

# ***Variations du niveau de la mer de la température de surface et des hauteurs dynamiques le long de la côte nord du Golfe de Guinée***

Jean-Marc VERSTRAETE (1) et Joël PICAUT (2)

## RÉSUMÉ

*Le long des côtes du Ghana et de Côte d'Ivoire, les variations saisonnières de la température de surface de la mer (T.S.M.) et du niveau moyen (N.M.) présentent chaque année deux événements : entre novembre et février, T.S.M. baisse d'environ 2 °C et N.M. de 5 cm, par rapport à ceux de novembre ; de mi-juin à mi-octobre, T.S.M. baisse d'environ 6 °C et N.M. de 10 à 15 cm par rapport à ceux de mai ; cette période constitue la saison principale d'upwelling.*

*Grâce à la relation T.S. établie pendant trois expériences intensives, il a été possible de calculer les hauteurs dynamiques (H.D.) à l'aide des seuls profils thermiques, et de montrer ainsi l'excellente corrélation qui existe entre les H.D. et les N.M. à des échelles de temps de quelques jours à 6 mois.*

*L'amplitude crête à creux des variations saisonnières des H.D. de la surface au large d'Abidjan s'élève à 18 cm-dyn, que le niveau de référence soit pris à 1 400 db ou à 500 db ; elle ne diminue que faiblement pour une référence à 300 db (16,5 cm-dyn), ce qui permet d'affirmer que l'essentiel du signal barocline saisonnier se trouve dans les 300 mètres superficiels.*

*Les N.M. mensuels sont fortement corrélés de Tema à Abidjan, distants de 450 km. L'apparition de l'upwelling est détectée par une baisse de N.M. entre avril et mai, simultanée à une baisse de H.D. calculée dans la couche 0-500 m, environ un mois avant la chute de T.S.M. et des H.D. (0/20 db) près de la côte. L'accélération du courant de Guinée qui débute en mai, simultanément avec la baisse de N.M., ne peut expliquer à lui seul cette baisse de niveau et ce décalage. Ce retard et cette baisse de niveau sont très probablement à relier à la propagation verticale du signal saisonnier d'upwelling depuis au moins 300 m de profondeur.*

*Le creux de la topographie dynamique observé sur le plateau continental vers 6° W, semble permanent et probablement lié au renversement de pente à l'équateur dans le Golfe de Guinée.*

*Les plus longues séries chronologiques de N.M. n'ont pas mis en évidence de périodicités interannuelles. Les composantes annuelle, semi-annuelle et tiers-annuelle sont significatives sur la côte nord du Golfe de Guinée, tandis que seule la composante annuelle apparaît sur la série chronologique de N.M. à Dakar.*

**MOTS-CLÉS :** Niveau moyen --- Température de surface -- Hauteur dynamique --- Golfe de Guinée.

(1) O.R.S.T.O.M./FOCAL, B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

(2) Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, 29200 Brest, France.

## ABSTRACT

VARIATION OF SEA LEVEL, SEA SURFACE TEMPERATURE AND DYNAMIC HEIGHT  
ALONG THE NORTHERN COAST OF THE GULF OF GUINEA

*In the coastal waters of Ghana and the Ivory Coast, the seasonal variations of sea surface temperature (SST) and mean sea level (MSL) are affected by two strong events: between November and February, SST drops about 2 °C and MSL drops 5 cm from the November reference; between mid-June and mid-October, SST drops about 6 °C and MSL drops 10-15 cm from the May reference. The latter period of time corresponds to the main upwelling season.*

*With the help of the T-S relationship established during three intensive experiments, it has been possible to calculate the dynamic height (DH) from the thermal profiles and to show that a very good correlation exists between the DH and MSL on time scales from a few day to 6 months.*

*Off Abidjan, the amplitude from peak to trough of the seasonal variation of surface dynamic height, relative to either 500 or 1 400 db, is always around 18 cm. The amplitude relative to a 300 db reference level is 16.5 dyn.cm. So we claim that most of the baroclinic seasonal signal is confined to the upper 300 m.*

*The monthly MSL at Tema, Takoradi and Abidjan are strongly correlated; these stations span 450 km of coastline. The appearance of the upwelling event is detected by a drop of MSL starting in April-May, simultaneous with a drop of surface DH relative to the 500 mb level. This occurs about one month prior to the drop of SST and the DH (0/20 db) near the coast. The acceleration of the Guinea Current which starts in May, simultaneous with the fall in the MSL cannot by itself account for either this drop or this lag. Both are more likely related to the vertical propagation of the seasonal upwelling signal from at least 300 m.*

*The trough in the dynamic height observed on the continental shelf around 6° W seems permanent and is probably related to the reversal of sea surface slope along the Equator in the Gulf of Guinea.*

*The longest available time series of MSL does not show any periodicity of time scales longer than one year. The annual, semi-annual and third-annual components are significant along the northern coast of the Gulf of Guinea, whereas only the annual component appears in the MSL time series at Dakar.*

KEY WORDS : Mean level — Surface temperature — Dynamic height — Gulf of Guinea.

## 1. INTRODUCTION

Grâce aux efforts continus de l'O.R.S.T.O.M. en Côte d'Ivoire, du Service des Pêches au Ghana et des Services Hydrographiques de ces deux pays pendant ces vingt dernières années, nous disposons maintenant de plusieurs séries chronologiques de longue durée, en océanographie physique, permettant d'aborder les problèmes de variabilité à l'échelle du Golfe de Guinée. Créé en mai 1961, le C.R.O. (Centre de Recherches Océanographiques) a étudié depuis Abidjan l'hydrologie, la courantométrie et la sédimentologie du plateau continental ivoirien. Depuis 1963, le F.R.U. (Fishery Research Unit) à Tema effectue le même type de travail sur le plateau continental ghanéen.

Le but de cette étude est de montrer qu'il est possible de décrire la variabilité barotrope et barocline côtière moyenne et basse fréquence, c'est-à-dire depuis l'échelle de temps du jour jusqu'aux variations saisonnières et interannuelles, à l'aide des observations du niveau moyen de l'océan. Les moyennes mensuelles du niveau moyen permettent d'examiner les échelles de temps de quelques mois à quelques années, donc d'aborder les variations climatiques à court terme.

Les observations hydrologiques et marégraphiques sont d'abord présentées. Il est ensuite établie l'existence d'une excellente corrélation entre les niveaux moyens et les hauteurs dynamiques pour des échelles de temps inférieures à l'année; ceci justifie la comparaison qui s'ensuit, des variations saisonnières et interannuelles des niveaux moyens, des températures de surface et des hauteurs dynamiques. Finalement une analyse de Fourier des plus longues séries sera présentée.

## 2. LES OBSERVATIONS

## 2.1. Les données hydrologiques

Dès 1963, le F.R.U. enregistrait chaque jour la température et la salinité de surface d'abord à Tema, puis en sept points répartis le long de la côte du Ghana. De 1957 à 1964, l'O.R.S.T.O.M. a réalisé 217 stations hydrologiques à 20 milles au sud d'Abidjan, de la surface à 1 400 mètres (station « Abidjan Sud »). A partir de mars 1966, le C.R.O. a visité deux fois par semaine une station côtière située sur des fonds de 20-25 m, à environ 3 milles à l'ouest de l'ouverture du canal de Vridi : on évite

ainsi, généralement, la « pollution » des eaux lagunaires entraînées vers l'est par le courant de Guinée. Les mesures de température et de salinité étaient effectuées aux niveaux 0, 5, 10, 15, 20 m. Cette station, pas assez profonde, ne permettait pas de suivre les déplacements de la thermocline saisonnière; depuis juillet 1981, elle se trouve plus au large, sur des fonds de 42-43 mètres (fig. 1), avec mesures aux niveaux 0, 5, 10, 20, 30, 40 m; elle permet de surveiller sur une plus grande épaisseur la distribution verticale de température et de salinité du plateau continental, particulièrement aux moments des changements de saisons marines. Le total des stations hydrologiques ainsi visitées du 29 mars 1966 au 31 août 1981 s'élève à 1351; enfin, depuis mai 1977, le C.R.O. enregistre chaque jour la température de surface de la mer en cinq points du littoral ivoirien.

Afin d'obtenir une bonne description des variations saisonnières de l'hydrologie et des grands courants généraux sur le plateau continental, une

section hydrologique au large de Grand-Bassam ( $3^{\circ}49' W$ ), à 11 milles à l'est d'Abidjan, a été visitée de mars 1966 à septembre 1970, à une fréquence légèrement supérieure à une fois par mois, sur les fonds de 15, 30, 50, 80, 100 et 200 m.

Pour connaître simultanément les échelles de temps et d'espace de l'upwelling côtier, il fallait réaliser une couverture hydrologique systématique du plateau continental ivoirien, du Liberia à l'ouest au Ghana à l'est; 29 campagnes furent ainsi exécutées de juillet 1969 à janvier 1972, chacune comportant 12 radiales nord-sud avec stations hydrologiques sur les fonds de 20, 60 et 200 m (campagnes « KENNEDY », fig. 2).

La première expérience d'observations intensives de l'upwelling a été réalisée en août 1973 par le C.R.O. : pendant près de 9 jours, 35 stations hydrologiques (4/jour) ont été exécutées et 213 bathytermogrammes (1/heure) enregistrés, le navire « Reine Pokou » étant ancré dans 52 m d'eau. Il faut ensuite citer l'opération mouillage instrumenté à 3 niveaux

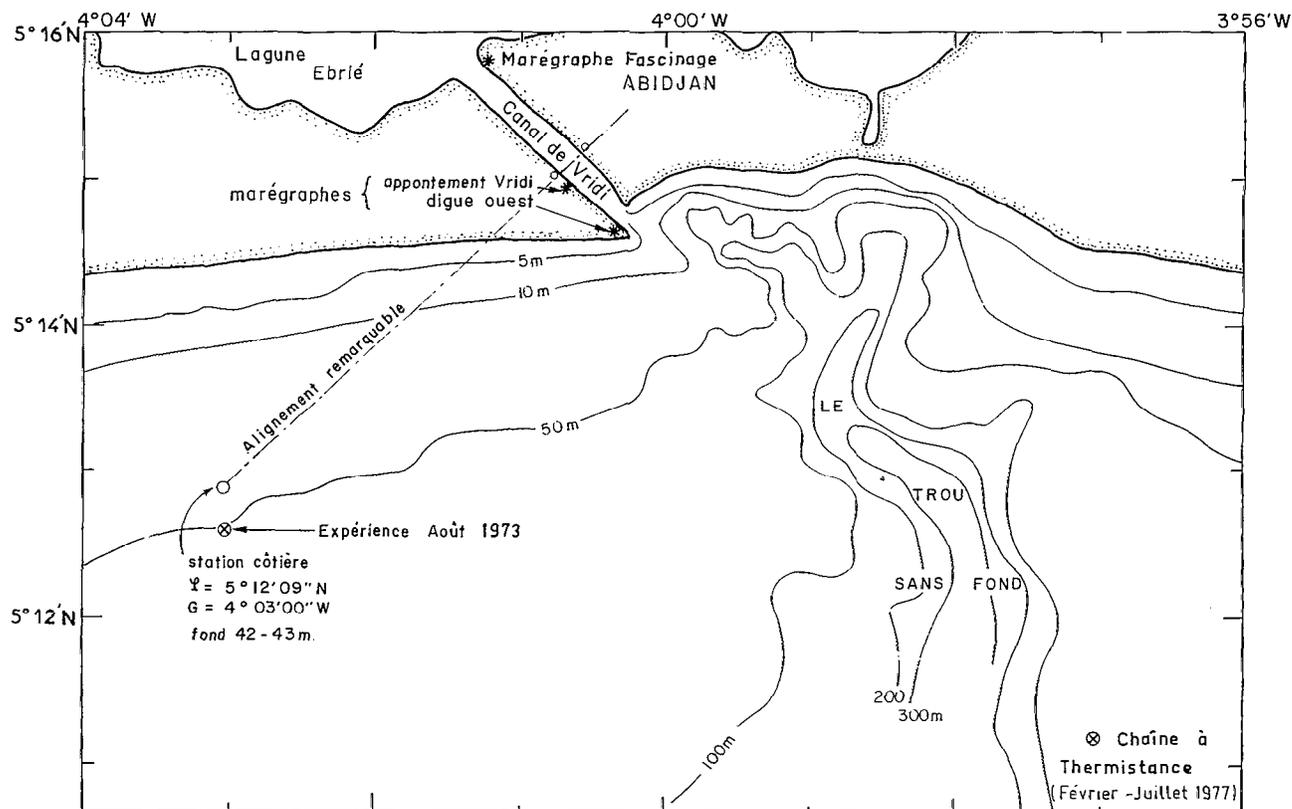


FIG. 1. — Positions de la station côtière et des marégraphes à Abidjan et des expériences d'observations intensives d'août 1973 et de février à juillet 1977

Positions of the coastal stations and tide gauges near Abidjan (Ivory Coast), and of the intensive experiments in August, 1973 and from February to July, 1977

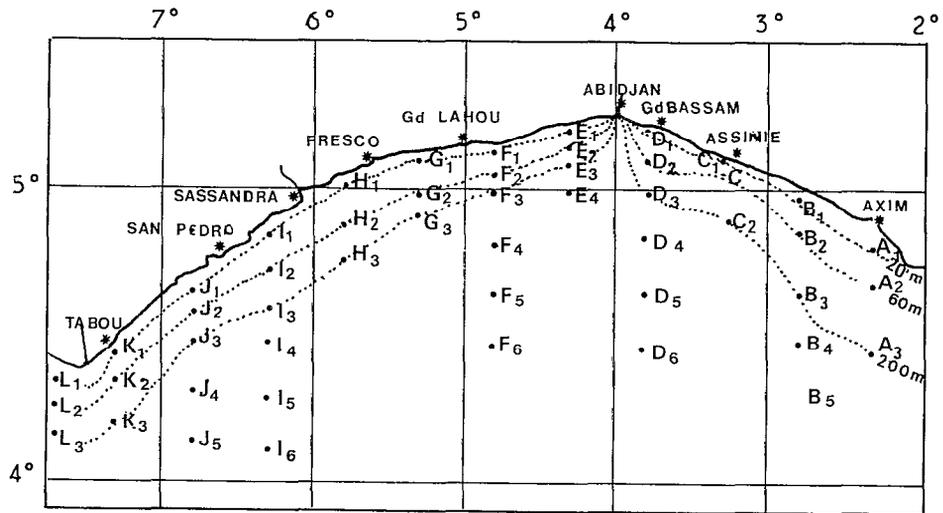


FIG. 2. — Positions de la section hydrologique « Grand-Bassam » et des radiales des campagnes « KENNEDY »  
*Positions of the « Grand Bassam and « Kennedy » hydrographic cruise sections*

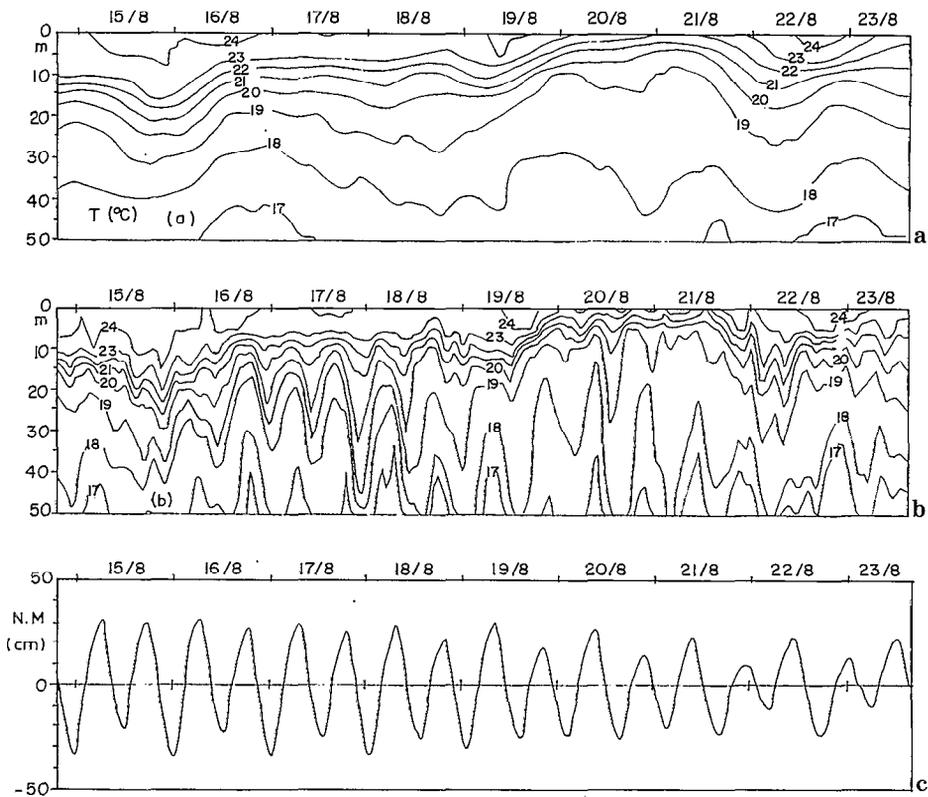


FIG. 3. — (a) Variation de profondeur des isothermes après filtrage passe-bas au large d'Abidjan par fonds de 52 m du 14 au 23 août 1973. (b) Variations heure par heure de profondeur des isothermes à la même station. (c) Niveau de la mer heure par heure enregistré au marégraphe d'Appontement Vridi

(a) *Low pass filtered isotherms at the mooring off Abidjan in a water depth of 52 m from August 14 to 23, 1973. (b) Hourly isotherm depths at the same mooring. (c) Hourly sea surface height at the Abidjan Appontement Vridi tide gauge*

menée par R. HOUGHTON et le F.R.U. au large de Tema pendant 74 jours par fonds de 87 m, du 29 mai au 13 août 1974, qui a permis de suivre en continu pour la première fois le déclenchement de l'upwelling côtier. Enfin, le C.R.O. a maintenu pendant 163 jours une chaîne à thermistance de 50 m de longueur, mouillée par des fonds de 65 m, de février à juillet 1977, qui a permis également de suivre sans interruption le démarrage de l'upwelling côtier.

## 2.2. Les données marégraphiques

Depuis 1973, le C.R.O. effectue régulièrement la saisie des données marégraphiques en quatre points de la côte nord du Golfe de Guinée et, pour ce faire, entretient d'étroites relations avec les services hydrographiques de Côte d'Ivoire, du Ghana et du Togo. Les trois pays possèdent des marégraphes à flotteur à enregistrement continu du niveau de la mer. La Côte d'Ivoire a mis en place trois marégraphes OTT dans le canal de Vridi, l'un près de

l'océan sur la digue ouest de l'entrée du canal, les deux autres à 1 km et 3 km de l'océan (fig. 1). Par forte houle, le premier marégraphe (digue ouest) est fréquemment endommagé et les enregistrements sont interrompus; pour cette raison nous avons dû utiliser systématiquement le deuxième marégraphe (appontement Vridi) et quelquefois le troisième (Fascinage), bien que situés dans des positions moins favorables : en effet, pendant la période des crues lagunaires (mai-juin et octobre-novembre), le niveau moyen déduit des observations de ces derniers marégraphes peut subir ainsi des variations de niveaux parasites.

Les marégraphes du Ghana (Tema et Takoradi) et du Togo (Lomé) sont installés dans des ports artificiels gagnés sur la mer, donc dans de meilleures conditions d'observations. Le marégraphe de Tema, de fabrication anglaise, porte la marque « A. LEGE and Co. Ltd., London »; celui de Takoradi ne porte plus aucune marque de fabrique; quant au port de Lomé, il est équipé d'un marégraphe OTT. Sur les marégraphes, le niveau de la mer est collecté

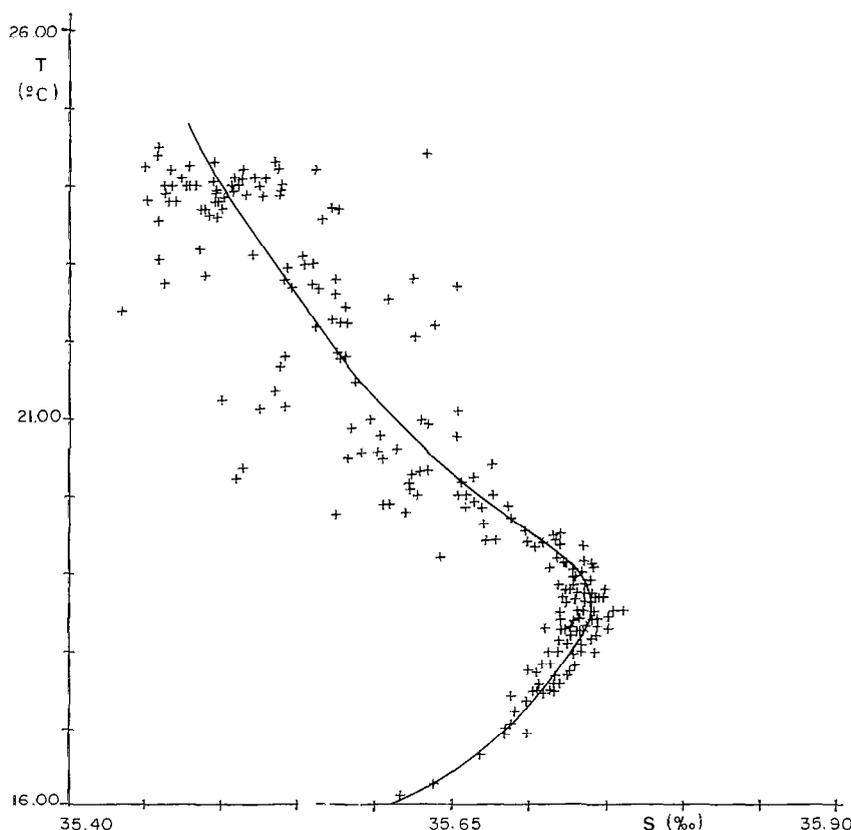


FIG. 4. — Diagramme T-S obtenu à l'aide de 35 stations Nansen (0-40 m) exécutées en août 1973. Le trait continu représente la relation T-S moyenne utilisée

*T-S relationship constructed from 35 Nansen casts (0-40 m) in August, 1973. The continuous line gives the mean T-S relationship used for computation of the dynamic heights*

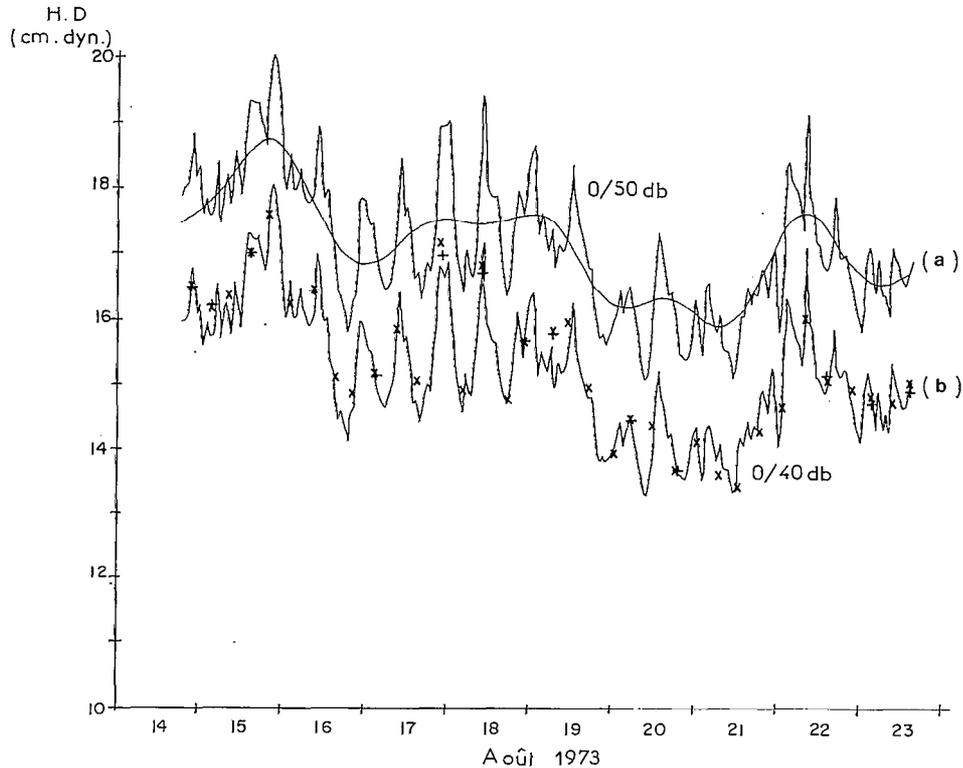


FIG. 5. — Hauteurs dynamiques pendant l'expérience d'août 1973 : × : — A l'aide des températures et salinités observées (35 stations Nansen). + : — A l'aide de la température observée (station Nansen) et des salinités tirées de la relation T-S moyenne. Les courbes continues 0/40db (a) et 0/50db (b) représentent les hauteurs dynamiques heure par heure obtenues à l'aide des 213 bathythermogrammes et de la relation T-S moyenne. La courbe lissée montre les variations de H.D. 0/50 db après filtrage en sinus intégral

*Dynamic heights during the experiment of August, 1973: × : — with the observed temperature and salinity (35 Nansen casts). + : — With the observed temperature (Nansen casts) and the salinity deduced from the mean T-S relationship. The continuous lines 0/40 db (a) and 0/50 db (b) correspond to the hourly dynamic heights computed from the 213 bathythermograms and the mean T-S relationship. The smoothed line corresponds to the low pass filtered dynamic heights (integral sinus filter)*

par l'O.R.S.T.O.M. heure par heure pour ces cinq appareils depuis 1976. Afin d'alléger le travail de digitalisation à partir des marégrammes, le niveau moyen journalier à Abidjan a d'abord été calculé à partir des hautes et basses mers (niveau moyen de mi-marée). La comparaison des niveaux moyens obtenus de cette façon avec les niveaux moyens calculés à partir des données horaires a montré que l'écart était négligeable. Toutefois, à partir du moment où le temps d'échantillonnage sur les mouillages instrumentés était de l'ordre de 20 mn, il devenait nécessaire de saisir les données marégraphiques heure par heure.

### 3. LA CORRÉLATION NIVEAU MOYEN-HAUTEUR DYNAMIQUE A DES ÉCHELLES DE TEMPS INFÉRIEURES À L'ANNÉE

Les premières observations intensives de l'upwelling sur le plateau continental ivoirien ont eu lieu

du 14 au 23 août 1973, pendant 8 jours 21 heures. Le navire de recherche « Reine Pokou » était ancré par des fonds de 52 m, au sud de la station côtière; 1 station hydrologique Nansen toutes les quatre heures, 1 bathythermogramme toutes les heures ont permis d'obtenir 35 stations hydrologiques jusqu'à 40 m, et 213 profils thermiques jusqu'à 50 m. La figure 3 b présente les variations de profondeur des isothermes heure par heure; on peut observer des marées internes particulièrement nettes du 16 au 18 août sur l'isotherme 19 °C, puis sur l'isotherme 18 °C du 19 au 23 août; les déplacements verticaux peuvent atteindre 30 m et une comparaison avec la figure 3 c montre qu'ils se produisent en phase avec la marée enregistrée au marégraphe « appontement VRIDI ». Après filtrage de la marée, on obtient les variations présentées en figure 3 a.

Pour obtenir les hauteurs dynamiques (H.D.) heure par heure, on a établi la relation T-S moyenne

grâce aux 35 stations Nansen de la surface à 40 m (fig. 4). La comparaison entre les hauteurs dynamiques tirées des observations de température et de salinité avec celles tirées de la relation T-S par seule observation de la température montre que l'erreur faite en utilisant la relation T-S atteint au maximum 0,2 cm-dyn (fig. 5). Ce test ayant porté sur 35 stations également réparties dans le temps de l'expérience, on peut en déduire que l'utilisation de la relation T-S est valable pour le calcul des hauteurs dynamiques heure par heure à l'aide de 213 bathythermogrammes; elles sont représentées sur la figure 5 par un trait continu; les variations de H.D. pour une référence à 50 db ont été établies en prenant les salinités sur le T-S moyen tracé en trait continu. Après élimination des périodes inférieures à 25 heures à l'aide d'un filtre passe-bas en sinus intégral, on obtient les variations baroclines et barotropes heure par heure du niveau moyen et de la hauteur dynamique (fig. 6). Nous avons effectué la corrélation sur ces deux séries de données par pas de 2 heures et obtenu un coefficient de corrélation de 0,83. Avec le niveau moyen corrigé de l'effet barométrique (dans l'hypothèse du baromètre inversé), le coefficient de corrélation est de 0,77.

Les analyses de spectres croisés, effectuées sur 5 années d'observation à Abidjan, ont montré la remarquable cohérence et l'absence de déphasage entre le niveau moyen corrigé et non corrigé (PICAUT et VERSTRAETE, 1976).

La deuxième période de mesures intensives a été réalisée par le F.R.U. sur le plateau continental ghanéen du 29 mai au 13 août 1974, et consistait en un mouillage subsuperficiel instrumenté aux niveaux 12, 42 et 82 m; le mouillage était installé à 13 milles dans le SE de Tema, sur des fonds de 87 m. Après filtrage de la marée par un filtre en cosinus sur 75 h, HOUGHTON (1976) présente les variations jour par jour des températures à 0, 12, 42 et 82 m, ainsi que les variations du niveau moyen corrigé. Nous avons repris ces données et, à l'aide de la relation T-S, il nous a été possible de calculer les hauteurs dynamiques moyennes journalières (fig. 7). La régression faite sur 74 couples donne un coefficient de corrélation de 0,92, tout à fait remarquable; de plus, l'ordonnée à l'origine (0,25 mm-dyn) étant très faible, la droite de régression de pente voisine de 1 ( $a = 1,16$ ) passe presque par l'origine, ce qui indique que les deux grandeurs varient proportionnellement (fig. 8).

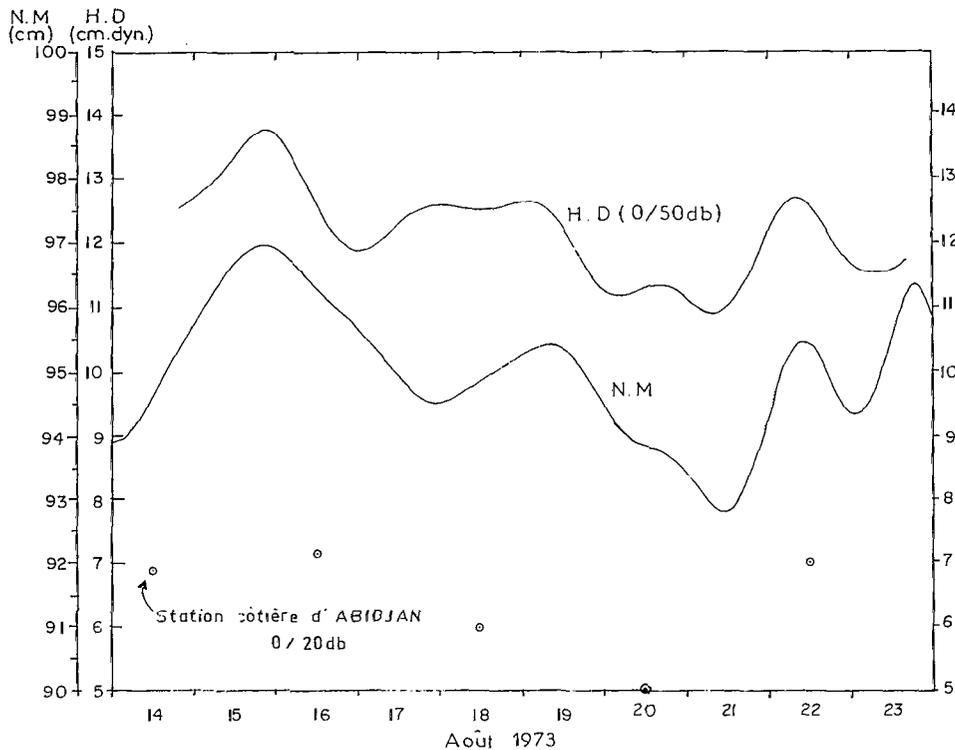


FIG. 6. — Variations heure par heure du niveau moyen et de la hauteur dynamique (0/50 db) après élimination des oscillations de périodes inférieures à 25 h. Les hauteurs dynamiques (0/20 db) calculées à la station côtière ont été reportées

Variation of low pass filtered MSL and 0/50 db dynamic height (integral sinus filter). The 0/20 db dynamic height is also shown

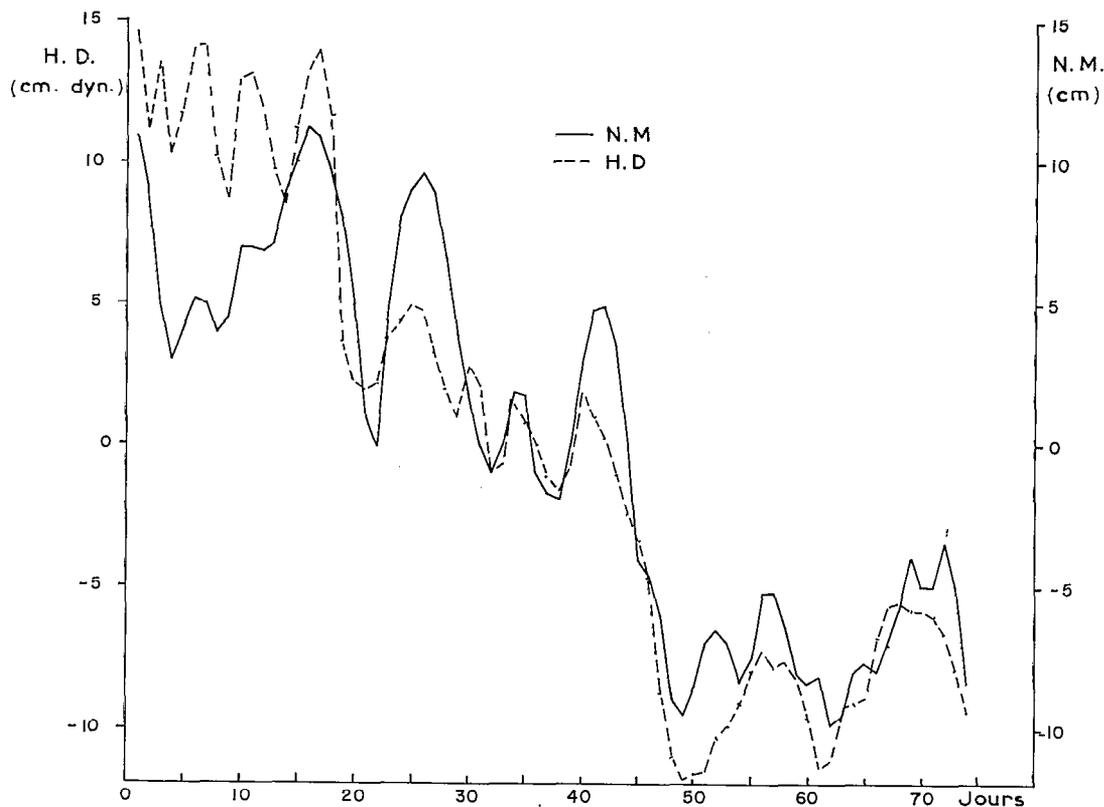


FIG. 7. — Variations de la hauteur dynamique journalière H.D. 0/80 db (cm-dyn) et du niveau moyen journalier N.M. (cm), corrigé de l'effet barométrique, pendant les 74 jours de l'expérience au large de Tema par fond de 87 m

*Variation of the daily dynamic height (0/80 db) and adjusted sea level during the 74 days of the experiment off Tema, in a water depth of 87 m*

Enfin, une troisième période de 163 jours d'observation intensive de la structure thermique par une chaîne à thermistance de 50 m de long, mouillée sur des fonds de 65 m, a été menée par le C.R.O. du 12 février au 24 juillet 1977. Après filtrage de la marée (DÉMERLIAC, 1973), on obtient les variations de profondeur des isothermes (fig. 9). La relation T-S a été établie mois par mois à l'aide de 33 stations hydrologiques faites sur des fonds allant de 35 à 90 m et de 45 stations côtières faites dans 25 mètres d'eau; à l'aide de ces 78 stations Nansen, il a été possible de déterminer le T-S moyen pour chaque mois de février à juillet 1977 (fig. 10), et de calculer les hauteurs dynamiques (0/60 db) jour après jour, après l'élimination des oscillations de périodes inférieures à 25 h (fig. 11). En raison d'une erreur de calage des marégraphes le 26 mars 1977, nous avons reporté sur le même graphique les niveaux moyens observés aux deux stations d'Appontement VRIDI et Fascinage. La régression linéaire est présentée sur la figure 12. La chute de hauteur dynamique à partir de mi-mai correspond

à la montée des isothermes et au début de l'upwelling. Du 17 mai au 24 juillet, le niveau moyen baisse de 13,6 cm à Fascinage tandis que la hauteur dynamique baisse de 12,8 cm-dyn sur les fonds de 65 m.

Les hauteurs dynamiques (0/25 db) calculées à la côtière et celles établies à la station chaîne à thermistance grâce à la relation T-S sont fortement corrélées ( $r = 0,82$ ). Ces calculs montrent enfin que le T-S moyen est tout à fait suffisant (erreur inférieure à 1 cm-dyn) pour les calculs dynamiques à partir d'un profil thermique.

L'étude de la relation T-S a été entreprise avec toutes les données hydrologiques collectées à la station côtière d'Abidjan de mars 66 à août 81 soit 1 351 stations. On a calculé  $\bar{T}$  et  $\bar{S}$  par périodes de 15 jours et les diagrammes  $\bar{T}-\bar{S}$  ont été établis mois par mois. L'étude de la relation linéaire entre température et salinité est résumée dans le tableau I, donnant pour chaque mois le nombre d'échantillons  $n$ , le coefficient de régression  $r$ , l'ordonnée à l'origine  $b$ , la pente  $a$  et sa variance. On voit que la liaison T-S est très forte pendant toute l'année (Tab. 1), sauf

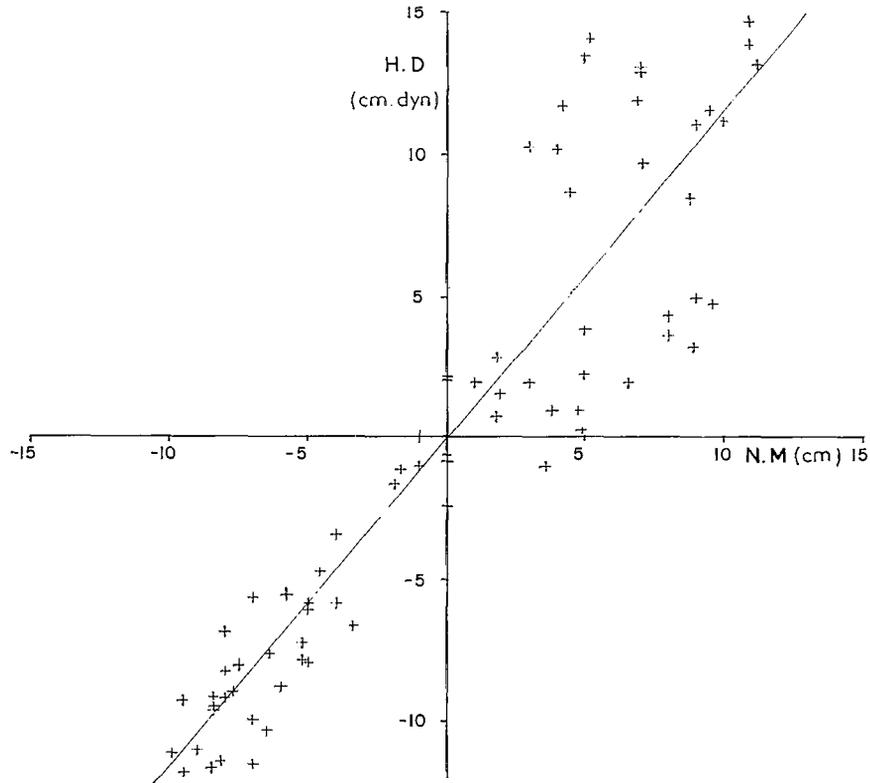


FIG. 8. — Régression linéaire de la hauteur dynamique H.D. en fonction du niveau moyen corrigé N.M. (expérience au large de Tema)

*Linear regression between the dynamic height and mean sea level during the Tema experiment*

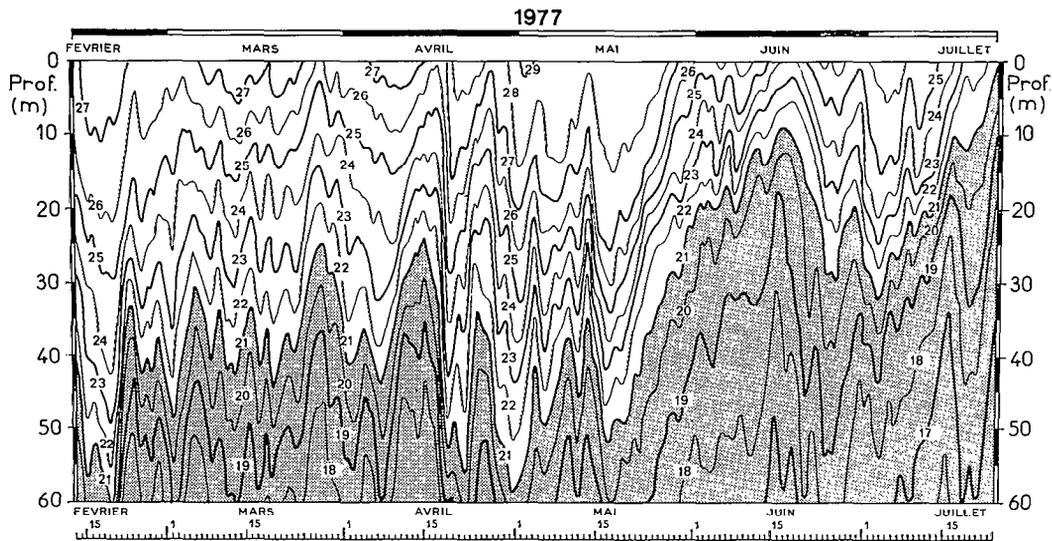


FIG. 9. — Variations de profondeur des isothermes du 12 février au 24 juillet 1977 après filtrage des oscillations de période inférieure à 25 h, à la station chaîne à thermistance au large d'Abidjan, par fond de 65 m

*Variation of isotherm depth from February 12 to July 24, 1977, after filtering all oscillations of period less than 25 hours, at the thermistor chain mooring off Abidjan in a water depth of 65 m*

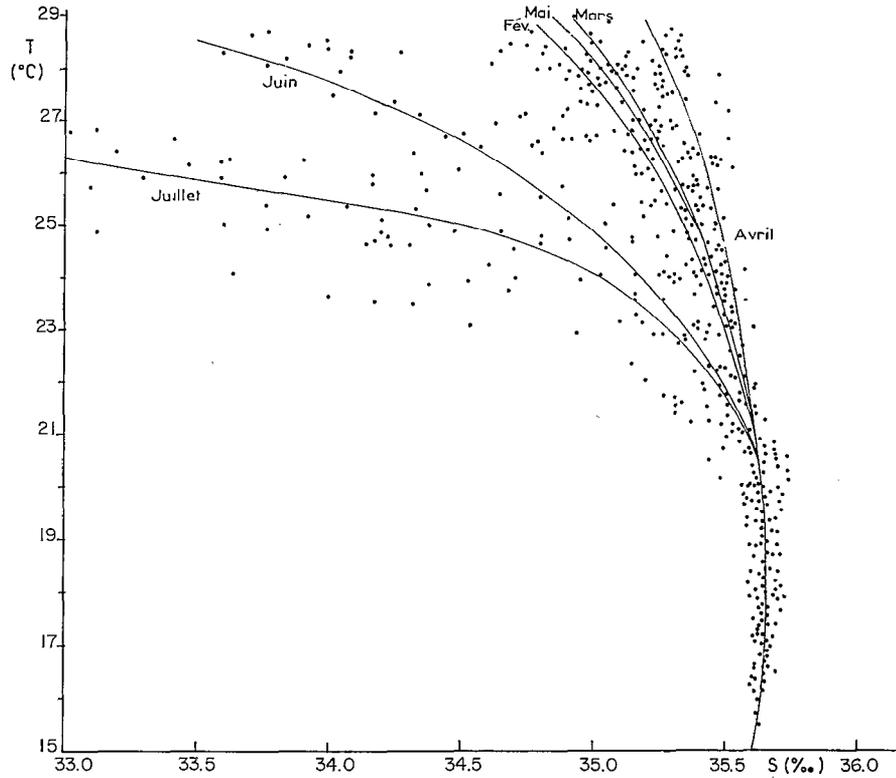


FIG. 10. — Diagramme T-S établi à l'aide des 78 stations Nansen effectuées devant Abidjan de février à juillet 1977  
*T-S relationship established from the 78 Nansen casts off Abidjan in February to July, 1977*

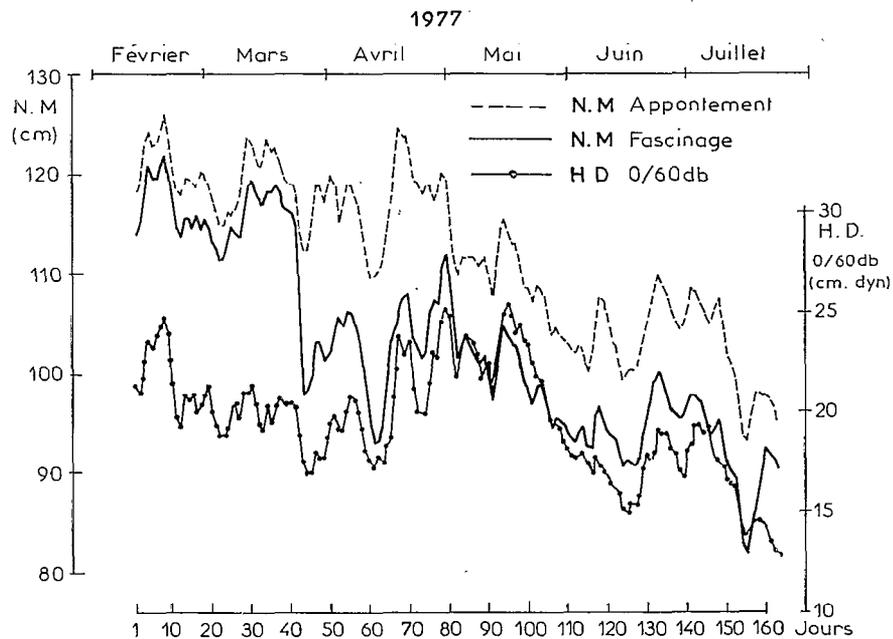


FIG. 11. — Niveaux moyens journaliers calculés à partir des données horaires (filtrage Démarliac) observées aux marégraphes d'Abidjan « Appontement Vridi » et Fascinage ». — Hauteurs dynamiques (0/60db) à la station chaîne à thermistance du 12 février au 24 juillet 1977

*Daily mean sea level calculated from hourly measurements (Demerliac filter) taken at the Abidjan tide gauges « Appontement Vridi » and « Fascinage ». — Dynamic height (0/60 db) at the thermistor chain mooring from February 12 to July 24, 1977*

TABLEAU I

Régression entre la salinité et la température à la station côtière d'Abidjan  
*Regression between salinity and temperature at the Abidjan coastal station*

Régression T, S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	148	136	148	153	158	146	146	146	132	156	142	155
r	-0,86	-0,74	-0,79	-0,71	-0,56	-0,46	-0,75	-0,64	-0,80	-0,59	-0,64	-0,74
b	38,47	37,95	37,54	37,80	39,63	39,67	42,71	37,97	38,76	40,55	46,54	41,06
a	-0,136	-0,108	-0,087	-0,098	-0,173	-0,214	-0,365	-0,125	-0,169	-0,244	-0,456	-0,241
Var (a)	$4.10^{-5}$	$10^{-4}$	$3.10^{-5}$	$10^{-4}$	$4.10^{-4}$	$10^{-3}$	$7.10^{-4}$	$2.10^{-4}$	$10^{-4}$	$7.10^{-4}$	$2.10^{-3}$	$3.10^{-4}$

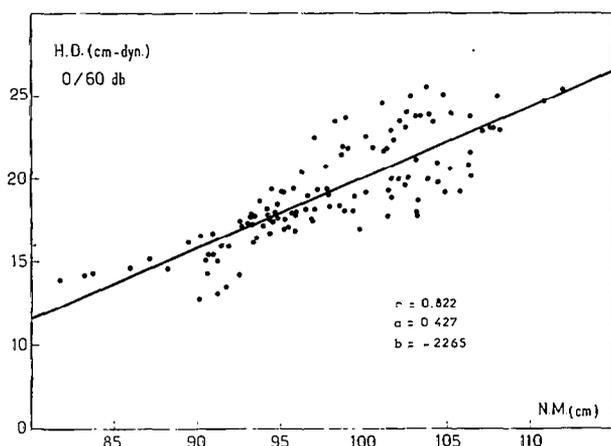


FIG. 12. — Régression linéaire de la hauteur dynamique H.D. (0/60 db) (moyenne journalière) en fonction du niveau moyen N.M. (journalier) du 26 mars au 24 juillet 1977

*Linear regression between the daily dynamic height (0/60 db) and the daily mean sea level from March 28 to July 24, 1977*

durant la grande saison des pluies de mai à juin et la petite saison des pluies d'octobre à novembre, où l'on observe une forte dispersion de la salinité dans les couches superficielles (0-5 m).

#### 4. LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DU NIVEAU MOYEN ET DES TEMPÉRATURES DE SURFACE

Pour la station d'Abidjan (fig. 13), nous avons utilisé les moyennes par quinzaine, de 1967 à 1976, des températures de surface de la mer (T.S.M.) et du niveau moyen (N.M.). A Tema (fig. 14) et Takoradi (fig. 13), il s'agit des moyennes mensuelles. Les séries chronologiques des T.S.M. mettent en évidence deux phénomènes d'upwelling se produisant chaque année : (1) entre novembre et février, la T.S.M. baisse d'environ 2°C par rapport à celle de novembre : c'est la « petite saison froide » ; (2) de

mi-juin à mi-octobre, la T.S.M. baisse d'environ 6°C par rapport à celle de mai : c'est la « grande saison froide ». Les niveaux moyens mensuels calculés aux trois stations présentent une baisse de l'ordre de 5 cm en hiver et de l'ordre de 10 à 15 cm au début de l'été de l'hémisphère nord. Le caractère anormal de l'année 1968 apparaît de façon particulièrement nette sur le niveau moyen à Abidjan. Le maximum absolu de pluviométrie observé à la côte cette année-là, associé à un faible upwelling explique la hausse continue du niveau moyen de juillet à octobre (fig. 13). Si les trois figures semblent indiquer une certaine corrélation entre les deux grandeurs, leurs variations ne sont pas exactement en phase. Si l'on examine l'année moyenne établie pour Tema (16 ans de mesure), on constate que les variations de T.S.M. suivent celles du niveau moyen avec un retard de l'ordre de un mois ; à Abidjan, il est clair que le niveau moyen est anormalement élevé du fait des pluies de mousson en mai-juin ; toutefois, on peut ici préciser que le minimum de niveau moyen se produit dans la première quinzaine d'août, tandis que le minimum de T.S.M. a lieu dans la deuxième quinzaine d'août ou la première quinzaine de septembre. Une explication plausible de ce déphasage sera abordée dans le chapitre suivant.

L'étude de la régression linéaire entre les T.S.M. et les N.M. a été conduite de deux façons différentes sur les deux plus longues séries. Pour les séries obtenues à Tema (fig. 15), nous avons étudié la corrélation entre les écarts des moyennes mensuelles à la moyenne générale des 16 années de données ; pour 192 couples, le coefficient de corrélation s'établit à 0,624 et la liaison (T.S.M., N.M.) est significative (risque inférieur à 1 %). Il semble qu'à Takoradi (fig. 13), le niveau de référence du marégraphe ait subi plusieurs changements entre 68 et 78 ; pour éliminer ces changements du niveau de référence, nous n'avons considéré que les écarts aux moyennes annuelles, et nous avons dû exclure l'année 1971 dont les données N.M. paraissent incertaines. Nous avons pu corrélérer au total 116 couples et le coefficient de corrélation atteint 0,79 avec un test de liaison

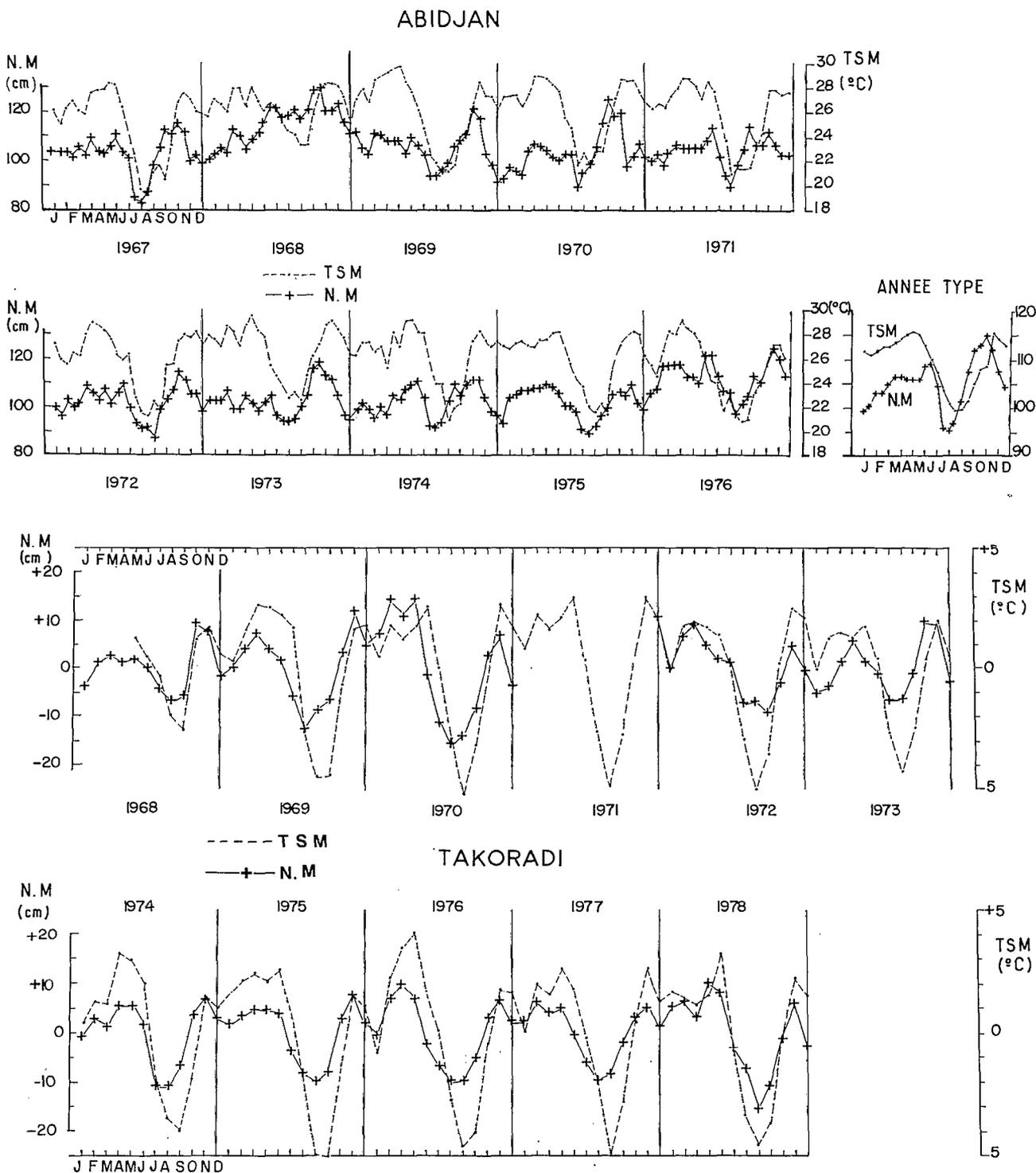


FIG. 13. — Moyennes par quinzaines de 1967 à 1976 de la température de surface de la mer (T.S.M.) et du niveau moyen (N.M.) à Abidjan. Moyennes mensuelles de 1968 à 1978 de T.S.M. et N.M. à Takoradi

Fortnightly mean sea surface temperature and mean sea level at Abidjan from 1967 to 1976. Monthly mean sea surface temperature and sea level at Takoradi from 1968 to 1978

## TEMA

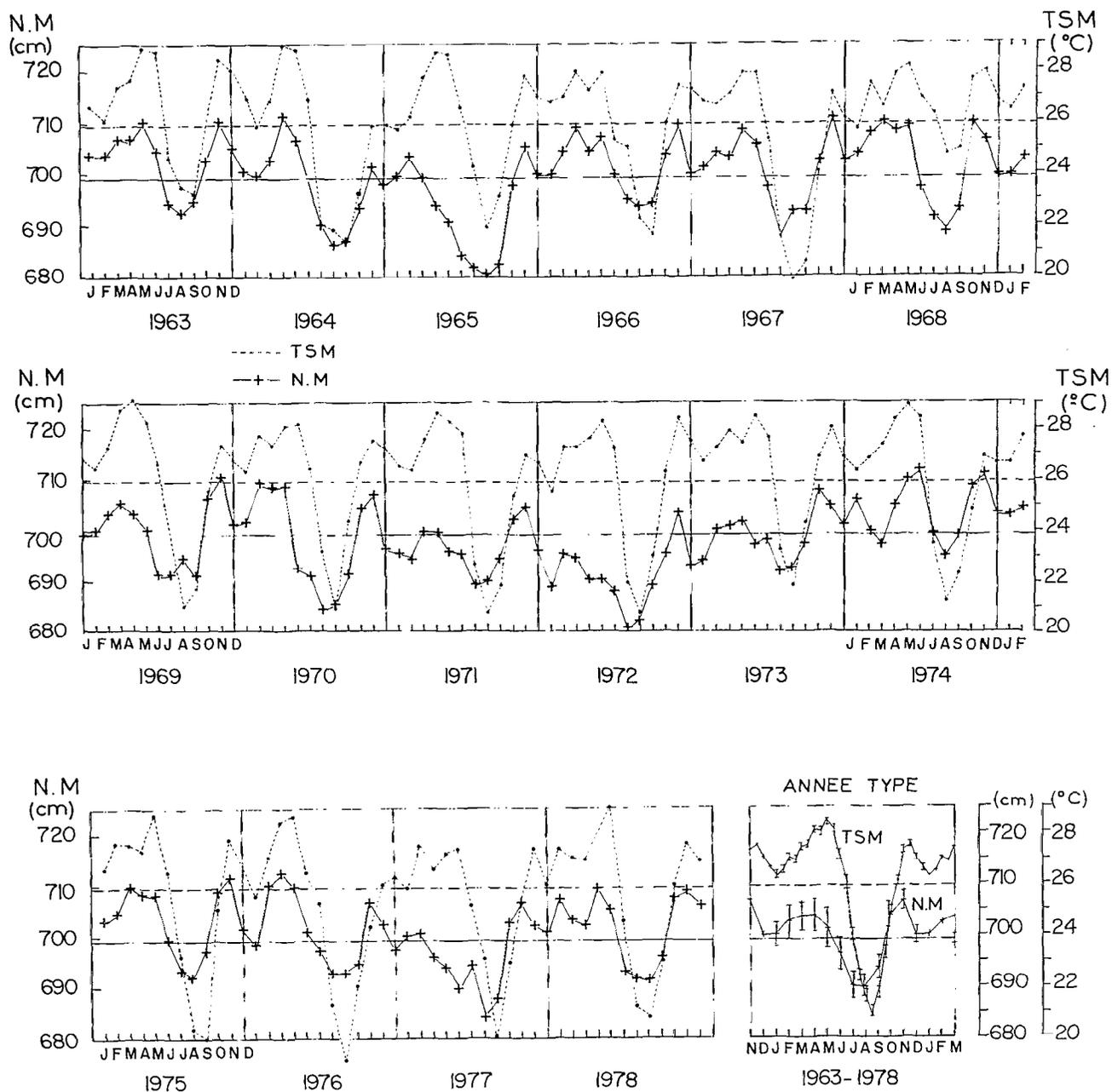


Fig. 14. — Moyennes mensuelles de 1963 à 1978 de T.S.M. et N.M. à Tema  
 Monthly mean sea surface temperature and sea level at Tema from 1963 to 1978

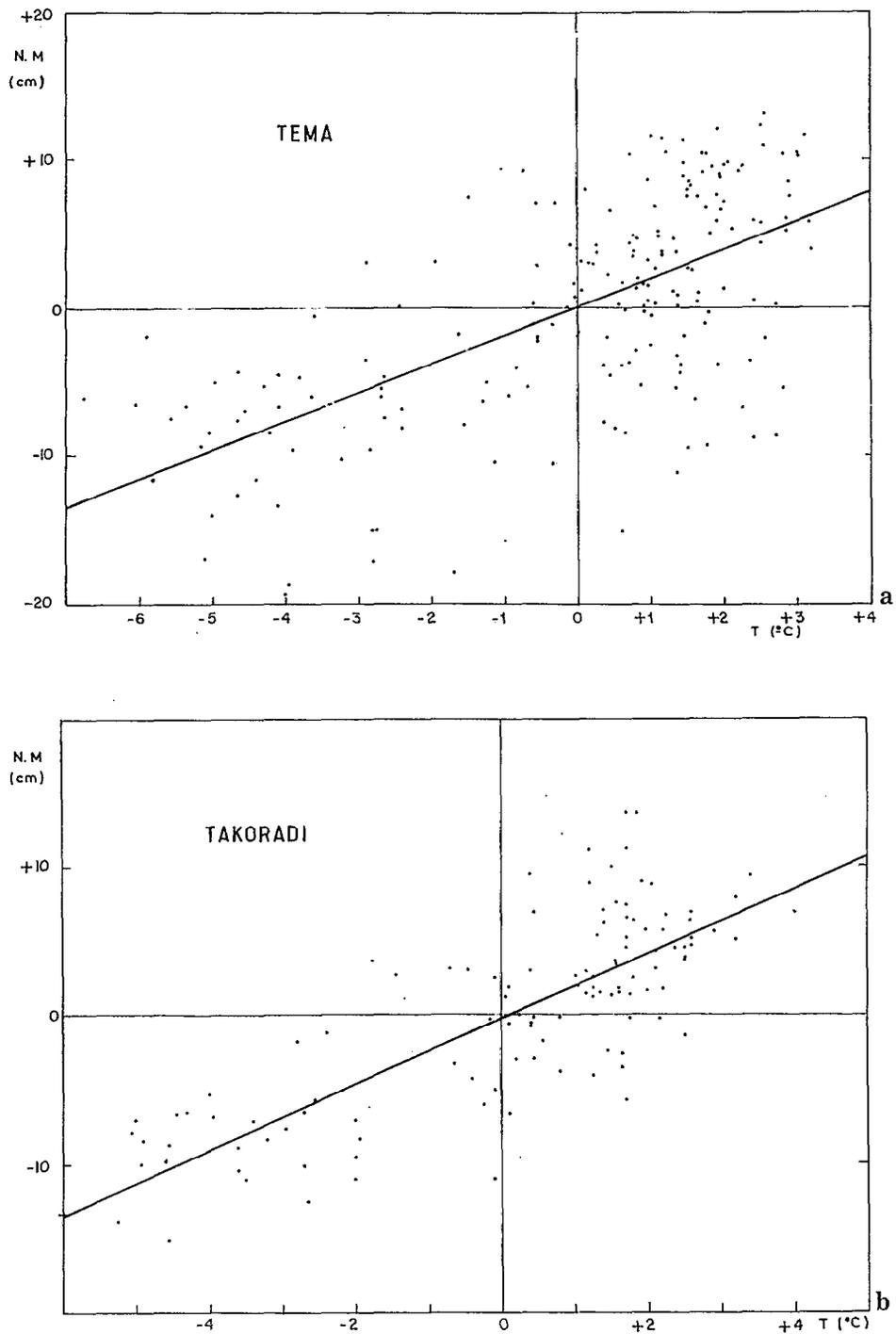


FIG. 15. — Régression linéaire (T.S.M.-N.M.). — (a) Tema : corrélation entre les écarts aux moyennes générales. (b) Takoradi : corrélation entre les écarts aux moyennes annuelles

Linear regression between sea surface temperature and mean sea level. — (a) Tema : correlation between the deviation from the total mean. (b) Takoradi : correlation between the deviation from the annual mean

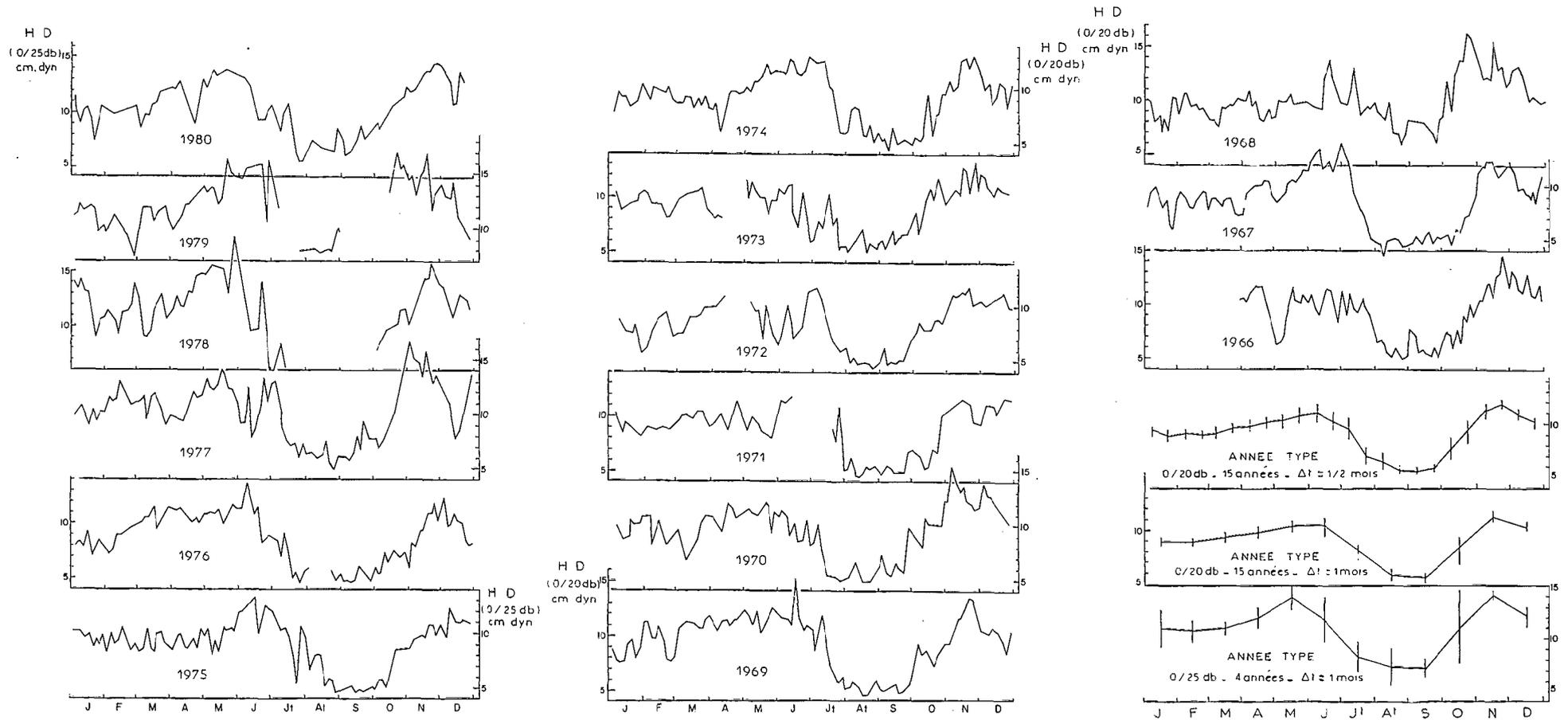


FIG. 16. - Variation de la hauteur dynamique de la surface de la mer de 1966 à 1980 à la station côtière d'Abidjan. Niveau de référence 20 db. Années-types de la hauteur dynamique (15 années) établies avec les moyennes par quinzaines puis avec les moyennes mensuelles. Les intervalles de confiance donnent les limites de l'erreur à 95 %

Variation of sea surface dynamic height relative to 20 db at the Abidjan coastal station from 1966 to 1980. Mean annual cycle of the dynamic height established from fortnightly and monthly means over 15 years. The error bar is the 95 % confidence level

très significatif. HOUGHTON (1976) avait trouvé une forte corrélation entre le N.M. et la température de surface à Tema pendant l'upwelling de 1974 avec un coefficient de corrélation de 0,67.

Ces corrélations sont établies en deux points distants de 200 km, sur des séries couvrant deux intervalles de temps différents. Dans les deux cas on observe que les deux droites de régression ont pratiquement la même pente et qu'elles passent très près de l'origine, ce qui indique que les anomalies de N.M. et de T.S.M. sont strictement proportionnelles. Ce résultat montre que le N.M. peut fournir un élément de surveillance continue de la température de surface.

## 5. LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DU NIVEAU MOYEN ET DES HAUTEURS DYNAMIQUES

Les variations de hauteur dynamique de la surface de la mer par rapport à un niveau de référence à 20 db sont présentées sur la figure 16 pour les 1272 stations effectuées à la station côtière d'Abidjan de mars 1966 à décembre 1980. Avec les niveaux moyens journaliers de 1967 à 1978, nous avons pu établir l'année-type des hauteurs dynamiques et des niveaux moyens mensuels corrigés de l'effet de pression barométrique, avec les intervalles de confiance donnant les limites de l'erreur à 95 % (fig. 17). Le N.M. est anormalement élevé en juin en raison des crues lagunaires; à cette époque de l'année, le N.M. enregistré à Abidjan-Vridi ne représente pas exactement les conditions océaniques. En réalité, à Tema et Takoradi, on observe une baisse de N.M. à partir de mai (fig. 13 et 14). Les variations mensuelles de hauteur dynamique au large du plateau continental se produisent pratiquement sans déphasage avec les variations mensuelles de N.M. de mars à décembre; notamment, la baisse de hauteur dynamique à partir du mois de mai apparaît sur les courbes 0/500 db (fig. 17) et 0/300 db. Le creux dynamique observé en janvier-février près de la côte n'apparaît au large qu'en février (référence 300 db) ou en mars (référence 1 400 db). L'amplitude crête à creux des variations de H.D. de la surface à la station côtière (référence 20 db) atteint 6 cm-dyn, tandis qu'à la station du large (référence 1 400 db) elle s'élève à 18 cm-dyn; il est remarquable que l'amplitude reste pratiquement inchangée en prenant un niveau de référence à 300 db (16,5 cm-dyn de crête à creux). L'amplitude crête à creux des variations N.M. atteint 17,5 cm et 15,0 cm sur le niveau moyen corrigé.

Les radiales faites de 1966 à 1970 au large de Grand-Bassam montrent que les variations saisonnières concernent tout le plateau continental.

L'upwelling se manifeste par une baisse des hauteurs dynamiques de la surface de l'ordre de 7, 15 et 20 cm-dyn pour les stations situées respectivement sur les fonds de 25-30 m, 80-100 m et 200 m (fig. 18, 19 et 20). On note que la baisse de H.D. en 1968 est légèrement inférieure à celle de 1967, alors que les températures de surface de 1968 sont nettement supérieures à celles de 1967. En 1967, on a observé un fort upwelling, tandis qu'en 1968 il n'y eut pratiquement pas de refroidissement en surface; cependant, les vents à la côte en 1968 étaient légèrement plus forts que la normale, ce qui suggère que

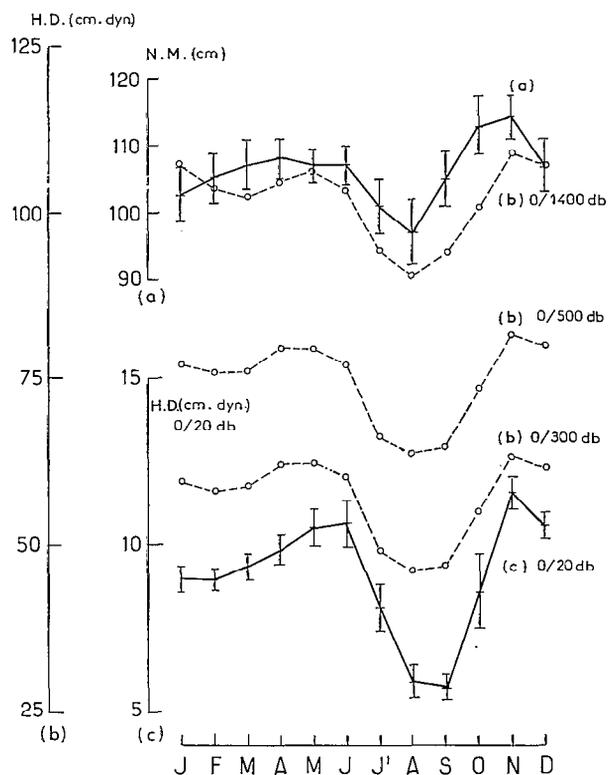


FIG. 17. — Années-types (moyennes mensuelles) (a) Niveau moyen à Abidjan « Appontement Vridi » (1967-1978) (b) Hauteur dynamique de la surface de la mer à la station « Abidjan-Sud » (38 km au sud d'Abidjan, 217 stations Nansen, 1957-1964). Niveaux de références : 1400 db, 500 db and 300 db. (c) Hauteur dynamique de la surface de la mer à la station côtière d'Abidjan (1272 Stations Nansen, 1966-1980). Niveau de référence : 20 db (l'échelle (c) a été dilatée 5 fois)

Mean annual cycle (monthly mean). (a) Mean sea level at Abidjan « Appontement Vridi » (1967-1978). (b) Sea surface dynamic height at the « Abidjan-Sud » station (38 km south of Abidjan, 217 Nansen casts, 1957-1964). Reference levels: 1400 db, 500 db and 300 db. (c) Sea surface dynamic height at the coastal station off Abidjan (1272 Nansen casts, 1966-1980). Reference level is 20 db (the (c) scale has been expanded by a factor of 5)

l'upwelling côtier n'est pas généré seulement localement.

Si l'on compare les années-types des hauteurs dynamiques calculées respectivement à 20 et 2 milles au large d'Abidjan et pour les références 1 400 et 20 db, on constate que la baisse de H.D., qui débute de novembre à décembre, se poursuit jusqu'en mars au large, alors qu'à la côte elle cesse dès février; en juin, la H.D. (0/20 db) à la station côtière est en retard de deux mois sur la baisse de H.D. (0/500 db) observée entre avril et mai à la station du large, tandis que de septembre à décembre les variations de H.D. se font dans le même sens. L'upwelling s'établit donc en progressant apparemment du large vers la côte; il se détecte à 20 milles au large à partir du mois de mai par une baisse de H.D., que l'on note dans les 500 ou les 300 mètres superficiels (courbes 0/500 db et 0/300 db); la baisse de N.M. est détectée à la côte dès avril par les marégraphes de Tema, Takoradi et Lomé, tandis que sur les fonds de 25-30 m aucun indice d'upwelling n'apparaît dans les H.D. avant le mois de juin.

BAKUN (1978) a montré que l'accélération du courant de Guinée débute en mai, avec des vitesses maximum en juin, juillet, août (vitesses moyennes supérieures à 1,5 nœuds entre le cap des Palmes et le cap des Trois Pointes). C'est précisément du début juin à la fin juillet que se produit la baisse rapide du niveau moyen observé à la côte, associée non pas à la baisse de la T.S.M., mais à une montée,

de la thermocline observée pendant 5 ans sur la « radiale Bassam ». En moyenne, la thermocline monte de 25 mètres en 50 jours sur le plateau continental, entre le début juin et la fin juillet (VERSTRAETE, 1970 b; MORLIÈRE et RÉBERT, 1972). HOUGHTON (1976) a également observé en juin 1974 la simultanéité de la baisse du niveau moyen à la côte, la montée de la thermocline et l'accélération du courant superficiel, tandis que la baisse rapide de la T.S.M. n'est apparue qu'un mois plus tard. Puisque le courant de Guinée est en équilibre géostrophique, une accélération du courant simultanée à une chute rapide du niveau moyen sur sa bordure nord implique une montée rapide de la thermocline sur le plateau continental (INGHAM, 1970); ceci pourrait expliquer que le refroidissement se produise dans les couches subsuperficielles sur le plateau avant d'atteindre la surface (fig. 9).

En raison de la faible épaisseur du courant de Guinée (LEMASSON et RÉBERT, 1973), cet ajustement géostrophique ne peut concerner que les 20 à 40 mètres superficiels. PICAUT (1983), à partir des observations faites à la station « Abidjan Sud », a montré que le signal saisonnier d'upwelling se propage verticalement; le maximum de refroidissement se produit d'abord à plus de 300 m pour atteindre la surface un mois et demi plus tard. Les H.D. (0/500 db) intègrent l'essentiel du signal barocline, tandis que les H.D. (0/20 db) ne rendent compte que du signal superficiel, ce qui explique

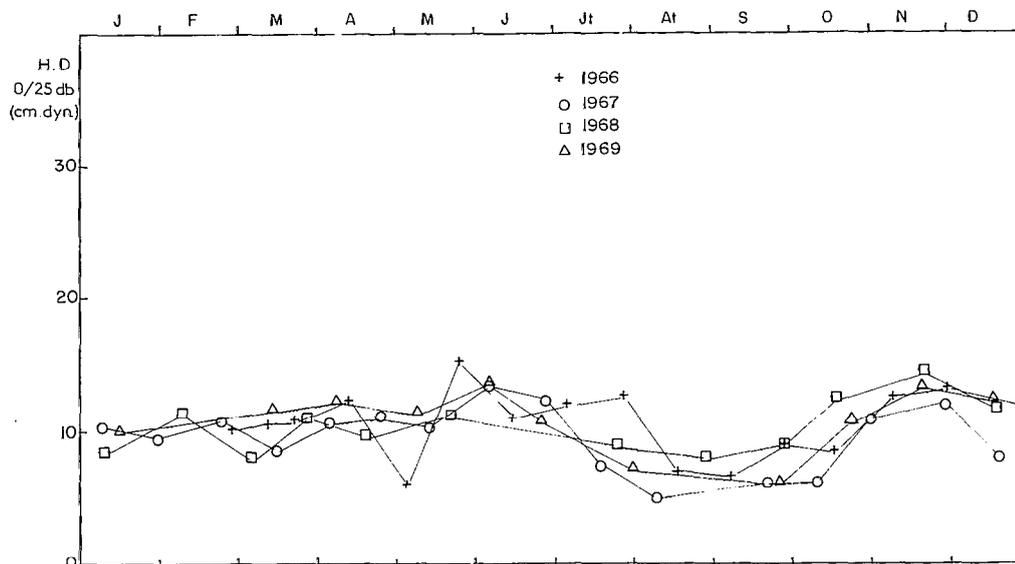


FIG. 18. — Section hydrologique de Grand-Bassam (20 km à l'est d'Abidjan). Hauteurs dynamiques de la surface de la mer mois par mois à la station située sur les fonds de 25-30 mètres. Niveau de référence : 20 db

« Grand Bassam » hydrographic sections (20 km east of Abidjan). Monthly sea surface dynamic heights at the station in a water depth of 25-30 m. Reference level is 20 db

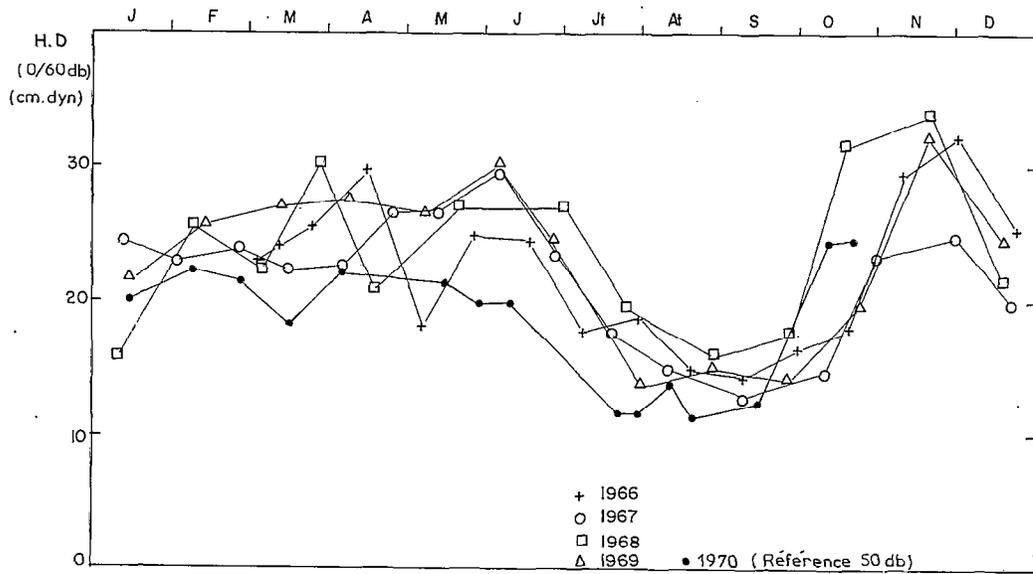


FIG. 19. — Même légende qu'à la figure 18, pour la station située sur les fonds de 80-100 m. Niveau de référence : 60 db et 50 db pour 1970

Same as Figure 18 for the station in a water depth of 80-100 m. Reference level is 60 db (50 db for 1970)

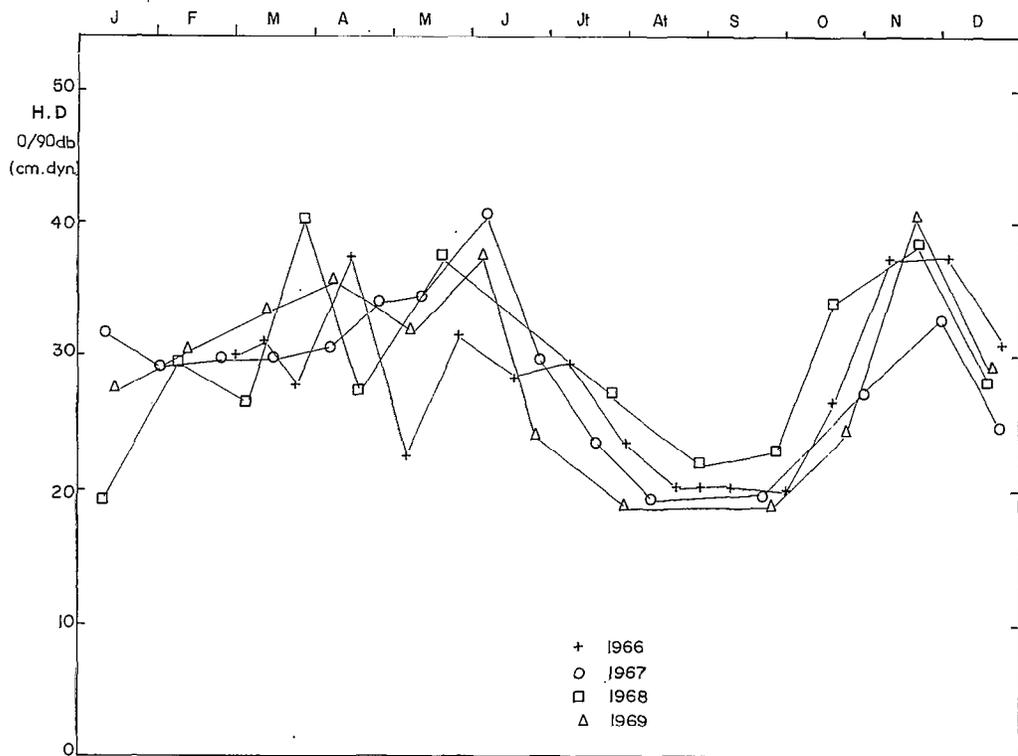


FIG. 20. — Même légende qu'à la figure 18, pour la station située sur les fonds de 200 m. Niveau de référence : 90 db

Same as Figure 18 for the station in a water depth of 200 m. Reference level is 90 db

le retard de la baisse des H.D. observées à la station côtière (ou des T.S.M.) par rapport aux H.D. observées à 20 miles au large (ou N.M.).

Une explication de cette propagation verticale du signal d'upwelling a été proposée par Mc CREARY *et al.* (1984); selon leur modèle, l'énergie se propage verticalement sous la forme d'une superposition d'ondes libres excitées initialement par le vent dans l'Atlantique Équatorial Ouest.

Les variations saisonnières ont été étudiées sur l'ensemble du plateau continental entre 2°20' W et 7°45' W, à raison d'une campagne par mois pendant trente mois. Toutes les campagnes montrent qu'il existe un creux de la topographie dynamique vers 6° W, observé en toutes saisons sur les fonds de 20 m, 60 m et 200 m. La pente de la surface marine dans le sens ouest-est est descendante de 7°45' W

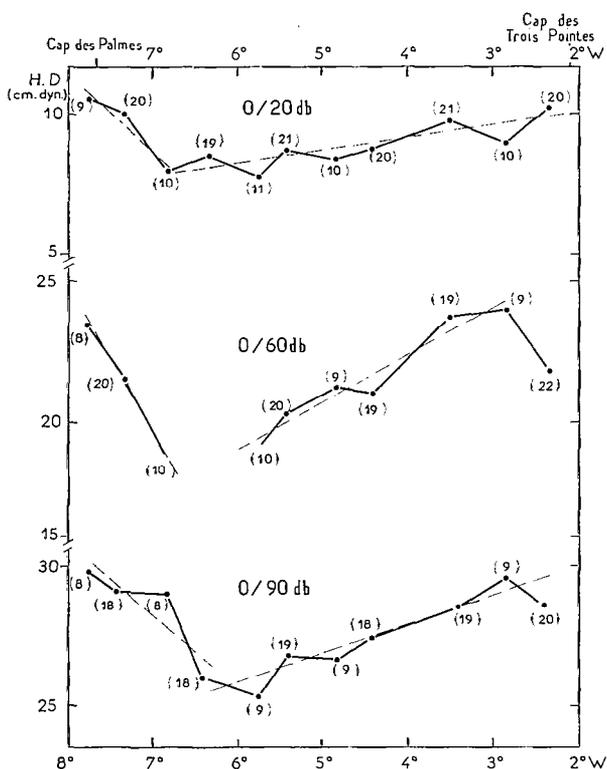


FIG. 21. -- Campagne « Président KENNEDY » (juillet 1969-janvier 1972). Relief dynamique moyen de la surface de la mer observé sur le plateau continental ivoiro-ghanéen sur les fonds de 25 m (référence à 20 db), sur les fonds de 65 m (référence à 60 db) et les fonds de 200 m (référence à 90 db). Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de fois que chaque station a été visitée

Mean sea surface dynamic topography on the continental shelf of Ivory Coast and Ghana during the « President KENNEDY » Cruise (July, 1969 to January, 1972). The water depth is: (a) 25 m (reference level 20 db); (b) 65 m (reference level 60 db), and (c) 200 m (reference level 90 db)

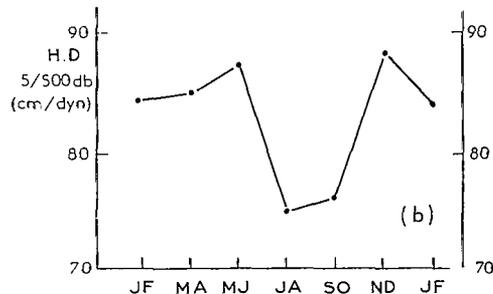
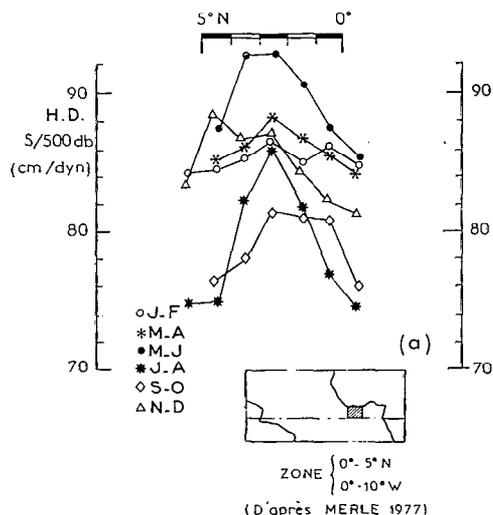


FIG. 22. — Variations des hauteurs dynamiques du niveau 5 db par rapport au niveau 500 db : (a) par bandes de 1° de latitude, entre 0° et 10° W et entre l'équateur et 5° N. (b) pour l'aire comprise entre 4° et 5° N et entre 0° et 10° W (d'après MERLE, 1977)

Variation of dynamic height at the 5 db level relative to the 500 db level: (a) in 1° latitude strips between 0° and 10° W and the equator and 5° N. (b) in the region between 4° and 5° N and 0° and 10° W (from MERLE, 1977)

à 6° W, puis ascendante jusqu'à 2°20' W (fig. 21). Bien que ce renversement de pente existe à l'échelle de l'Atlantique Équatorial (NEUMANN *et al.*, 1975; MERLE, 1977) il semble que la présence du Cap des Palmes et du Cap des Trois Pointes accentue localement le gradient de ces pentes par « upwelling » et « pilling up » liés au vent (VERSTRAETE, 1970 a) et au courant (MARCHAL et PICAUT, 1977).

Néanmoins l'upwelling observé le long de la côte du Ghana et de la Côte d'Ivoire est lié à un phénomène à grande échelle avec une baisse générale de la surface géopotentielle 5 db par rapport à 500 db de l'ordre de 12 cm-dyn entre l'Équateur et 5° N pour la zone comprise entre 0 et 10° W entre les mois de mai-juin et juillet-août (fig. 22, empruntée à MERLE, 1977).

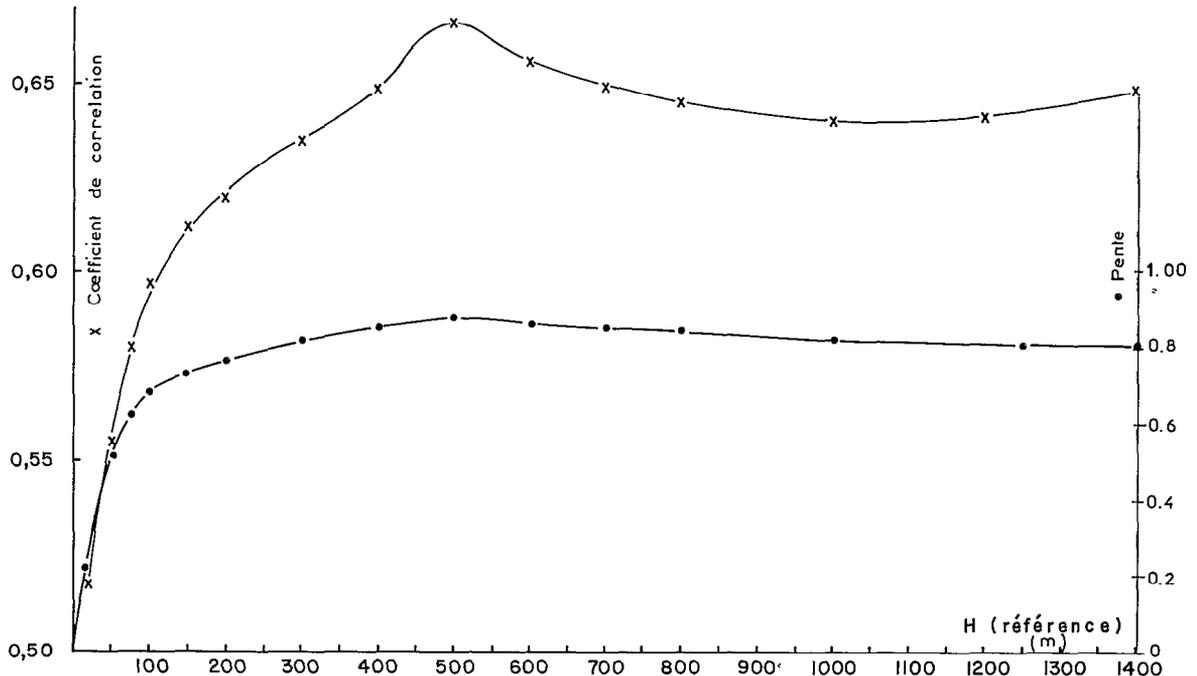


FIG. 23. — Variation du coefficient de corrélation et de la pente de la régression linéaire entre : — le niveau moyen mensuel à Abidjan « Appontement Vridi » (1967-1978) ; — la hauteur dynamique mensuelle de la surface de la mer à Abidjan (1957-1964), calculée par rapport à des niveaux de référence compris entre 20 et 1400 db

Correlation coefficient (x) ans slope (.) of the linear regression between : — the monthly mean sea level at Abidjan « Appontement Vridi » (1967-1978) ; — the monthly sea surface dynamic height off Abidjan (1957-1964) relative to the reference levels between 20 and 1400 db

## 6. LA RÉGRESSION LINÉAIRE ENTRE LE NIVEAU MOYEN ET LES HAUTEURS DYNAMIQUES MENSUELS

Les écarts aux moyennes générales des N.M. et des H.D. à la station côtière d'Abidjan ont été calculés par quinzaine pour les deux séries de 1967 à 1978 (12 ans). La régression porte sur 283 couples de données; le coefficient de la corrélation est de 0,47, et la liaison est significative. Avec les écarts des moyennes mensuelles à chaque moyenne annuelle, le coefficient de régression est de 0,37 pour 144 couples de données, tandis qu'avec les écarts aux moyennes générales il est égal à 0,33. Afin d'éliminer le signal saisonnier, on a calculé les écarts mois par mois par rapport à l'année-type; dans ce cas le coefficient de régression est égal à 0,31 et le test de liaison indique que  $r$  est significatif, bien que faible.

Avec la station à 20 milles au large d'Abidjan, l'étude de la régression linéaire entre les N.M. et les H.D. mensuels (fig. 23), porte sur deux années-type séparées dans le temps : 1967-1978 (N.M.) et 1957-1964 (H.D.). Les hauteurs dynamiques de la surface ont été calculées par rapport à des niveaux de référence compris entre 20 et 1 400 db. Pour un niveau de référence à 20 db, le coefficient de corré-

lation  $r$  est égal à 0,52 avec une pente  $a$  de 0,22;  $r$  croît ensuite régulièrement et atteint la valeur maximum 0,67 pour le niveau de référence 500 db,  $a$  étant égal à 0,88; avec le niveau de référence 300 db, on obtient  $r = 0,64$  et  $a = 0,82$ , la variance de la pente de la droite de régression étant sans changement. La régression linéaire de H.D. en fonction des N.M. donne une pente  $a$  légèrement inférieure pour une référence à 300 db (0,82) par rapport à celle obtenue pour une référence à 500 db (0,88), tandis que le coefficient de corrélation ne varie pas sensiblement. Cette analyse permet d'affirmer que l'essentiel du signal saisonnier barocline se produit dans les 300 premiers mètres, et confirme que la couche 0,20 m ne contient qu'une faible partie de la variance de ce signal. La régression linéaire entre les N.M. et les H.D. (0/50 db) à la station « 80-100 m » de la radiale de Bassam donne un coefficient de corrélation  $r$  égal à 0,61 pour 69 couples, tandis qu'avec les H.D. (0/20 db) à la station côtière, le coefficient de corrélation est de 0,47, les résultats sont tout à fait comparables à ceux trouvés ci-dessus.

L'étude de la régression linéaire entre l'année-type des hauteurs dynamiques (0/500 db) à la station « Abidjan-Sud » et les années-type des N.M. à

Takoradi (1929-1969) et à Tema (1963-1978) donne des coefficients de corrélation égaux respectivement à 0,80 et 0,84. Les pentes des deux droites de régression et leur variance sont sensiblement les mêmes à Takoradi (respectivement 0,82 et 0,039) et à Tema (0,94 et 0,038). Takoradi et Tema sont distants de 240 et 440 km de la station hydrologique « Abidjan-Sud » et nous avons contrôlé le degré de liaison des N.M. observés à Tema, Takoradi et Abidjan, sur leurs années-type. Le tableau II donne les coefficients de corrélation, les pentes des droites de régression  $a$  et leur variance. Le coefficient de régression  $r$  entre le N.M. Tema et le N.M. Takoradi est voisin de 1, et les variations de N.M. à Tema rendent compte de 97 % de la variance de N.M. à Takoradi; le N.M. à Abidjan rend compte de 70 % et de 67 % de la variance respectivement à Takoradi et à Tema.

TABLEAU II

Régression entre les niveaux moyens à Tema, Takoradi et Abidjan

*Regression between mean sea levels at Tema, Takoradi and Abidjan*

régression N.M.	Tema-Takoradi	Abidjan-Takoradi	Abidjan-Tema
distance (km)	200	240	440
$r$	0,984	0,837	0,819
$a$	0,90	0,65	0,69
Var ( $a$ )	0,0031	0,015	0,024

Ces résultats montrent que les niveaux moyens mensuels sont fortement corrélés sur une distance de plus de 400 km. Les pentes des droites de régression pour les corrélations Abidjan-Tema et Abidjan-Takoradi sont sensiblement les mêmes, la variance augmente avec la distance, mais reste faible. La corrélation entre les N.M. à Tema et Takoradi est remarquable, de même que celle constatée entre les hauteurs dynamiques (0/500 db) calculée à la station « Abidjan-Sud » et les N.M. observés à Abidjan ( $r = 0,67$ ), Takoradi ( $r = 0,80$ ) et Tema ( $r = 0,84$ ). Le tableau III résume les résultats des corrélations N.M.-H.D.

La régression linéaire de H.D. (0/500 db) au large d'Abidjan avec les N.M. à Abidjan, Takoradi et Tema donne une pente très proche de 1, et les H.D. (0/500 db) rendent compte de respectivement 45 %, 64 % et 70 % de la variance des N.M.; il semble que la plus faible valeur observée pour le N.M. à Abidjan soit due aux erreurs de N.M. associées aux crues lagunaires.

## 7. L'ANALYSE DE FOURIER DES NIVEAUX MOYENS MENSUELS À TEMA, TAKORADI, ABIDJAN ET DAKAR

Afin d'examiner les variations saisonnières ainsi que d'éventuelles variations interannuelles, les plus longues séries chronologiques des niveaux moyens mensuels ont été soumises à une analyse de Fourier. La série la plus longue, celle de Takoradi (1929-1978), présente une tendance que l'on ne retrouve

TABLEAU III

Régression entre les hauteurs dynamiques à Abidjan-Sud et les niveaux moyens à Abidjan, Takoradi et Tema

*Regression between dynamical heights at Abidjan-South and mean sea levels at Abidjan, Takoradi and Tema*

Abidjan-Sud (H.D.) (0/500 db)	Abidjan (N.M.)	Takoradi (N.M.)	Tema (N.M.)
$r$	0,67	0,80	0,84
$a$	0,88	0,82	0,94
Var ( $a$ )	0,098	0,039	0,038

pas sur celle de Tema (fig. 24 a). On a donc procédé à l'élimination de cette tendance (fig. 24 b) et on a écarté les observations comprises entre 1970 et 1978 qui paraissent douteuses. Rappelons que l'analyse de Fourier d'une série de longueur  $T$  permet de séparer deux fréquences séparées de  $1/T$ ; afin d'accroître la résolution en fréquence et d'obtenir non seulement les harmoniques de  $1/T$  ( $\text{an}^{-1}$ ), mais aussi des fréquences intermédiaires, nous avons divisé le fondamental par 5, de sorte qu'il est possible

de chercher les périodes comprises entre 2 mois (période de Nyquist) et  $5T$ . Pour Tema (63-78), nous avons pu obtenir ainsi 480 harmoniques, 1 230 harmoniques pour Takoradi, et 240 harmoniques pour Abidjan (69-76) et Dakar (58-65). On observe les pics significatifs aux périodes suivantes (fig. 25) : à Tema et Takoradi, un an (Sa), six mois (Ssa) et 4 mois (Sta). A Abidjan, la périodicité (Ssa) est nette, celle à un an ne l'est pas; à Dakar, seule apparaît la périodicité annuelle (Sa).

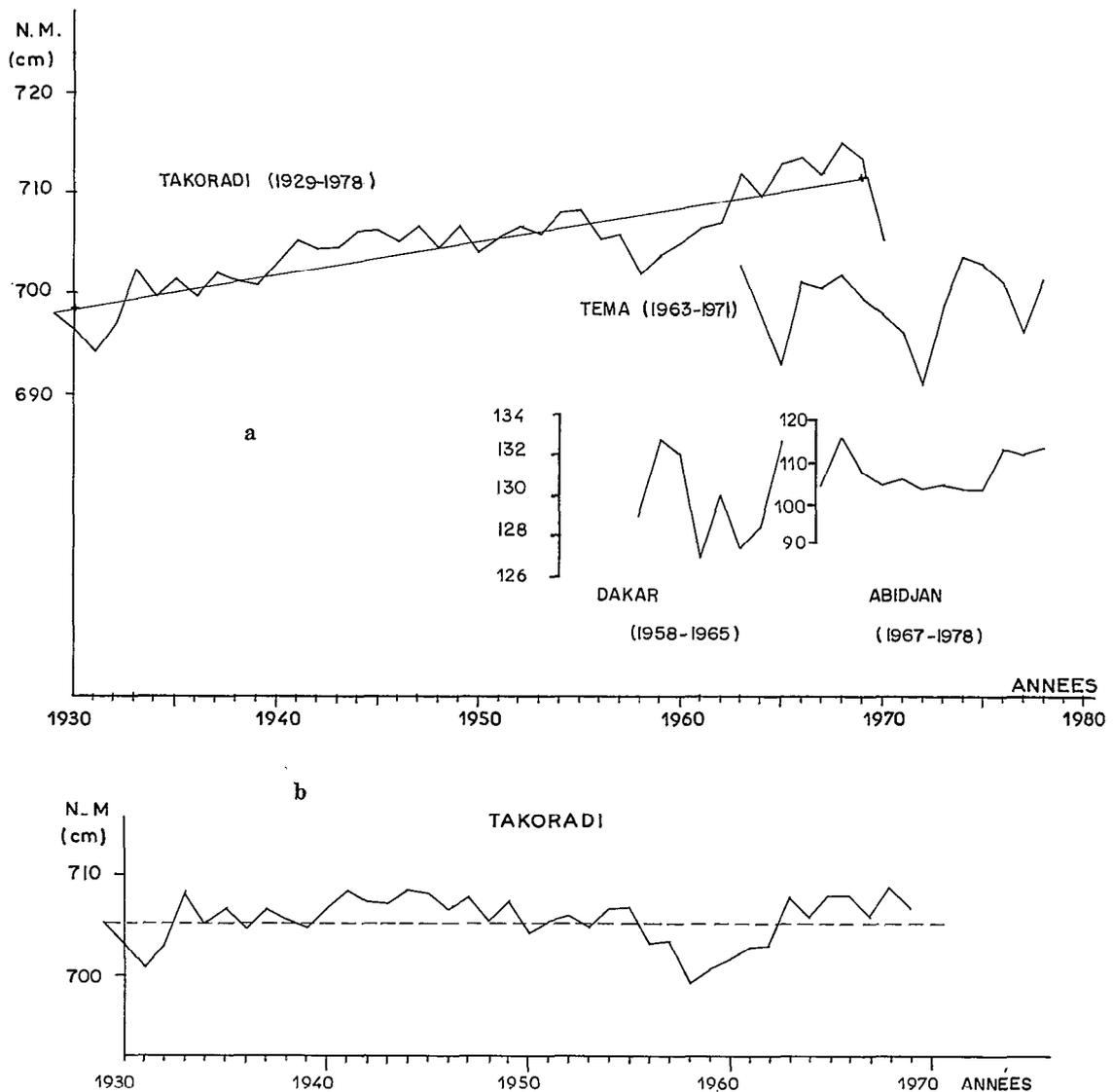


FIG. 24. — (a) Niveaux moyens annuels de l'océan à Takoradi, Tema, Dakar et Abidjan. (b) Niveau moyen à Takoradi, après extraction de la tendance, de 1929 à 1969

(a) Annual mean sea level at Takoradi, Tema, Dakar, and Abidjan. (b) Annual mean sea level at Takoradi with linear trend removing

## 8. CONCLUSION

L'étude des plus longues séries chronologiques des niveaux moyens mensuels n'a pas mis en évidence de périodicités interannuelles. Par contre, les composantes annuelle (Sa), semi-annuelle (Ssa) et tiers-annuelle (Sta) apparaissent significatives sur la Côte Nord du Golfe de Guinée. Au contraire, on n'observe que la période annuelle à Dakar.

Les mesures intensives d'août 1973 nous ont permis de justifier l'utilisation des diagrammes T-S moyens pour le calcul des hauteurs dynamiques. On a ainsi

pu montrer l'excellente corrélation qui existe entre les niveaux moyens et les hauteurs dynamiques à des échelles de temps de 9 jours, 2,5 mois et 6 mois.

Les variations saisonnières de la température de surface et des hauteurs dynamiques (0/20 db) sont corrélées de façon significative aux niveaux moyens, mais avec un retard de l'ordre de un mois jusqu'à la fin de la saison d'upwelling en septembre. Par contre, la corrélation entre les niveaux moyens et les hauteurs dynamiques est bien meilleure dès que le niveau de référence est au moins égal à 60 m. L'essentiel du signal barocline saisonnier apparaît

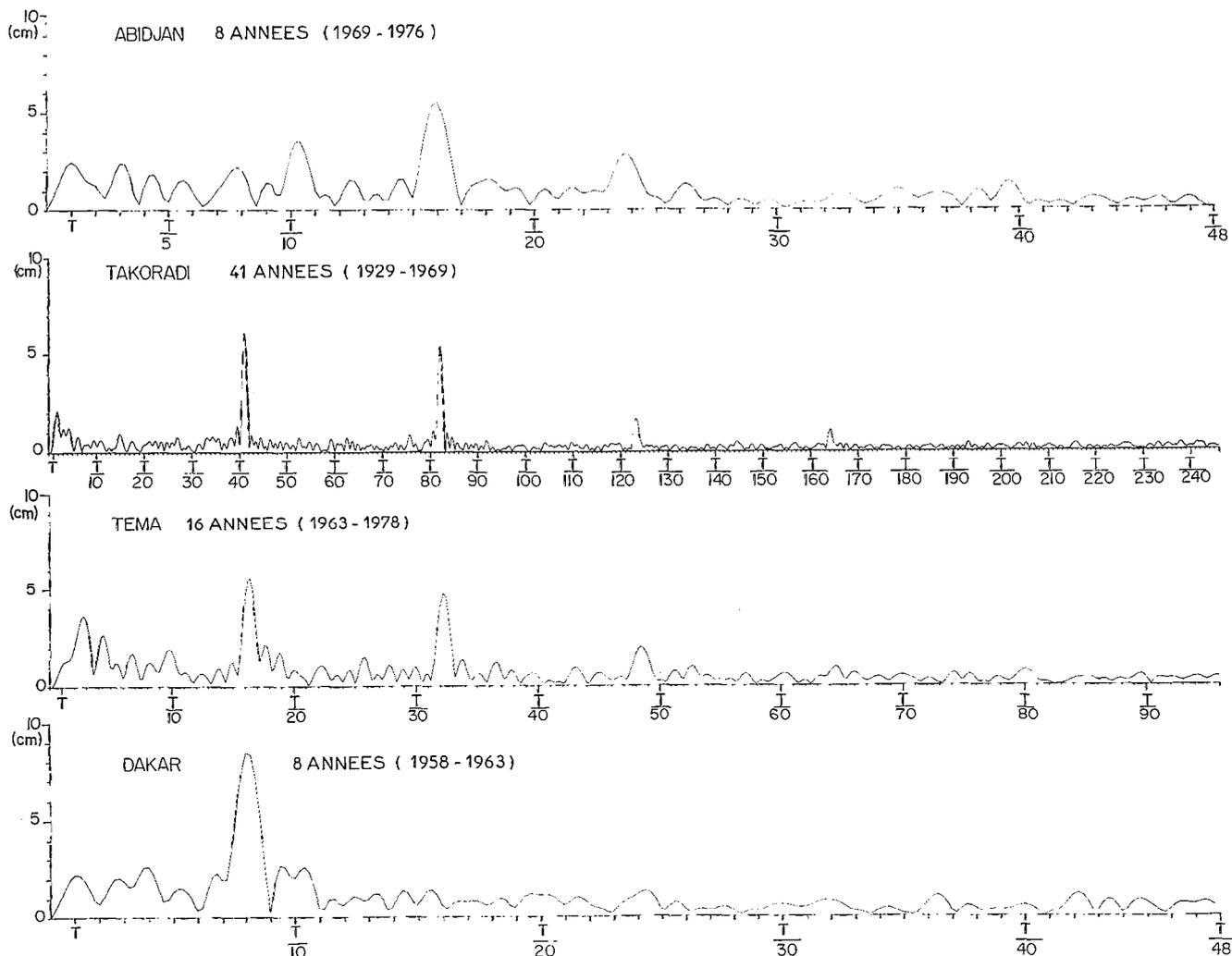


FIG. 25. — Amplitudes des composantes de l'analyse de Fourier des séries chronologiques des niveaux moyens mensuels à Dakar, Abidjan, Takoradi et Tema

*Amplitudes of the Fourier components of the monthly mean sea level at Dakar, Abidjan, Takoradi and Tema*

en fait dans la couche 0-300 m et se trouve pratiquement en phase avec les variations de niveau moyen.

L'établissement de l'upwelling saisonnier est détecté au marégraphe environ un mois avant la chute de température de surface à la côte. Ce retard peut s'expliquer par la propagation verticale du signal d'upwelling depuis au moins 300 m de profondeur jusqu'à la surface. Par contraste, à la fin du mois de septembre, la fin de l'upwelling se produit plus rapidement que son établissement et les variations de température de surface, des hauteurs dynamiques et du niveau moyen semblent être en phase.

Les niveaux moyens mensuels sont fortement

corrélés sur plus de 400 km entre le Ghana et la Côte d'Ivoire. Enfin, il existe un creux dynamique permanent de la surface géopotentielle observé depuis la côte jusqu'au rebord du plateau continental ivoirien (fonds de 200 m) en moyenne à 6° W.

Ces résultats sont encourageants, car ils permettent de penser qu'il est possible de suivre en permanence les structures thermiques dans l'Atlantique intertropical grâce à l'observation du niveau moyen; un réseau de marégraphes à pression, immergés dans 5 à 10 mètres d'eau, permettrait de connaître en permanence le niveau moyen journalier, pourvu que la température soit enregistrée simultanément à la pression; par contre, les résultats présentés ici montrent que la connaissance de la

salinité est bien moins critique et qu'il suffirait d'une prise hebdomadaire d'échantillon d'eau de mer au voisinage du site pour établir la relation T-S mois par mois; pour les marégraphes immergés en haute mer, il faut simultanément les données hydrologiques fournies par un mouillage ou par un échosondeur inversé placé au voisinage (WATTS et ROSSBY, 1977).

Dans le cadre du programme FOCAL (Français Océan Climat Atlantique Équatorial), trois régions de l'Atlantique Tropical pourront être « surveillées » à la fin de l'année 1983. À l'ouest quatre marégraphes à pression seront installés dans les eaux du Brésil à Natal, Fernando de Noronha, les Rochers Saint-Pierre et Saint-Paul et Trinidad; les variations de pente de la surface marine entre les trois premiers sites devraient permettre de suivre les variations du courant de Guyane et du courant Sud-Équatorial à l'ouest de 30° W. Deux marégraphes à Dakar et aux îles du Cap Vert permettraient de suivre les variations du courant des Canaries. Le long de l'Équateur, la collaboration avec l'I.O.S. et le groupe SEQUAL (Seasonal Equatorial Atlantic) a permis le déploiement de 4 marégraphes de grande profondeur (type MARK IV) à 20° W, 10° W, 4° W et 5° E et de 3 échosondeurs inversés à 20° W, 10° W et 0°. Dans le Golfe de Guinée, 3 marégraphes à pression seront installés en 1983 sur chacune des îles d'Annobon, São-Tomé et Príncipe. Enfin, l'île d'Ascension sera équipée d'un marégraphe en

collaboration avec le D<sup>r</sup> CARTWRIGHT et l'I.O.S. de Bidston.

Au total, on pourra surveiller pendant la durée du programme FOCAL les variations du niveau moyen en une quinzaine de points de l'Atlantique intertropical à savoir : Abidjan, Takoradi, Tema, Lomé, Pointe Noire, Cayenne, Rochers Saint-Pierre et Saint-Paul, Fernando de Noronha, Natal, Trinidad, Ascension, îles du Cap Vert, Dakar, Annobon, São Tomé et Príncipe.

#### REMERCIEMENTS

Ce travail constitue une étude préliminaire à l'opération FOCAL « Observations du Niveau Moyen dans l'Atlantique Intertropical ». L'un des auteurs (J. P.) a bénéficié du support du C.N.E.X.O. et du C.N.R.S. Nous tenons à remercier le Permanent Service for Mean Sea Level et le Docteur PUGH, les Services Hydrographiques de Côte d'Ivoire et du Togo, et le Survey Department du Ghana, qui nous ont fourni les observations marégraphiques. Nous exprimons notre gratitude au Fishery Research Unit du Ghana pour les observations de température à Tema et Takoradi. Nous remercions enfin B. SIMON et l'Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine à Brest pour leur aide.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.  
1<sup>er</sup> juillet 1983

#### BIBLIOGRAPHIE

- BAKUN (A.), 1978. — Guinea current upwelling. *Nature*, 271 : 147-150.
- DEMERLIAC (A.), 1973. — Calcul des niveaux moyens journaliers. EPSHOM, Brest, 36 p.
- HOUGHTON (R. W.), 1976. — Circulation and hydrographic structure over the Ghana continental shelf during the 1974 upwelling. *J. Phys. Oceanogr.*, 6 (6) : 909-924.
- INGHAM (M. C.), 1970. — Coastal upwelling in the north-western of Gulf of Guinea. *Bull. Mar. Sci.*, 20 : 2-34.
- LEMASSON (L.) et RÉBERT (J. P.), 1973. — Les courants marins dans le Golfe Ivoirien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 11 : 67-95.
- MC CREARY (J. P.), PICAUT (J.) and MOORE (D. W.), 1984. — Effects of remote annual forcing in the Eastern Tropical Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.* 42 : 55-81
- MARCHAL (E.) et PICAUT (J.), 1977. — Répartition et abondance évoluées par échointégration des poissons du plateau ivoiro-ghanéen en relation avec les upwellings locaux. *J. Rech. Océanogr.*, 2 (4) : 39-57.
- MERLE (J.), 1977. — Variations saisonnières de la hauteur dynamique de la surface de l'Océan Atlantique Intertropical (20° N-20° S) (*multigr.*) manuscrit non publié.
- MORLIÈRE (A.) et REBERT (J. P.), 1972. — Étude hydrologique du plateau continental ivoirien. *Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, 3 : 1-30.
- NEUMANN (G.), BEATTY (W. H.) and ESCOWITZ (E. C.), 1975. — Seasonal changes of oceanographic and marine-climatological conditions in the Equatorial Atlantic. *Dpt. Earth & Planetary Sci., City College of Cuny.*
- PICAUT (J.), 1983. — Propagation of the Seasonal upwelling in the Eastern Equatorial Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 13 (1) : 18-37.
- VERSTRAETE (J. M.), 1970a. — Étude quantitative de l'upwelling sur le plateau continental ivoirien. *Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, 1 (3) : 1-17.
- VERSTRAETE (J. M.), 1970b. — L'oxygène au large de Grand Bassam. *Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, 1 (3) : 19-35.
- WATTS (D. R.) and ROSSBY (H. T.), 1977. — Measuring dynamic heights with inverted echo sounders: Results from MODE. *J. Phys. Oceanogr.*, 7 : 345-358.