan Atlantique devant ce phénomène pose le problème du développement de telles instabilités pour arriver à l'importance des méandres observés.

La présence d'une onde de période similaire le long des côtes du Golfe de Guinée nous autorise à imaginer le centre de l'Atlantique équatoriale comme un résonateur des ondes propres du Golfe. Des études plus détaillées actuellement en cours dans cette zone devraient résoudre cette question.

3) Oscillations de 30 - 40 jours de période :

Les quelques mesures couvrant les trois phases de l'opération GATE laissent supposer la présence d'une onde d'une telle période (Fig. 10). Elle se déplacerait vers l'Ouest avec une vitesse de phase d'environ 0,5 m/s. Cette oscillation pourrait être assimilée à une onde de Rossby.

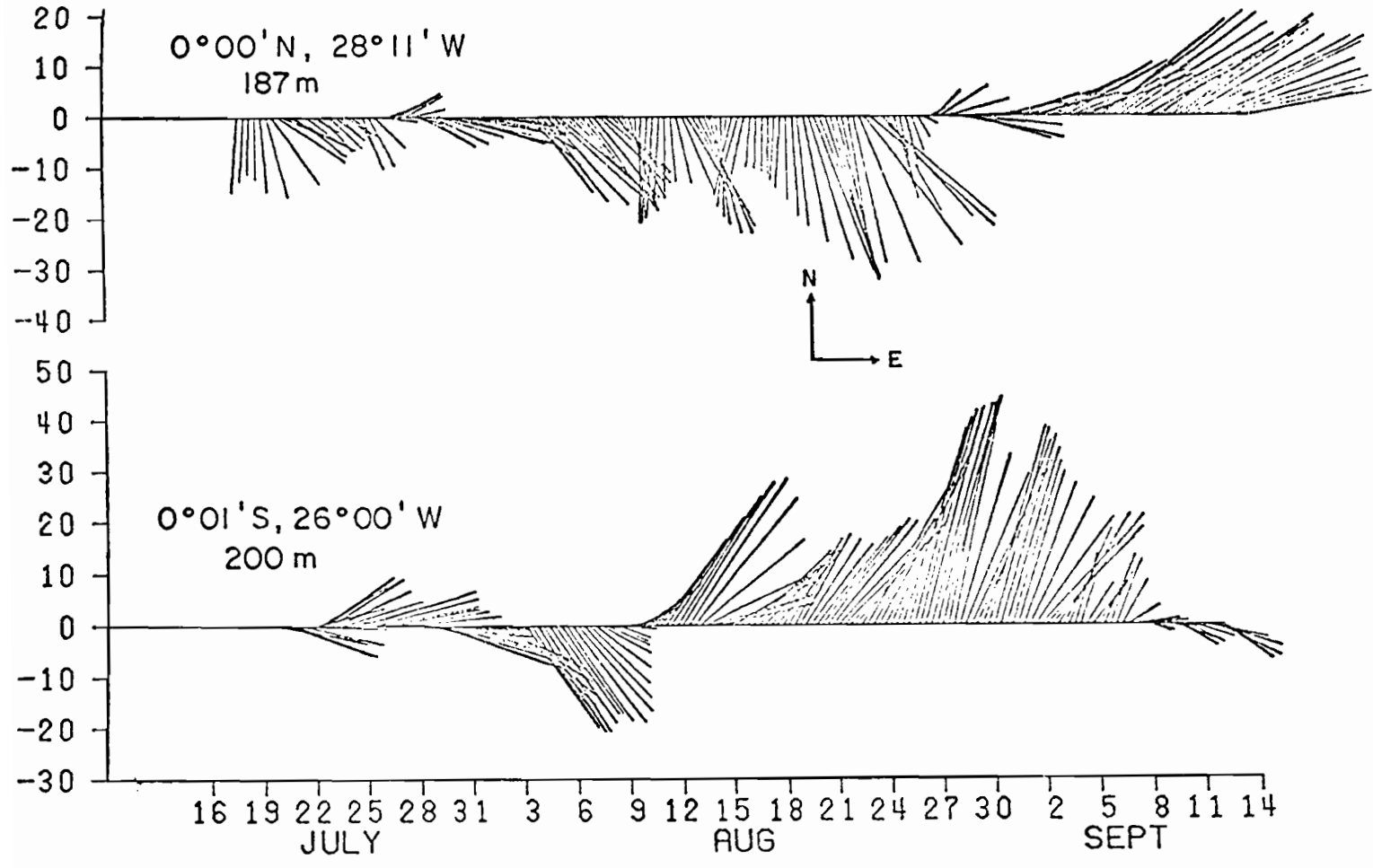
Les oscillations observées sur les côtes du Golfe de Guinée.

Depuis de nombreuses années des mesures journalières de température de la mer ont été effectuées par différents organismes en Angola, Congo, Togo, Bénin, Ghana, Côte d'Ivoire et Sénégal. Des mesures de salinité de surface ont quelquefois été effectuées. L'analyse de ces séries temporelles mettant en évidence des oscillations marquées de la structure thermique de la couche de surface, nous avons cherché à compléter ces informations en récupérant un maximum de données marégraphiques et météorologiques. Devant la quantité importante de données disponibles, nous nous sommes limités, dans un premier temps, au secteur nord du Golfe de Guinée (Fig. 11) où apparaissent de façon très nette deux types d'oscillations :

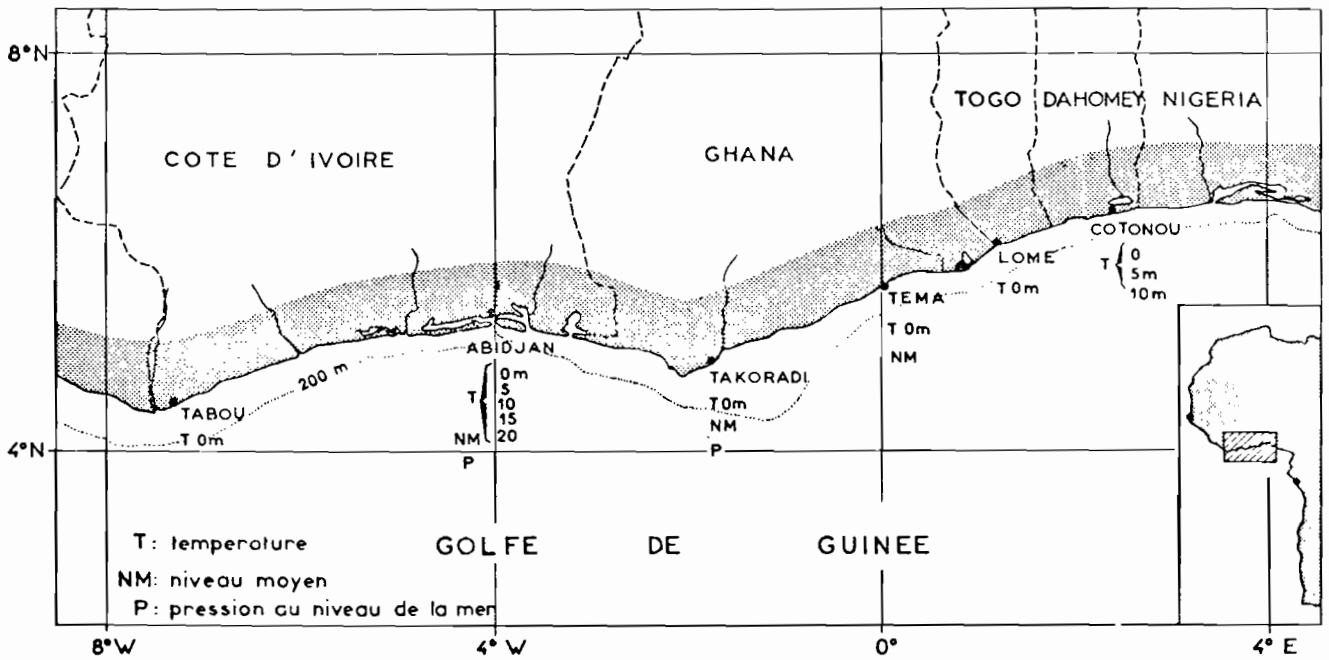
1) Oscillation de 14 - 15 jours de période :

Elle "secoue" de façon très nette la structure thermique de la couche d'eau et peut engendrer des variations périodiques de grande amplitude (4°C) de la température de surface quand la thermocline est assez proche de la surface (Fig. 12). Cela se produit durant chaque saison froide, ce qui a permis à certains auteurs d'associer l'upwelling, correspondant à cette saison, à l'existence d'un front d'ondes se propageant vers l'Ouest. La permanence de cette onde est démontrée par l'étude visuelle du niveau moyen journalier. Cette différence apparente entre les saisons froides et chaudes se retrouve au niveau des analyses spectrales. Le pic vers 14-15 jours apparaît de façon beaucoup plus nette sur le niveau moyen que sur la température (Fig. 13).

Figure 10

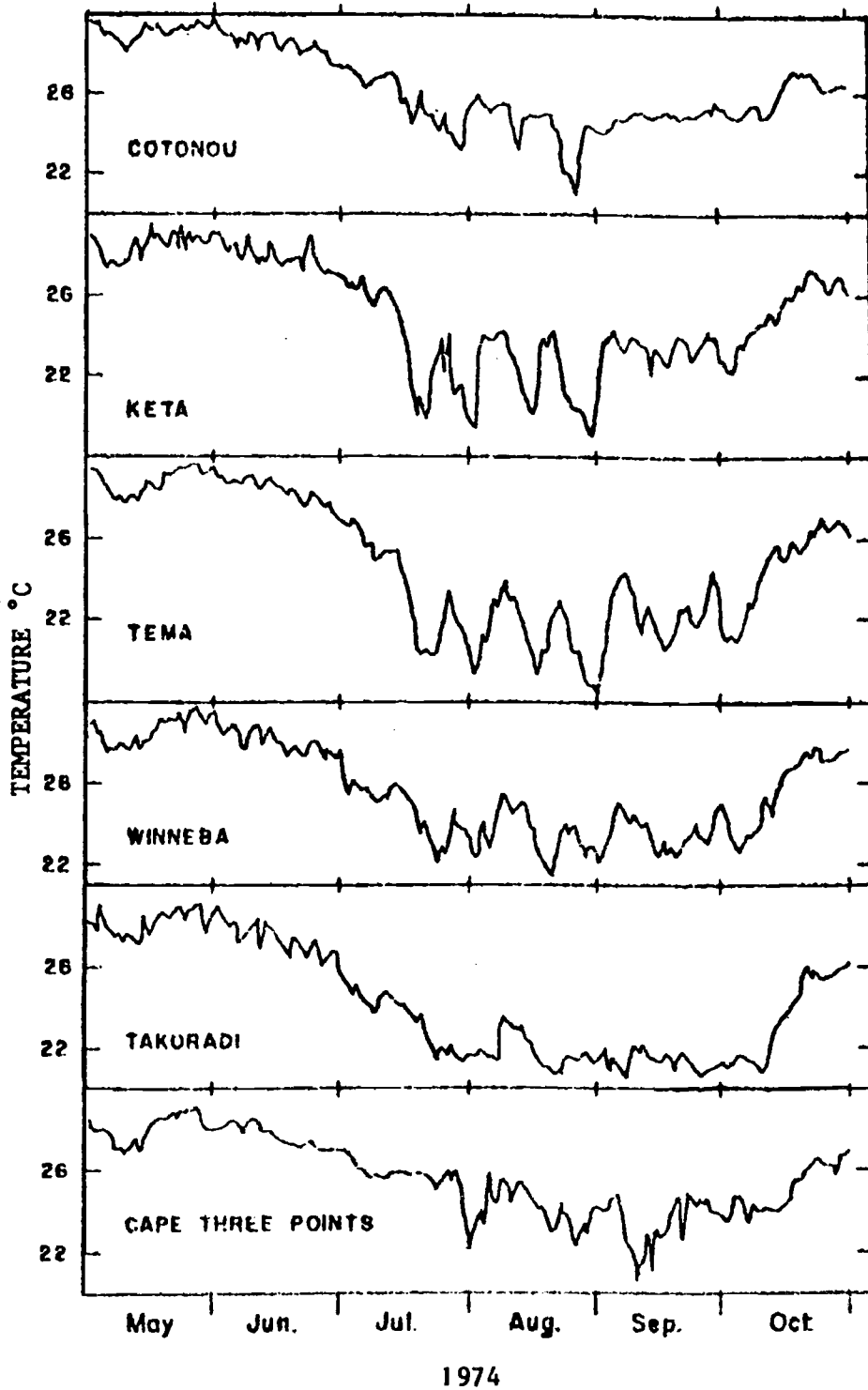


Distribution zonale des vitesses à 200 m (d'après R.H. Weisberg).



Position des stations.

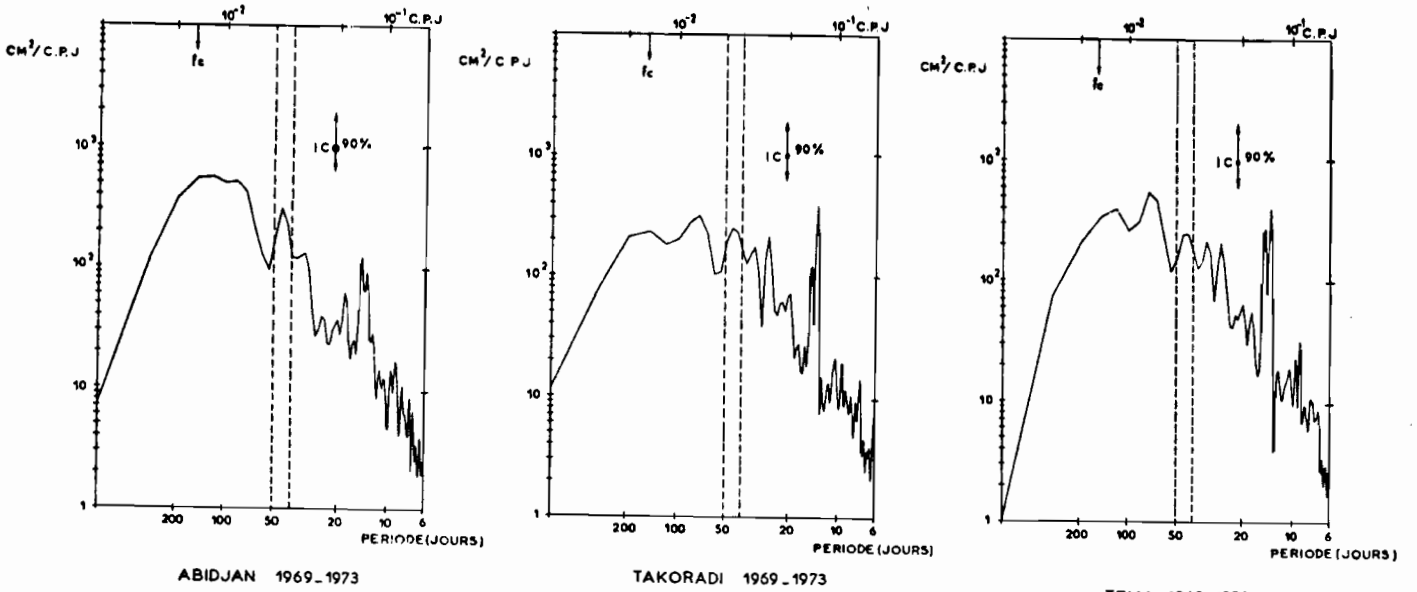
Figure 11



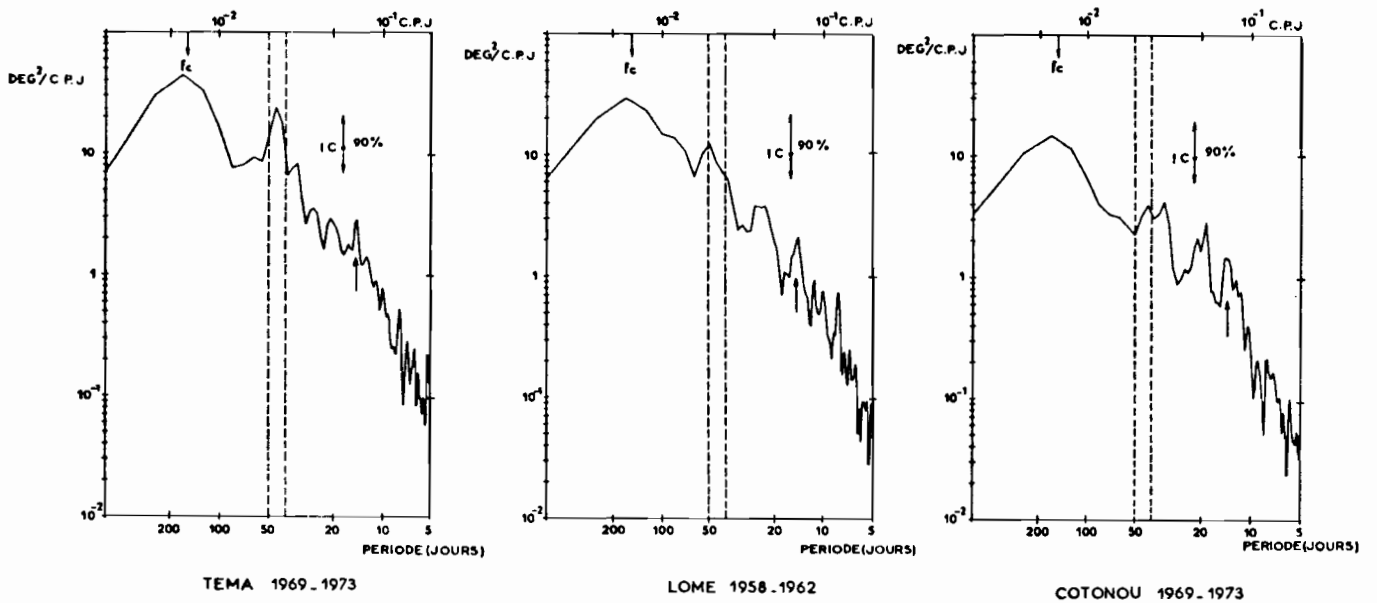
Température de surface à la côte (d'après R.W. Houghton).

Figure 12

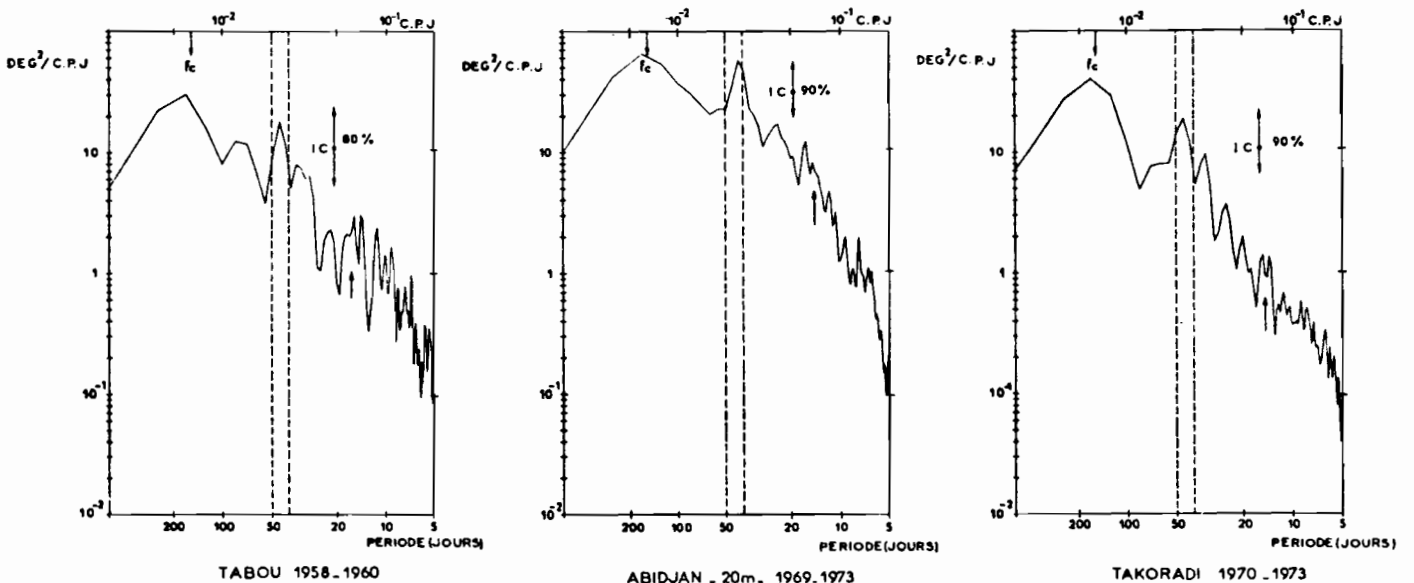
Figure 13



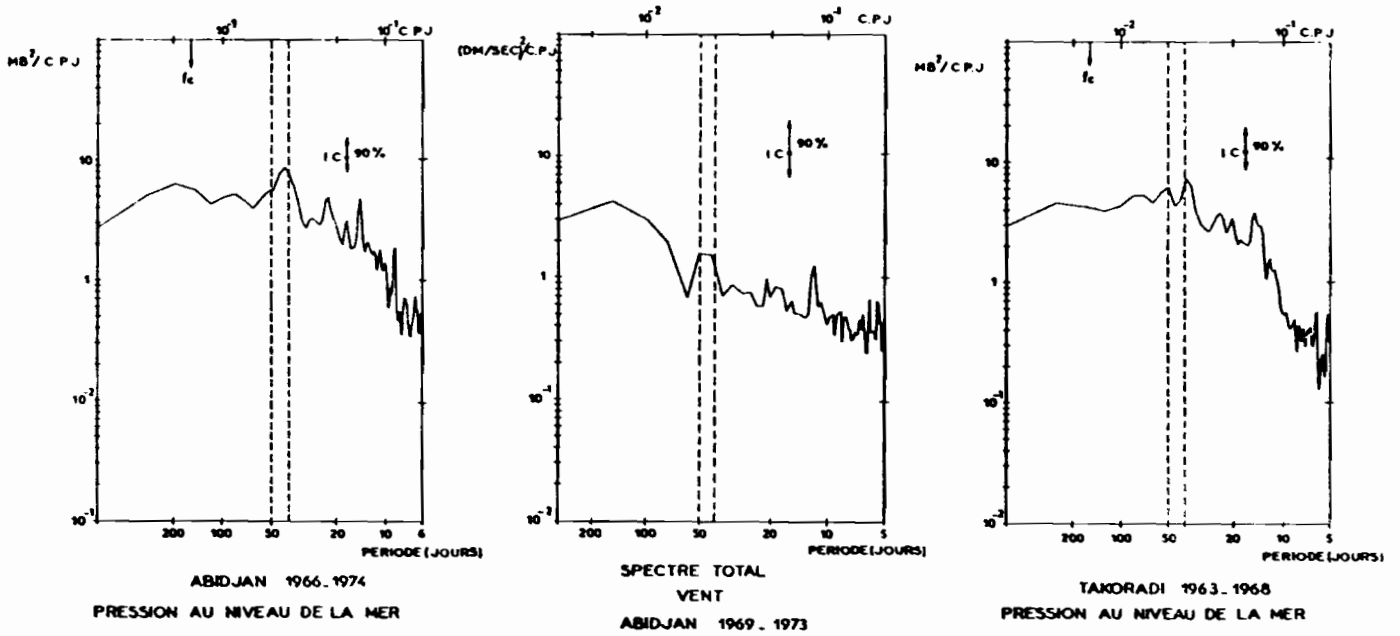
— Spectres des niveaux moyens corrigés.



— Spectres de température.



— Spectres de température.



— Spectres des données météorologiques.

Figure 14

On notera l'existence de deux pics sur le niveau moyen centré exactement sur 13.7 jours et 14.7 jours. Le premier correspond très certainement à l'onde semi mensuelle M_f , le deuxième pourrait être une interaction non linéaire entre les ondes de marée M_2 et S_2 ou l'onde astronomique M_{sf} . Le problème de l'origine astronomique de cette onde est ainsi posé.

L'étude du déphasage entre les différents points de mesure donne une célérité moyenne de 75 cm/s pour une longueur d'onde de 950 km. Une étude théorique menée par PHILANDER (1977) sur l'effet d'une côte Est-Ouest sur les ondes équatoriales classe cette oscillation dans les ondes de Kelvin et de Rossby. Cette théorie rend peu probable l'origine commune de cette onde avec les oscillations à l'équateur précédemment décrites. Mais elle peut imposer à l'océan Atlantique équatorial de résonner sous son impulsion.

2) Oscillations de 40 - 50 jours de période :

Sur tous les spectres nous avons noté l'existence de cette oscillation (Fig. 13). Elle peut être rapportée à l'onde atmosphérique tropicale décrite par MADDEN et JULIAN (1972) dans l'océan Indien et le Pacifique. Les paramètres météorologiques étudiés permettant de retrouver cette onde dans le Golfe de Guinée (Fig. 14), on peut imaginer cette onde stationnaire comme une onde forcée par une oscillation atmosphérique.

Les travaux en cours et à venir pour étudier ces ondes.

L'origine de ces ondes est dans la plupart des cas à démontrer. Est-ce des phénomènes purement marins ou induits par l'atmosphère ? De toutes façons l'importance de ces méandres est telle qu'ils doivent réagir sur l'atmosphère et probablement intervenir dans les processus de production. De par l'ampleur des moyens nécessaires pour étudier ces ondes, cela ne peut être envisagé que dans un cadre de coopération internationale. Une opération est actuellement en cours qui fait intervenir l'Université de Rhode Island, le Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan (ORSTOM) et le Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Bretagne Occidentale. Quatre mouillages ont été mis en place pour un an sur le plateau continental de Côte d'Ivoire, faisant face à trois mouillages profonds à l'équateur. Cette opération devrait être suivie par la Campagne CIPREA (Circulation et Production à l'Equateur), premier maillon de la PEMG (Première Expérience Mondiale du GARP).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BUBNOV, V.A., K.V. MOROSHKIN, V.D. EGORIKNIN (1975) - Variability of current structure and associated oceanographic fields in the Atlantic. GATE workshop, Geneva, August 1975.
- DUING, W. (1975) - Report of the Equatorial and A-Scale Informal Workshop. World meteorological organisation Geneva, 15-23 August, 1975.
- DUING W., P. HISARD, E. KATZ, J. MEINCKLE, L. MILLER, K.V. MOROSHKIN, G. PHILANDER, A.A. RIBNIKOV, K. VOIGT and R. WEISBERG (1975) - Meanders and long waves in the Equatorial Atlantic. Nature, Vol. 257, n° 5524, september 1975.
- DUING W. (1975) - First results of the equatorial PCM experiment during GATE phase II. Preliminary report University of Miami.
- HOUGHTON R.W. and T. BEER (1976) - Wave propagation during the Ghana upwelling. J. Geop. Res., Vol. 81, n° 24.
- LE FLOCH J. (1972) - Undercurrent systems in the eastern part of the equatorial Atlantic. Lecture given at the Institut für Meereskunde, University of Kiel, november, 1972.
- MADDEN R.A. and P.R. JULIAN (1971) - Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J. Atmos. Sci., 28.
- MADDEN R.A. and P.R. JULIAN (1972) - Description of global-scale circulation in the tropics with a 40-50 day period. J. Atmos. Sci., 29.
- MOORE W. and S.G. PHILANDER (1977) - Modelling of the tropical oceanic circulation. To appear in the Sea.
- NEUMENN G. and R.E. WILLIAM (1965) - Observation of the equatorial undercurrent in the Atlantic Ocean at 15°W during Equalant I. J. Geop. Res., Vol. 70, n° 2.
- PHILANDER G. (1976) - Variability of the general oceanic circulation in the tropical atlantic. Lecture given at the Joint Oceanographic Assembly, Edinburgh, 22 september, 1976.
- PHILANDER G. (1977) - The effect of coastal geometry on equatorial waves. (Submitted to J. Mar. Res.).
- PICAUT J. and J.M. VERSTRAETE (1975) - Low Frequency oscillations of temperature and sea level along the coast of the Guinea Gulf. IUGG, Grenoble, 25 August - 6 September, 1975.
- PICAUT J. and J.M. VERSTRAETE (1976) - Mise en évidence d'une onde de 40-50 jours de période sur les côtes du Golfe de Guinée. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., Vol. XIV, n° 1.
- VOITURIEZ B., H.J. MINAS, J. LE FLOCH (1976) - Pour l'étude de l'upwelling équatorial source de matière vivante dans le Golfe de Guinée (présentation du projet CIPREA au C.N.E.X.O.).
- WEISBERG R.H., L. MILLER and J.A. KNAUSS (1975) - Velocity observations during GATE. Preliminary data report - University of Rhode Island.

WEISBERG R.H. and J.A. KNAUSS (1976) - Observations of trapped equatorial waves in the Gulf of Guinea. National Science Foundation - University of Rhode Island.

WUNSCH C. and A.E. GILL (1975) - Observation of equatorially trapped waves in Pacific sea level variations. Manuscript in preparation.

KRISHAMURTI T.N., C.E. LEVY and H.P. PAN (1975) - On simultaneous surges in the Trades. J. Atmos. Sci., 12 (12).