

Atlantique intertropical
Température superficielle
Cycle annuel
Intertropical Atlantic Ocean
Upper layer temperature
Annual cycle

Cycle annuel moyen de la température dans les couches supérieures de l'Océan Atlantique intertropical

J. Merle^a, J. Le Floch^b

^a Orstom, Centre Océanologique de Bretagne, B.P. n° 337, 29273 Brest.

^b Université de Bretagne Occidentale, 29283 Brest.

Reçu le 25/11/77, révisé le 3/3/78, accepté le 21/3/78

RÉSUMÉ

A partir d'une étude de données historiques de température pour l'Atlantique intertropical, les variations saisonnières de la structure thermique des couches superficielles sont étudiées en utilisant une série de Fourier limitée aux termes annuel et semi-annuel. Ceci conduit à une bonne représentation des variations observées, et permet d'étendre au large, ce qui était connu à la côte dans le Golfe de Guinée (alternances dans l'année d'une grande et d'une petite saisons chaudes marines). En outre, ceci conduit à mettre en évidence des contrastes très marqués des variations saisonnières à la fois dans le sens méridien et dans le sens zonal, et de préciser la climatologie marine de ce secteur de l'Océan. En particulier l'amplitude de la variation saisonnière est plus importante dans l'Est au voisinage de l'équateur. Une ligne de variation minimum correspondant à l'équateur thermique s'étend de 3°N à l'Ouest, à 8°N à l'Est. La composante semi-annuelle observée dans le Golfe de Guinée serait à relier au système des contre-courants équatoriaux.

Oceanol. Acta, 1, 3, 1978, 271-276.

ABSTRACT

Mean annual cycle of sea temperature in the upper layers of the Intertropical Atlantic Ocean

On the basis of available historical data concerning temperatures in the Intertropical Atlantic, seasonal variations of the thermal structure of the upper layers are studied, by means of a Fourier analysis limited to the annual and semi-annual components. This permits a satisfactory representation of the observed variations, and the extension to the entire Intertropical Atlantic of the observation already made on the coast of the Gulf of Guinea, (a main warm season and a secondary warm season alternating during the year). The results obtained also indicate considerable contrasts in the seasonal variations, in both the meridional and the zonal directions. For example, the amplitude of the seasonal variation is higher in the east, near the Equator, while a line of minimal variations corresponding to the thermal equator extends from 3°N in the western part of the Atlantic to 8°N in the eastern part. The semi-annual component observed in the Gulf of Guinea is very probably related to the equatorial counter-current systems.

Oceanol. Acta, 1, 3, 1978, 271-276.

Fonds Documentaire ORSTOM



010006288

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B*6288 Ex: 1

INTRODUCTION

Les nombreuses observations littorales dont on dispose dans l'Océan Atlantique intertropical ont montré que le cycle annuel de la structure hydrologique, et plus particulièrement de la structure thermique des couches superficielles, obéit à un rythme plus complexe que celui observé aux latitudes moyennes.

On peut observer, par exemple dans le Golfe de Guinée, l'alternance de deux saisons chaudes séparées par une saison froide secondaire créant un cycle annuel de la température à deux modes. Quelques auteurs ont décrit ces variations de température sur le littoral, plus spécialement à Abidjan et Pointe-Noire.

Les caractéristiques de ces cycles annuels sont assez différentes lorsque l'on se déplace le long du littoral.

Des précisions restent à apporter quant aux variations saisonnières de la structure thermique au large, dans l'Atlantique intertropical, où ces variations sont dissymétriques non seulement dans le sens méridien, ce qui est bien connu, mais aussi dans le sens zonal.

On sait que pour l'ensemble des océans, l'amplitude de la variation thermique superficielle annuelle décroît depuis les latitudes moyennes (40°) jusqu'à un minimum situé vers l'Équateur. Pour l'Atlantique, ce minimum est nettement décentré dans l'hémisphère Nord et se situe à la latitude moyenne de 8°N.

Nous nous proposons d'étudier ici plus en détail à partir de l'ensemble des données historiques dont nous disposons actuellement, le cycle thermique annuel moyen des couches superficielles (0-200 m) de l'Océan Atlantique intertropical. La région étudiée se situe entre les parallèles 20°N-20°S, la côte africaine et le méridien 60°W.

Nous montrons que les caractères de variabilité saisonnière sont encore importants au large et contrastés géographiquement, en particulier dans le sens Est-Ouest.

Nous envisageons l'analyse du cycle annuel local en le représentant par les termes d'une série de Fourier. Cette analyse conduit à une interprétation assez fidèle des observations en utilisant seulement deux termes de la série : le terme de pulsation annuelle et le terme de pulsation semi-annuelle.

Il ne s'agit pas ici de présenter des conclusions évoluées mais seulement un résultat brut issu de l'ensemble des données historiques disponibles. Ces résultats étant obtenus par une méthode qui permet de synthétiser l'ensemble des mesures et d'en présenter la variabilité spatio-temporelle sous une forme condensée et globale.

DONNÉES ET TRAITEMENTS

Les données sont extraites du fichier hydrologique Nansen du Nodc (National Oceanographic Data Center). Ce fichier a été transféré et transcodé au Bndo (Bureau national des Données océaniques) à Brest.

Plus de 18 000 stations appartenant à la zone comprise entre les parallèles 20°N-20°S, la côte africaine et le méridien 60°W ont été traitées. Il n'est pas possible de citer toutes les croisières et les navires qui ont contribué à créer ce fichier. Mentionnons seulement qu'il contient les

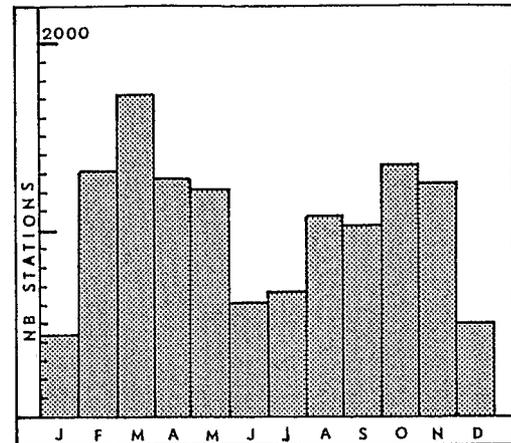


Figure 1 Répartition mensuelle des stations sur l'ensemble de la zone intertropicale (20°N-20°S).

Monthly distribution of stations over the entire intertropical zone (20°N-20°S).

croisières les plus anciennes et les plus connues de l'Atlantique tropical telles que les Campagnes du « Meteor », les Campagnes Equalant, celles du « Crawford » et les Campagnes françaises récentes du « Capricorne » et du « J. Charcot ».

La répartition spatiale de ces stations est très inégale; les zones côtières africaines et brésiliennes ainsi que la bande équatoriale concentrent la plupart des mesures. Leur répartition temporelle est également peu homogène (fig. 1).

Les valeurs observées de température ont été interpolées à des niveaux standards : surface - 5 - 10 - 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 m, pour les comparer à ces mêmes niveaux. Les données ont été groupées par mois et par carreaux de taille variable suivant le nombre de données disponibles pour le traitement. On a ainsi obtenu pour les carreaux où les données sont assez nombreuses, une température moyenne par mois et par niveau.

Cependant pour certains carreaux il existe des mois où il n'y a pas d'observations. Nous avons interpolé alors linéairement les valeurs correspondant aux mois manquants entre les mois qui les encadrent. Nous n'avons considéré cette interpolation acceptable que pour une seule valeur manquante.

RÉSULTATS

Représentation du cycle thermique annuel moyen en une série de Fourier limitée à deux termes

Dans la série de Fourier en deux termes

$$T(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t - \varphi_1) + A_2 \cos(2\omega t - \varphi_2),$$

où T(t) représente la variation de la température en fonction du temps; celui-ci est exprimé en mois.

La limitation de la série aux termes de pulsation annuelle et semi-annuelle se justifie-t-elle?

Après avoir calculé les amplitudes A₁ et A₂ et les phases φ₁ et φ₂, nous avons reconstitué les moyennes mensuelles et par différence avec les valeurs observées,

Tableau

Résidu moyen en degrés entre cycle annuel observé et recomposé avec les termes annuel et semi-annuel de la série de Fourier. Seuls sont considérés les carreaux où un nombre suffisant d'observations a permis de faire une analyse de Fourier en deux termes.

Average residue in degrees between the observed annual cycle and the Fourier series composed of an annual and semi-annual term. The study was limited to squares containing a sufficient number of observations to permit a Fourier analysis in two terms.

Latitude	Longitude															
	60°W 55°W	55°W 50°W	50°W 45°W	45°W 40°W	40°W 35°W	35°W 30°W	30°W 25°W	25°W 20°W	20°W 15°W	15°W 10°W	10°W 5°W	5°W 0 5°E	0 5°E 10°E	10°E 15°E	15°E 20°E	
20°N-18°N	0,2	0,2			0,2	0,1			1,2							
18°N-16°N	0,2		0,1		0,1	0,2	0,1	0,2	1,2							
16°N-14°N	0,2	0,2					0,2	0,4	0,5							
14°N-12°N	0,1							0,4	0,8							
12°N-10°N	0,2								0,3							
10°N- 8°N	0,1	0,3	0,2	0,1					0,2	0,3						
8°N- 6°N	0,3	0,2	0,2					0,3	0,5	0,4						
6°N- 4°N		0,1	0,2	0,2			0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,3	0,5	0,2		
4°N- 2°N			0,2	0,1			0,1	0,1	0,2		0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	
2°N- 0			0,1	0,1	0,1	0,2	0,1			0,3	0,1	0,5	0,3	0,3	0,2	
0 - 2°S				0,1	0,2	0,6	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3		
2°S - 4°S				0,1	0,1	0,1				0,3	0,2	0,6	0,4	0,5	0,8	
4°S - 6°S					0,1	0,1					0,3	0,2	0,4	0,1	0,6	0,5
6°S - 8°S						0,1						0,2		0,3	0,6	
8°S -10°S						0,2	0,1				0,2	0,2		0,5		
10°S -12°S												0,1		0,2	0,5	
12°S -14°S						0,2						0,4	0,2		0,2	
14°S -16°S						0,1					0,2				0,5	
16°S -18°S						0,1						0,2		0,3	1,2	
18°S -20°S						0,2								0,3	0,3	

calculé le résidu moyen pour l'année complète. Le tableau montre que ces résidus sont faibles et généralement inférieurs à 0,5°C à l'exception de deux régions côtières Nord et Sud où ils dépassent légèrement 1°C. La comparaison des cycles observés et recomposés montre que l'essentiel des caractères du cycle sont décrits par les deux termes de la série. Ainsi apparaissent lorsqu'elles existent la petite saison chaude et la grande saison chaude séparées par un minimum thermique secondaire (fig. 2). Les deux régions de faible extension où le résidu dépasse en moyenne 1°C sont situés à la côte dans des zones où l'amplitude thermique

moyenne est importante. Il semble que pour ces régions, un 3^e terme de pulsation égale à 4 mois (fig. 3) soit nécessaire pour décrire le cycle observé. Nous n'en tiendrons cependant pas compte ici.

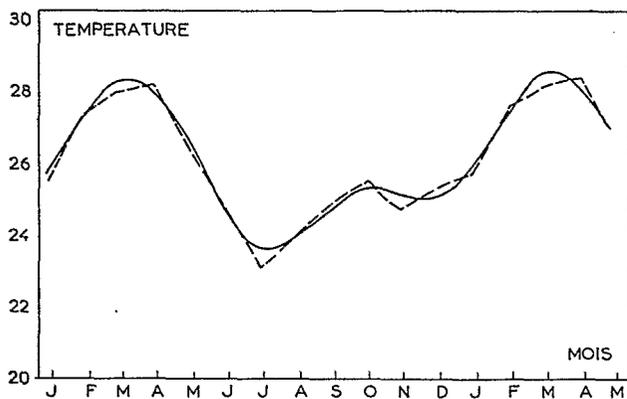


Figure 2
Cycle annuel moyen observé (en trait interrompu) et cycle annuel moyen reconstruit avec les composantes de périodes annuelle et semi-annuelle (en trait plein) dans une région où le résidu est faible (0,3°C). Carreau 2°S-0-15°W-20°W. $A_1=1,8^\circ\text{C}$, $\varphi_1=73$ jours; $A_2=1,1^\circ\text{C}$, $\varphi_2=100$ jours.

Observed average annual cycle (broken line) and average annual cycle reconstructed from the components of the annual and semi-annual periods (unbroken line) in a region of low residue (0,3°C): square 2°S-0-15°W-20°W. $A_1=1,8^\circ\text{C}$, $\varphi_1=73$ days; $A_2=1,1^\circ\text{C}$, $\varphi_2=100$ days.

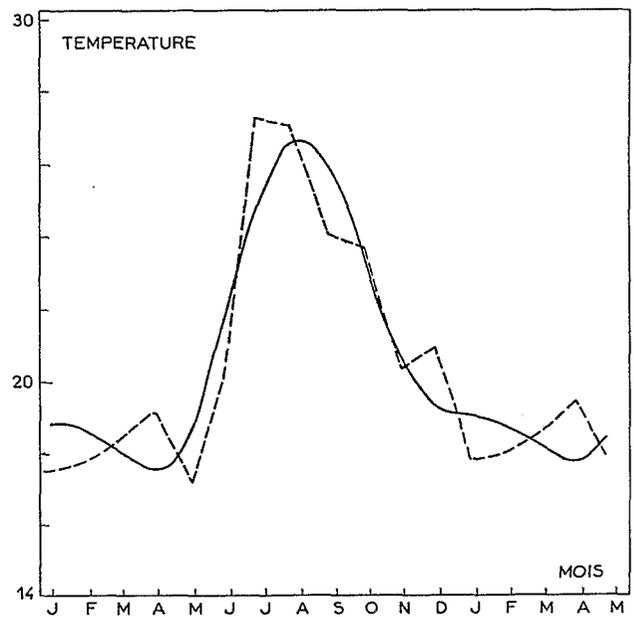
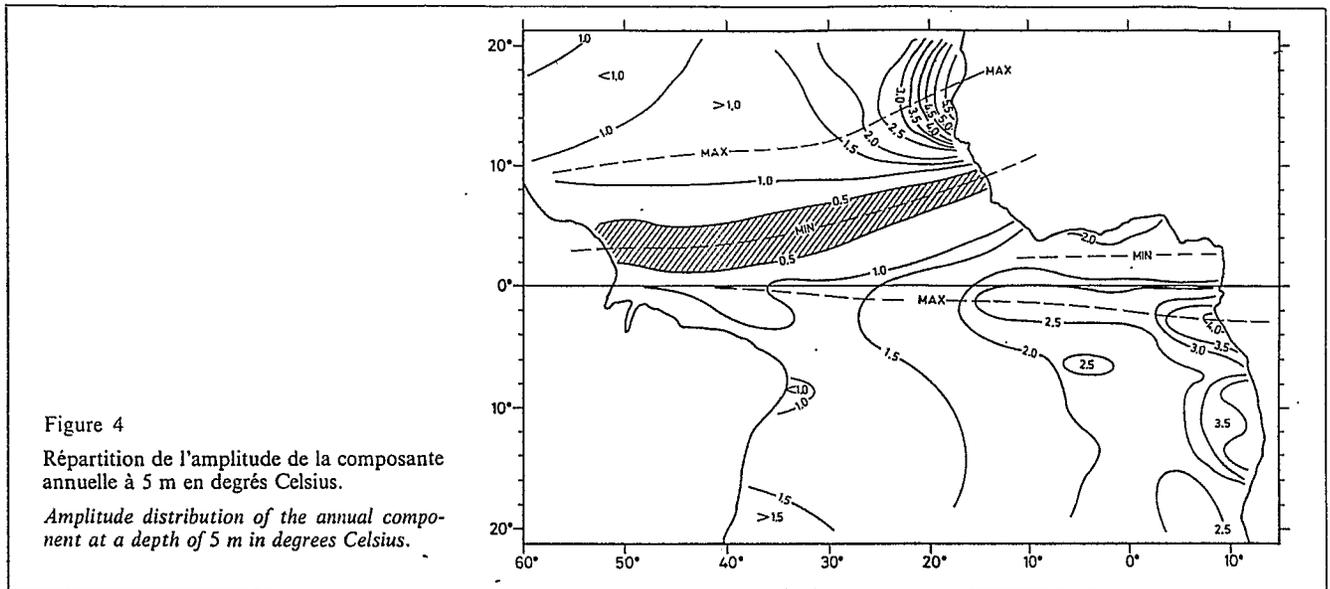


Figure 3
Cycle annuel moyen observé (en trait interrompu) et cycle annuel moyen reconstruit avec les composantes de périodes annuelle et semi-annuelle (en trait plein) dans une région où le résidu est important (1,2°C). Carreau 18°N-20°N-15°W-20°W. $A_1=4,3^\circ\text{C}$, $\varphi_1=246$ jours; $A_2=1,6^\circ\text{C}$, $\varphi_2=49$ jours.

Observed average annual cycle (broken line) and average annual cycle reconstructed from the components of the annual and semi-annual periods (unbroken line) in a region of high residue (1,2°C): square 18°N-20°N-15°W-20°W. $A_1=4,3^\circ\text{C}$, $\varphi_1=246$ days; $A_2=1,6^\circ\text{C}$, $\varphi_2=49$ days.



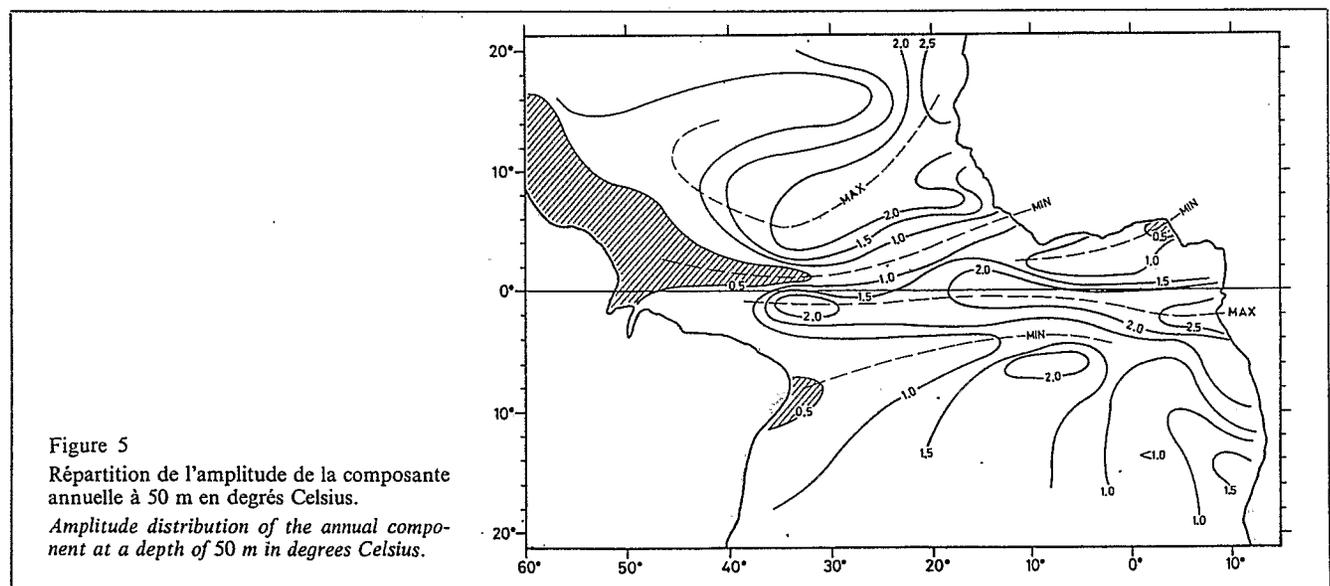
Distribution spatiale de l'amplitude de la composante annuelle

La répartition géographique de l'amplitude de la composante annuelle près de la surface (fig. 4) montre pour la région Nord-Est une forte amplitude dépassant 5,5°C à la côte. Cette amplitude décroît rapidement vers le large bien qu'il soit difficile d'apprécier avec précision ce taux de décroissance en fonction de l'éloignement de la côte à cause du large maillage utilisé (5° × 2°). A l'ouest de 30°, l'amplitude est inférieure à 2°C. Au sud de cette région une bande bien délimitée et relativement étroite où l'amplitude thermique est inférieure à 0,5°C traverse l'ensemble de l'Océan Atlantique; cette zone est centrée sur le parallèle 3°N à l'Ouest (côte brésilienne) et sur le parallèle 8°N à l'Est (côte africaine). C'est la zone de transition thermique superficielle Nord-Sud appelée quelquefois Équateur Thermique. Au nord de cette région on observe un cycle thermique annuel de type Nord avec période chaude en juillet-août; au sud au contraire on a un cycle de type Sud avec période chaude en janvier-février.

Près de l'équateur géographique, on observe un nouveau maximum de l'amplitude correspondant à la période annuelle. L'axe de ce maximum se situe vers 2°S dans le Golfe de Guinée et atteint l'équateur géographique dans le secteur occidental de l'océan. Cette ligne trace en fait assez bien la divergence équatoriale qui a été reconnue située à 2°S dans le Golfe de Guinée.

Le long de cette ligne l'amplitude décroît de l'Est à l'Ouest depuis des valeurs dépassant 3,5° près du Cap Lopez jusqu'à des valeurs inférieures à 1° à l'Ouest de 40°W. Plus au Sud, à proximité de la côte africaine (Angola), on observe encore des amplitudes fortes dépassant 3,5°C. Notons aussi le renforcement de l'amplitude annuelle le long de la côte dans la région d'Abidjan atteignant des valeurs dépassant 2°C. Ce maximum détermine avec celui de la divergence équatoriale un minimum relatif où l'amplitude est inférieure à 2°C. Ce minimum correspond à la zone de convergence bien connue dans cette région.

Les caractères généraux de la répartition spatiale de l'amplitude annuelle superficielle que nous venons de décrire peuvent se résumer ainsi :



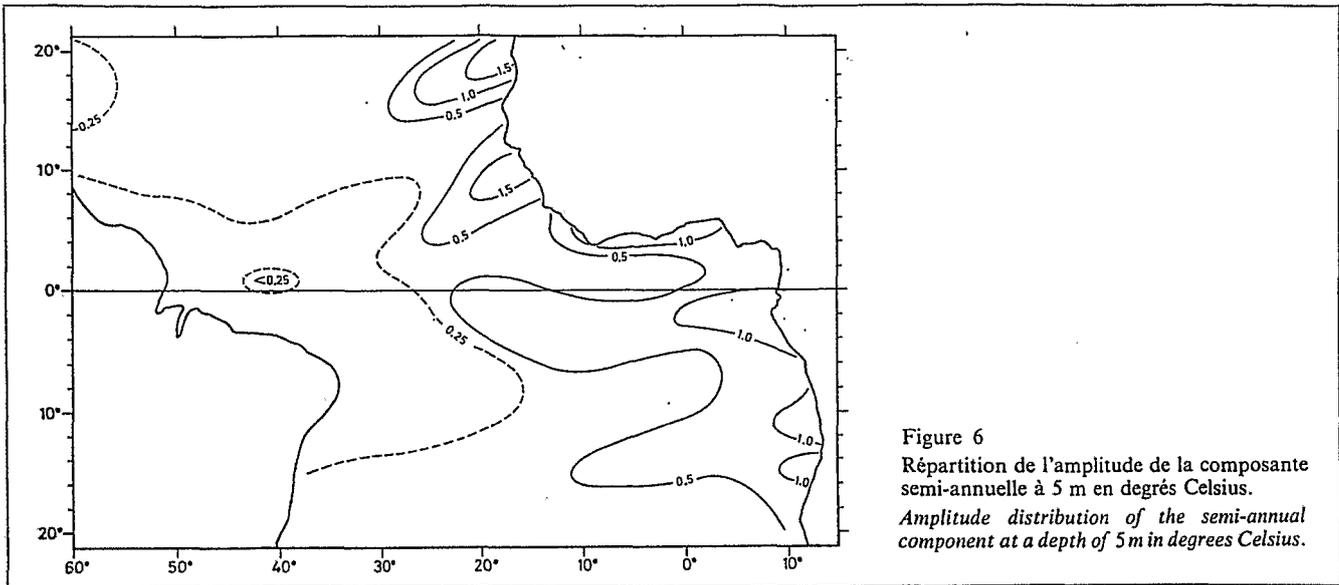


Figure 6
Répartition de l'amplitude de la composante semi-annuelle à 5 m en degrés Celsius.
Amplitude distribution of the semi-annual component at a depth of 5 m in degrees Celsius.

1) l'équateur thermique est très nettement décentré vers l'hémisphère Nord (8°N-3°N); il n'est pas strictement zonal mais orienté dans une direction S O - N E. Il est à peu près confondu avec la position moyenne de la convergence intertropicale Nord (Cit) atmosphérique;

2) les zones d'upwelling qu'elles soient côtières ou équatoriales correspondent à une amplitude renforcée de la variation thermique annuelle. Ce résultat n'est pas surprenant lorsque l'on sait que les upwelling amenant des eaux plus froides en surface sont particulièrement actifs pendant les saisons froides elles-mêmes.

A 50 m, la répartition spatiale de l'amplitude annuelle a le même aspect général que la distribution superficielle, avec toutefois des valeurs numériques plus faibles (fig. 5).

Distribution spatiale de l'amplitude de la composante semi-annuelle

La répartition géographique de l'amplitude de la composante semi-annuelle au voisinage de la surface (fig. 6) présente un aspect assez semblable à celle de la

composante annuelle au même niveau. Les régions côtières Est (côtes Africaines) sont encore caractérisées par les amplitudes les plus élevées. On remarque aussi la divergence équatoriale vers 2°S, dans le Golfe de Guinée, marquée par un maximum relatif. Les valeurs de cette amplitude semi-annuelle restent cependant faibles en surface et ne dépassent que rarement 1,5°C.

En subsurface (50 m) au contraire, l'amplitude de la composante semi-annuelle est beaucoup plus élevée. La région où cette amplitude est supérieure à 1°C est très étendue et couvre l'ensemble du Golfe de Guinée ainsi qu'une zone s'étendant jusqu'au méridien 40°W depuis le sud de Dakar; on observe fréquemment des valeurs supérieures à 2°C principalement dans la partie nord du Golfe de Guinée.

Les phases

La dispersion des points d'observation et quelquefois leur nombre restreint, rend difficile l'interprétation des résultats obtenus pour les phases. Nous avons cependant

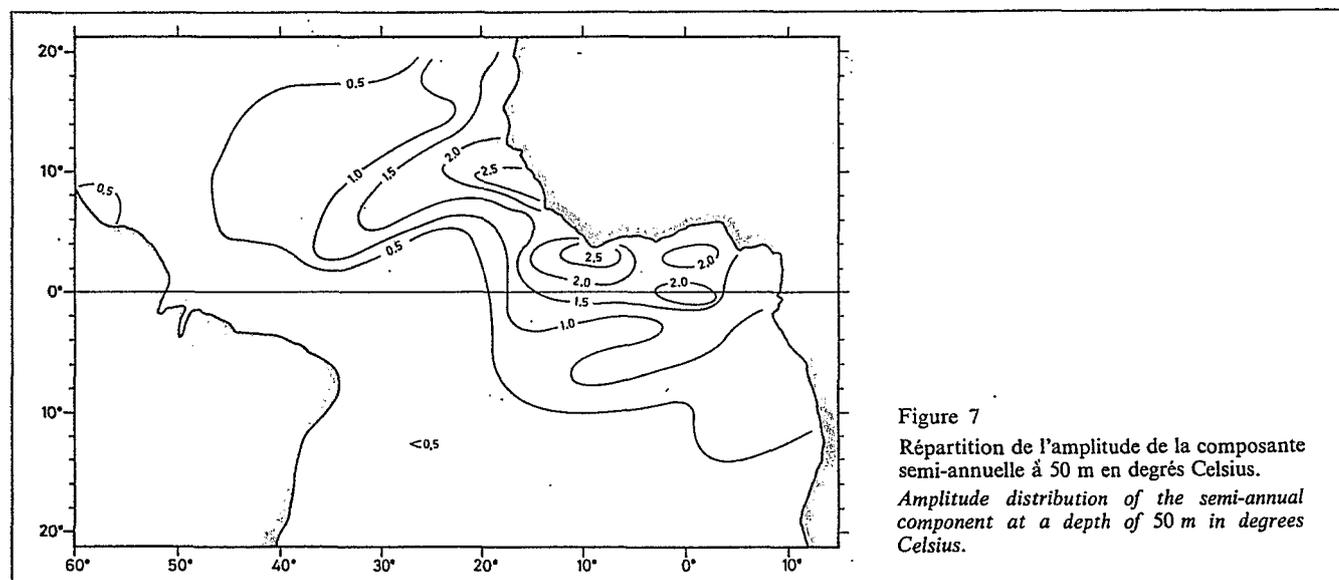


Figure 7
Répartition de l'amplitude de la composante semi-annuelle à 50 m en degrés Celsius.
Amplitude distribution of the semi-annual component at a depth of 50 m in degrees Celsius.

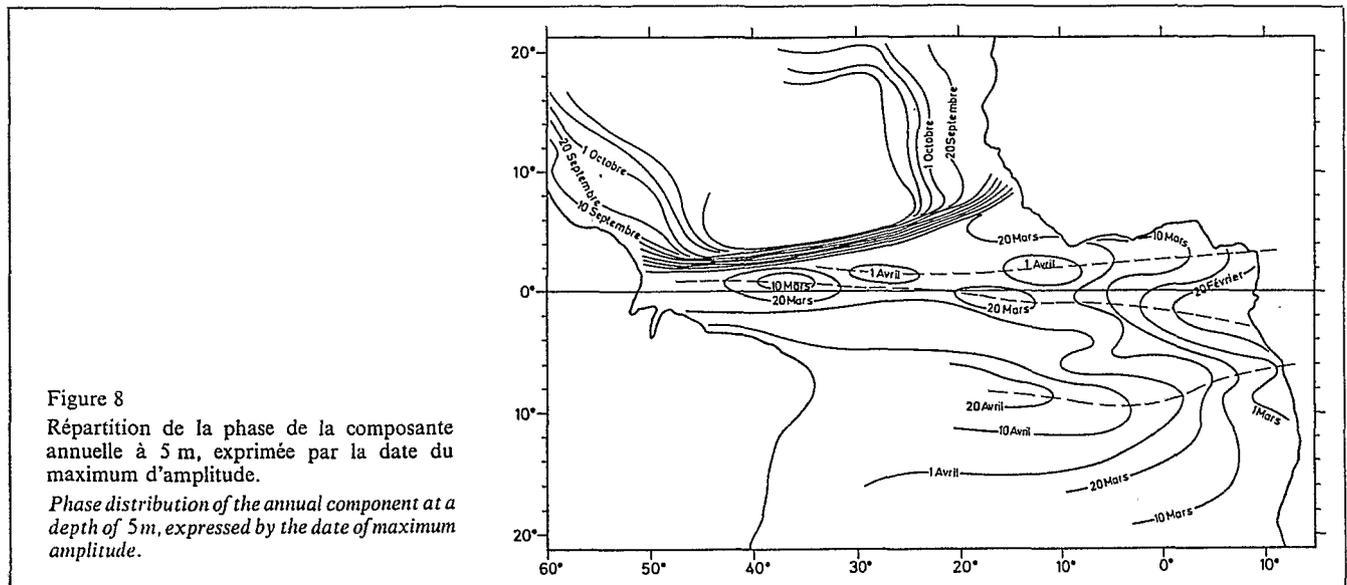


Figure 8
Répartition de la phase de la composante annuelle à 5 m, exprimée par la date du maximum d'amplitude.
Phase distribution of the annual component at a depth of 5 m, expressed by the date of maximum amplitude.

tenté de tracer la répartition géographique de la phase (exprimée en jours) de la composante annuelle à 5 m (fig. 8). Les résultats obtenus sont en bon accord, d'une part avec ce que l'on savait des régions côtières du Golfe de Guinée, d'autre part avec la répartition des amplitudes. Ainsi les dates d'apparition de la grande saison chaude à Abidjan et Pointe-Noire sont séparées par un intervalle de 20 jours environ qui avait déjà été observé à l'aide de séquences d'observations côtières de plus de 10 ans.

La divergence équatoriale comme les amplitudes de la composante annuelle est marquée en phase par une ligne de minimum relatif traduisant une apparition plus précoce de la saison chaude. De l'Est (Cap Lopez) à l'Ouest, la date d'apparition du maximum thermique le long de cette ligne, recule depuis le 15 février environ à la côte jusqu'au début du mois d'avril vers 20°O. La zone d'amplitude thermique minimale entre 3°N et 8°N est évidemment marquée par le passage brusque de l'été austral à l'été boréal et donc par un décalage d'environ 6 mois dans la date d'apparition du maximum thermique.

CONCLUSIONS

La présence dans les régions côtières du Golfe de Guinée d'un cycle saisonnier à deux modes faisant apparaître deux saisons principales (grande saison chaude-grande saison froide) et deux saisons secondaires (petite saison chaude et petite saison froide) est connue depuis longtemps. Nous avons montré ici que ce cycle saisonnier à deux modes est un trait général de l'ensemble du Golfe de Guinée et de la région nord-est africaine. La composante thermique de période 6 mois traduit assez bien ce phénomène. Quelle peut être l'origine de cette

périodicité semi-annuelle qui se manifeste avec une intensité maximale en subsurface au voisinage du niveau 50 m ?

Les résultats obtenus, et la forme adoptée par leur présentation conduisent surtout à poser des questions, et c'est notre propos. Nous pouvons, cependant, émettre l'hypothèse que cette pulsation thermique semi-annuelle est le résultat de la composition d'influences alternatives prépondérantes des hémisphères Nord et Sud au cœur de leurs saisons chaudes (juillet-août pour l'hémisphère Nord - février-mars pour l'hémisphère Sud). Le Golfe de Guinée de par sa situation géographique représente en effet une zone soumise à des influences Nord et Sud par les systèmes de circulations superficielles et subsuperficielles. La circulation superficielle met en contact, dans cette région, des eaux venues du Nord par le courant de Guinée et des eaux venues du Sud par le courant Équatorial Sud. De même en subsurface le système des contre-courants partant à l'Est (contre-courant Équatorial Nord, sous courant Équatorial et contre-courant Équatorial Sud) atteint le Golfe de Guinée; on peut penser qu'au cours des étés austral et boréal les tourbillons tropicaux Nord et Sud déchargent brutalement des eaux chaudes par l'intermédiaire des contre-courants qui sont rapides et transportent les flux les plus importants dans les régions équatoriales. Ceci expliquerait que c'est en surface et en subsurface que cette composante semi-annuelle est la plus importante.

Le cycle climatique annuel marin du Golfe de Guinée en deux modes pourrait être dû essentiellement à l'advection marine. On serait dans une région, où, compte tenu des faibles contrastes atmosphériques saisonniers, c'est l'advection marine qui est le facteur climatique essentiel du milieu océanique, plutôt que les échanges avec l'atmosphère à travers la surface.