

231717

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
Klasse voor Technische Wetenschappen, N.R., XVI-6, Brussel, 1968

Diffusion des eaux du fleuve Congo dans les eaux de l'Atlantique Sud

PAR

Jean MEULENBERGH

Licencié en Sciences agronomiques

Ancien directeur à l'Institut géographique du Congo

325 F

Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer
Classe des Sciences Techniques, N.S., XVI-6, Bruxelles, 1968

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
Klasse voor Technische Wetenschappen, N.R., XVI-6, Brussel, 1968

Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout
BIBLIOTHEEK

Diffusion des eaux du fleuve Congo dans les eaux de l'Atlantique Sud

PAR

Jean MEULENBERGH

Licencié en Sciences agronomiques

Ancien directeur à l'Institut géographique du Congo

Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer
Classe des Sciences Techniques, N.S., XVI-6, Bruxelles, 1968

MEMORANDUM
NO. 1008
GILBERT

Mémoire présenté à la Séance du 29 avril 1966
Rapporteurs MM. J. KUFFERATH et R. SPRONCK*

* Le texte définitif a été remis à l'ARSOM en avril 1967.
(D/1968/0149/1)

RESUME

L'auteur relate ses observations effectuées entre 1959 et 1963, dans la zone fluvio-marine du fleuve Congo.

Une description géographique sommaire de la région côtière fait l'objet du premier chapitre. Les deux suivants traitent respectivement l'étude des deux facteurs jouant un rôle prépondérant: les saisons marines et le régime du fleuve Congo.

Chaque croisière fait ensuite l'objet d'un compte rendu et d'une analyse séparée. Les résultats des observations sont traduits en graphiques.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude de l'extension au large de la zone fluvio-marine.

La connaissance de l'étendue et de la profondeur de la nappe peut avoir une signification lorsqu'on considère les perturbations que peut amener la présence de deux masses d'eaux différentes et superposées lors de l'utilisation d'appareils électroniques de sondage et de repérage. Elle revêt cependant une importance plus considérable en matière de pêche maritime. Le poisson fuit les eaux guinéennes trop chaudes, dessalées et pauvres en plancton. La présence d'un thermocline ou bien la limite de deux masses d'eaux à caractères différents et de mouvement contraire peuvent constituer des lieux de prédilection pour le poisson.

SAMENVATTING

De auteur brengt verslag uit over de waarnemingen die hij verrichtte tussen 1939 en 1963, in de fluvio-marine zone van de Congostroom.

Het eerste hoofdstuk geeft een bondige aardrijkskundige beschrijving van de kuststreek. De twee volgende bestuderen respectievelijk de twee factoren die een overwegende rol spelen: de zeeizoenen en de capaciteit van de Congostroom.

Van elke vaart wordt vervolgens afzonderlijk een verslag en een ontleding gegeven. De resultaten der waarnemingen worden in grafieken omgezet.

Het laatste hoofdstuk is gewijd aan de uitbreiding in volle zee van de fluvio-marine zone.

De kennis van de uitgestrektheid en de diepte van het watervlak kan van betekenis zijn wanneer men let op de stornissen die veroorzaakt kunnen worden door het voorkomen van twee boven elkaar liggende massa's verschillend water, bij het gebruiken van peil- en opsporingstoestellen. Zij krijgt echter nog groter belang waar het om de visvangst gaat. De vis vlucht het Guinese water dat te warm is en te arm aan zout en plancton. Een temperatuurshelling of de grens van twee watermassa's van verschillende aard en tegengestelde beweging, kunnen plaatsen zijn waar de vis zich graag ophoudt.

AVANT-PROPOS

Le fleuve Congo, avec son débit variant de 25 000 à 60 000 m³/s, se classe comme le second fleuve du monde au point de vue débit. Il ne le cède qu'à l'Amazone avec ses 90 000 à 100 000 m³/s. Il est supérieur au Rio de la Plata dont le débit maximal n'atteint que 35 000 m³/s et reste de loin supérieur au Gange, au Yangtsé et au Mississipi.

Les eaux de l'Atlantique Sud qui baignent la côte Ouest de l'Afrique Centrale possèdent un régime saisonnier particulier et on s'imagine la perturbation que crée l'apport d'une telle quantité d'eau douce dans la zone de l'embouchure du Congo. La situation qui en résulte est encore rendue plus complexe par les variations de débit auxquelles s'ajoutent d'autres facteurs tels que l'influence des marées, les courants côtiers et l'action du vent.

L'étude systématique et complète d'un tel problème exige des moyens considérables. Malgré le grand intérêt scientifique, la question ne présente pas encore un intérêt économique suffisant pour justifier une telle mise en œuvre. Toutefois une connaissance générale des conditions hydrologiques qui règnent dans la zone influencée par le fleuve a été acquise grâce aux observations recueillies au cours de diverses missions scientifiques qui ont été opérées dans ces parages depuis le début du siècle. Les recherches assez récentes effectuées par l'Expédition océanographique belge en 1948 ainsi que celles faites par le Centre de Recherches océanographiques de Pointe-Noire ont fortement contribué à élargir nos connaissances à ce sujet.

La zone fluvio-marine du fleuve Congo n'avait cependant pas encore fait l'objet de recherches approfondies. Les observations effectuées entre les années 1959 et 1963, qui font l'objet du présent ouvrage, ont pour but de chercher à combler cette

lacune, principalement en ce qui concerne la zone proche de l'embouchure.

Ne disposant que de moyens assez faibles, une telle étude n'était pas possible sans une aide extérieure. Je tiens à exprimer ma reconnaissance à MM. G. BERRIT et A. ROSSIGNOL, du Centre océanographique de Pointe-Noire; sans leur aide constante le travail entrepris n'aurait pu être mené à bien.

Mes remerciements s'adressent également au Musée royal de l'Afrique centrale qui contribua à mes recherches de façon substantielle ainsi qu'au Service des Voies navigables du Congo dont la documentation et l'aide matérielle ont fort facilité les travaux.

Je tiens aussi à remercier MM. les Commandants R. PETIT, E. HANON et V.S. HILKJAR qui voulurent bien effectuer des observations au cours de leurs fréquentes traversées de la zone étudiée.

J'exprime ma vive gratitude à Monsieur E.-J. Devroey, Secrétaire Perpétuel de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, qui a bien voulu s'intéresser au présent ouvrage et en assurer la publication.

INTRODUCTION

Généralités

On a souvent émis l'opinion que les eaux du fleuve Congo ne se mélangent pas intimement et rapidement aux eaux océaniques dès leur contact avec elles mais qu'elles s'étendent en une mince couche à la surface et sur une très grande étendue. On tend à invoquer le principe de l'immixibilité des eaux de température et de salinité différentes.

Cette opinion sur le fleuve demande à être révisée. Tout d'abord la diffusion des sels n'est extrêmement lente qu'en l'absence de turbulence; or les eaux du fleuve, dès leur contact avec les eaux salées, sont soumises à de fortes turbulences. D'autre part, il faut prendre en considération l'énorme masse d'eau amenée par le fleuve dans la mer. Celle-ci ne saurait absorber rapidement cette masse constamment renouvelée et il doit nécessairement se créer une zone assez vaste où cette digestion va s'opérer.

En fait, le mélange commence à s'opérer à environ 30 km en amont de l'embouchure, à environ 20 m de profondeur, là où les eaux du fleuve prennent contact avec la masse d'eau salée et froide qui remplit le canyon sous-marin qui se termine à cet endroit. Ce fait fut déjà observé par la mission scientifique anglaise du *Rambler* qui opéra dans ces parages en 1899.

Divers facteurs vont alors intervenir pour opérer un brassage et créer cette zone fluvio-marine qui occupe l'estuaire et une vaste étendue dans les eaux côtières. La zone fluvio-marine se présente comme une vaste nappe d'eau à salinité inférieure à la normale mais où la salinité croît assez régulièrement de la surface vers le bas et de l'embouchure vers le large. A certaines saisons et à proximité de l'embouchure, les eaux à salinité normale se retrouvent entre 20 et 25 m de profondeur. Une bonne partie

de l'année, ce seuil se situe aux environs de 12 à 15 m mais peut remonter à 5 m de profondeur lorsque le fleuve atteint son débit minimal. Ce seuil ou « halocline » se relève progressivement vers les bords de la nappe mais peut encore se trouver à 5 m de profondeur aux limites les plus éloignées. La nappe occupe une aire dont l'étendue et la position varient, la variation étant en relation avec le débit du fleuve, la saison et l'influence de certains courants encore mal connus qui se manifestent au large.

Méthode de travail

En raison des moyens assez limités, le Centre océanographique de Pointe-Noire suggéra de concentrer les recherches sur l'isobathe de 15 m, sans toutefois négliger toutes les observations possibles en dehors de cet axe. Cet axe est distant de la côte d'environ 7 à 10 milles. Les limites Nord et Sud de la zone devaient se reconnaître à la coloration ou à une différence marquée dans la température des eaux rencontrées. Les observations devaient porter en ordre principal sur la température et la salinité en surface et en profondeur.

La zone qui a spécialement fait l'objet des recherches figure en traits discontinus sur le croquis de la *figure 1*. Elle est limitée:

Au Nord, par le parallèle 5° 33' Sud passant au Nord de Cabinda;

A l'Ouest, par l'isobathe de 30 m;

Au Sud, par le parallèle 6° 50' Sud à hauteur du phare de Cabeça de Cobra;

A l'Est, par le littoral et l'embouchure du fleuve Congo.

D'après l'expérience déjà acquise au Centre océanographique de Pointe-Noire, il était à prévoir qu'il y aurait une relation marquée entre la saison marine et les variations de température et de salinité; le choix du moment des observations prenait donc de l'importance. Pour des raisons exposées plus loin, ce choix se porta sur des époques coïncidant au mieux avec le milieu des saisons marines.

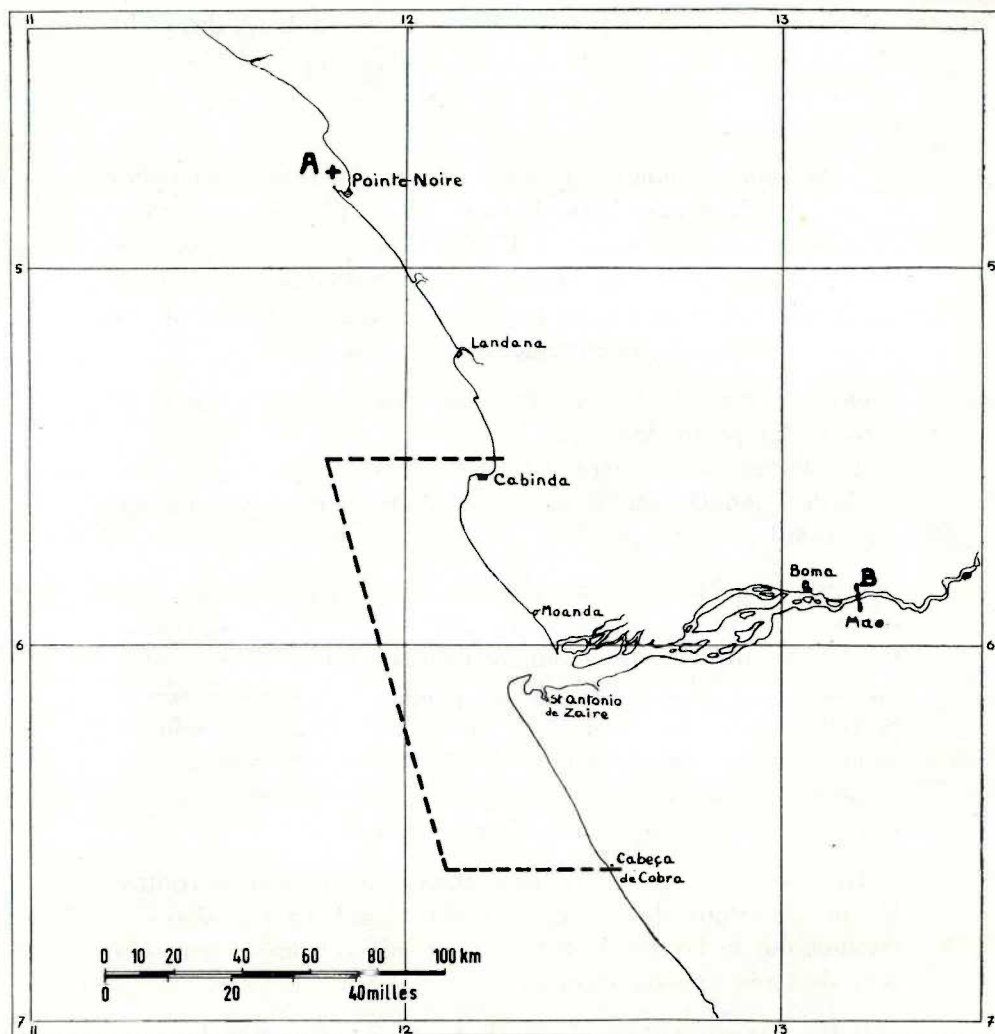


FIG. 1. — Carte de la zone de recherches

En dehors de la zone précitée et en vue de trouver les limites extrêmes de la nappe, on a eu recours à l'obligeance de commandants de navires qui voulurent bien effectuer des observations et des prises d'échantillons d'eau de mer aux moments opportuns.

Les croisières de recherches furent faites à bord du yacht *Ariane*, petit cotre de 7,50 m, d'un déplacement de 3 tonnes et équipé d'un diesel de 10 CV. Le cockpit fut aménagé pour faciliter les opérations.

La position des points importants en mer fut établie par visées sur repères côtiers. En raison de l'instabilité du bateau, une erreur de position pouvant atteindre 1 mille n'est pas exclue pour les points éloignés de la côte. Les points intermédiaires ont été déterminés par interpolation en tenant compte du temps et de la vitesse moyenne réalisée entre deux points connus.

On s'est servi du thermomètre seau pour les observations de surface. En profondeur, une bouteille Nansen fut utilisée; le câble d'acier usuellement employé étant remplacé par une corde de nylon de 6 mm et de 30 m de long, ce qui évitait l'usage d'un treuil.

Il ne fut malheureusement pas possible de disposer de thermomètres à renversement. La haute précision n'étant pas requise, nous avons utilisé un thermomètre Fahrenheit à maxima et minima, dont la graduation gravée sur plaque de zinc vernie résista parfaitement à la corrosion. Ce thermomètre fut suspendu de façon élastique dans un boîtier de cuivre fixé à la bouteille. Le mécanisme de renversement fut supprimé en ne conservant que le dispositif de fermeture commandé par messageur.

Tous les thermomètres utilisés furent soigneusement contrôlés au laboratoire du Centre de Pointe-Noire. La précision des mesures est de l'ordre de 0,3°, ce qui suffisait amplement. Un délai de 3 min fut toujours observé.

Il fut fait usage d'un disque de Secchi du diamètre classique de 0,30 m. La mesure de transparence fut faite sans lunette de calfat.

La température de l'air fut observée sur un thermomètre abrité, fixé sur une paroi extérieure de la cabine. Force et direction du vent furent estimées selon l'état de la mer et exprimées selon l'échelle de Beaufort. A l'ancre, les vitesses de courants de surface furent mesurées en tablant sur la moyenne de trois observations sur flotteur muni d'un fil de nylon de 10 mètres.

Le laboratoire du Centre de Pointe-Noire effectua les déterminations de salinité pour les échantillons prélevés au cours des croisières de l'*Ariane*. Pour ceux prélevés à bord des navires, la haute précision ne s'avérant pas nécessaire, la détermination fut déduite de la mesure de densité, en faisant usage de la table figurant dans l'ouvrage de H.W. HARVEY, *Chimie et biologie de l'eau de mer*. Le densimètre fut au préalable testé sur une vingtaine d'échantillons connus.

Au cours de chaque croisière, le même itinéraire a presque chaque fois été suivi. Il consistait à sortir de l'embouchure et à descendre vers le Sud en longeant la côte sur les fonds de 5 m, jusqu'à proximité du phare de Cabeça de Cobra. Puis, de prendre le large pour retrouver les fonds de 15 à 20 m. Ensuite, de remonter au Nord en suivant plus ou moins l'isobathe de 15 m, jusqu'au voisinage de Cabinda, puis de revenir à la côte et la longer à 2 ou 3 milles de distance jusqu'au point de départ.

Il avait été prévu qu'à chaque croisière, 4 stations, 2 au Sud et 2 au Nord de l'embouchure, auraient été établies sur l'isobathe de 15 m, afin d'y déterminer au cours d'une marée complète les variations de salinité et de température en surface et de 5 en 5 m de profondeur. L'état de la mer et des courants n'a pas toujours permis de les établir là et quand on l'aurait bien voulu.

Plan de l'ouvrage

Le premier chapitre donne une description géographique sommaire de la région côtière. Les deux chapitres suivants traitent séparément de l'étude des deux facteurs jouant un rôle prépondérant: les saisons marines et le régime du fleuve Congo.

Chaque croisière fait ensuite l'objet d'un compte rendu et d'une analyse séparée. En vue de donner des vues d'ensemble, nous avons traduit en graphiques les résultats des observations dont le relevé détaillé a été reporté en annexe, en fin de l'ouvrage.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude de l'extension de la zone fluvio-marine au large.

Il y a lieu de faire certaines réserves sur les cartes où figurent des isothermes ou des isohalines. Lorsque celles-ci ont été établies sur des données observées sur un laps de temps assez court, elles gardent toute leur valeur, mais lorsque les observations ont eu lieu sur une durée plus ou moins longue, l'évolution de la saison, la marée et l'allure tourbillonnaire des eaux, tant en surface qu'en profondeur, sont de nature à rendre inexacte la position géographique de ces tracés. Il appartient au lecteur désirant plus de précision, de consulter les tableaux de données numériques.

I. GEOGRAPHIE SOMMAIRE

Le bief maritime du fleuve Congo

De Matadi à Banana, le bief maritime mesure environ 137 kilomètres. A partir de Matadi et sur environ 45 km, le fleuve est à bras unique de 500 à 2 000 m de large. La profondeur moyenne du thalweg se situe entre 25 et 30 m. Les rives sont constituées de collines atteignant 250 m et à pentes abruptes.

A hauteur du petit affluent Mao, se trouvant un peu en amont de Boma, le lit commence à s'élargir et se divise tout en devenant moins profond. En aval de Boma, l'élargissement s'accroît et reste large jusqu'à l'embouchure. Ce bief parsemé d'îles prend une allure de delta et est long d'environ 90 km. La largeur atteint au maximum 19 km. Plus, si on prend les limites du lit majeur. A l'embouchure, la largeur n'est que de 10 km environ.

La partie amont de ce bief, qui s'étend de Boma à Malela, présente des îles allongées, îlots et bancs résultant de dépôts fluviaux tant récents qu'anciens. Les contours de ces îles changent fréquemment au gré des crues. Cette zone porte à juste titre le nom de zone divaguante. La profondeur des bras dépasse rarement 6 à 7 m, sauf dans le chenal de navigation où des dragages continus sont nécessaires pour assurer le passage de navires de moyen tonnage.

La partie aval, dont les îles sont à contours beaucoup plus stables, constitue en fait l'estuaire. A l'exception d'un mince cordon qui les entoure, la surface de ces îles est en général sous le niveau moyen des eaux du fleuve ou de la mer. La mangrove, végétation typique des eaux saumâtres en climat tropical, y domine. A l'exception du lit principal, les bras et canaux, plus ou moins anastomosés, ne présentent guère de profondeurs supérieures à 5 ou 6 mètres.

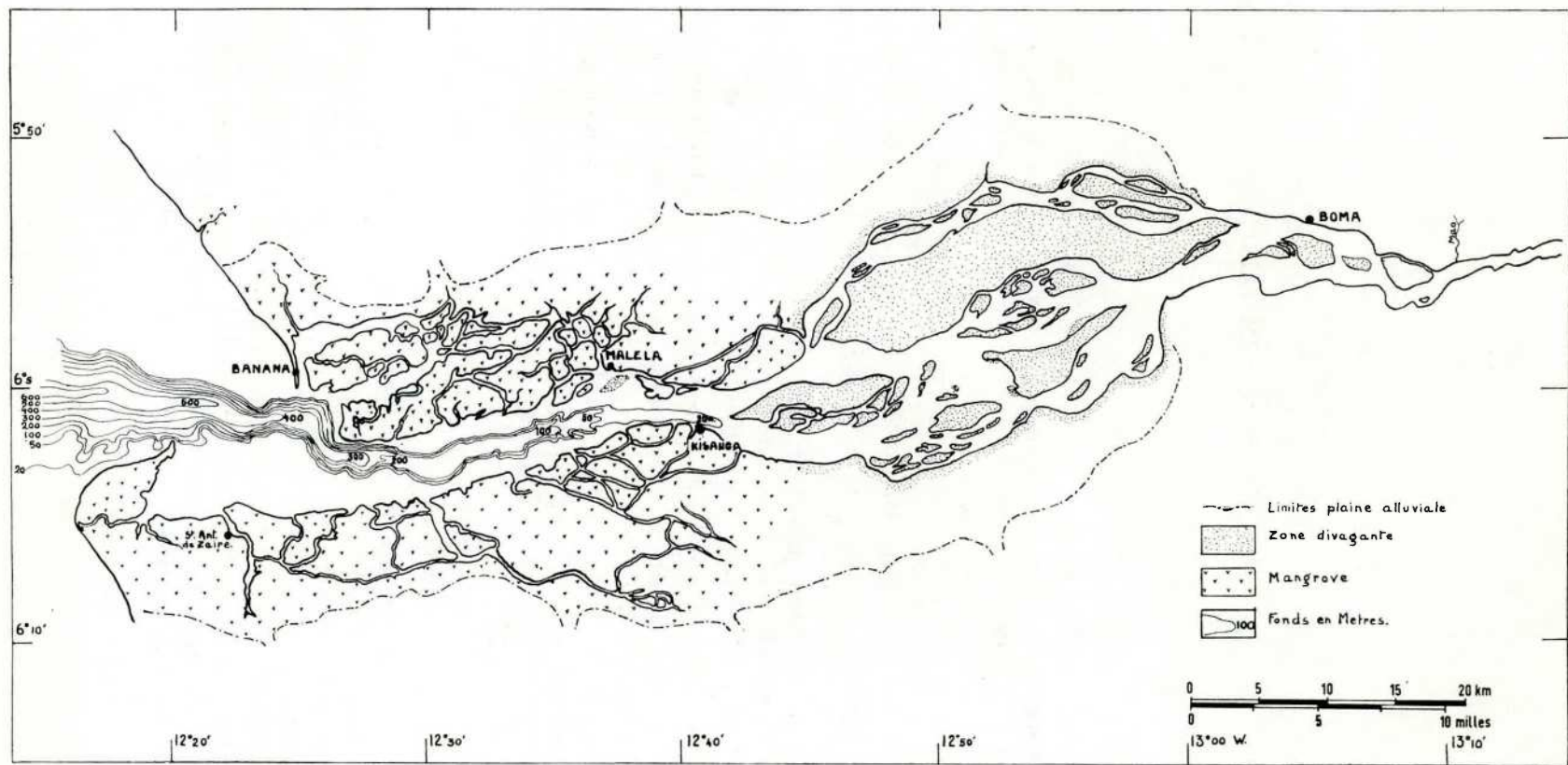


FIG. 2. — Bief maritime du fleuve Congo

Dans cette zone estuarine, à hauteur de Kisanga, le lit du chenal principal se creuse brusquement pour former la gorge sous-marine très profonde qui entaille le talus continental de cette partie de la côte africaine. Ce canyon sous-marin a été suffisamment décrit par VEATCH et SMITH [28]* et HEEZEN *et al.* [23] pour ne plus y revenir ici. On se référera à la *figure 2* qui donne les traits principaux du bief décrit ci-dessus.

Cette fosse est remplie d'eau de mer à salinité normale. La présence de cette surface d'eau salée qui pénètre profondément dans l'estuaire et se trouve sous-jacente aux eaux du fleuve va jouer un rôle important en ce qui concerne la diffusion du sel dans celles-ci avant leur arrivée à l'embouchure.

L'embouchure proprement dite offre quelques particularités. Tout d'abord, l'axe de l'exutoire, au lieu d'être normal à la côte, se trouve incliné vers le Nord-Ouest. D'autre part, la présence d'une flèche de sable au Nord et au Sud de l'embouchure en rétrécit la largeur.

La formation d'une barre de sable bouchant périodiquement l'embouchure des petits fleuves côtiers est un phénomène commun sur cette partie de la côte d'Afrique. On connaît le processus de sa formation. Le courant de flot tend à colmater l'embouchure. Le jusant renforcé par le courant d'eau douce devrait maintenir le chenal ouvert, mais comme l'apport de matériaux avec le flot l'emporte, l'embouchure finit par se trouver barrée. Ce n'est que lorsque le niveau de la lagune, qui se forme en amont du barrage, monte assez haut jusqu'à déborder, qu'un chenal se recreuse au point le plus faible du barrage. Lorsqu'il s'agit de cours d'eau à débit plus fort ou que le débit s'accroît en période de pluies, l'exutoire reste ouvert mais il subsistera presque toujours deux flèches de sable en prolongement du cordon littoral.

Ce phénomène est à l'origine de la formation des deux flèches qu'on remarque à l'embouchure du fleuve Congo.

La flèche située au Nord de l'embouchure a sa racine à Moanda et a environ 11 km de long. Sa formation est favorisée par la faiblesse du courant du fleuve à cet endroit et le renversement

* Les chiffres entre [] renvoient à la bibliographie *in fine*.

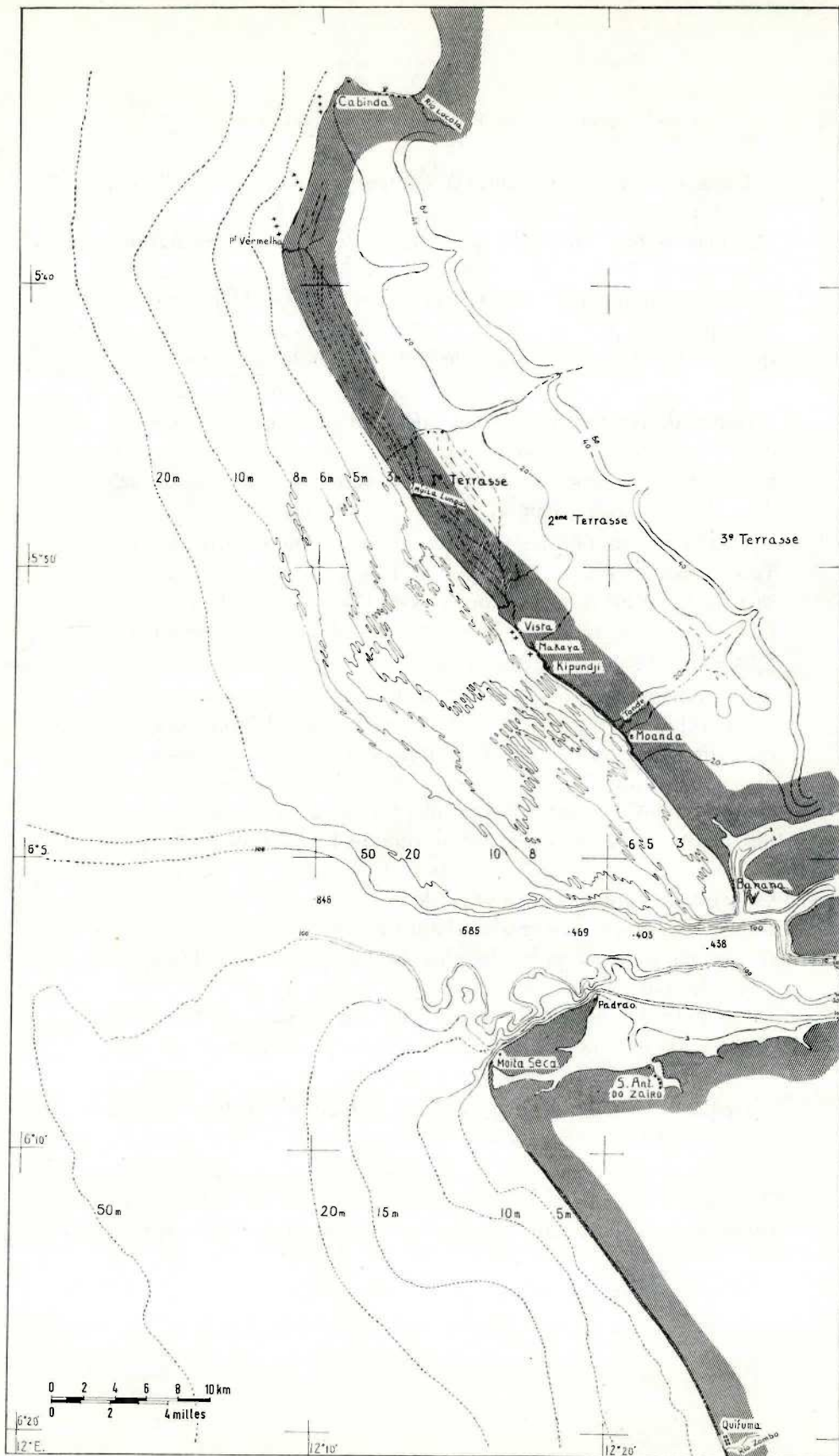


FIG. 3. — Topographie des fonds côtiers

de courant à marée haute qui ne se produit d'ailleurs qu'à proximité de la pointe. L'extrémité Sud de cette pointe ne se trouve qu'à quelques centaines de mètres du bord de la fosse sous-marine. Si elle n'était pas défendue par des ouvrages de protection, elle disparaîtrait aux années de fortes marées de syzygies et renaîtrait en périodes à conditions moins sévères.

La flèche Sud paraît plus ancienne et plus stable. Son extrémité Nord est au bord de la fosse. La possibilité qu'elle devienne une île n'est pas exclue car elle n'est reliée au continent que par le mince cordon littoral créé par le flot.

La zone littorale

La figure 3 donne l'allure des fonds côtiers. Les traits pleins indiquent les isobathes relevés en 1940 par la mission du navire-école belge *Mercator*. Les tracés en traits pointillés sont repris de la carte marine du Service hydrographique portugais.

La côte située au Nord de l'embouchure est en général plate et ne dépasse le niveau de la mer que de quelques mètres. Des terres plus élevées se rencontrent entre Moanda et Vista où la plage est bordée par une falaise d'environ 25 m de haut. Vers le large, tout le littoral se prolonge par un plateau sous-marin assez étendu qui descend en pente douce jusqu'à l'isobathe de 50 m. Au-delà, le talus s'accroît.

Jusqu'à 7 ou 8 milles au large, ces fonds n'atteignent pas 8 m de profondeur. De l'estran jusqu'à cette profondeur, la surface du fond est ridée, les creux ayant de 0,30 à 0,50 m de profondeur. Un creux se dessine entre les isobathes de 8 et 6 m entre Banana et Moanda.

Le littoral au Sud de l'embouchure est bordé de hautes falaises jusqu'au phare de Cabeça de Cobra situé à 30 milles au Sud. Vers le large, le littoral se prolonge par un plateau en forme de promontoire mais ne s'étend que sur quelques milles au Sud et à partir de Moita Seca. Au-delà, les fonds présentent une pente assez régulière et douce. Les inégalités observées lors de sondages rapprochés semblent indiquer que la surface du fond est également ridée au voisinage de la côte.

Au Sud de l'embouchure et jusqu'au phare de Cabeça de Cobra, il ne semble pas exister de récifs ou d'entablements rocheux au voisinage immédiat de la côte, mais des formations de ce genre se retrouvent aux profondeurs de 50 et 100 m, entre Moita Seca et Ambrizette situé à 60 milles au Sud. Dans le Nord, des entablements rocheux se découvrent aux plus basses mers, à proximité de la côte, à Vista. Entre Punta Vermelhas et Cabinda, il semble exister une série de crêtes rocheuses parallèles et orientées vers le N.-O.

A une époque géologique peu reculée, toute la région côtière fut submergée. Au cours de la submersion et de l'émergence, VEATCH [28] considère qu'il s'est constitué des surfaces d'érosion marine en gradins, la plus basse étant constituée par la plage actuelle et son prolongement sous-marin. La deuxième plateforme correspondrait aux plateaux bordés par les falaises. La troisième se trouvant plus à l'intérieur des terres.

A l'heure actuelle, le recul sensible des falaises indique que cette partie de la côte est en subsidence.

Nature des fonds

Au cours de sa mission en 1940, le navire-école *Mercator* effectua des observations en vue de connaître la nature des fonds dans la zone qui nous intéresse. Des sondages très rapprochés furent pratiqués sur des axes normaux à la rive et équidistants de 300 m environ. Selon la méthode classique, l'extrémité du plomb de sonde fut suiffée et la composition du fond estimée à vue.

La *figure 4* représente une carte dont tous les éléments ont été repris de la carte marine dressée par J. TRIQUET [25], hydrographe de la mission. Mais nous avons circonscrit les plages où la même indication de la nature du fond se retrouve. Quoique n'ayant qu'une valeur subjective, elle n'en donne pas moins une idée générale des fonds. On constate que ceux-ci sont de nature assez hétérogène, spécialement devant Moanda et Kipundji. L'hétérogénéité du dépôt peut s'expliquer par le fait que le courant fluvial principal, orienté vers le N.-O. à la sortie de l'embouchure, crée à cet endroit une zone tourbillonnaire. La

bande pierreuse bordant la falaise provient de l'abrasion de celle-ci.

En novembre 1960, la drague *Maxwell* eut à opérer dans ces parages. On en profita pour effectuer des observations dans le but de savoir si les fonds avaient subi une modification depuis l'époque où fut dressée la carte marine. La route fut relevée sur repères à la côte et les profondeurs relevées à l'écho-sondeur. Le dépouillement de la bande de l'écho-sondeur figure en traits pointillés sur le profil de la *figure 5*. En traits pleins, le profil donné par la carte du *Mercator* le long de l'axe parcouru et reporté sur cette même carte.

Les deux profils se superposent à quelques décimètres près et se chevauchent entre les points D et B. Ceci semble indiquer que les fonds ne paraissent subir ni érosion, ni engraissement. Seule, une abrasion se manifeste à proximité du point B et du point A.

La nature hétérogène du fond ne serait donc due qu'à des remaniements de dépôts se trouvant sur place ou provenant de l'abrasion de la falaise.

Le climat

Les facteurs climatiques tels que le vent ou la pluie peuvent avoir une influence plus ou moins prononcée sur le brassage des eaux douces et salées dont ils peuvent ralentir ou accélérer le phénomène. Nous n'en avons pas poussé l'étude, les moyens faisant défaut. Nous nous bornerons à décrire les caractères principaux en nous basant sur les observations locales et celles extraites des Instructions nautiques.

La zone étudiée jouit d'un climat tropical. Les maxima et minima thermiques sont respectivement 37° et 16° C. La température moyenne mensuelle est de 28° C en saison de pluies et de 22° C en saison sèche. L'amplitude des écarts au cours d'un même mois ne dépasse pas 10° C. Alors qu'en saison de pluies la température de l'air est supérieure ou parfois égale à celle de l'eau, au cœur de la saison sèche les eaux de surface sont souvent plus chaudes de plusieurs degrés que l'air ambiant.

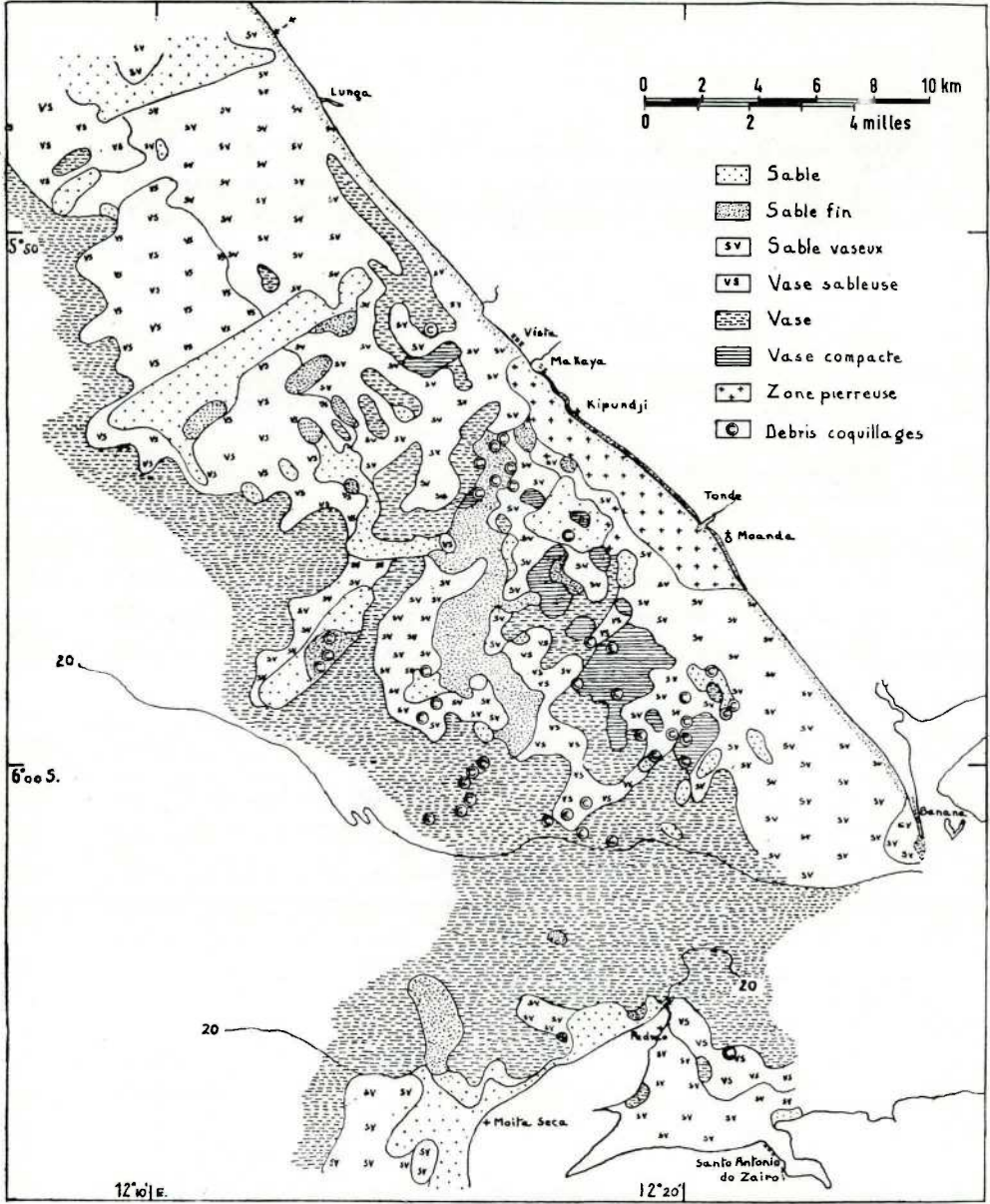


FIG.4. — Nature des fonds côtiers

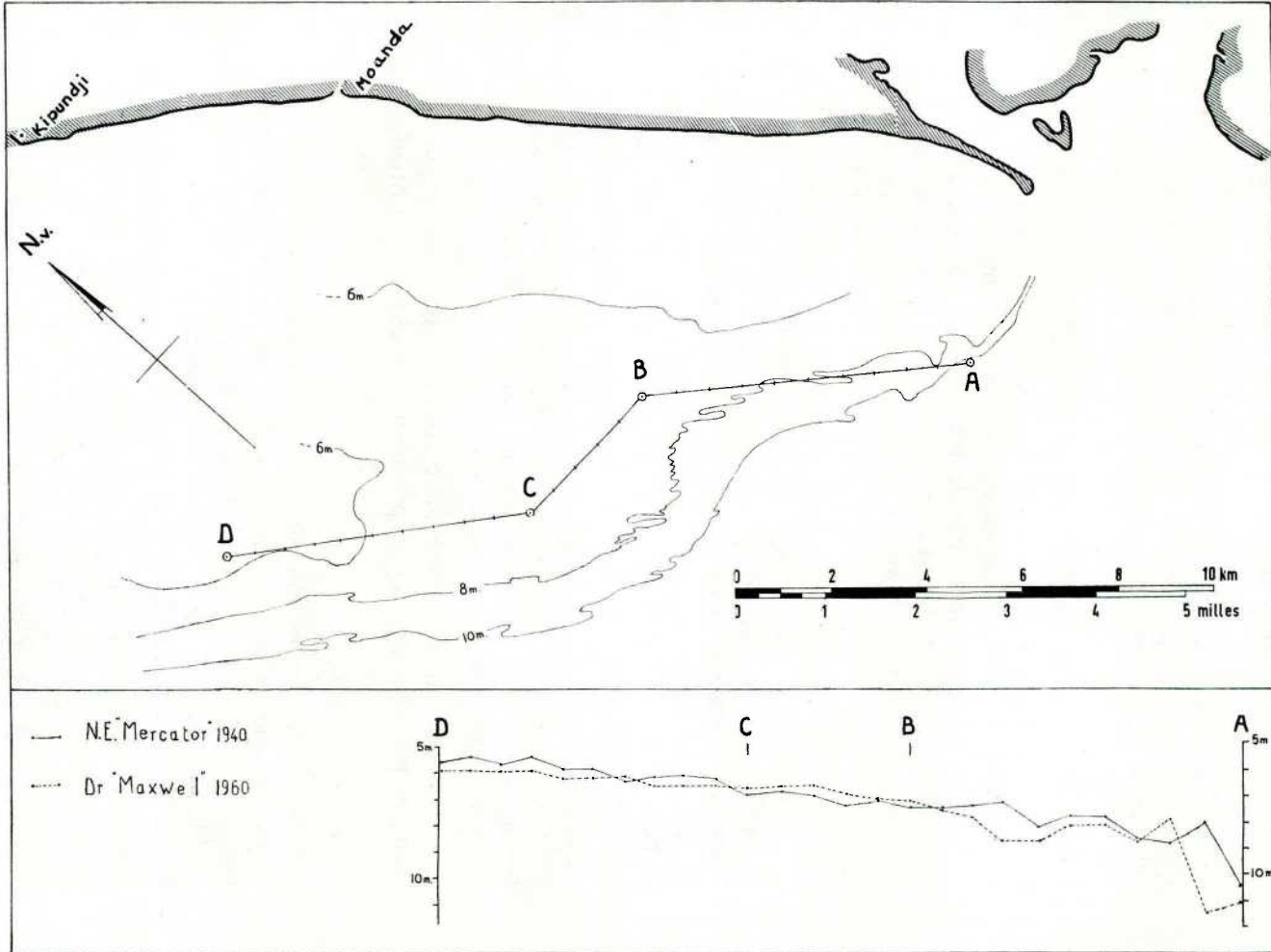


FIG. 5. — Comparaison des profils en 1940 et 1960

L'humidité relative varie de 50 à 95 % d'après la saison. L'évaporation est faible toute l'année. Pendant les mois sans pluies, il n'y a que peu ou pas de vents. Ils ne se manifestent que quelques heures par jour en saison de pluies, alors que l'humidité relative est très haute. Ceci explique l'échec des tentatives d'établir des salines rentables dans la région.

Les précipitations sont très variables d'une année à l'autre. La moyenne de 6 années d'observations accuse 1 107 mm, avec un maxima de 1 756 mm et un minima de 213 mm. De juin à août il n'y a pratiquement pas de pluies mais une rosée assez abondante ou des bruines. Les précipitations dépassant 40 mm sont rares. Le faible apport d'eau douce qu'elles représentent par rapport à l'énorme débit du fleuve peut être négligé dans l'étude qui nous occupe.

Le régime des vents est assez régulier. Au lever du soleil, il se produit souvent une faible brise du S. ou S.-E. de force 1 de l'échelle de Beaufort mais de courte durée. Jusqu'à 11 heures, le vent est pratiquement nul. Vers midi, le vent du S.-O. se lève et peut atteindre une force 4 vers 17 heures. Il tombe au plus tard vers 22 heures.

Les vents sont les plus faibles en juin et juillet où ils dépassent rarement une force 2. Par contre, en octobre, ils peuvent atteindre une force 5 dans l'après-midi. Devant un front d'orage, les bourrasques de courte durée atteignent une force 7 ou 8.

Il règne en permanence une houle assez forte qui a son origine dans les perturbations qui se produisent au centre de l'Atlantique Sud. Elle est indépendante du vent local mais peut être renforcée par celui-ci.

Cette houle croît en intensité au moment ou immédiatement après l'époque de la nouvelle ou de la pleine lune, particulièrement entre avril et septembre. La distance entre crêtes, souvent doubles, est de 30 à 40 m, les creux variant de 1 à 3 m selon l'intensité de la houle, du vent et de la présence de hauts fonds.

La houle provoque à la rive un ou plusieurs rouleaux assez puissants qui rendent l'accostage de petites embarcations, sinon impossible du moins très difficile et dangereux. La houle vient en général du S.-O. et déferle obliquement par rapport à la ligne du

rivage. Lorsqu'elle est très forte elle provoque sur l'estran la formation de « Beach cusps » ou croissants de plage.

Au Sud de l'embouchure, les conditions de houle restent moyennes mais elles s'accroissent en passant sur le haut fond, en face de Moita Seca. Au Nord, entre Banana et la frontière Congo-Cabinda, l'effet de la houle est atténuée par le courant du fleuve. Au-delà, entre Punta Vermelhas et Cabinda, la houle est toujours très forte en raison de la présence de crêtes rocheuses qui provoquent le déferlement à 2 milles du rivage.

Régime des marées

Il existe une importante relation entre l'état de marée et les variations semi-diurnes de température et de salinité des eaux.

Le régime des marées à Banana est le suivant :

Etablissement du port 4 h 27' ;

Moyenne de syzygie: 1,40 m ;

Maximum constaté: 1,90 m ;

Minimum constaté: 0,32 m.

On observe des amplitudes à peu près égales (± 10 cm) au port de Pointe-Noire mais la marée haute à Banana est en retard de 15 minutes sur celle de Pointe-Noir; à marée basse, ce retard est de 5 minutes.

II. LES SAISONS MARINES

Jusqu'à ces dernières années, le régime des eaux, surtout sur la côte Ouest de l'Afrique, entre le golfe de Guinée et l'Angola, était fort peu connu. Suite aux recherches systématiques entreprises par l'Office Français de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.) on est déjà beaucoup mieux renseigné sur le régime des eaux dans la région Est du golfe de Guinée.

Dans le cadre des ces recherches, des observations ont été régulièrement effectuées à Pointe-Noire. Le caractère des résultats obtenus, en un point proche de la zone qui nous intéresse, revêt une importance capitale pour l'étude de la zone fluvio-marine du fleuve Congo.

Grâce à l'obligeance du Chef du Centre océanographique de Pointe-Noire, M. G. BERRIT, nous avons été autorisé à reproduire des extraits des travaux déjà publiés à ce sujet.

Dans son étude sur les saisons marines à Pointe-Noire, G. BERRIT résume la situation comme suit:

Bien que les mouvements des masses d'eau dans la région Est du golfe de Guinée ne nous soient encore qu'imparfaitement connus, on peut en donner le schéma général.

Il existe en permanence dans la région Est du golfe de Guinée une masse d'eau superficielle, sinon bien définie du moins très différente des autres masses d'eau qui la limitent tant dans le sens horizontal qu'en profondeur. Ces eaux sont caractérisées par une température élevée (24° à 30° C) et une salinité nettement inférieure à celle des eaux océaniques (33 à 34 ‰), avec des valeurs extrêmes de 25 ‰. Cette dessalure est entretenue par les fortes précipitations qui sont la règle dans ces régions et qui excèdent largement les effets de concentration dus à l'évaporation, à la diffusion et au mélange.

Ces deux derniers phénomènes (diffusion et mélange) sont extrêmement réduits dans le sens vertical par la présence d'une thermocline très marquée aux environ de 30 m. Ils sont certainement plus importants à la limite Sud de ces eaux (leur limite Nord étant la côte africaine), là où elles sont en contact avec les eaux plus froides et plus

salées du courant Sud-Equatorial. La thermocline rejoint alors la surface et les salinités croissent rapidement.

Nous donnons à ces eaux le nom d'« Eaux guinéennes ».

Immédiatement au-dessous de ces eaux, on rencontre, sur une épaisseur qui peut aller de 10 à 30 m, une couche dont la salinité élevée, proche de 36 ‰, varie relativement peu, avec des températures de 24° à 18° C.

C'est la couche de la « thermocline » caractérisée par son maximum de salinité.

Ces eaux de la thermocline sont nettement distinctes des eaux guinéennes et ne se mélangent pratiquement pas avec elles. Ce fait est indiqué clairement par l'allure des bathythermogrammes qui présentent presque toujours un angle franc à la frontière des deux masses.

Au-dessous des eaux de la thermocline, se trouve l'eau centrale Sud-Atlantique. Le passage de l'une de ces eaux à l'autre se fait généralement d'une façon progressive par une zone de mélange.

Pour la première de ces masses d'eau de faible densité, la thermocline joue le rôle d'un véritable fond et la discontinuité des caractères physico-chimiques s'accompagne d'une discontinuité dynamique, la circulation dans les eaux guinéennes pouvant être très différente de celle des eaux sous-jacentes.

Au cours de l'année, deux phénomènes viennent influencer la position de ces masses d'eau dans le sens vertical et horizontal.

D'abord, une pulsation des eaux guinéennes qui les amène à occuper des domaines différents, selon la période de l'année, suivant deux directions de développement, Sud et Ouest, le centre semblant se situer dans le golfe de Biafra, aux environs de l'île du Prince. Il paraît peu probable qu'il s'agisse d'une augmentation de masse, mais plutôt d'un mouvement d'ensemble dans le sens horizontal, accompagné peut-être d'une variation dans le développement vertical.

Le second phénomène est celui de l'« upwelling », qui se produit le long des côtes au Sud du cap Lopez, pendant la période où les eaux guinéennes ont leur minimum de développement Sud.

Le mouvement des eaux guinéennes leur fait occuper, une partie de l'année seulement, les régions situées au Sud du cap Lopez. L'upwelling amène en surface des eaux de différentes profondeurs, pouvant aller jusqu'à plus de 100 m.

Les régions côtières au Sud du cap Lopez connaîtront en conséquence trois sortes d'eaux:

- a) Les eaux guinéennes;
- b) Les eaux de la thermocline;
- c) L'eau centrale Sud-Atlantique.

Pour la commodité de l'exposé, les deux dernières masses d'eau seront souvent groupées sous le terme d'eaux océaniques.

Aux eaux guinéennes, correspondent des périodes chaudes, alors que la thermocline et celles dues à l'upwelling déterminent des saisons froides. En période chaude, les eaux guinéennes descendent vers le Sud et

envahissent la zone côtière en se rétrécissant pour se terminer en pointe sur le parallèle de Mossamedes. En saison froide, ces eaux régressent pour faire place aux eaux de l'upwelling qui se manifeste le long de la côte, principalement aux environs du cap Lopez.

Annuellement, on verra dans la région côtière deux périodes d'apparition d'eaux océaniques alternant avec des eaux guinéennes. On distinguera ainsi quatre saisons: deux froides et deux chaudes, de longueur et d'intensité inégales, d'ailleurs variables dans d'importantes proportions d'une année à l'autre, comme on le verra par la suite. Le passage d'une saison à l'autre se fait par transition où les masses d'eau oscillent avant d'atteindre l'équilibre qui marque l'établissement définitif de la saison.

Pour distinguer les saisons on a adopté les critères suivants:

Eaux guinéennes: t° supérieure à 24° C, salinité inférieure à 35 ‰.

Eaux océaniques: t° inférieure à 24° C, salinité supérieure à 35 ‰.

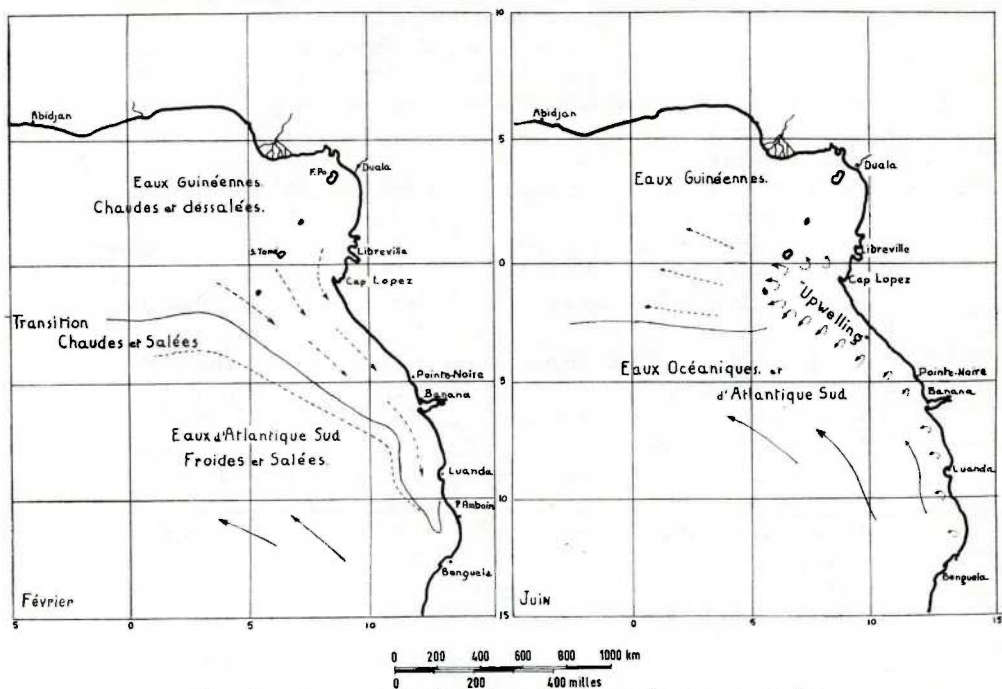


FIG. 6. — Mouvement schématique des masses d'eau au cours des saisons marines

La figure 6 schématise les mouvements des masses d'eau décrits ci-dessus au plus fort des saisons chaudes et froides.

Ce phénomène d'extension et de retrait des eaux guinéennes peut encore être mis en évidence en utilisant les relevés de la température de l'eau de surface qu'effectue régulièrement le

commandant PETIT à bord du bananier *Frubel Clementina*, au profit de l'Institut royal météorologique belge. Au moyen de ces relevés, nous avons dressé 4 cartes où figurent les isothermes aux époques extrêmes, au cours des années 1959 à 1962.

La figure 7 A donne les isothermes correspondant à une grande saison chaude (mars et avril 1961). Les températures attei-

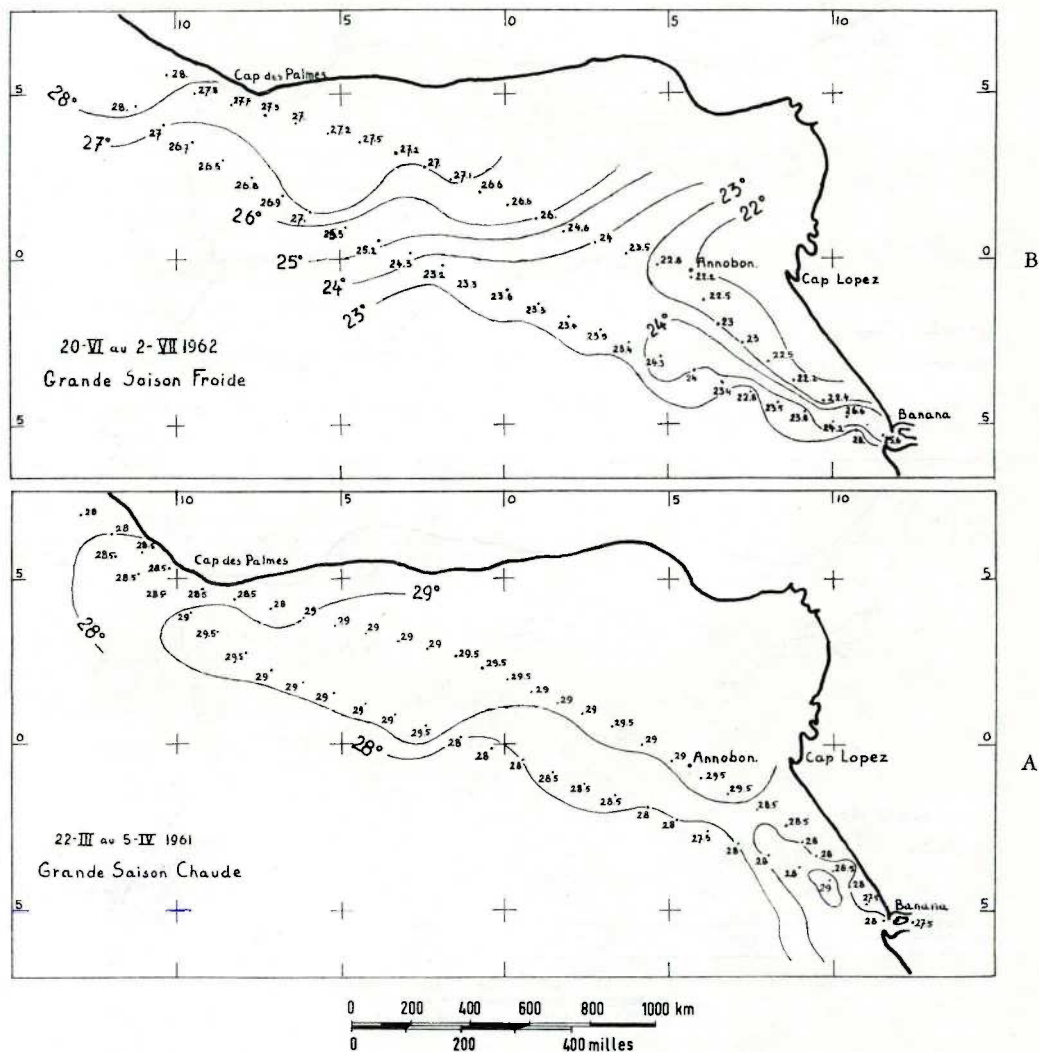


FIG. 7 A-B. — Déplacement des isothermes au cours des saisons marines, montrant la « pulsation » des eaux guinéennes

gnent 29°C et l'isotherme 28° descend vers le Sud, le long de la côte, bien en dessous du parallèle de Banana.

La figure 7 B correspond à la grande saison froide qui succède à la précédente, en juin-juillet. Les températures dans le golfe sont basses et l'influence de l'upwelling bien marquée au cap Lopez.

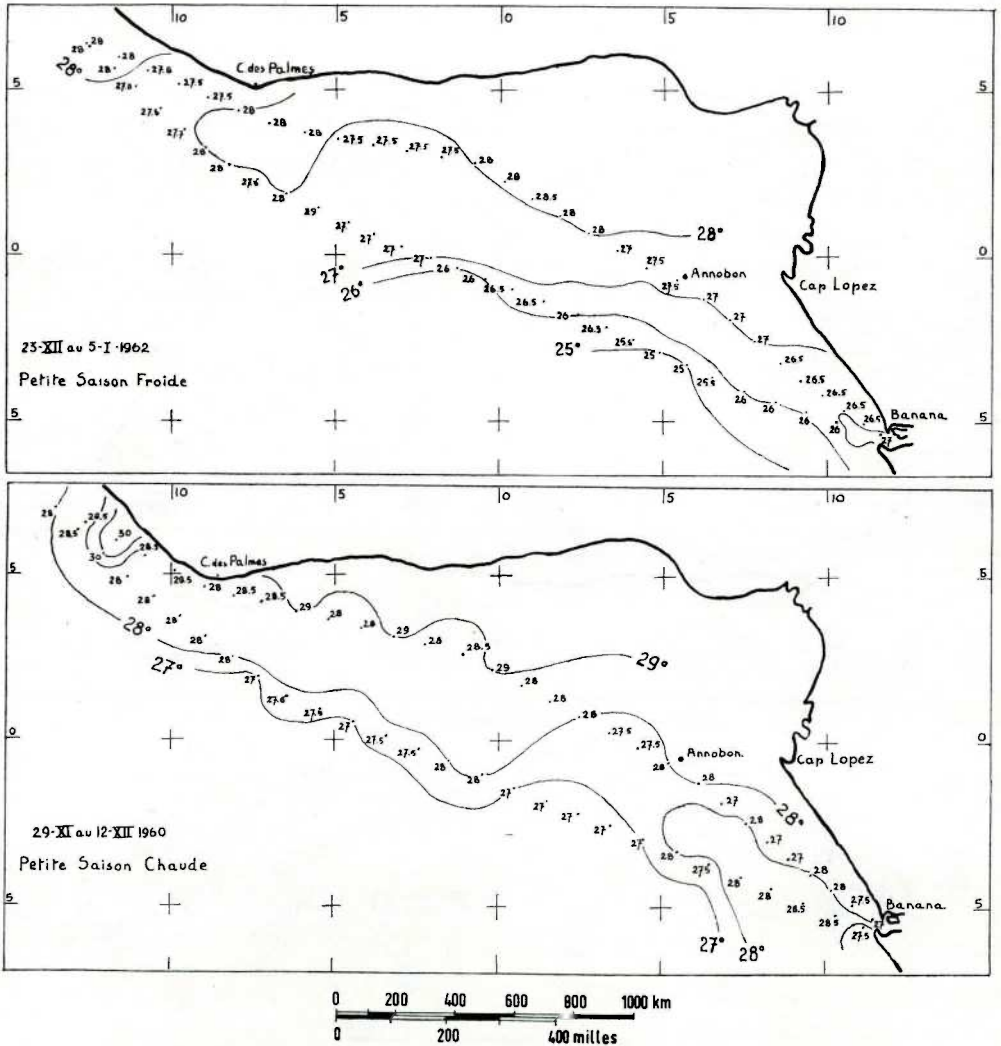


FIG. 7 C-D. — Déplacement des isothermes au cours des saisons marines, montrant la « pulsation » des eaux guinéennes

La *figure 7 C* marque le réenvahissement du golfe par des eaux chaudes mais d'une façon moins intense qu'en grande saison chaude.

La *figure 7 D* marque un retrait des isothermes 27 et 28° vers le Nord. La courte durée de la saison, décembre-janvier, empêche le phénomène de prendre toute son ampleur.

Les observations de Pointe-Noire ont été poursuivies de 1953 à 1958. Elles portèrent, en ordre principal, sur les variations de température et de salinité, en surface et en profondeur, en un point situé à quelques milles au large de Pointe-Noire. Le résultat des observations se trouve résumé dans les deux tableaux ci-après:

Tableau I. — Epoque et caractéristiques des saisons marines

Saison	Epoque (milieu)	Durée (jours)	En surface		En profondeur	
			Temp. (°C)	S‰ (1)	Temp. (°C)	S‰ (1)
Grande saison chaude	12 mars	90	27 à 28	30 à 34	>24	<35
Grande saison froide	15 juill.	92	20	35	18 à 20	35 à 36
Petite saison chaude	24 oct.	36	26	<35	24,5	<35
Petite saison froide	15 déc.	58	25	>35	20 à 22	>35

(1) S‰ exprime la teneur en sel, en grammes par litre.

Entre les période indiquées par le nombre de jours, se situent des périodes de transition où se manifestent les oscillations dont il fut fait mention plus haut.

Dans le tableau suivant, nous donnons les moyennes mensuelles de température et de salinité en surface et en profondeur:

Tableau II. — Moyennes mensuelles de température et de salinité en surface et en profondeur

Mois	En surface		A 10 mètres	
	Temp. (°C)	S ‰	Temp. (°C)	S ‰
Janvier	26,0	33,29	23,3	34,56
Février	27,4	31,89	26,0	33,51
Mars	28,1	30,08	26,3	33,48
Avril	27,9	30,42	25,0	33,26
Mai	24,8	33,96	22,2	34,47
Juin	21,8	34,34	19,3	35,70
Juillet	19,4	35,30	17,7	35,68
Août	19,7	34,56	17,7	35,53
Septembre	22,6	33,78	21,0	34,93
Octobre	25,1	31,12	23,4	34,47
Novembre	25,4	30,72	23,2	34,95
Décembre	25,1	33,26	22,3	35,06

Pour la commodité, on trouvera, à la *figure 8*, un graphique où ces moyennes figurent en traits pleins. Les traits pointillés marquent les maxima et minima observés au cours des 7 années d'observations.

Pour terminer, ajoutons qu'en grande saison chaude, les eaux sont les plus pauvres en sels nutritifs et en plancton.

Il ressort de l'étude de MM. G. BERRIT [4] et J.P. TROADEC, faite à Pointe-Noire entre 1954 et 1959, qu'il existe un rapport inverse entre la température de l'eau et la richesse en phytoplancton. En saison chaude, le phytoplancton tombe en moyenne à 7 000 U. Harvey par m³, alors qu'en grande saison froide, il dépasse 20 000 U.H.

Comme il existe également une relation entre la richesse en phytoplancton et les sels nutritifs, les auteurs précédents ont observé qu'en saison chaude, la moyenne de la teneur en phosphates variait de 9 mg/m³ à 25 mg/m³ selon la profondeur, la teneur étant plus faible en surface. En saison froide, les teneurs atteignent de 60 à 85 mg/m³.

On note également qu'en saison chaude, la transparence de l'eau augmente. Pendant cette saison, le disque de Secchi peut se voir jusqu'à 14 m de profondeur.

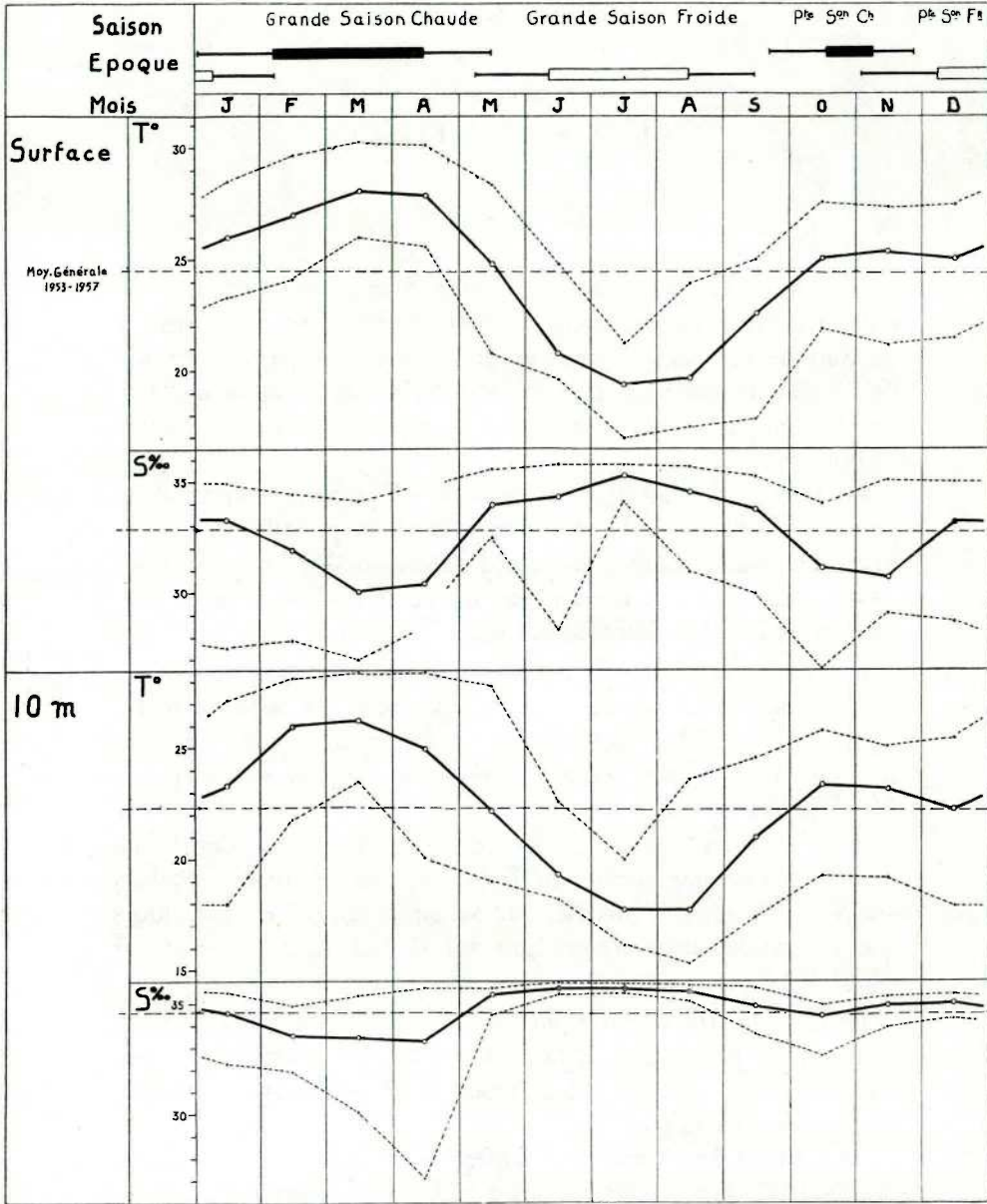


FIG. 8. — Graphique général des variations de température et de salinité en fonction des saisons marines à Pointe-Noire

III. LE FLEUVE CONGO

Généralités

Le fleuve Congo dessert un bassin d'environ 3 500 000 m², dont environ un tiers se trouve au Nord de l'Equateur et le restant au Sud de celui-ci. L'inversion des saisons, de part et d'autre de l'Equateur, amène une certaine stabilisation du débit du fleuve. Toutefois, les débits extrêmes enregistrés vont de 23 000 à 75 000 m³/s.

Le fleuve, du fait qu'il chevauche l'Equateur, connaît deux périodes de basses eaux alternant avec deux périodes de hautes eaux. En tenant compte du retard nécessaire à l'écoulement sur de grandes distances, la variation du débit traduit l'allure générale du régime des pluies sur le bassin du Congo.

Les pluies atteignent leur maximum en octobre et novembre, et déterminent la grande crue, le maximum de débit se manifestant en décembre. Une décrue se manifeste en mars-avril à la suite de la saison sèche qui règne en janvier sur la partie Nord du bassin.

En février-mars, la recrudescence des pluies au Sud de l'Equateur provoque une recrue du fleuve en mai. Celle-ci est alors suivie de la grande décrue qui se situe en juillet-août, alors que la grande saison sèche règne sur le Sud du bassin et qu'au Nord de l'Equateur, les pluies sont moins intenses.

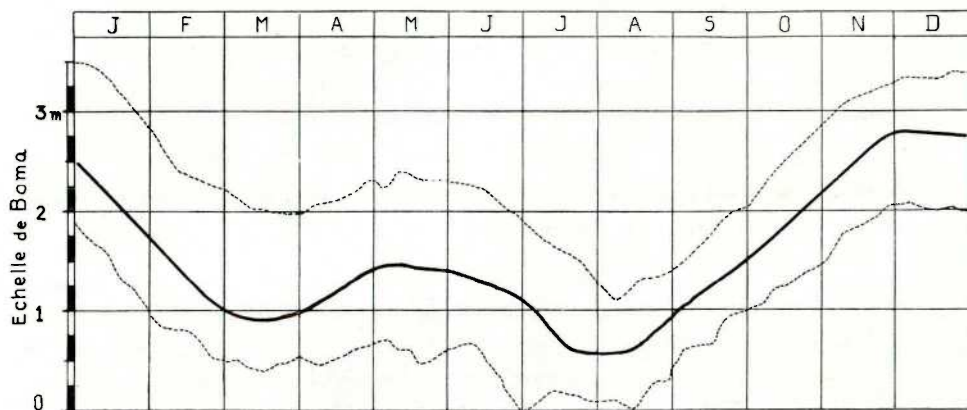
Le débit du fleuve varie parfois considérablement d'une année à l'autre. La grande crue et la décrue sont toujours très marquées, mais certaines années la différence entre petite crue et petite décrue peut être faible.

Le Service des Voies navigables du Congo observe l'étiage depuis 1915. Nous reproduisons à la *figure 9* le graphique établi par ce Service. La moyenne mensuelle d'étiage à Boma y figure en trait plein. Les traits pointillés indiquent les maxima et minima observés jusqu'en 1958.

Le zéro de l'échelle de Boma fut fixé lors des basses eaux de 1915.

La mesure du débit a fait l'objet de plusieurs études. La *figure 9* donne également le résultat des observations effectuées au cours de l'année 1958 en un point situé à quelques kilomètres en amont de Boma, près de l'embouchure du petit affluent Mao (*fig. 1*), là où le fleuve commence à se diviser, la mesure du débit y étant plus aisée sur des bras multiples. On a délibérément négligé l'apport des petits affluents situés en aval, leur débit étant insignifiant par rapport à la masse des eaux.

NIVEAU du FLEUVE



DEBIT

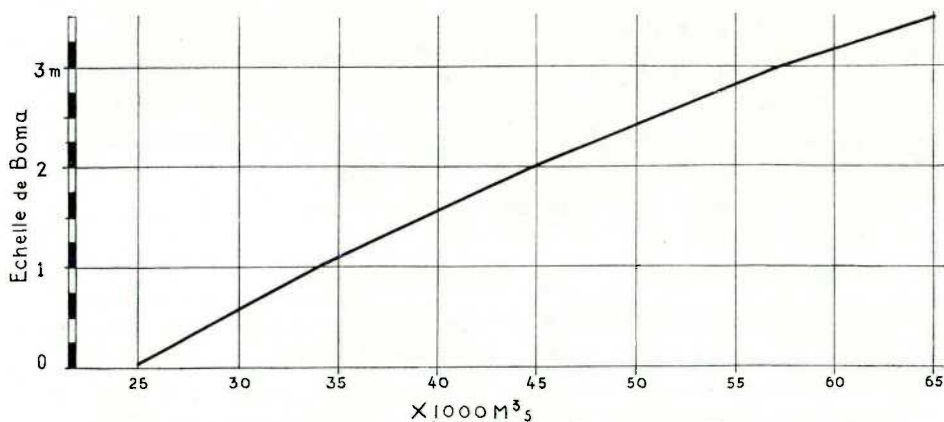


FIG. 9. — Variation de l'étiage à Boma et débit correspondant à cet étiage

Le courant du fleuve entre Boma et Malela a une vitesse moyenne dans le chenal de navigation de 4 à 5 km/h en basses eaux et de 6 à 8 km/h en hautes eaux. La marée qui se fait sentir encore faiblement à Boma diminue ou accélère la vitesse. A Malela, on a observé que, pour une marée de un mètre d'amplitude à Banana, la variation de courant est de l'ordre de 20 % de part et d'autre de la moyenne, le maximum se produisant 4 h 10' après l'étalement de marée basse.

A hauteur de Bulabemba, la vitesse se situe entre 3 et 6 nœuds. En raison de l'énorme débit, il n'y a pas de renversement de courant à marée haute, celle-ci ne faisant que ralentir ou accélérer la vitesse. On note cependant un renversement de courant, sur une largeur de 200 à 300 m, à la pointe de Banana où les courants sont assez faibles dans les deux sens. Par contre, la masse principale des eaux passe au Sud de l'axe de l'estuaire.

Le promontoire que forme la pointe de Padrao et son prolongement sous-marin vers l'Est constituent un obstacle qui paraît être la cause de la déviation des eaux du fleuve vers le N.-O., au sortir de l'embouchure.

En septembre 1940 et en période de crue moyenne, le *Mercator* effectua des mesures de vitesse de courant en surface au sortir de l'embouchure. Nous avons traduit les résultats sur le graphique de la *figure 10* où se trouvent délimitées les zones d'égale vitesse exprimée en km/h. La déviation vers le N.-O. y est bien apparente. Les eaux du fleuve traversent de biais la fosse profonde et longent plus ou moins la côte avant de s'étaler.

On remarquera à proximité de la pointe de Padrao une zone où les vitesses enregistrées atteignent 11,5 km/h, alors que les vitesses voisines sont de 10 km/h. On peut y voir une conséquence de la déviation qui, par compression latérale, provoque une surélévation du niveau des eaux à cet endroit, d'où la sur-vitesse.

Lors des fortes crues, il se produit vraisemblablement des sur-élévations plus importantes. L'étalement des eaux ne se produit alors plus uniquement vers le N.-O. mais vers l'Ouest et le Sud-Ouest, parfois assez brusquement, comme nous avons pu le constater en croisant à l'Ouest de Moita Seca.

Si à marée montante il ne se produit pas de renversement de courant en surface, la mer n'en pénètre pas moins en profondeur dans l'estuaire en provoquant l'élévation générale du niveau. Les eaux de l'estuaire envahissent alors les régions estuariennes latérales qui, en somme, jouent le rôle d'un immense bassin de chasse.

Le mouvement des eaux et les variations de température et de salinité qui se produisent dans la zone estuarienne demandent une étude particulière, à laquelle il ne nous a pas été possible de nous livrer. Notre étude ne porte que sur le chenal principal et l'embouchure.

Le mélange des eaux du fleuve et des eaux marines

Le mélange des eaux du fleuve avec l'eau de la mer commence à se manifester un peu en aval de Kisanga. A hauteur de Kisanga (voir *figure 2*), se trouve un étranglement du lit principal, là où deux bras importants du fleuve se réunissent. C'est à cet endroit que l'on observe les vitesses de courant les plus fortes de tout le bief inférieur. Lors des fortes crues, qui marquèrent l'année 1959-60, on y enregistra des vitesses supérieures à 8 nœuds. Il en découle que les eaux du fleuve abordent la fosse profonde avec une vitesse et un état de turbulence propres à favoriser le mélange dès leur contact avec les eaux froides et salées dont elle est remplie.

H.E. PUREY CRUST [24], chef de la Mission hydrographique du *Rambler* en fit la constatation. Le 13 septembre 1899, à marée haute et à mi-crue, il préleva une série d'échantillons d'eau dans l'axe de navigation de Malela à Bulabemba. Le résultat de ses observations est reporté sur le profil en long de la *figure 11*. Les isohalines accusent une progression du mélange qui, commençant à 15 ou 20 m de profondeur à Malela, émerge en amont de Bulabemba à partir d'où il ne subsiste qu'une très mince couche d'eau vraiment douce en surface.

Le 13 octobre 1899, il procéda au milieu de l'estuaire, devant Bulabemba, à des observations à marée basse et à marée haute. Les résultats figurent dans le coin inférieur gauche de la *figure 11*. On constatera que la couche d'eau douce n'atteint pas un

mètre de profondeur à marée haute. La salinité augmente rapidement et atteint déjà 27 ‰ à 2,50 m de profondeur, pour devenir normale vers 9 m.

A marée basse, si le jusant rend la couche d'eau douce plus profonde (3 m environ), la vitesse du courant et les tourbillons qu'il engendre semblent favoriser le mélange et l'on retrouve les eaux salées normales à une profondeur légèrement moindre qu'à marée haute.

Les températures observées étaient de 27° à 28° C en surface et de 23° C à 10 m de profondeur.

Nous pouvons rapprocher ces résultats de ceux obtenus en 1929 par M. GARBE [20], Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de France, chargé d'étudier les possibilités d'établissement d'un port à Banana. MM. DEVROEY et VANDERLINDEN [7], dans leur ouvrage *Le Bas-Congo*, en ont tiré les conclusions suivantes:

La densité de l'eau de mer au fond (dans la baie de Banana à 6 m de profondeur) est pratiquement constante et est comprise entre 1,020 et 1,025 (S = 30 à 35 ‰). A la surface, l'eau est pratiquement douce pendant toute la durée des marées de faible amplitude. Lorsque l'amplitude croît, la densité des eaux de surface varie. A ce moment, la densité peut atteindre en surface 1,012 (environ S = 20 ‰) lors des marées de fortes amplitudes.

En novembre 1960, nous avons nous-même procédé à des sondages tant dans le chenal principal, qu'en travers de l'embouchure. Les résultats sont reportés à la *figure 12* où l'on trouvera une coupe longitudinale le long de l'axe du chenal et en travers, à mi-chemin entre Malela et Bulabemba, ainsi qu'une coupe en travers de l'embouchure.

Ces sondages furent exécutés à une époque de forte crue, l'échelle de Boma accusant déjà 2,80 m, soit un débit de 55 000 m³/s environ. On se trouvait à ce moment encore en petite saison marine chaude et au début de la marée montante.

Sur le profil en long, on constatera qu'il n'existe plus d'eau strictement douce en surface à l'embouchure. La transition de l'eau douce à l'eau salée normale est assez régulière, mais on ne rencontre cette dernière que vers 20 m de profondeur. Le grand débit en est une des raisons. L'époque de saison chaude marine en est une autre, comme nous le verrons plus loin.

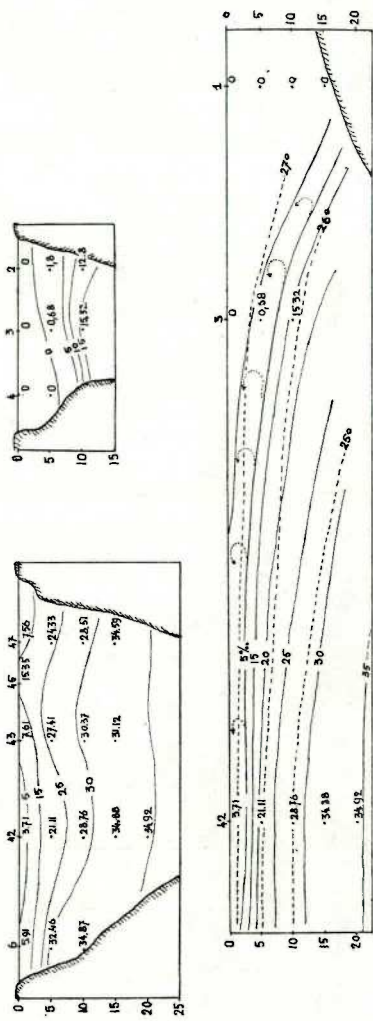
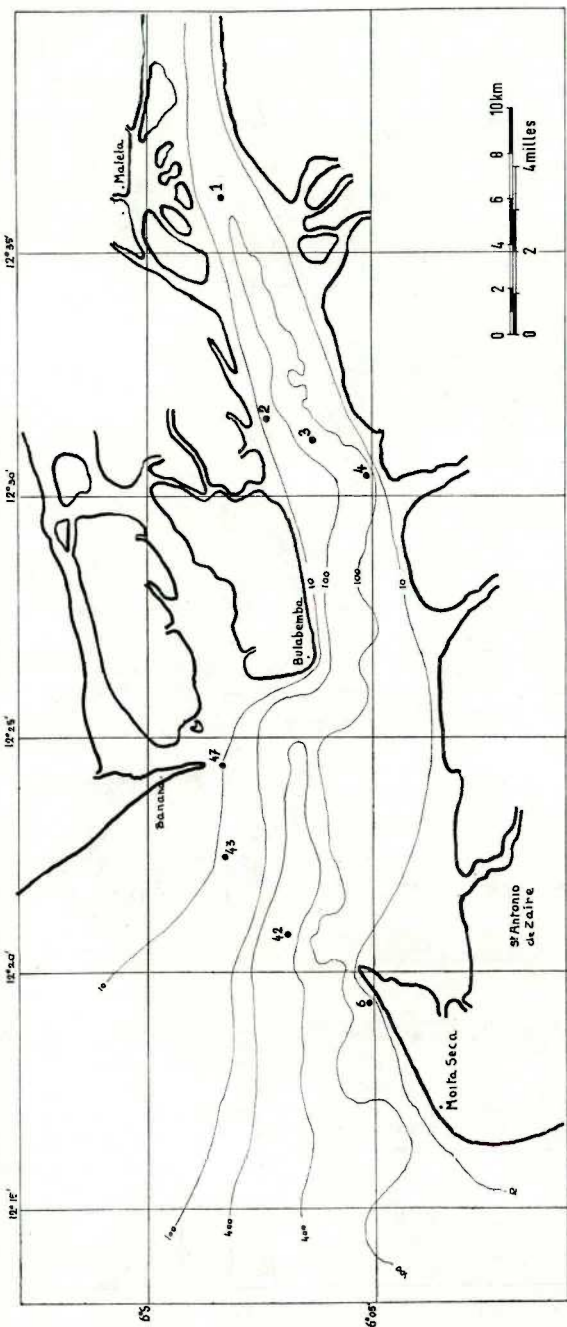


FIG. 12. — Profils en long et en travers en 1960

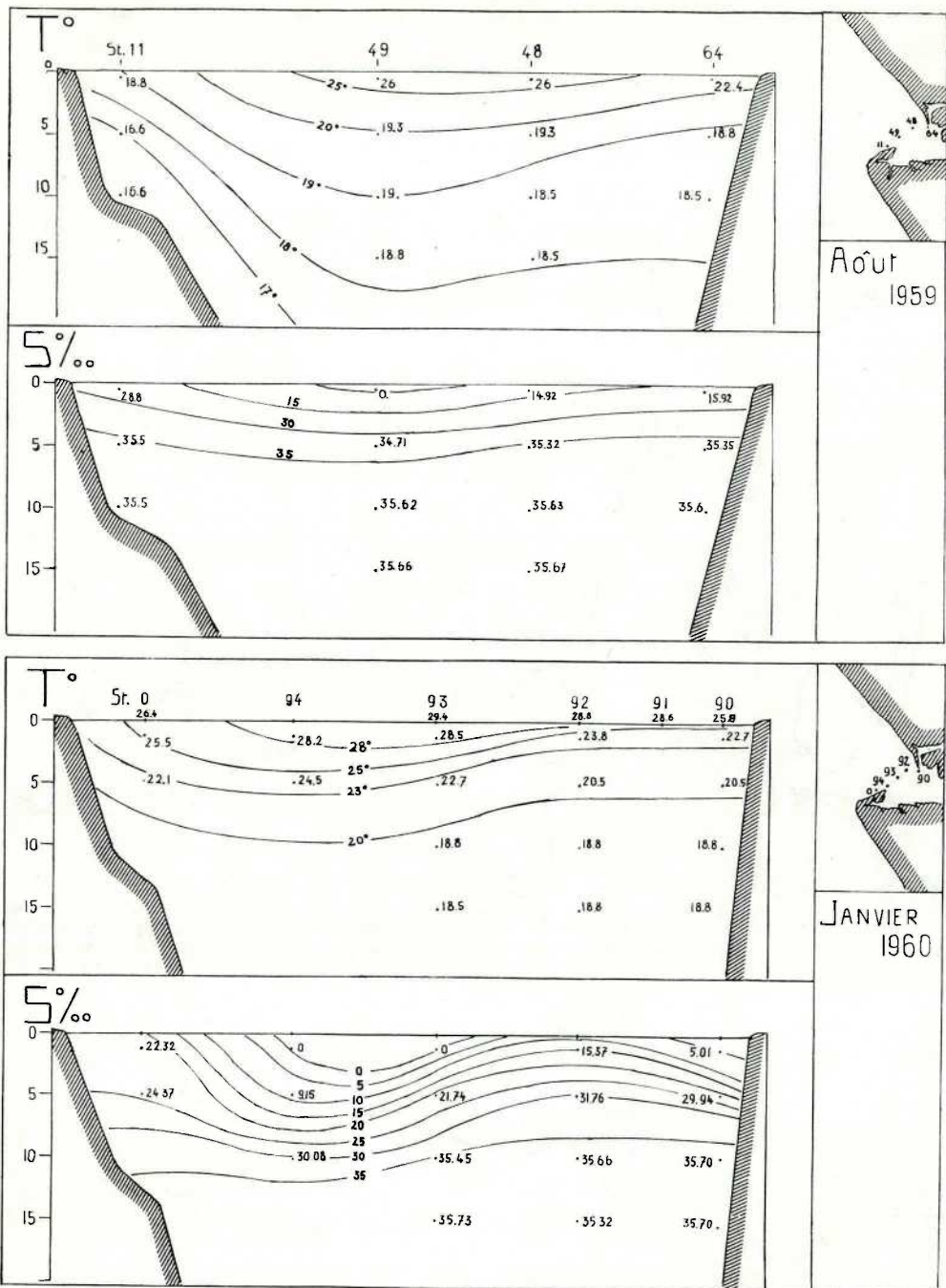
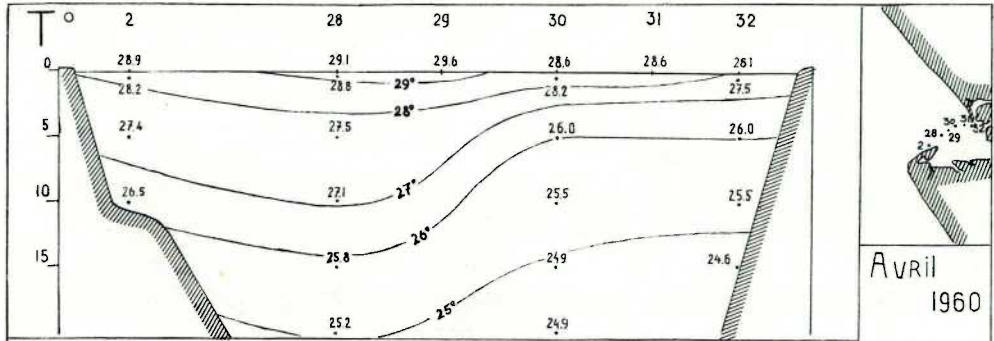
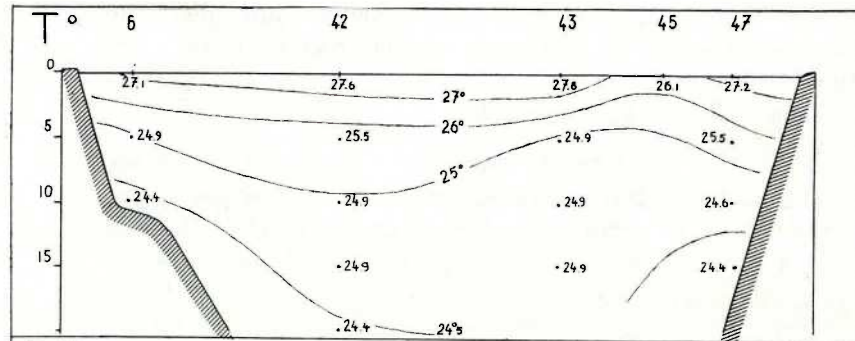
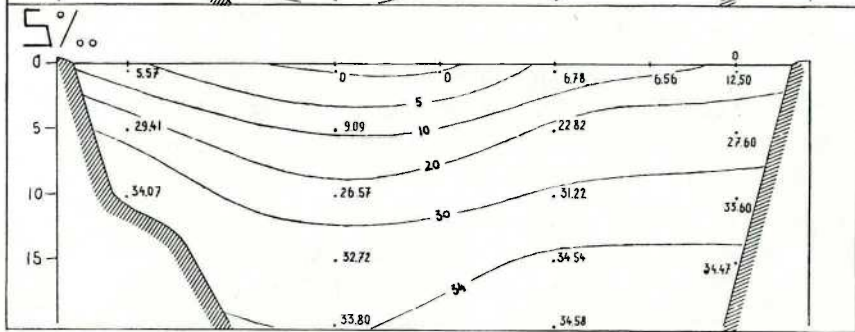


FIG. 13 A-B. — Allure des isothermes et isohalines à l'embouchure du fleuve: A, en août 1959; B, en janvier 1960



Avril
1960

C



NOVEMBRE
1960

D

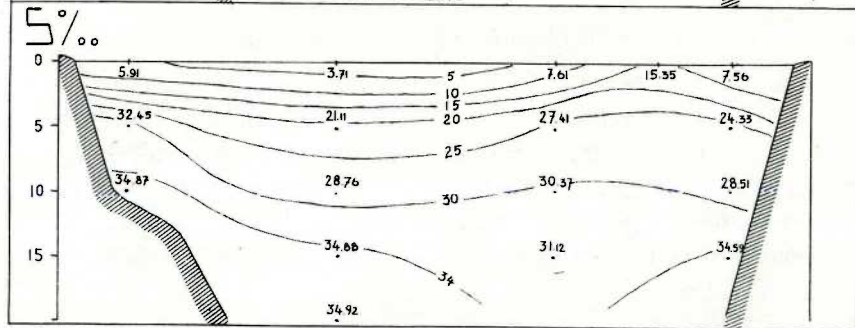


FIG. 13 C-D. — Allure des isothermes et isohalines à l'embouchure du fleuve:
C, en avril 1960; D, en novembre 1960

La température décroît régulièrement à mesure que la salinité augmente, résultat du mélange progressif avec des eaux sous-jacentes plus froides.

La comparaison avec le profil de 1899, pris plus ou moins à la même époque, est difficile. Nous ignorons le débit et l'amplitude de marée de 1899. Le débit de 1960 était anormalement haut et le profil pris à marée basse, ce qui peut expliquer l'abaissement du seuil des eaux salées normales par rapport à celui de 1899 pris à marée haute.

Le profil en travers, quoique de biais, accuse une plus grande profondeur d'eau douce sur la rive gauche que sur la rive droite. Ceci peut s'expliquer par le fait que la plus grande partie du débit passe au Sud de l'axe.

Le profil en travers de l'embouchure accuse des couches de salinité croissante, concentriques dans l'axe du courant qui se trouve déjeté vers le Sud, en accord avec l'allure du courant révélé par la *figure 10*.

Des données qui précèdent, on peut déjà conclure que, si le mélange dans l'estuaire commence à s'effectuer de façon assez régulière, la profondeur du seuil des eaux salées normales varie avec la marée et l'état de crue du fleuve.

Au cours des croisières de recherches effectuées en 1959-60, nous avons, chaque fois que ce fut possible, pratiqué des sondages en travers de l'embouchure. Les profils A, B, C et D de la *figure 13* exposent les situations à des époques de saisons marines et de crues différentes.

Pour chaque cas, on trouvera la position des isothermes et des isohalines. L'analyse des isothermes est traitée plus loin.

En raison du courant, les opérations de sondage prirent plusieurs heures, ce qui rend difficile l'appréciation exacte de l'influence de la marée sur la position du seuil des eaux salées normales. Les sondages au centre du fleuve eurent cependant lieu à mi-marée, montante en août 1959 et avril 1960, descendante pour janvier et novembre 1960, soit dans des conditions à peu près similaires.

En août 1959, on se trouvait à un moment où la décrue atteignait son niveau le plus bas avec un débit d'environ

32 000 m³/s, et en fin de grande saison marine froide, c'est-à-dire à un moment où les eaux océaniques sont très froides et à salinité supérieure à 35 ‰. On observe sur le profil A que le seuil de ces eaux se situe à environ 5 m de profondeur. On note un accroissement assez régulier de la salinité de la surface vers le bas. En surface, il subsiste une couche mince et peu large d'eau douce.

En janvier 1960 (profil B), on se trouve en petite saison marine froide. Les eaux sont encore ici à haute salinité et basse température. Par contre, le fleuve, venant d'amorcer sa décrue, accuse un débit un peu inférieur au maximum de l'année, soit environ 53 000 m³/s. Le seuil descend aux environs de 10 m. En surface et dans l'axe du courant, l'eau douce s'étend sur moins d'un tiers de la largeur totale du fleuve et jusqu'à 3 m de profondeur. Les isohalines dessinent un profil à couches concentriques assez régulièrement espacées, indiquant la diffusion progressive du sel. Les isohalines marquent cependant un fléchissement à proximité de la pointe de Banana, que nous attribuons à la situation particulière que crée, à cet endroit, le renversement de courant signalé précédemment.

L'année 1960 fut marquée par des crues supérieures à la moyenne. En avril 1960, la petite crue atteignait un débit de 46 000 m³/s. On se trouvait à ce moment en fin de grande saison marine chaude. Les observations de Pointe-Noire indiquaient également des conditions en dessous de la moyenne, avec des salinités assez basses de 32 ‰ à 10 m de profondeur.

Le profil C de la *figure 13* reflète bien l'influence de ces conditions. Les isohalines présentent encore une concavité marquée avec une mince couche d'eau douce en surface et un espacement assez régulier. Mais il devient difficile de fixer le niveau du seuil des eaux océaniques du fait que les eaux du fleuve rencontrent, à cette saison, des eaux marines à salinité voisine de 32 ‰ seulement. Il faut descendre à plus de 25 mètres pour retrouver des eaux océaniques à salinité normale, voisine de 35 ‰.

Le profil D correspondant à novembre 1960 offre une situation analogue à la précédente. On se trouve en période de crue croissante, avec un débit, supérieur à la moyenne, atteignant

déjà 55 000 m³/s au moment de l'observation. La station de Pointe-Noire signalait des conditions de petite saison marine chaude en dessous de la moyenne, avec des salinités de 33 ‰ à 10 m de profondeur.

Le seuil des eaux océaniques normales à 35 ‰ se retrouve à 20 m.

Variation de la température

Sans avoir fait une étude systématique des variations de température des eaux du fleuve en amont de l'embouchure, les observations en surface que nous avons pu faire peuvent se résumer comme suit:

En août, température de surface à Boma: 26,1° à 26,6° C;

En novembre, température de surface à Boma: 27,6° C;

En janvier, température de surface à Boma: 28,1° C;

En mars, température de surface à Boma: 29,5° C.

En général, on observe un refroidissement en s'approchant de l'embouchure, qui trouve sa raison d'être dans la présence des couches froides de la fosse profonde. Notons cependant que la différence entre Boma et l'embouchure est faible et ne dépasse guère un degré. La plus forte différence fut constatée en janvier 1960 lorsque la surface à Boma accusait 28,1° C, alors qu'à l'embouchure, la température était tombée à 26,8° C.

A l'embouchure, les variations de température en profondeur sont beaucoup plus marquées. L'allure des isothermes varie d'une saison à l'autre en fonction de la nature des eaux océaniques qui se mélangent avec l'eau du fleuve.

En août 1959 (*fig. 13 A*), les eaux fluviales ont, en raison du climat, leur température la plus basse de l'année, soit 26° C. Elles rencontrent les eaux océaniques de la grande saison marine froide. Il en résulte que de 26° C en surface, la température tombe assez rapidement à 18,5° à une douzaine de mètres de profondeur. Les isothermes se relèvent sur les bords, plus ou moins en conformité avec l'allure des isohalines.

En janvier 1960 (*fig. 13 B*), les eaux du fleuve sont chaudes, à température voisine de 29° C. Rencontrant à cette époque les

eaux océaniques de la petite saison marine froide, on constate également une chute de température assez rapide, mais qui n'atteint 18,5° C qu'à 15 m de profondeur.

En avril 1960 (*fig. 13 C*), les eaux du fleuve atteignent leur température maximale de l'année, entre 29° et 30° C. Elles rencontrent les eaux océaniques de la grande saison marine chaude et la chute de température en profondeur est plus lente car, à 20 mètres, la température est encore voisine de 25° C.

En novembre 1960 (*fig. 13 D*), les eaux du fleuve ont une température voisine de la température moyenne de l'année, soit 27,5° C. La rencontre des eaux fluviales avec celles de la petite saison marine chaude amène une situation analogue à la précédente, mais avec une chute de température un peu plus rapide, donnant déjà 25° C à partir de 10 m de profondeur.

De l'analyse des conditions de température et de salinité rencontrées aux différentes époques de l'année, nous pouvons conclure que le principe d'immixibilité des eaux à température et salinité différentes ne s'applique guère au cas présent, mais que la diffusion du sel des couches profondes vers la surface s'opère graduellement.

En saison marine froide, le seuil des eaux océaniques se trouve entre 5 et 12 m de profondeur selon l'importance du débit. En saison marine chaude, ce seuil descend à plus de 20 m en raison de la présence des eaux guinéennes qui pénètrent dans l'estuaire. Au cours de cette saison, nous pouvons distinguer trois couches d'eaux. En surface et jusqu'à 15 m environ, on a les eaux où s'opère la diffusion et que nous nommerons eaux fluvio-marines. La salinité de cette couche ira de 0 à 32 ‰. Vient ensuite la couche des eaux guinéennes à salinité inférieure à la normale, qui repose, à quelque 25 m de profondeur, sur le seuil les eaux océaniques à salinité supérieure à 35 ‰.

Ces différents niveaux subissent des oscillations dues à l'amplitude de la marée.

IV. CHOIX DES MOMENTS D'OBSERVATIONS

L'étude de la situation très complexe résultant de l'interréaction des différents facteurs en cause eut été mieux servie par un cycle d'observations mensuelles. Ceci n'étant pas possible, le problème se posait de savoir quand il était opportun d'effectuer les croisières afin d'obtenir au moins une esquisse générale du régime des eaux dans la zone fluvio-marine.

L'examen du cycle des deux facteurs connus, débit du fleuve et saisons marines, offrait des coïncidences intéressantes, résumées dans le tableau ci-après; il y figure, en regard des mois, les caractéristiques moyennes de surface des eaux marines et des eaux fluviales:

Mois	Eaux marines			Eaux fluviales		
	Epoque	Temp. (°C)	S ‰	Période	Temp. (°C)	M ³ /S
Décembre	Petite saison froide	23	35	Grande crue	27	58 000
Janvier				Petite décrue	28	35 000
Février	Grande saison chaude	29	32	Petite crue	29	40 000
Mars						
Avril						
Mai	Grande saison froide	22	36	Grande décrue	26	28 000
Juin						
Juillet	Petite saison chaude	28	34	Eaux moyennes	28	45 000
Août						
Septembre						
Octobre						
Novembre						

Le choix se porta, pour autant que les circonstances le permettent, sur des dates correspondant à peu près au milieu des sai-

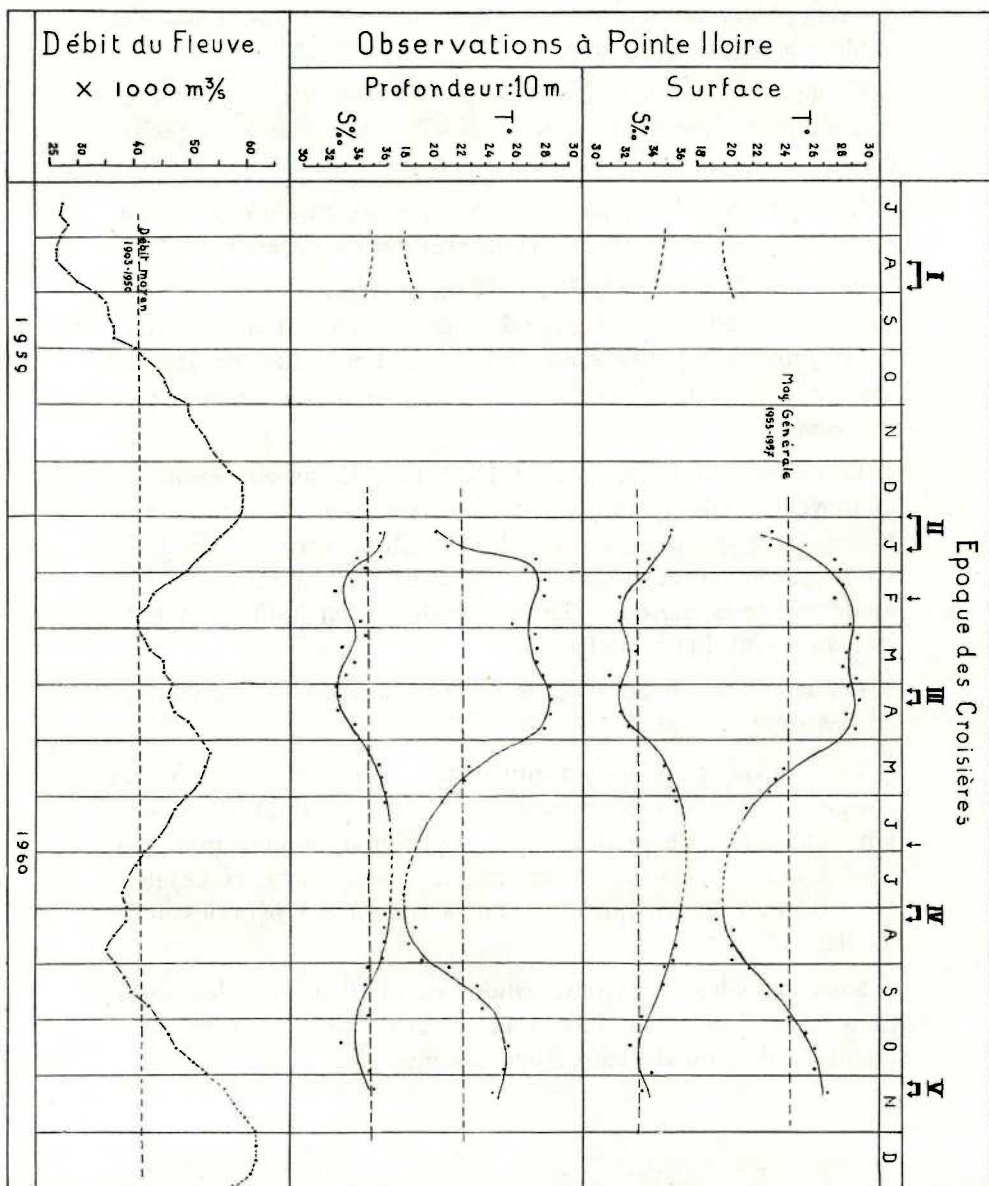


FIG. 14. — Conditions de température et salinité observées à Pointe-Noire et régime du fleuve d'août 1959 à novembre 1960

sons chaudes et froides. Il subsistait cependant l'incertitude que pouvait causer un retard dans l'apparition des saisons marines ou dans le régime du fleuve.

Ce ne fut que vers la fin 1960 que les observations de Pointe-Noire nous parvinrent et qu'il fut possible de savoir dans quelles conditions les observations avaient eu lieu.

Le graphique de la *figure 14* indique les conditions rencontrées au cours des croisières et la position de celles-ci.

En 1959, la station de Pointe-Noire n'effectua pas d'observations. En 1960, les relevés indiquent des conditions s'écartant de la moyenne: petite saison froide bien marquée en janvier, grande saison chaude prolongée et petite saison chaude plus intense.

Le fleuve manifesta, en août 1959, une décrue en dessous de la moyenne; elle fut suivie par une crue bien au-dessus de la moyenne, ce qui nous donnait des conditions extrêmes de débit. La petite décrue et la petite crue furent bien marquées et fort au-dessus de la moyenne. La grande décrue en juillet-août resta bien au-dessus du niveau habituel.

On trouvera, en annexe, les relevés détaillés concernant les années 1959 et 1960.

En tête du graphique, figurent la position et la durée des croisières, ainsi que leur numéro d'ordre en chiffres romains. On remarquera de petites flèches en février et juin 1960, qui situent des observations faites par le commandant HALKJAR à bord du m/s *Congo* qui traversait la zone à des périodes intermédiaires.

Sans être idéales les observations eurent lieu dans des conditions satisfaisantes et bien représentatives des périodes marquantes du régime des eaux fluvio-marines.

V. COMPTE RENDU DES CROISIÈRES

CROISIÈRE N° I - AOUT 1959

Conditions générales

Epoque: Du 16 au 18, ensuite du 26 au 28 août 1959.

Période du fleuve: Basse crue. Le niveau d'étiage était déjà quelque peu remonté. Le débit était d'environ 32 000 m³/s.

Amplitude de marée: Du 16 au 18, pleine lune, forte amplitude. Le 17, étiage à marée haute: 1,54 m; étiage à marée basse: 0,22 m; amplitude: 1,32 m. Le 27, amplitude faible, dernier quartier: étiage à marée haute: 1,11 m; étiage à marée basse: 0,62 m; amplitude: 0,49 m.

Saison marine à Pointe-Noire: Aucune observation ne fut faite en 1959. Nous prendrons comme référence la moyenne du tableau de la *figure 8*, soit: en surface: t: 20° à 22° C, S: 35 ‰; en profondeur: t: 18° à 19° C, S: 36 ‰.

On se trouvait donc à une époque où le fleuve, avec un débit minimal et une température de 25,4° C, se mélange à des eaux marines froides et à salinité maximale.

Itinéraire

Les points d'observation sont notés sur la carte de la *figure 15*, dans l'ordre de leur succession. L'itinéraire est donc facile à suivre. La nature des observations: température, prise d'échantillons en surface et en profondeur, station prolongée, y figure sous un signe particulier.

Afin de ne pas travailler complètement au hasard, cette croisière étant la première du genre, il fut décidé de se baser, pour décider du choix des points d'observation importants, sur le changement plus ou moins rapide de la température en surface.

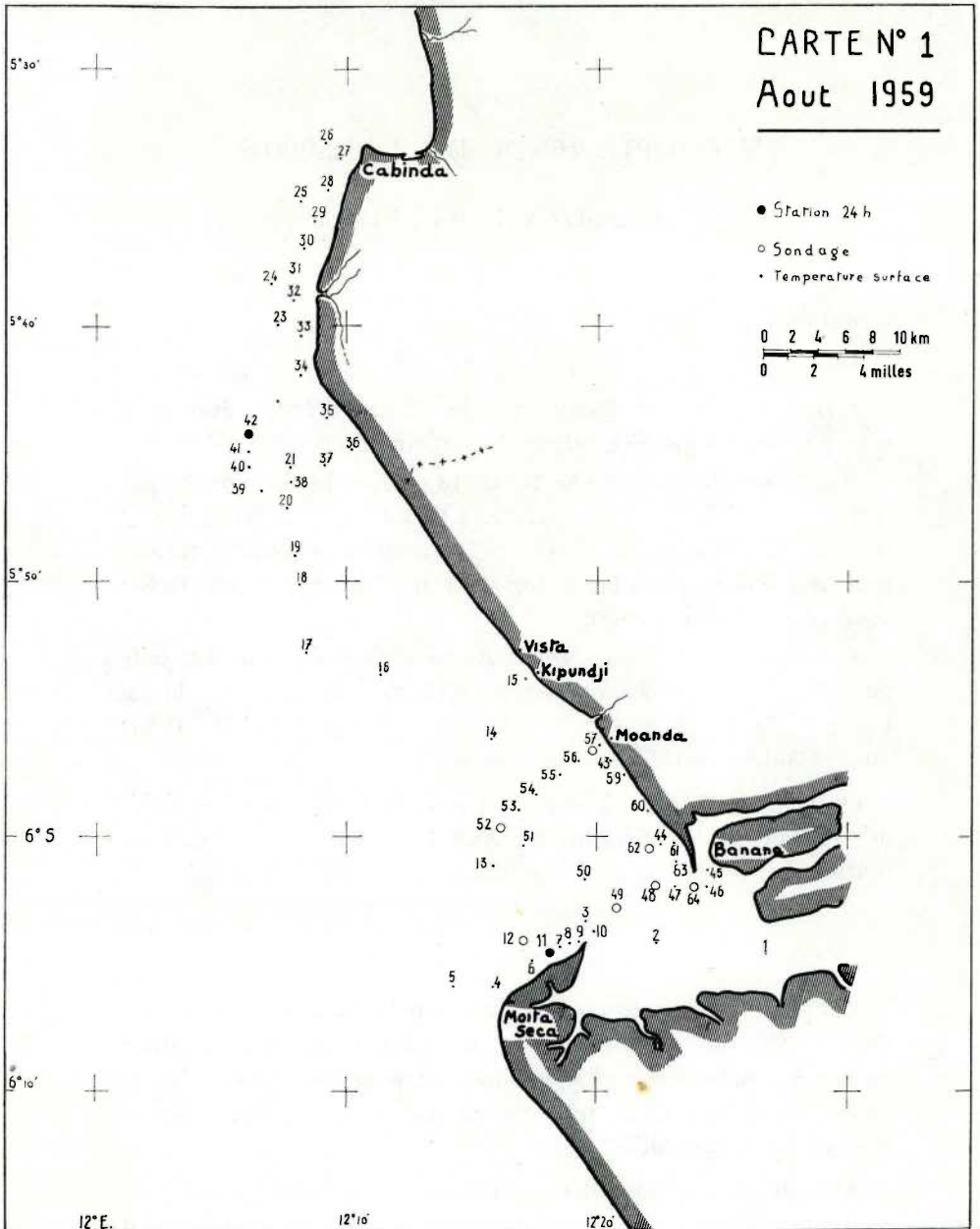


FIG. 15. — Août 1959. Croisière n° I: position des stations

Il fallait s'attendre, en principe, à rencontrer des eaux moins chaudes en s'éloignant de l'embouchure ou de l'axe du courant des eaux fluvio-marines dont on présumait la direction générale vers le N.-O.

Il arriva qu'ayant à peine doublé la pointe de Padrao, la température tomba rapidement de 25° à 22° C, la coloration de l'eau passant du brun au vert. La limite recherchée entre les eaux fluvio-marines et océaniques était atteinte. Malheureusement, l'état de la mer, forte houle avec lames déferlantes, ne permit pas de pousser au-delà de la pointe de Padrao (point 5) ou d'y faire des observations. Il fut alors décidé de revenir en arrière et d'établir une station au point 11 situé en eaux vertes mais proche des eaux brunes et d'y effectuer des observations sur une durée de marée complète, afin d'observer l'influence de la marée à cet endroit.

Les opérations terminées, il fut procédé à un sondage profond au point 12, à proximité mais en eaux brunes; l'impossibilité d'ancrer en raison de la profondeur et du courant violent empêchait une station prolongée à cet endroit. L'estuaire fut alors traversé en direction du Nord, en observant la température qui monta assez rapidement à 26° C pour retomber progressivement à 22° C à proximité de la côte, au droit du phare de Kipundji. On se trouvait indubitablement sur la bordure opposée du courant fluvio-marin. Les eaux n'y étaient cependant pas vertes.

L'itinéraire se poursuivit alors vers le N.-O., sans trop s'éloigner de la côte, afin de trouver une limite plus nette entre les eaux fluvio-marines et les eaux océaniques. En remontant ainsi vers le Nord, les eaux se révélèrent de plus en plus froides, 20° puis 19° C. Ce ne fut cependant qu'à hauteur de Cabinda que les eaux vertes furent rencontrées. A partir du point 22, la forte houle persistante rendait les opérations très difficiles; le port de Cabinda fut rallié afin d'y attendre des conditions plus favorables.

Le 26, les opérations purent reprendre. La côte fut redescendue en eaux relativement calmes et froides (19° à 20° C) et une station fut établie pendant une marée complète, au point 42 situé sur l'isobathe de 15 mètres, en bordure mais à l'intérieur

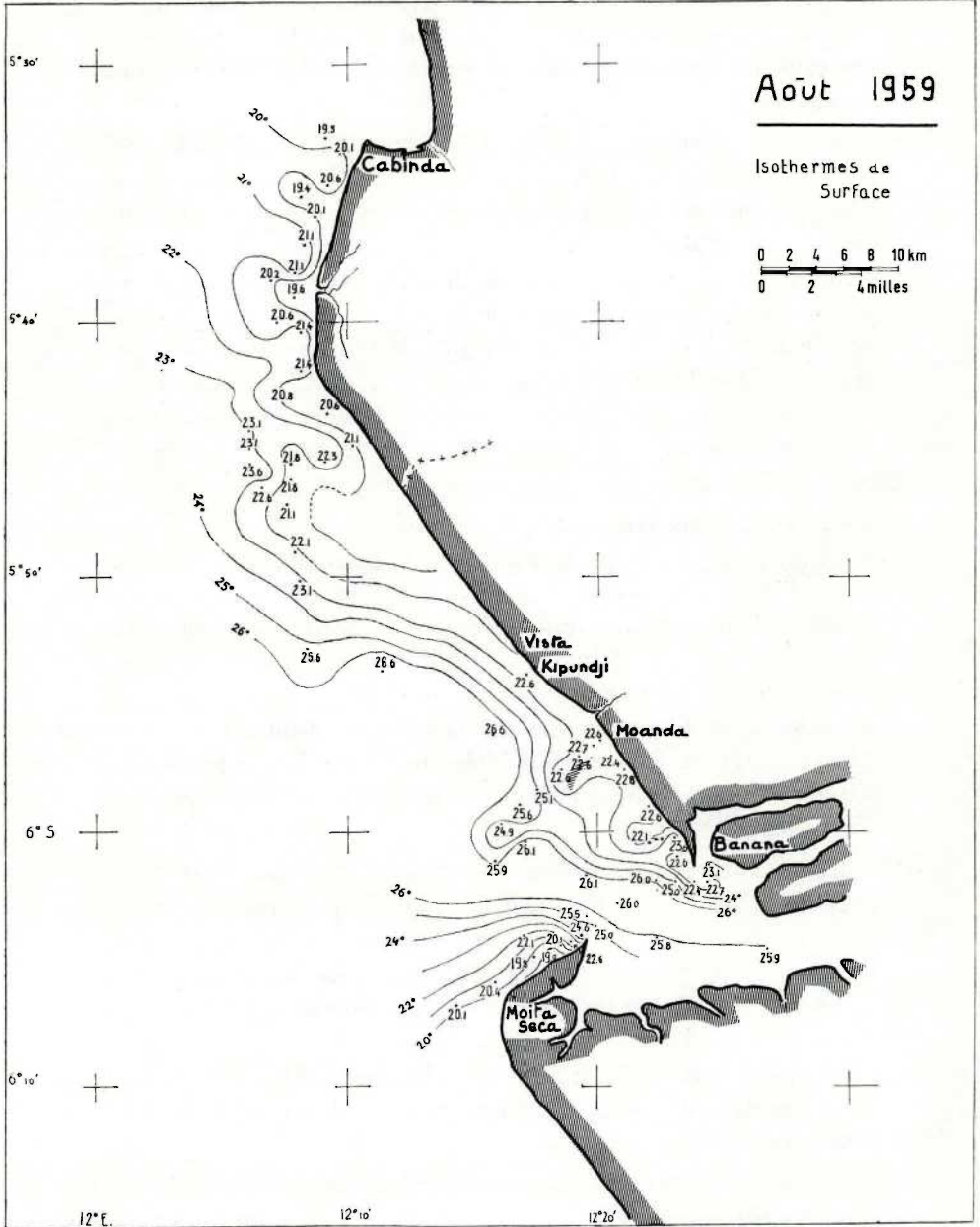


FIG. 16. — Août 1959. Isothermes de surface

du courant fluvio-marin. Le système d'ancrage se révélant insuffisant, l'*Ariane* retourna à Banana. Le 28, une sortie fut effectuée afin d'obtenir une coupe transversale du fleuve à l'embouchure et des renseignements sur une normale à hauteur de Moanda.

Dès que les résultats d'analyses furent connus, il fut procédé au dépouillement des observations.

Isothermes de surface

Le nombre assez grand d'observations de température de surface nous a permis de dresser la carte de la *figure 16*.

On notera les points suivants:

L'axe de courant des eaux fluvio-marines semble bien orienté vers le N.-O. Les eaux les plus chaudes forment une langue où la température se maintient à 26° C.

De part et d'autre de cette langue, la température s'abaisse assez rapidement jusqu'à 20°-22° C.

Au Sud de l'embouchure, entre Padrao et Moita Seca, il existe à la côte une poche d'eau plus froide.

Au Nord de l'embouchure, on constate une poche analogue, mais moins froide, entre Banana et Moanda.

Les isothermes s'infléchissent vers la côte, entre Moanda et Kipundji, puis s'en écartent, formant une poche assez vaste. Dans le Nord, entre la frontière Congo-Cabinda et jusqu'à Cabinda, l'allure des isothermes indique une zone de turbulence causée par les crêtes rocheuses et la forte houle déferlante qui s'y produit.

Isobalines de surface

Le nombre d'échantillons de surface étant faible, le tracé des isobalines de la *figure 17* est quelque peu présomptif. Nous nous sommes laissé guider par l'allure des isothermes qui, en principe, doivent refléter le degré de salinité. On en trouve confirmation à proximité de l'embouchure où les poches d'eau plus froides correspondent à des eaux à salinité plus élevée. Vers le Nord, l'accroissement de salinité est en rapport avec

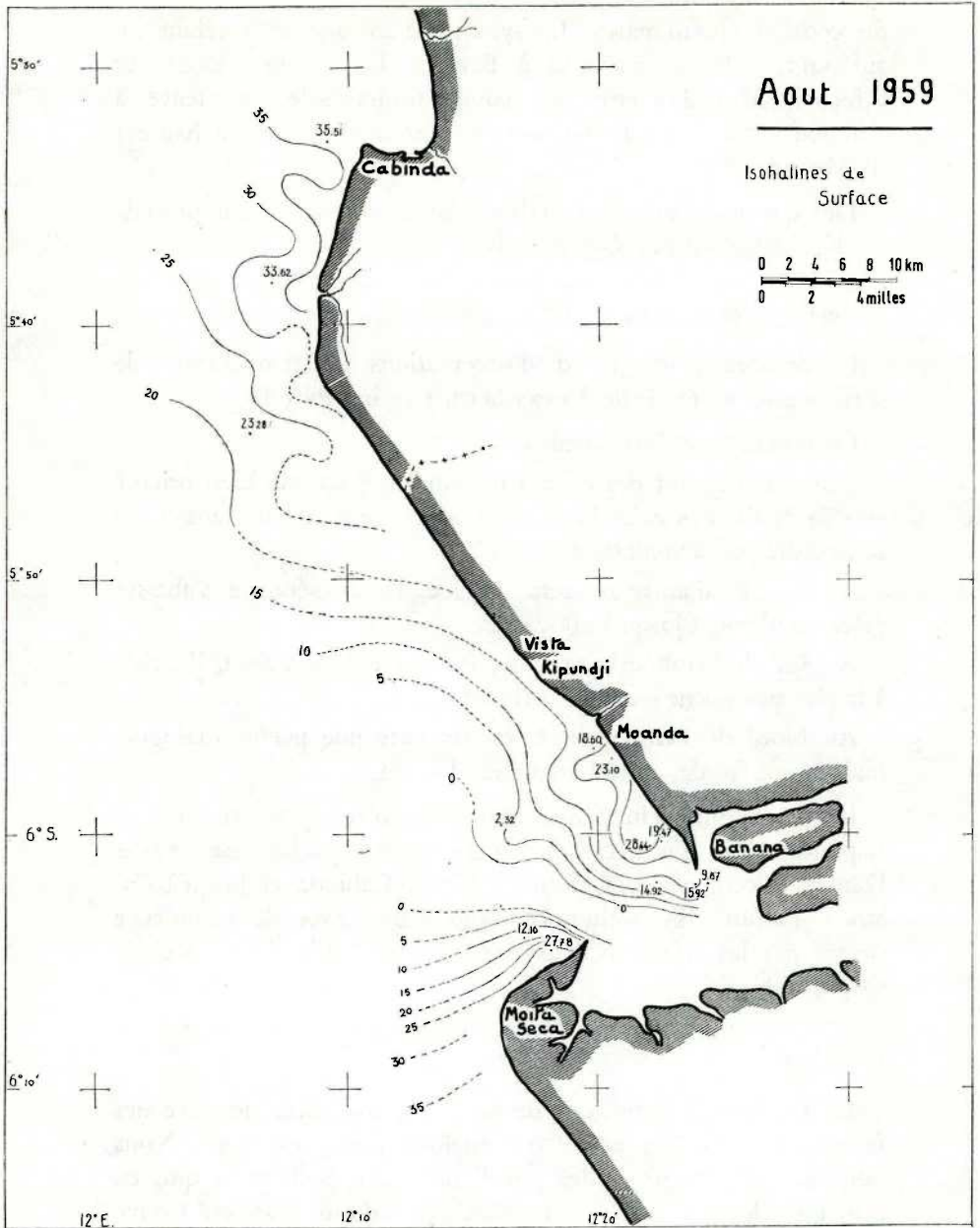
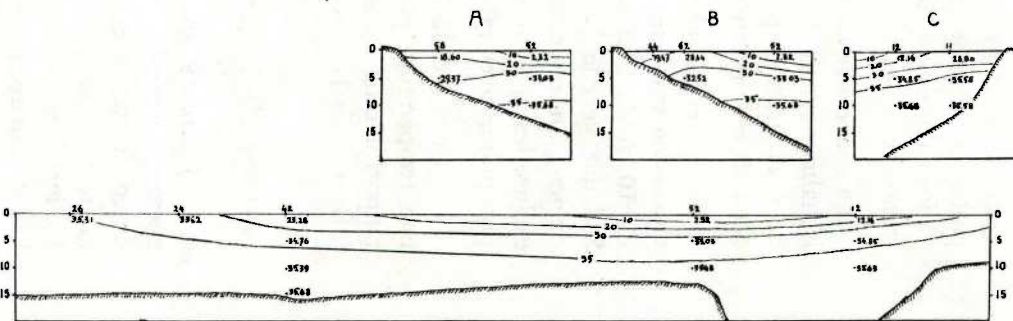
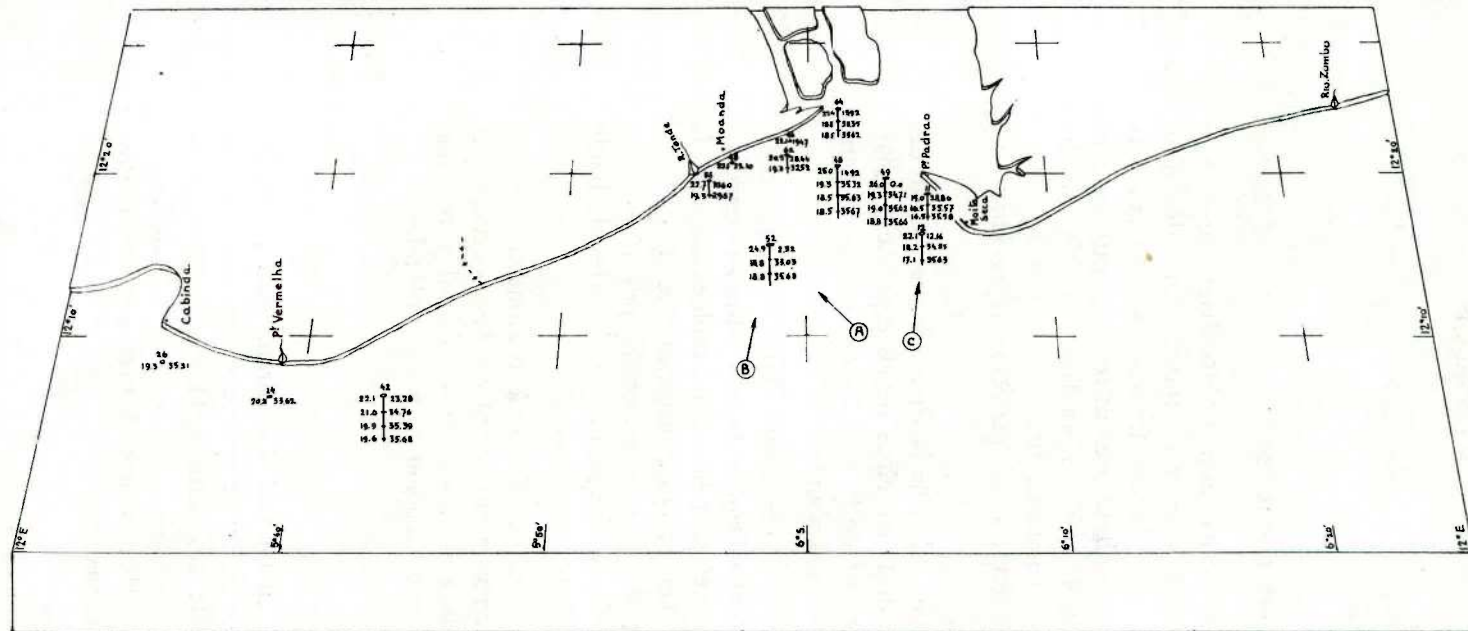


FIG. 17. — Août 1959. Isohalines de surface



Août 1959

FIG. 18. — Août 1959. Bloc-diagramme donnant la situation générale. — Profil sur l'isobathe de 15 m; A, B et C, profils en travers

la diminution de température. A Cabinda, les eaux ont les caractères des eaux océaniques.

Salinité et température en profondeur

Nous avons tenté de donner, avec le bloc-diagramme de la *figure 18* et les profils en long et en travers, une idée d'ensemble de la situation, en y faisant figurer les sondages avec leur température et leur salinité aux différentes profondeurs. Pour les stations 11 et 42, où des sondages répétés ont été pratiqués sur une marée complète, nous avons pris les observations correspondant à un état de marée se rapprochant des stations voisines.

La coupe longitudinale au bas de la figure donne l'allure des isohalines sur l'isobathe de 15 m. Nous ferons cependant remarquer le caractère présomptif de la position des isohalines entre Moanda et la frontière Congo-Cabinda.

En prenant l'isohaline de 35 ‰ comme limite des eaux océaniques, on voit que le seuil à l'embouchure se situe aux environs de 10 m de profondeur et se relève plus rapidement vers le Sud que vers le Nord. Les coupes transversales A, B et C indiquent un relèvement du seuil à proximité des côtes, sans exclure les anomalies près du rivage, dues à un effet de houle plus prononcé en raison du relèvement des fonds.

L'examen de la température révèle, à profondeurs égales, une température plus basse à proximité de l'embouchure par rapport à celle du sondage de la station 42. Faut-il y voir une influence de la masse d'eau occupant la fosse profonde?

Influence de la marée

La *figure 19* groupe en un seul diagramme tous les renseignements recueillis au cours des observations effectuées sur une durée de marée complète aux stations 11 et 42. Nous avons intercalé les résultats de sondage des stations 12 et 52, situées plus à l'intérieur du courant fluvio-marin, à titre de comparaison. L'état de marée y figure également.

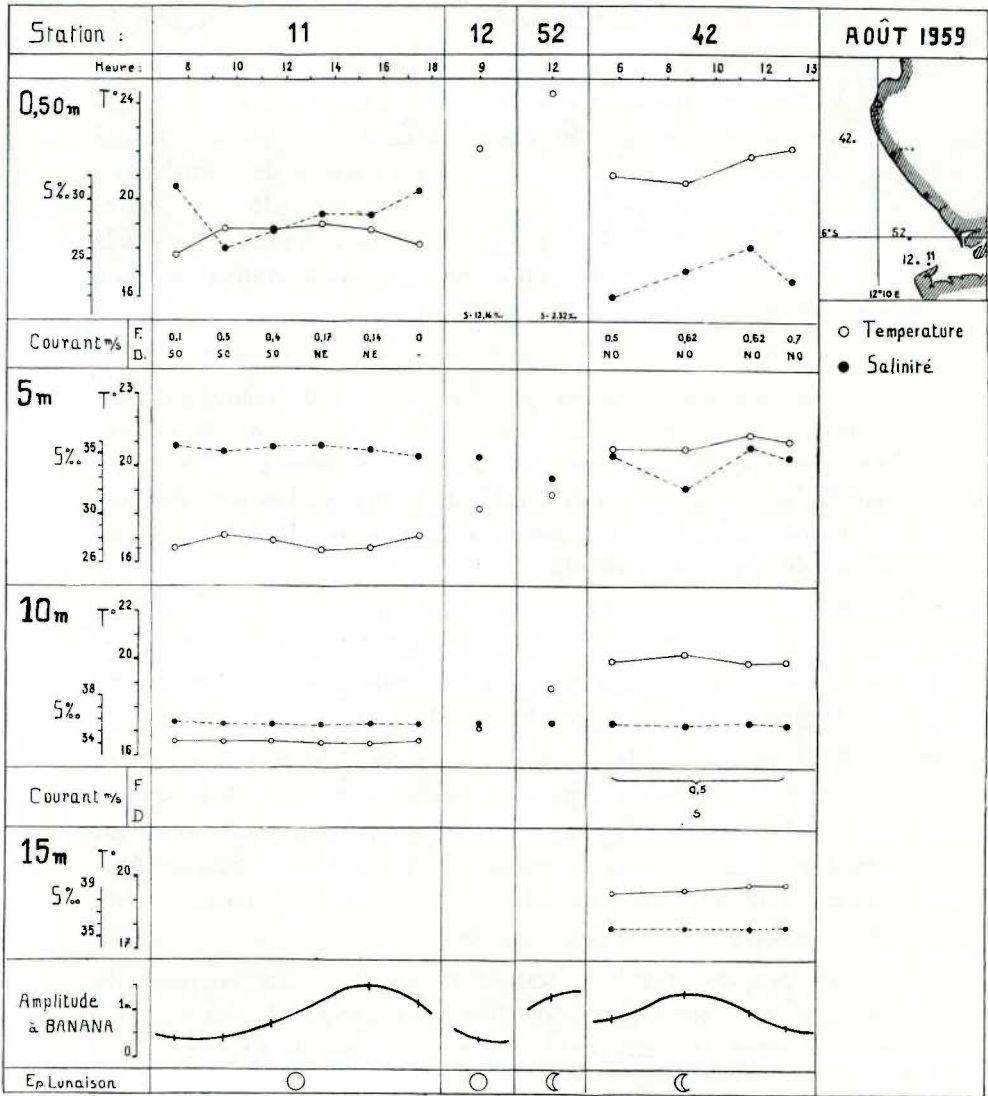


FIG. 19. -- Août 1959. Graphique des variations de salinité et température aux stations principales en fonction de la marée

Le premier fait qui attire l'attention est la situation à 10 m de profondeur. On y constate que la salinité est uniforme et voisine, si pas supérieure à 35‰. L'effet de la marée s'y fait à peine sentir. Seule, la température, basse à l'embouchure (st. 11)

et à peine modifiée par la marée, monte à 20° C en direction du Nord (st. 42).

A 5 m de profondeur, à la station 11, la variation devient sensible et on observe une différence de 1,83 ‰ en salinité qui reste cependant voisine de 35 ‰. La variation de température est faible, 0,6° C, pour une température générale assez basse de 17°. La courbe de la variation de salinité épouse à peu près la courbe de variation de l'amplitude, la salinité étant plus basse à marée basse.

Aux stations 12 et 52, on a des situations intermédiaires

A la station 42, plus ou moins en bordure du courant fluvio-marin, la variation est plus marquée. Si le maximum de salinité est voisin de 35 ‰, le minimum accuse une chute de 3,38 ‰. La courbe est en désaccord avec celle de la marée. Les températures oscillent moins (0,5° C) mais les eaux sont plus chaudes que celles de la station 11 de plus de 3° C.

En surface, les variations de température et de salinité sont plus fortes, tant à la station 11 que 42. La teneur générale en sel, nettement inférieure à 35 ‰, indique que ces deux stations sont encore en dedans des limites du courant fluvio-marin.

A la station 11, le maximum de salinité atteint 31,01 ‰ et descend à 25,95 ‰, soit une différence de 5,13 ‰. A la station 42, où l'influence des eaux fluviales est plus marquée, on a un maximum de 26 ‰ et un minimum de 21,96 ‰, donnant également une différence de 5,14 ‰. L'action de la marée semble avoir le même effet dans les deux cas.

Les températures à la station 11 oscillent aux environs de 18,5° C, mais aux environs de 21° C à la station 42, avec une amplitude dans les deux cas d'un peu plus de 1° C (1,3° et 1,1°).

A la station 11, la salinité est en concordance avec la marée, mais en sens contraire et avec un retard sur la station 42.

Tout semble se passer comme si, au Sud, la marée haute entraîne une poussée d'eaux océaniques qui augmenterait la salinité, tandis qu'au Nord ce sont des eaux à caractère fluvial, situées à l'Ouest du point 42, qui amènent une dilution sous la poussée de la marée haute vers la côte.

Au point 11, l'observation du courant à la surface indique que le courant, assez faible vers le N.-E. à marée haute, se renverse à marée basse où, en fin d'étalement, il atteint un nœud. Sur le fond, nous n'avons pas décelé de courant. Ce renversement de courant est local et n'affecte que la zone près du rivage et à l'Ouest du Padrao.

Au point 42, règne en permanence un courant d'au moins un nœud, qui augmente à marée haute et marée descendante. L'inclinaison que prenait le câble lors de sondages profonds indiquait un contre-courant, orienté vers le Sud au voisinage des fonds. Ce fait avait déjà été observé par A. CAPART en 1948.

Diagramme température/salinité

A un accroissement de salinité doit, en principe, correspondre une diminution de température. Cette corrélation s'observe, en règle générale, dans tous les sondages pratiqués et au cours des variations influencées par la marée. Cette corrélation n'est pas étroite mais varie assez fort selon les circonstances.

Pour chaque croisière nous avons dressé le diagramme t/S en utilisant le résultat de toutes les observations de la croisière. Nous avons cependant indiqué sous un signe différent les observations ayant trait aux points situés au Nord et au Sud d'une limite, celle-ci étant le parallèle passant par le milieu de l'embouchure.

Nous référant à la *figure 20 A*, on constate qu'à salinité égale, la température peut varier considérablement. Dans l'ensemble, la relation n'apparaît que faiblement mais il y a lieu de noter qu'à salinité égale, les eaux les plus salées ont leur température comprise entre 16° et 21° C, alors que la température des eaux les moins salées ne dépasse pas 26° C. A salinité égale, les eaux au Nord de l'embouchure sont plus chaudes que celles du Sud.

Il est intéressant de comparer ce diagramme avec celui des autres croisières.

Résumé de la situation en août 1959

A l'époque des plus basses eaux, alors que le débit est voisin de 32 000 m³/s, les eaux du fleuve, dont la température est

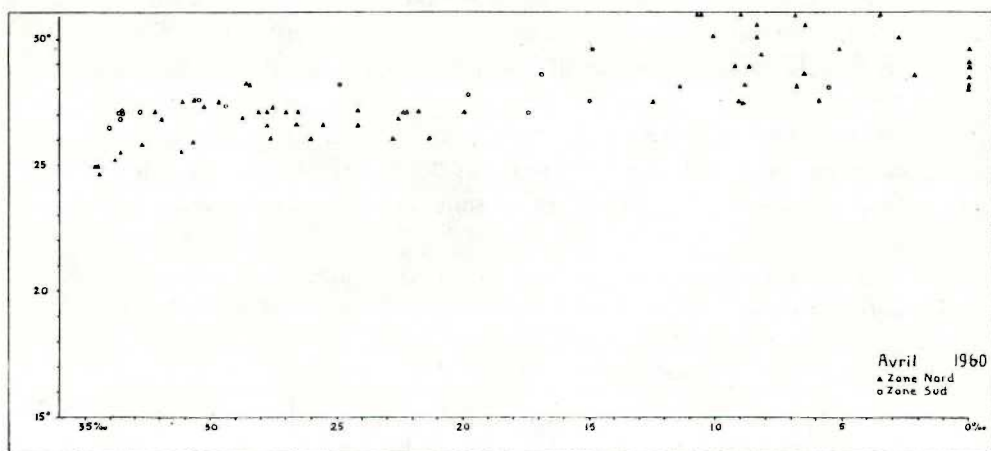
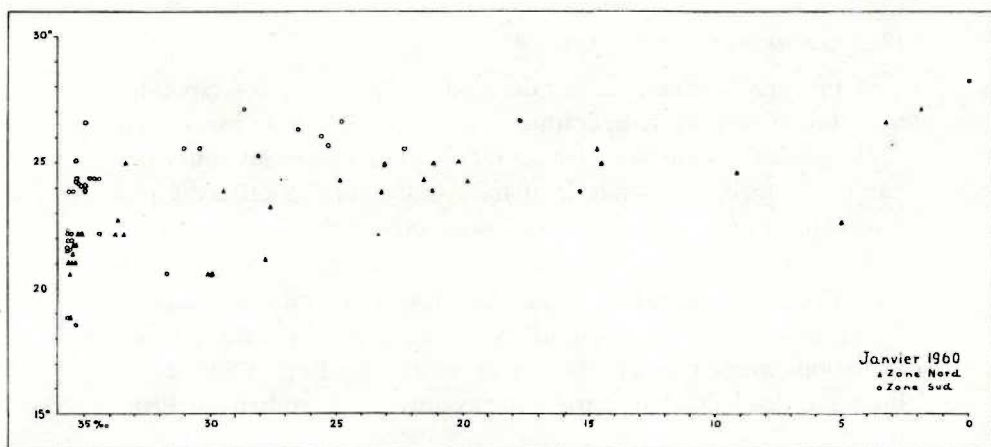
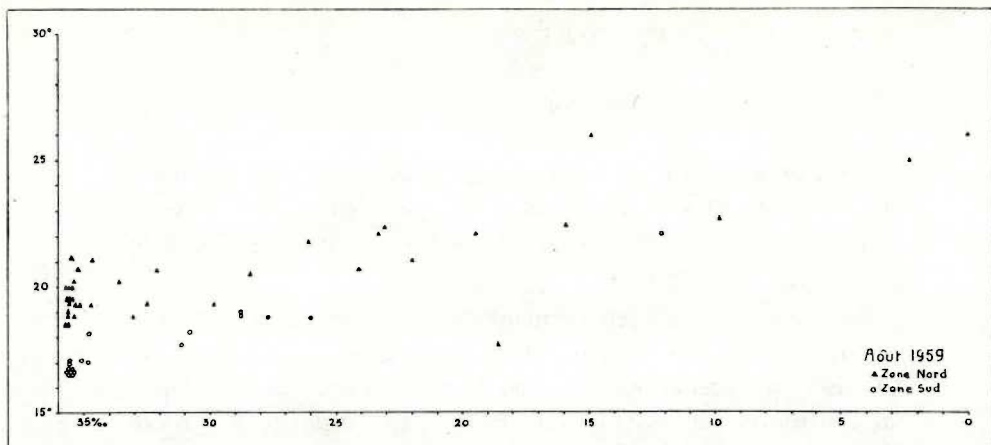


FIG. 20 A-B-C. — Diagramme t/S se rapportant aux différentes croisières:

- A, août 1959: En grande décrue, grande saison marine froide;
- B, janvier 1960: En grande crue, petite saison marine froide;
- C, avril 1960: En petite crue, grande saison marine chaude;

D

E

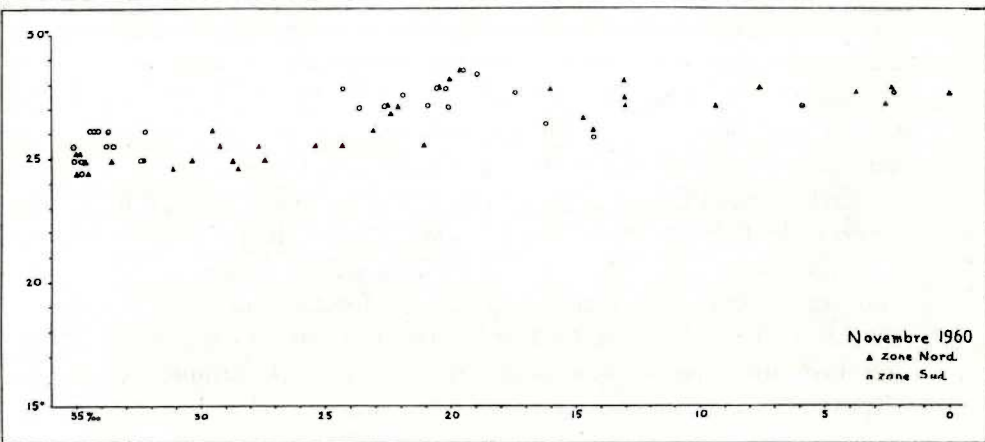
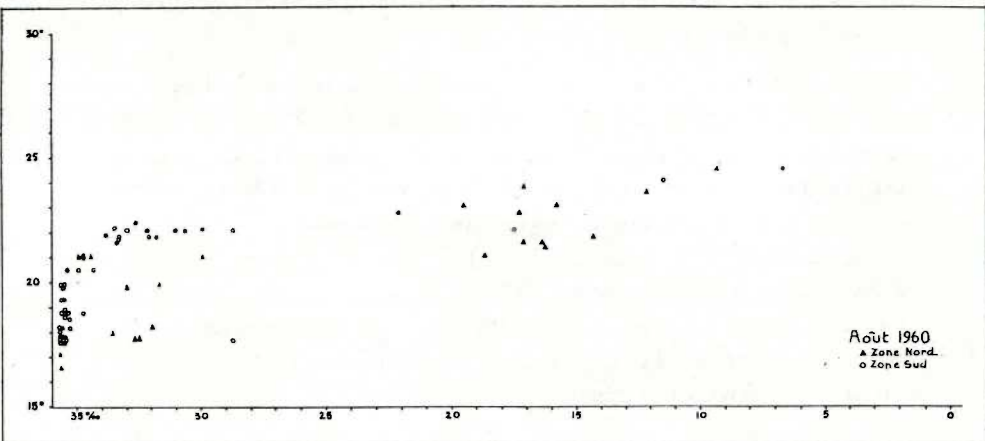


FIG. 20 D-E. — Diagramme t/S se rapportant aux différentes croisières:

D, août 1960: En grande décrue, grande saison marine froide;

E, novembre 1960: En eaux moyennes, petite saison marine chaude.

voisine de 26° C, abordent en amont et en profondeur, dans l'estuaire, des couches d'eaux froides et salées présentant les caractères des eaux de la grande saison froide marine, c'est-à-dire à salinité d'au moins 35 ‰ et température de 16° à 20° C, selon la profondeur.

Il en résulte qu'à la sortie de l'embouchure la masse d'eau en mouvement se présente en couches superposées à salinité croissant vers le bas, concentriques à une nappe mince et relativement étroite d'eau encore douce qui se dirige vers le N.-O. Au même endroit, la masse d'eau en mouvement provoque, sur les deux rives, la formation d'une poche où la salinité relative est plus élevée. Le courant fluvio-marin s'infléchit alors vers la côte, à hauteur de Moanda, pour reprendre par après la direction N.-O. En s'éloignant de l'embouchure, la salinité et la température augmentent à tous les niveaux.

Le seuil des eaux océaniques se situe, à l'embouchure, à environ 6 m de profondeur. Sur l'isobathe de 15 m, ce seuil descend à environ 10 m de profondeur. Il se relève et atteint la surface à quelques milles au Sud de Moita Seca. L'isobathe de 15 m, restant plus ou moins parallèle à l'axe du courant, le seuil se maintient à 10 m jusqu'à hauteur de la frontière Congo-Cabinda; il se relève ensuite pour se confondre avec les eaux de surface à hauteur de Cabinda. Il en résulte que, malgré le relèvement du seuil vers la rive, entre Banana et la frontière, la zone littorale qui s'étend de la plage jusqu'aux profondeurs de 5 m ne connaîtra jamais des eaux à salinité normale. Dans les conditions très favorables qui se présentèrent en août 1959, la salinité ne dépassa guère 22 ‰ en surface et 30 ‰ sur le fond.

La marée fait varier la salinité et la température jusqu'à 10 m de profondeur. Devant Moita Seca, la variation est de 5 à 6 ‰ et 1° de température en surface; environ 2 ‰ et un demi-degré à 5 m de profondeur. Sur les fonds de 15 m, à hauteur de la frontière Congo-Cabinda, la variation de salinité et de température en surface est la même que devant Moita Seca, mais atteint 3 à 4 ‰ et un demi-degré à 5 m de profondeur.

A la rive, entre Moita Seca et Padrao, il existe un faible courant vers le N.-E., en surface et à marée haute. Il se renverse

et augmente à marée basse. A quelques milles de la rive, à hauteur de la frontière Congo-Cabinda, il existe un courant permanent d'un nœud vers le N.-O. qui s'accélère au jusant; entre 10 et 15 m de profondeur, il existe un contre-courant orienté vers le Sud. Au large, dans l'axe du courant fluvio-marin, la vitesse du courant en surface est de 2 à 3 nœuds.

CROISIÈRE N° II - JANVIER 1960

Conditions générales

Epoque: Du 2 au 19 janvier 1960.

Période du fleuve: Le fleuve entamait sa décrue après avoir passé par une crue dépassant la moyenne. L'échelle d'étiage de Boma accusa 3,18 m fin décembre, ce qui correspond à un débit de 60 000 m³/s. Le 2 janvier, l'étiage était descendu à 3,10 m, soit environ 58 000 m³/s, presque le double de ce qu'il était au mois d'août 1959. Le débit diminua au cours du mois de janvier; le 19, l'échelle accusait 2,64 m, soit environ 53 000 m³/s.

Température en surface du fleuve: à Boma: 28,1° C; à Banana: 28,8° C.

Amplitude de marée: L'amplitude varia assez fort entre le 2 et le 19 :

Date	2/I	7/I	13/1	19/I
Lunaison	N.L.	I ^{er} Q.	P.L.	D.Q.
Etiage à marée haute	1,68	1,26	1,55	1,52
Etiage à marée basse	0,27	0,69	0,38	0,58
Amplitude	1,41	0,57	1,17	0,94

Saison marine: Les observations de Pointe-Noire indiquaient la fin de la petite saison froide, soit en surface: t: 23° C, S: 34,5 à 35 ‰; en profondeur: t: 20° à 21° C, S: 35 ‰.

En résumé, on se trouvait à l'époque du débit maximal du fleuve et d'une température élevée en fin de saison marine, petite et froide, à salinité élevée.

Itinéraire

La *figure 21* donne la position des points d'observation dans l'ordre où ils furent établis le long de l'itinéraire.

Les conditions assez favorables à la suite de l'absence de vent permirent une extension des recherches tant dans le Nord que dans le Sud. Dans le Sud, à hauteur du Rio Zombo, la ligne de démarcation bien tranchée entre les eaux brunes et vertes fut dépassée et, à un bon mille dans le Sud de celles-ci, la station 16 fut établie. Au cours des observations, la ligne de démarcation se déplaça vers le Sud.

Deux autres stations prolongées furent établies sur l'isobathe de 15 m, l'une à 8 milles au Sud de Moita Seca, l'autre à 7 milles au Sud de Cabinda. La violence du courant empêchait l'établissement d'une station ancrée à hauteur de la frontière.

Isothermes de surface

L'allure des isothermes de surface figure à la *figure 22*.

On notera les points suivants:

Au sortir de l'embouchure, l'axe du courant fluvio-marin reste orienté vers le N.-O., puis s'étale largement tant dans le Sud que dans le Nord.

De part et d'autre de la partie centrale de ce courant, la température s'abaisse, passant de 28° à 25°-26° C à proximité de la côte. On observe cependant certaines anomalies:

Au N. et au S., juste à la sortie de l'embouchure, il existe des poches similaires à celles constatées au mois d'août précédent, moins marquées au S. qu'au N.

Au N. du Rio Zombo, la température se relève à la côte. Il n'est pas exclu que les eaux de cette rivière, rompant le cordon littoral, viennent s'épandre le long de la côte. Une situation analogue semble être due à la rivière Tonde à Moanda.

A hauteur de la frontière Congo-Cabinda, se trouvent des eaux de surface plus froides. A quelques milles à l'Ouest de Cabinda, on trouve une zone isolée où l'on observe les températures les plus froides.

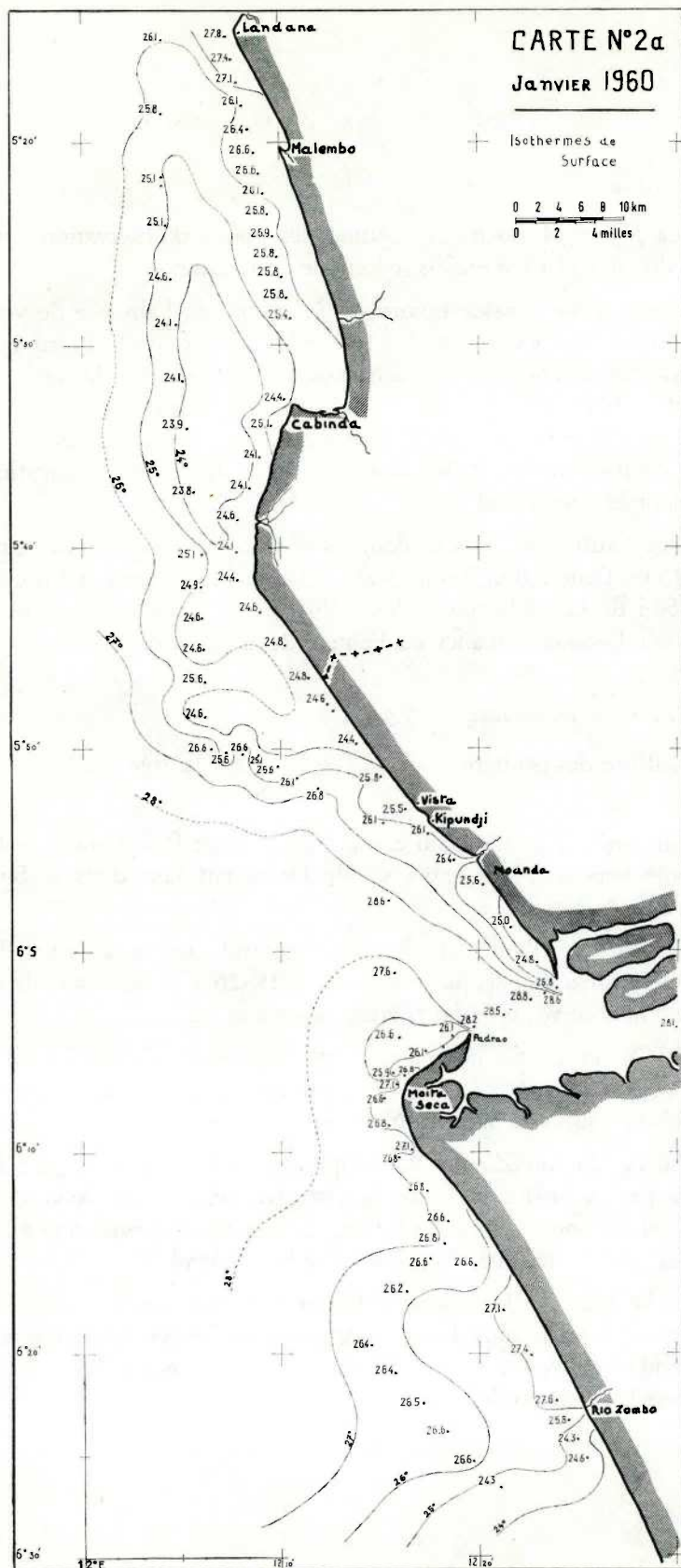


FIG. 22. — Janvier 1960. Isothermes de surface

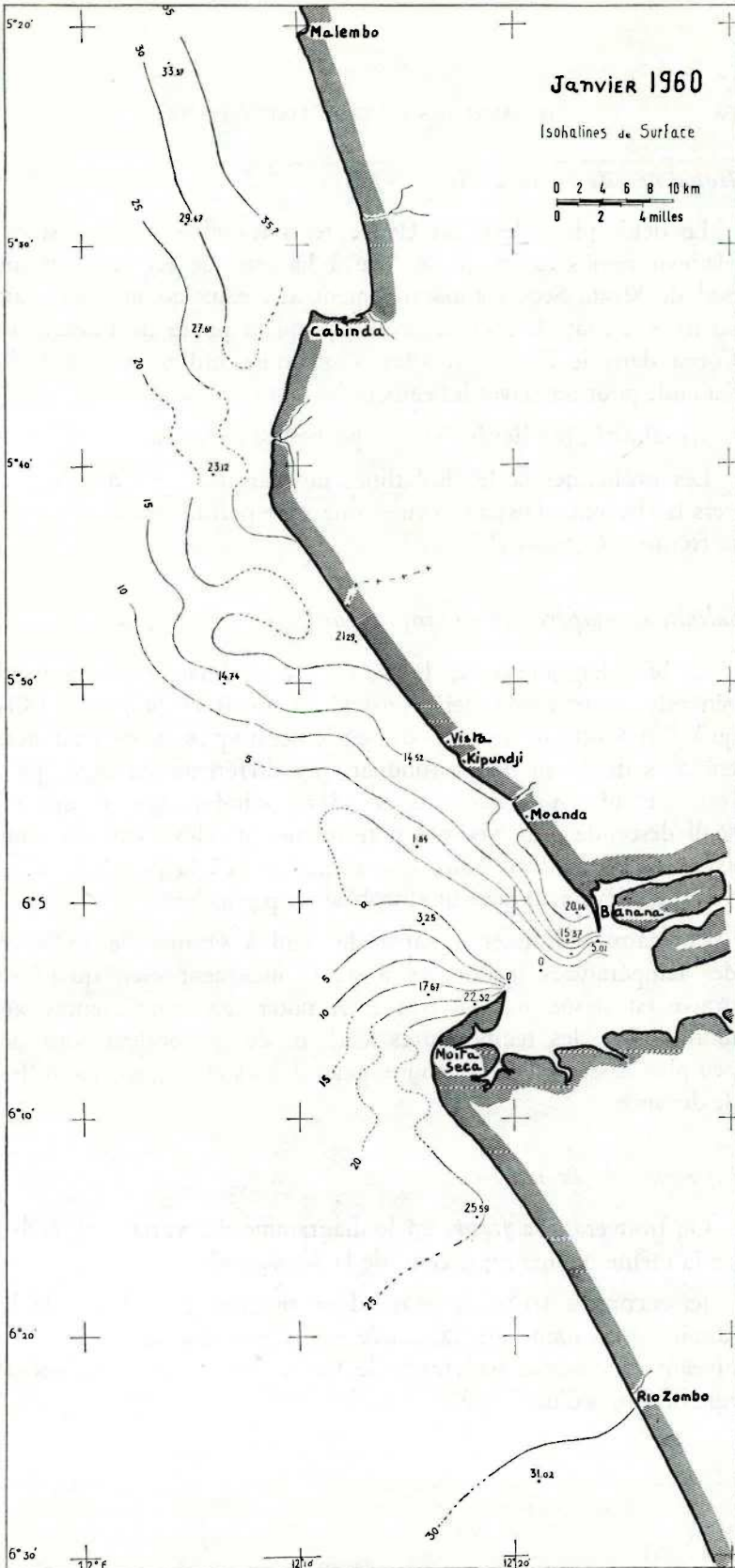


FIG. 23. — Janvier 1960. Isohalines de surface

Isohalines de surface (fig. 23)

Le débit plus élevé du fleuve rend les eaux côtières sensiblement moins salées en surface à hauteur de Kipundji et au Sud de Moita Seca comparativement aux eaux qu'on y trouvait au mois d'août. Il faut descendre jusqu'au phare de Cabeça de Cobra dans le Sud et monter à quelques milles au Nord de Cabinda pour retrouver les eaux océaniques.

La salinité plus élevée dans les poches est apparente.

Les isothermes et les isohalines ne marquent pas d'inflexion vers la rive mais laissent deviner une zone perturbée à hauteur de la frontière Congo-Cabinda.

Salinité et température en profondeur

Le bloc-diagramme de la *figure 24* schématise la situation générale. Nous avons déjà constaté au profil de la *figure 13 B* qu'à l'embouchure, le seuil des eaux océaniques se trouvait aux environs de 12 m de profondeur. Les différents sondages profonds, établis sur l'isobathe de 15 m, n'indiquent pas que ce seuil descende plus bas. On note même un relèvement du seuil assez rapide, tant au Nord qu'au Sud, jusqu'à la profondeur de 5 m. Le relèvement devient alors beaucoup plus lent.

Les eaux profondes à partir du seuil à salinité de 35‰ et des températures inférieures à 22° C indiquent bien qu'on se trouve en saison marine froide. A noter que, tout comme au mois d'août, les températures à 15 m de profondeur sont un peu plus basses à l'embouchure qu'au dehors et à quelques milles de distance.

Influence de la marée

On trouvera à la *figure 25* le diagramme des variations, établi de la même manière que celui de la *figure 19*.

Ici encore, à 10 m de profondeur, on note la stabilité de la salinité, indiquant que la marée n'agit pratiquement pas à ce niveau; on observe seulement de faibles variations de température de moins d'un degré.

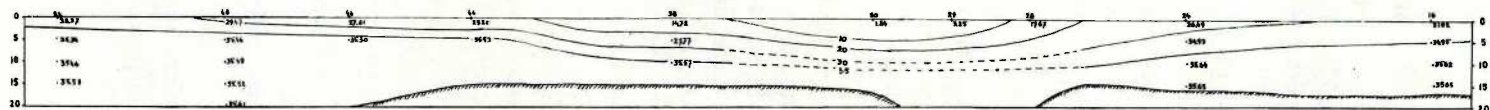
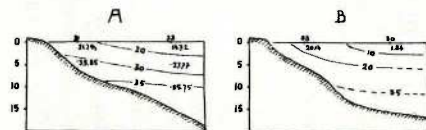
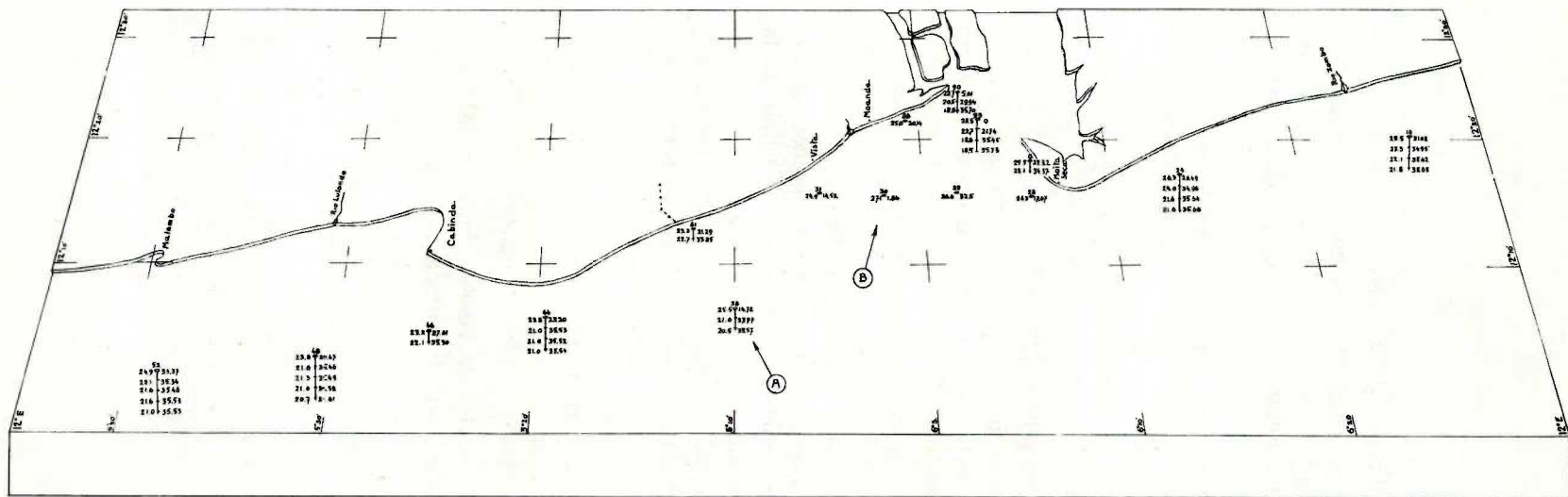


FIG. 24. — Janvier 1960. Bloc-diagramme donnant la situation générale. — Profil sur l'isobathe de 15 m; A et B, profils en travers

A 5 m de profondeur, l'action de la marée se fait sentir.

Dans le Sud, aux stations 16 et 24, la salinité reste voisine de 35 ‰, l'écart étant de 0,61 ‰ en 16 et 0,76 ‰ en 24. La température ne s'écarte du minimum de 23,5° C que de 1,2° en 16 et 0,3° en 24.

Dans le Nord, la variation est plus accentuée, la salinité descendant de 35 à 32 ‰. La température est en moyenne plus basse qu'aux points précédents, oscillant entre 21° et 22° C. Il existe une certaine concordance avec la marée aux trois points, la salinité diminuant à marée descendante.

En surface, les écarts sont plus amples.

Un incident se produisit au cours des observations faites à la station 16, établie au-delà de la ligne de démarcation entre eaux vertes et brunes. Environ 3 heures après le point culminant de la marée haute, la ligne de démarcation se déplaça rapidement vers le S.-O. à la vitesse d'un nœud, estimée d'après le passage de la ligne de la proue à la poupe du bateau. Ce courant ne persista pas au-delà d'une heure. Cette brusque poussée d'eaux de surface ne peut être attribuée uniquement à l'action de la marée descendante car aucun retrait ne se manifesta au cours des deux marées hautes qui suivirent. Nous l'attribuons à une surélévation de niveau à proximité de l'embouchure, provoquant un déplacement momentané d'eaux de surface vers le Sud, que favorisait la marée descendante. Le graphique supérieur de la *figure 25* indique l'abaissement notable de salinité et l'augmentation de température que causa ce phénomène. La variation conserve cependant une concordance avec la marée.

A la station 24, plus proche de l'embouchure, la salinité à marée haute est de 28 ‰ et 25° C de température; l'écart observé fut de 3,28 ‰ et 1,4° C.

Le point intermédiaire 38, situé dans le courant, offre une salinité encore basse de 14,72 ‰ mais une température similaire aux précédentes.

Au point 44, quoique déjà assez éloigné de l'embouchure, les eaux ont encore un degré assez haut de dilution. La salinité la plus élevée était de 25 ‰ et la variation s'abaisse de 5,14 ‰. Les températures, plus basses qu'aux points précédents, oscillent

de moins de 1° C autour d'une moyenne de 24,5° C. A l'inverse des autres points, la haute salinité apparaît à marée basse.

Les mesures de courant aux points 16 et 24 indiquent la présence de courants côtiers faibles et variant en direction et en vitesse avec la marée. Au point 44, le courant, permanent vers le N.-O., a un peu plus d'un nœud et demi en moyenne, il atteint deux nœuds à marée descendante. Aucun courant ne fut décelé sur les fonds.

Diagramme température/salinité

On se reportera à la *figure 20 B*.

A salinité égale, on notera le grand écart de température qui va de 18,5° à 27° C pour les eaux à 35 ‰. La relation n'est pas plus étroite que sur le diagramme précédent mais l'ensemble se trouve dans une zone de températures plus élevées. Notons qu'à l'inverse du précédent les échantillons provenant de la zone Sud ont des températures plus élevées que ceux provenant de la zone Nord.

Résumé de la situation en janvier 1960

A l'époque des plus hautes eaux, le débit atteignant près du double de celui du mois d'août et une température supérieure à 28° C, les eaux du fleuve rencontrent les eaux de la petite saison marine froide, dont les caractères sont semblables à ceux rencontrés au mois d'août 1959. On observe la même disposition concentrique des couches à salinité croissant vers le bas. En raison de l'apport plus considérable de masses d'eaux, l'étalement est plus ample à la sortie de l'embouchure et se manifeste tant vers le Sud que vers le Nord. Les isothermes et les isohalines marquent un étalement vers le large et la profondeur.

Le seuil des eaux océaniques se situe à peu près uniformément à 12 m de profondeur à l'embouchure et à quelques milles au large. Il se relève ensuite jusqu'à 5 m de profondeur. La pente devient alors beaucoup plus faible et le seuil n'atteint la surface qu'à hauteur du phare de Cabeça de Cobra, dans le Sud et à quelques milles dans le Nord de Cabinda.

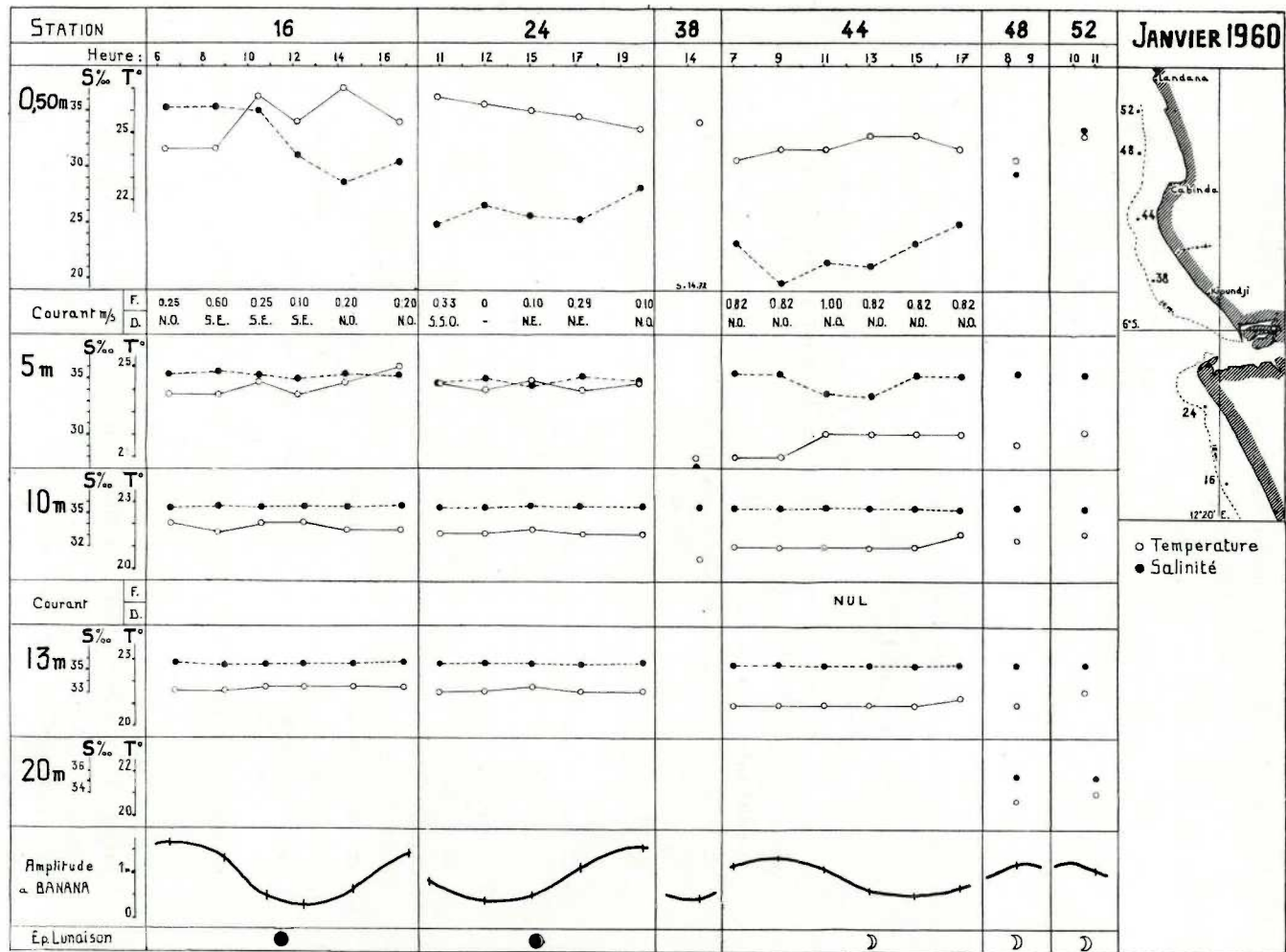


FIG. 25. — Janvier 1960. Graphique des variations de salinité et température aux stations principales en fonction de la marée

Entre Moanda et Kipundji, la salinité ne dépasse guère 15‰ en surface et à proximité du rivage. La salinité est un peu plus élevée dans les poches situées à proximité de l'embouchure. Dans l'ensemble, les eaux se refroidissent de 2° à 3° C en s'éloignant de l'embouchure mais les eaux sont légèrement plus chaudes dans le Sud que dans le Nord.

L'influence de la marée ne se fait sentir que dans les couches se trouvant à moins de 10 m de profondeur. A 5 m de profondeur, la variation est de moins 1‰ dans le Sud et de 2‰ dans le Nord. En température, la variation n'atteint guère 1° C partout. En surface, la variation en salinité est plus ample et peut aller de 3 à 6‰ dans le Sud et de 5‰ dans le Nord; la température varie de 1° à 2° C.

A proximité de la rive Sud, il existe de petits courants côtiers de moins d'un nœud dont la direction et la vitesse sont en relation avec la marée. A marée montante, ces courants sont plus ou moins orientés vers l'embouchure et en sens contraire à marée descendante ou basse. A quelques milles de la côte Nord, le courant est permanent et orienté vers le N.-O. Il peut atteindre 2 nœuds à marée descendante. Aucun courant n'a été décelé sur les fonds de 15 m.

OBSERVATIONS DU COMMANDANT HALKJAR - FÉVRIER 1960

Ces observations, quoique ne couvrant qu'une partie de la zone, offrent un grand intérêt du fait qu'elles furent effectuées pendant une période de transition. La situation en surface et le profil se trouvent à la *figure 26*.

Epoque du levé: 15 février 1960 de 18 h 12 à 20 h 22.

Période du fleuve: En petite décrue, débit moyen d'environ 42 000 m³/s. Température de l'eau: 28° C.

Amplitude de marée: Étiage à marée haute à 18 h: 1,74; étiage à marée basse à 0 h 35: 0,35; amplitude: 1,39.

Saison marine: La grande saison marine chaude venait de commencer. A Pointe-Noire, on notait: en surface: t: 27,5° C, S: 31,8‰; à 10 m: t: 27,3° C, S: 33,0‰.

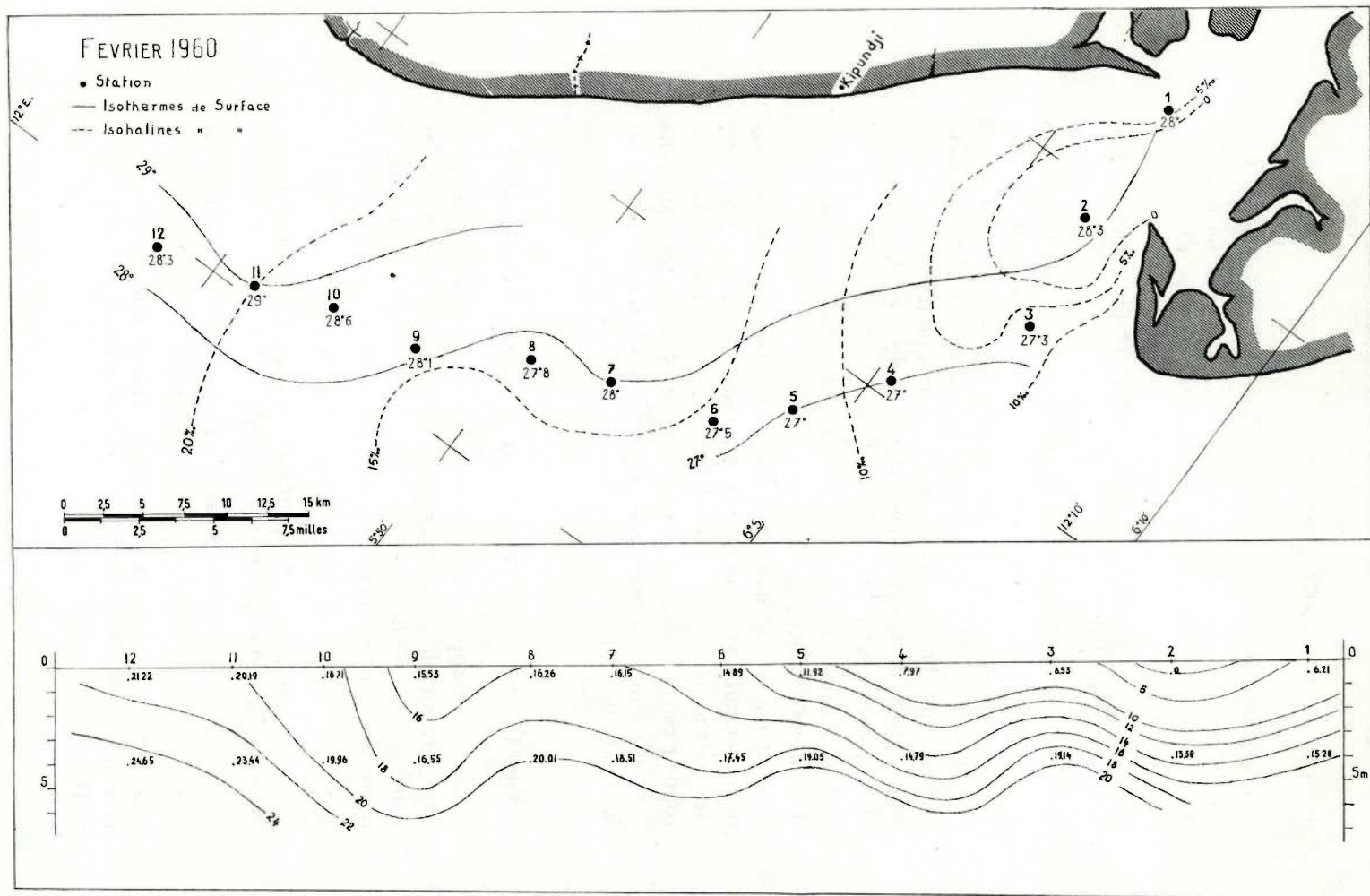


FIG. 26. — Février 1960. Isothermes et isohalines en surface, et isohalines en profondeur

On se trouvait à une période où les eaux du fleuve, avec un débit moyen et une température de 28° C, rencontrent des eaux à caractère « guinéen », c'est-à-dire chaudes et dessalées.

Itinéraire

Le navire garda une route à peu près parallèle à la côte. Passée la fosse profonde, la route se situait sur les fonds de 20 à 30 m. Les sondages eurent lieu de 10 en 10 minutes, soit à un intervalle d'environ 3 milles. Les observations vont de l'embouchure jusqu'à quelques milles au Sud de Cabinda (Punta Vermelhas). Les prises d'échantillons furent faites en surface et la prise d'eau à 4,5 m de profondeur.

Isothermes de surface

La température générale est assez haute. Elle croît en s'approchant de la côte, passant de 27° à 29° C. L'allure des isothermes n'indique pas de relation avec les isohalines.

Isobalines de surface

La nappe d'eau douce n'a qu'une faible zone d'extension; la salinité croît régulièrement en s'écartant de l'embouchure jusqu'à l'isohaline de 15 ‰. Au-delà, l'enrichissement en sel progresse plus lentement.

Salinité en profondeur

Sur le profil, l'allure sinueuse des isohalines révèle l'état de turbulence et l'action de courants verticaux. On notera ici également l'accroissement régulier et rapide de la salinité jusqu'à 15 ‰ à quelques milles de l'embouchure, et l'écart plus prononcé au-delà.

Résumé de la situation

Les eaux du fleuve à température de 28° C rencontrent des eaux marines chaudes et dessalées du type « guinéen ».

Par rapport à la situation en août 1959, celle de janvier 1960 accusait une aire plus étendue, l'assimilation de l'eau douce se

trouvant retardée par un débit considérablement accru. Il semble bien qu'en février 1960 l'aire d'assimilation n'ait pas changé du fait que, si le débit a diminué, l'arrivée des eaux guinéennes retarde tout autant la « digestion » des eaux douces.

CROISIÈRE N° III - AVRIL 1960

Conditions générales

Epoque: Du 4 au 11 avril 1960.

Période du fleuve: Les observations de cette troisième croisière furent faites entre la petite décrue de fin février et la petite crue qui atteignit son point culminant début mai.

Il y a lieu de noter qu'au cours de toute l'année 1960, le débit du fleuve fut très élevé et atteignit les valeurs maximales observées depuis 1915. C'est ainsi qu'en fin février 1960, la petite décrue, prématurée, accusait encore 40 000 m³/s (*fig. 14*), alors que la petite décrue tombe normalement mi-mars, avec un débit moyen de 33 000 m³/s.

Débit: de 46 000 à 47 000 m³/s.

Températures de surface: à Boma 29° C; à Punta Padrao 28,9° C; à Banana 28,6° C.

Amplitude de marée:

Date	4/IV	11/IV
Lunaison	1 ^{er} Q.	P.L.
Etiage à marée haute	1,31	1,72
Etiage à marée basse	0,82	0,33
Amplitude	0,49	1,39

Saison marine à Pointe-Noire: En surface: t: 29° C, S: 31,75 ‰; à 10 m de profondeur: t: 28,4° C, S: 33,11 ‰.

La grande saison chaude touchait à sa fin mais les caractéristiques étaient telles que ce début d'avril marquait des conditions qui en faisaient la période la plus intense de la saison (*voir fig. 14*).

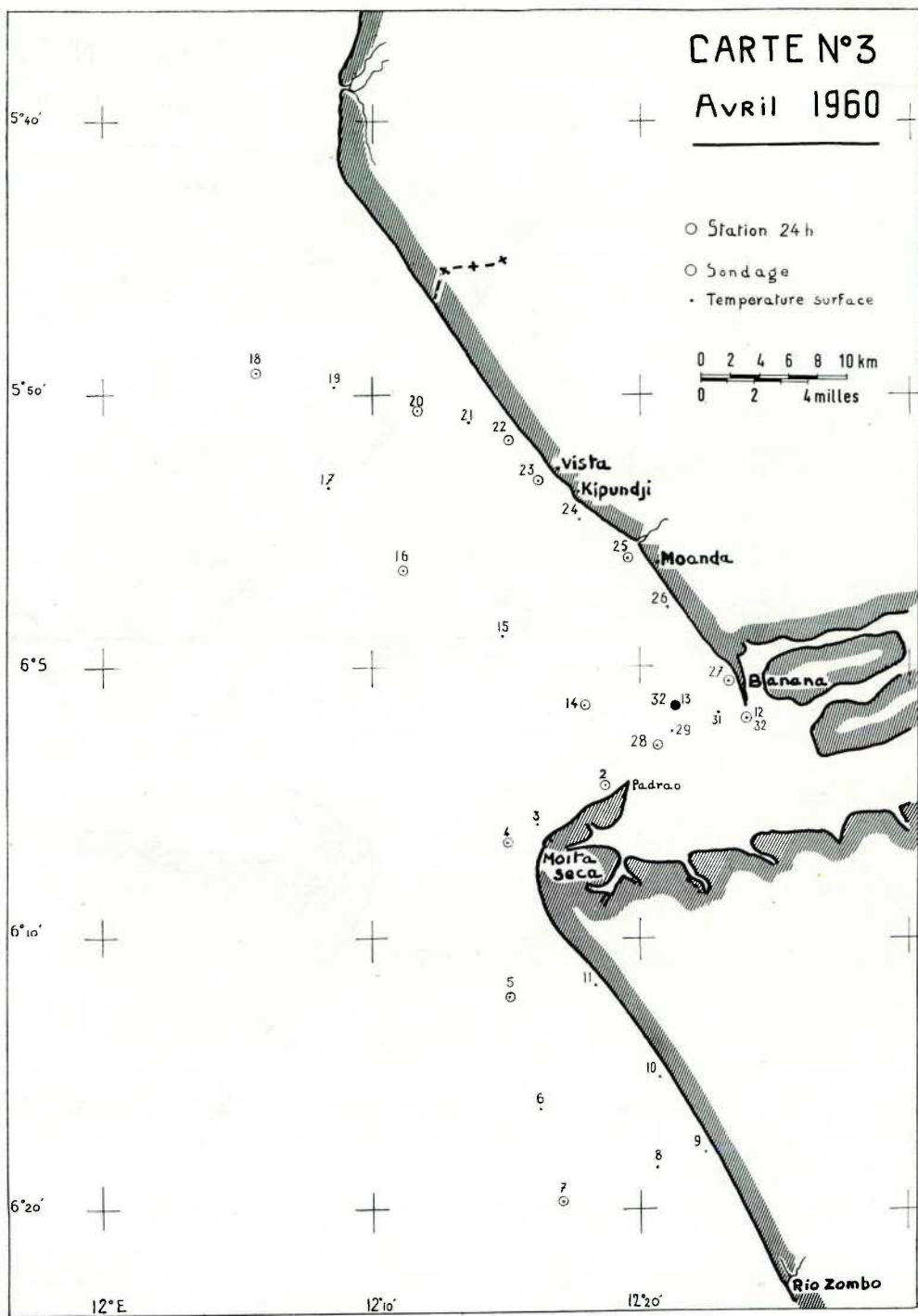


FIG. 27. — Avril 1960. Croisière n° III: position des stations

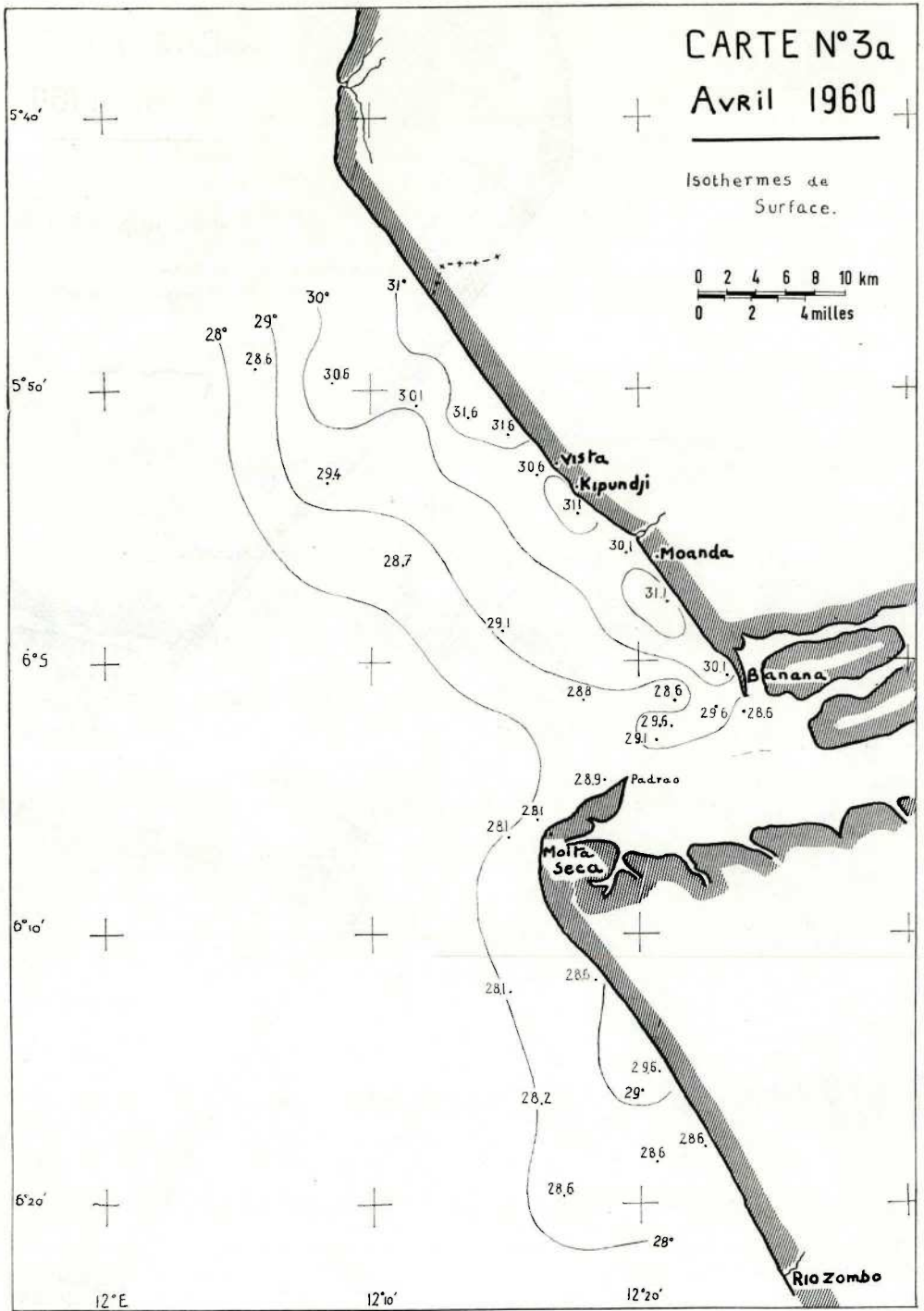


FIG. 28. — Avril 1960. Isothermes de surface

Résumé de la situation

En période d'eaux moyennes mais avec un débit supérieur à la normale, les eaux du fleuve à température voisine de 29° C (la plus haute de l'année) rencontrent des eaux marines à caractère de grande saison marine chaude, accusant également les températures les plus hautes de l'année (environ 29°) et les salinités les plus basses (32 à 33 ‰). Ces eaux marines présentent donc des conditions notablement différentes de celles rencontrées lors des deux dernières croisières.

Itinéraire

On connaît la situation troublée qui précéda et suivit l'accession du Congo ex-belge à l'indépendance. Il ne fut plus possible d'exécuter un programme systématique. Si l'itinéraire habituel fut à peu près suivi, comme l'indique la positions des stations de la *figure 27*, il ne fut cependant possible d'établir qu'une seule station prolongée et ce, juste au sortir de l'embouchure.

Isothermes de surface

Sur la carte de la *figure 28*, on remarquera les points suivants:

Les températures de surface sont les plus élevées de l'année et atteignent 29° et 30° C. Les eaux les plus chaudes se retrouvent à la côte et la température s'abaisse vers le large, condition inverse de celle rencontrée au cours des croisières précédentes.

Au Sud de l'embouchure, on note des eaux plus froides que vers le Nord-Ouest.

Les isothermes ne dessinent pas l'axe du courant fluvio-marin, la température des eaux du fleuve n'étant que légèrement inférieure à celle des eaux marines.

On observe le long des côtes des poches où la température dépasse 31° C. Phénomène probablement dû à l'insolation plus intense en cette saison et à une stagnation des eaux résultant du ralentissement ou de l'arrêt des courants côtiers.

Isobalines de surface

Au mois de janvier, il était normal de constater, dans la zone de l'embouchure, un abaissement général de la salinité par rap-

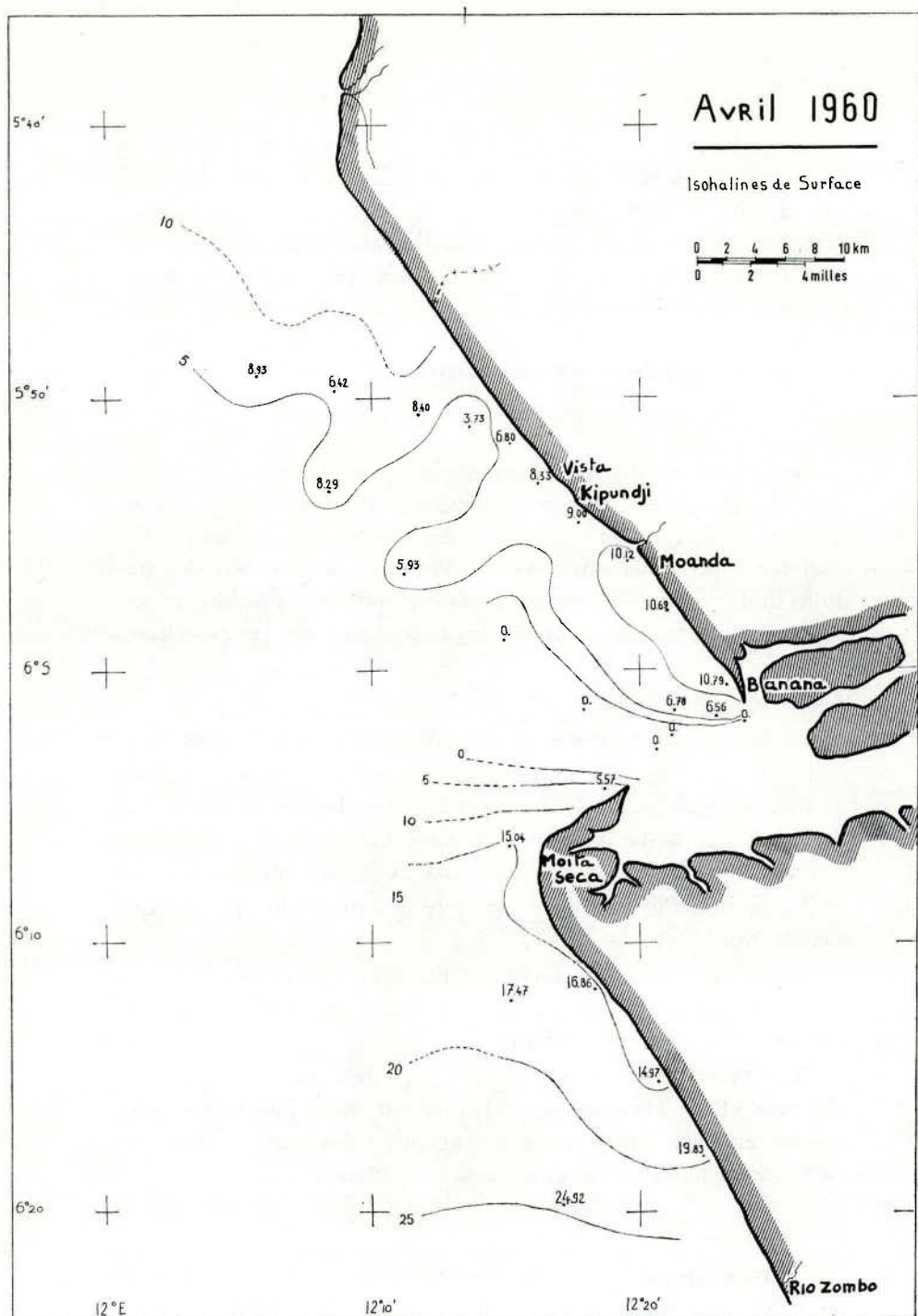


FIG. 29. — Avril 1960. Isohalines de surface

port à celle observée en août 1959, ceci en raison du débit accru du fleuve. Rappelons que ce débit était de $32\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ en août 1959 (grande décrue) et passait en janvier 1960 (grande crue) à $58\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$.

En avril 1960, le débit a diminué de 11 à $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ en raison de la petite décrue; or, on constate que la salinité générale a encore baissé par rapport à celle de janvier. L'allure des isohalines de surface de la *figure 29*, qu'on comparera avec la *figure 23*, est significative à cet égard, surtout au Nord de l'embouchure où, à proximité de la rive et au-delà de Vista, la salinité de surface descend en dessous de $10\ ‰$.

Cette situation est due à deux causes. Tout d'abord la dessalure des eaux dites « guinéennes » qui, baignant à ce moment toute cette partie de la côte africaine, ne contribuent pas à une « digestion » rapide des eaux du fleuve. Ensuite, comme nous le verrons plus loin, il se produit en avril-mai une perturbation, tant dans les courants côtiers que dans ceux du large, qui paraît provoquer, si pas une stagnation complète des eaux dans la zone de l'embouchure, du moins un ralentissement de l'évacuation des eaux vers le Nord-Ouest.

Salinité et température en profondeur

On se référera à la *figure 30* qui schématise la situation générale.

Reportons-nous à la *figure 13 C* qui donne l'allure des isohalines sur la section du fleuve à l'embouchure en avril 1960. En comparant ce profil avec les profils 13 A et 13 B, ce qui frappe à première vue est la profondeur plus grande où se retrouvent les eaux à caractères océaniques. Dans l'axe du courant, il faut descendre en dessous de $20\ \text{m}$ pour trouver une salinité de $34\ ‰$. Il n'est donc pas étonnant que, sur le profil en long sur l'isobathe de $15\ \text{m}$ de la *figure 30*, on ne trouve pas d'eaux présentant cette salinité. Il en va de même pour les fonds s'étendant entre cet isobathe et la rive, sauf aux points 12 et 13 où, probablement, la salinité de $34\ ‰$ est accidentelle et due à des mouvements verticaux résultant du courant encore très rapide à cet endroit.

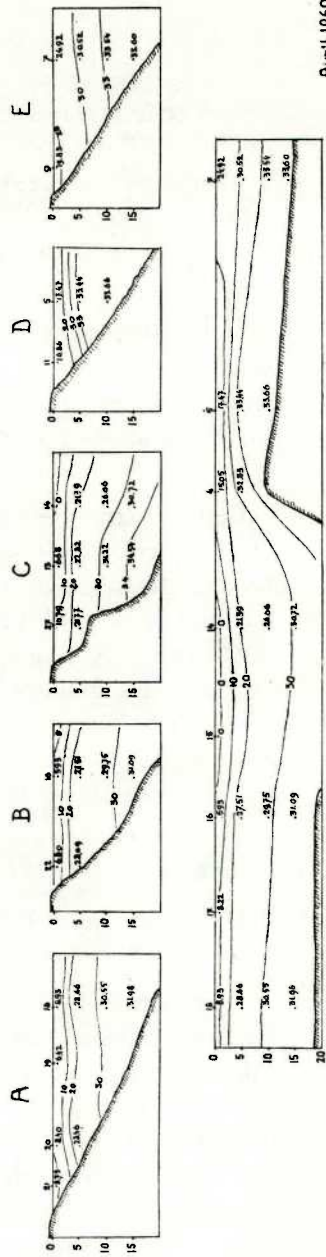
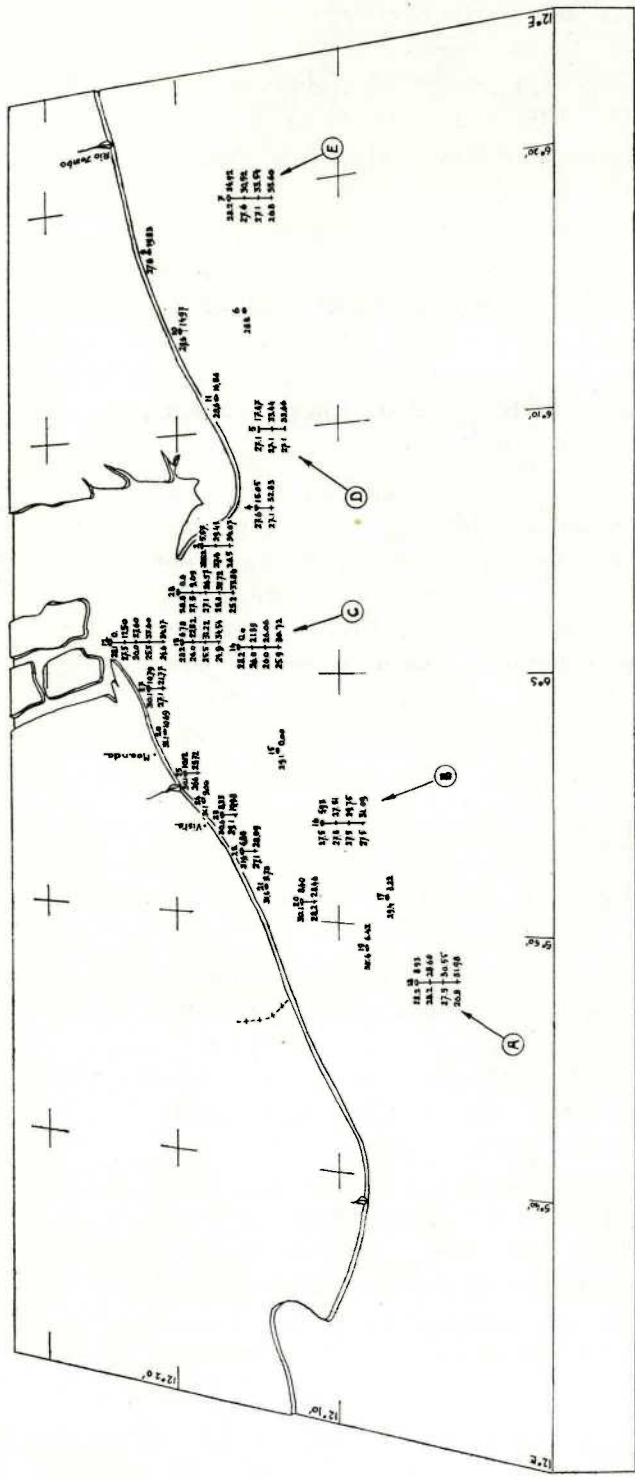


Fig. 30. — Avril 1960. Bloc-diagramme donnant la situation générale. — Profil sur l'isobathe de 15 m; A, B, C, D et E: profils en travers

En ce qui concerne les températures, la comparaison des profils de la *figure 13 A, B et C* donne lieu à la constatation qu'en avril 1960, la température diminue moins rapidement en profondeur. A 15 et 20 m, la température est encore de 25° C, alors qu'au cours des croisières précédentes, on trouvait, à 10 m de profondeur, moins de 20° C. Tout le long de l'isobathe de 15 m on ne trouve, au fond, que des températures voisines de 27° C.

Si, à profondeur égale, on trouve à l'embouchure des températures plus basses qu'au large il faut l'attribuer à la présence des eaux froides remplissant le canyon sous-marin dont les eaux, déjà bien en amont de l'embouchure, se mélangent en profondeur avec celles du fleuve.

L'invasion de la zone côtière par les eaux guinéennes chaudes affecte les eaux fluvio-marines et cette influence se fait sentir également, mais avec moins d'intensité, dans une partie de l'estuaire.

Influence de la marée

Il fallut se limiter à une seule station prolongée à proximité de l'embouchure. Sur la *figure 31* nous avons encadré les résultats obtenus à cette station avec les observations recueillies au cours des sondages pratiqués sur l'isobathe de 15 m.

Quoique ce tableau soit incomplet, on note cependant une variation sensible, due à la marée au point 30 à 10 m de profondeur et des irrégularités aux autres points à la même profondeur, alors qu'en août 1959 et janvier 1960, on y observait une salinité constante et de très faibles variations de température.

En surface, quoique la station se trouvait à un endroit où il fallait s'attendre à de très fortes variations, la valeur de celles-ci ne dépasse guère 9‰.

A l'étape de marée basse, il se produisit une brusque élévation de salinité et une chute correspondante de température. Le courant dévia temporairement de l'Ouest vers le N.-N.-O. Cet apport d'eau moins salée se fit sentir jusqu'à 10 m de profondeur. Autrement, il y a concordance entre les variations de salinité et de température avec la marée, la salinité augmentant à marée haute.

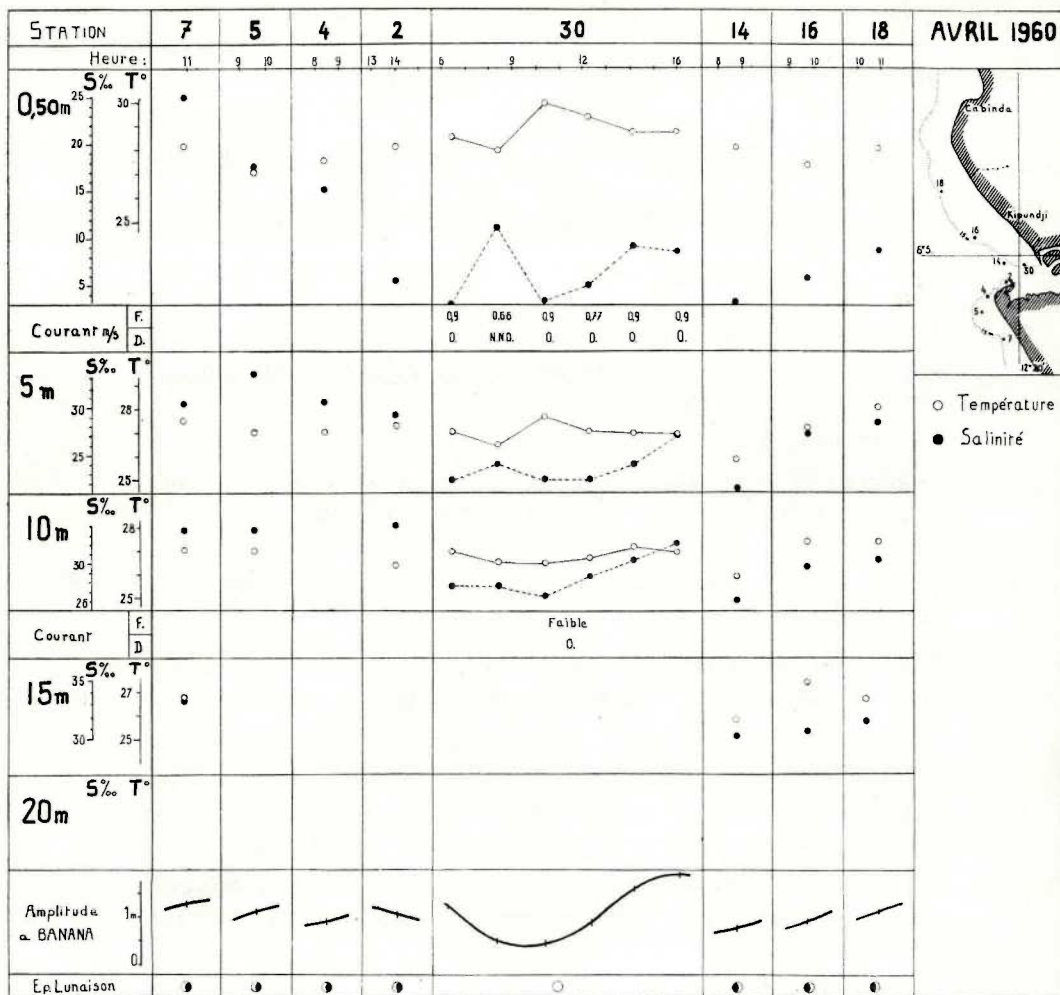


FIG. 31. — Avril 1960. Graphique des variations de salinité et température en fonction de la marée

Diagramme température/salinité

Voir figure 20 C.

En comparant ce diagramme aux diagrammes précédents on remarquera que les points se cantonnent dans les hautes températures, l'écart maximal dépassant à peine 5° C. La température ne croît que faiblement avec la diminution de salinité.

A salinité égale les eaux de la zone Sud marquent une tendance à être plus chaudes.

Résumé de la situation en avril 1960

Les eaux du fleuve, à température voisine de 28,5° C et avec un débit supérieur à la moyenne générale, rencontrent les eaux marines à caractère guinéen, c'est-à-dire à température voisine de 29° C et relativement peu salées. Conditions nettement différentes de celles rencontrées précédemment.

La zone fluvio-marine présente ainsi une certaine uniformité de température mais celle-ci diminue en s'éloignant de la rive.

La côte au Nord de l'embouchure est baignée par des eaux peu salées n'atteignant, en surface, à la rive que 10 ‰ de salinité et moins encore vers le large. Dans le Sud, la salinité est plus élevée en surface et se situe entre 15 et 20 ‰.

A 5 mètres de profondeur, la salinité est presque partout voisine de 20 ‰.

Le seuil des eaux océaniques se trouve plus bas que 15 mètres.

L'influence des eaux guinéennes se fait nettement sentir dans toute la zone fluvio-marine, y compris une partie de l'estuaire. La très basse salinité, surtout en surface, semble pouvoir être attribuée à une stagnation résultant de perturbations dans les courants marins.

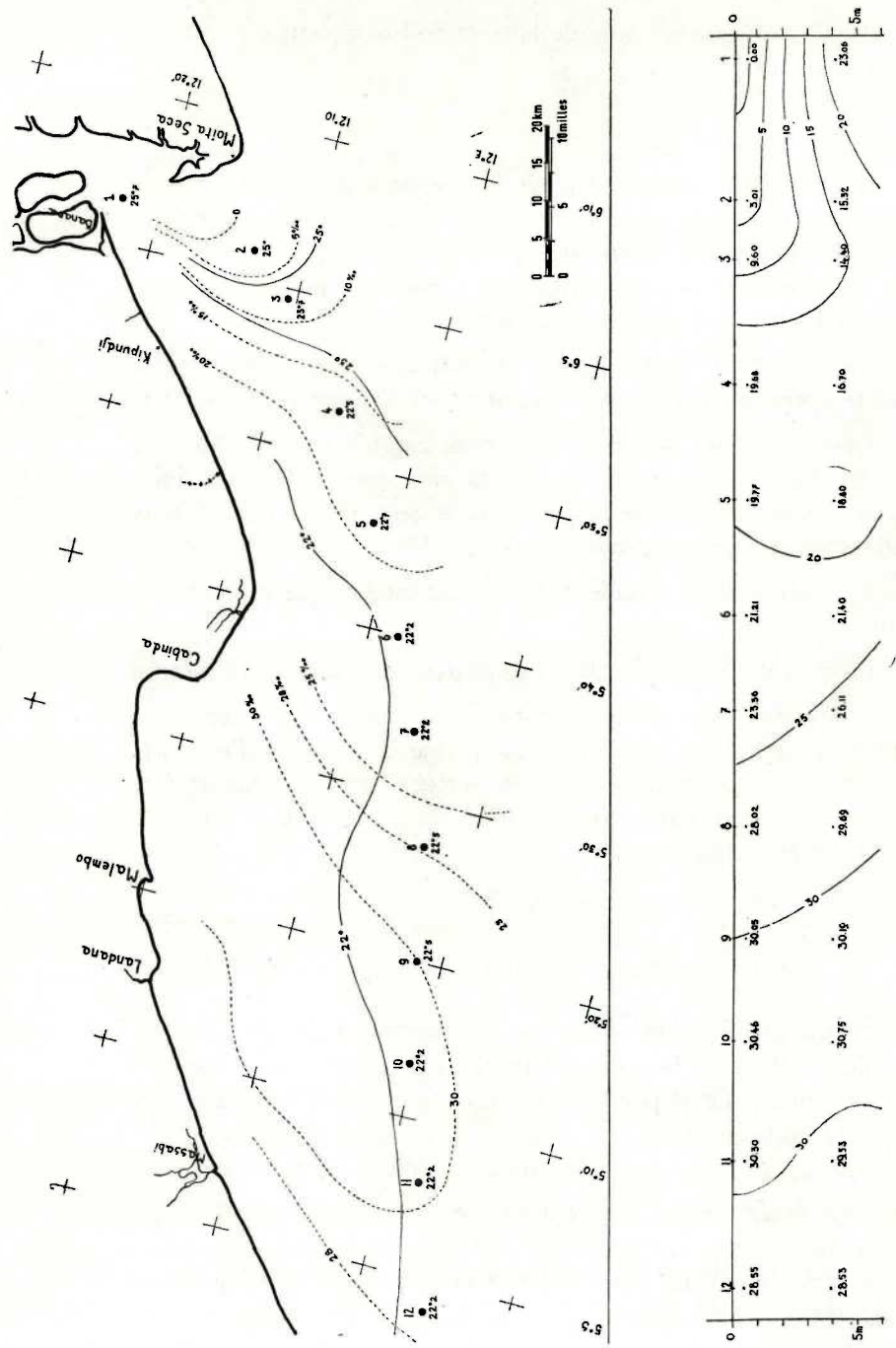
OBSERVATIONS DU COMMANDANT HALKJAR - JUIN 1960

Le commandant HALKJAR, se rendant de Banana à Pointe-Noire, préleva en juin des échantillons d'eau de mer le long de son parcours. Le dépouillement des observations recueillies est reporté sur la figure 32.

Epoque du levé: 28-29 juin 1960, de 20 h 15 à 00 h 50.

Période du fleuve: Le fleuve est en décrue. L'étiage à Boma accusait 1,82 m, correspondant à un débit de 43 000 m³/s, à peu près le même qu'en février 1960. A l'embouchure, la température en surface était de 25,7° C.

FIG. 32. — Juin 1960. Isothermes et isohalines de surface, et isohalines en profondeur



Amplitude de marée:

Date	28/VI
Lunaison	D.Q.
Etiage à marée haute	1,34
Etiage à marée basse	0,31
Amplitude	1,03

Saison marine à Pointe-Noire, le 3 juin 1960: La grande saison froide débutait; température en surface: 21,5° C, S: 35,6‰; température à 10 m de profondeur: 20,8° C, S: 35,8‰.

En résumé, le fleuve en décrue mais avec encore un débit important et des eaux à température de 25,7° C rencontrait, à l'embouchure, des eaux à caractères océaniques à température voisine de 21° C et à haute salinité, conditions analogues à celles du mois d'août 1959.

Itinéraire

Le m/s *Mayumbe* suivit la côte de Banana à Cabinda, à une distance d'environ 8 milles. De Cabinda, il se dirigea en droite ligne sur Pointe-Noire. On procéda au relevé de la température de surface et à la prise d'un échantillon d'eau, en surface et à 4 m de profondeur, tous les 7 milles à partir de l'embouchure jusqu'à proximité de Pointe-Noire.

Isothermes de surface

On notera qu'au sortir de l'embouchure, les eaux se refroidissent assez rapidement pour se maintenir entre 22,5° et 22° C.

Isohalines de surface et en profondeur

Le profil de la *figure 32* indique que toute la zone côtière parcourue est comprise dans le courant fluvio-marin et qu'on n'y rencontre pas d'eaux à caractères océaniques dans la couche superficielle allant jusqu'à 4 m de profondeur. La salinité augmente cependant régulièrement à partir de l'embouchure pour atteindre 30‰ à hauteur de l'anse de Cabinda. La diminution de salinité qu'on observe à partir de ce moment nous semble

due à l'apport d'eau douce des fleuves côtiers débouchant à Landana et à Massabi.

Résumé de la situation

Les eaux relativement froides du fleuve qui présente un débit moyen rencontrent des eaux présentant déjà des caractères d'eaux océaniques. Il en résulte un refroidissement des eaux de toute la zone. La salinité de surface a augmenté par rapport à celle d'avril 1960. On se trouve au début de la saison et le débit est encore élevé, mais on constate l'évolution de la situation et le retour à des conditions analogues à celles rencontrées en août 1959.

CROISIÈRE N° IV - AOUT 1960

Considérations générales

Epoque: Du 30 juillet au 7 août 1960.

Période du fleuve: On se trouve en période de grande décrue, l'étiage le plus bas (1,14 m) ne sera cependant atteint que le 20 août. Le débit, de 35 200 m³/s à cette date, n'en reste pas moins fort au-dessus de la normale, car, comme nous l'avons constaté, en août 1959, le débit était tombé à 26 300 m³/s au début du mois.

Débit du 30 juillet au 7 août 1960: 38 500 m³/s; température à l'embouchure: 25,6° C.

Amplitude de marée:

Date	30/VII	7/VIII
Lunaison	1 ^{er} Q.	P.L.
Etiage à marée haute	1,37	1,61
Etiage à marée basse	0,33	0,26
Amplitude	1,04	1,35

Saison marine à Pointe-Noire, le 5 août 1960: La grande saison marine froide touche à sa fin mais les caractéristiques en

CARTE N°4
Août 1960

- Station 24 h
- Sondage
- Température surface

0 2 4 6 8 10 km
0 2 4 milles

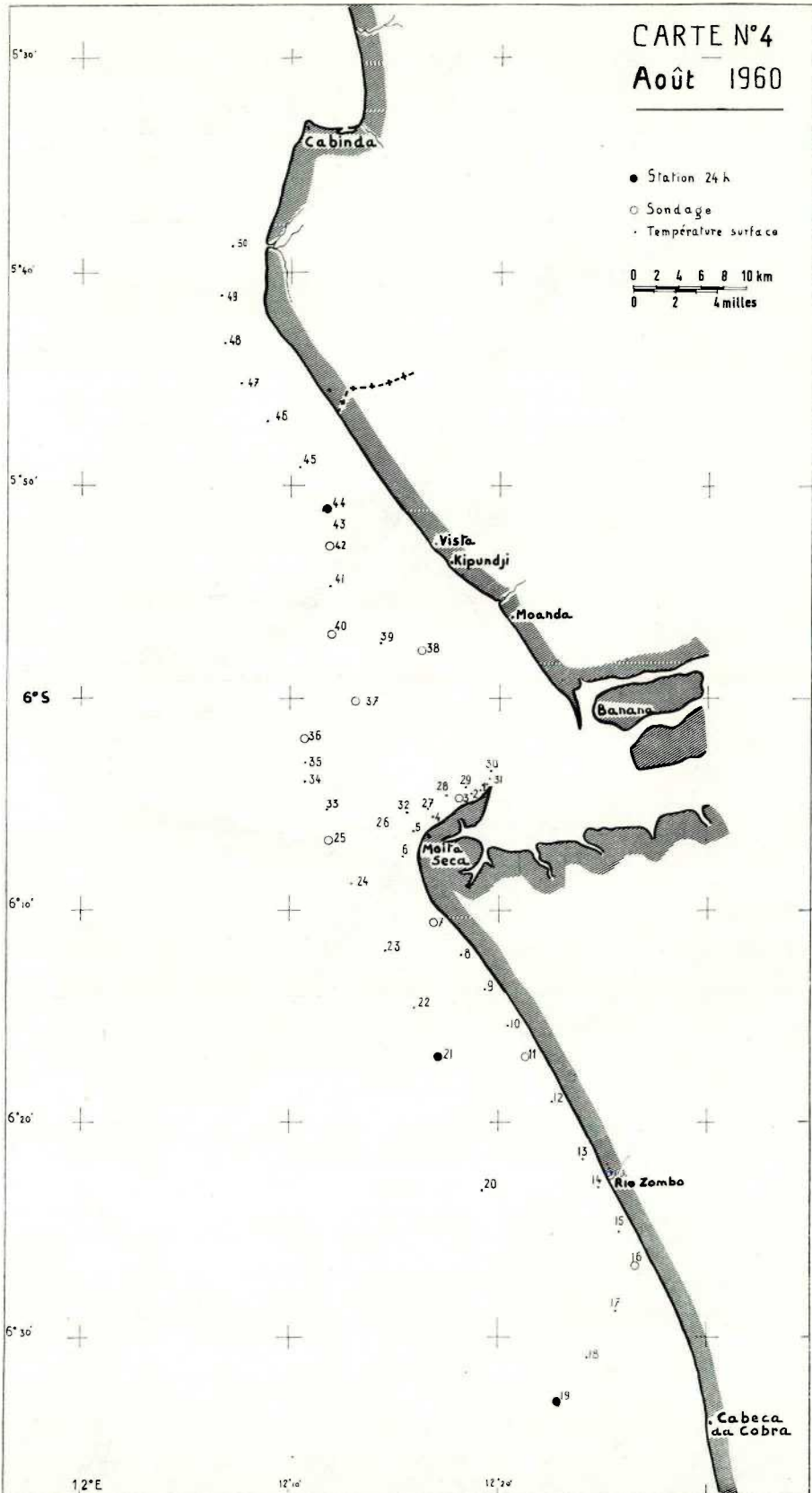


FIG. 33. — Août 1960. Croisière n° IV: position des stations

sont encore bien marquées, soit: en surface: température $19,3^{\circ}\text{C}$, salinité $35,74\text{‰}$; à 10 mètres de profondeur: température $17,8^{\circ}\text{C}$, salinité: $35,77\text{‰}$.

En résumé, les eaux du fleuve à température la plus basse de l'année ($25,6^{\circ}\text{C}$) mais avec un débit de $38\,500\text{ m}^3/\text{s}$, supérieur à la normale, abordent des eaux à caractères océaniques de la grande saison marine froide. Comparativement au mois d'août 1959, le débit est plus élevé de $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ environ. Les eaux marines à Pointe-Noire présentent encore toutes les caractéristiques de la grande saison froide malgré l'époque déjà avancée de cette saison.

Itinéraire

Il fut possible de suivre l'itinéraire habituel au Sud de l'embouchure et d'y établir deux stations prolongées. Cependant, en raison des circonstances, le profil en travers de l'embouchure ne put être réalisé. Au Nord de l'embouchure, à proximité du rivage, il ne fut pas possible d'opérer, mais, à proximité de la frontière de l'enclave de Cabinda, une station sur une demi-marée put être établie sur fonds de 5 m (voir *fig. 33*).

Isothermes de surface

De l'examen attentif de l'allure des isothermes de la *figure 34* et de la *figure 16* (août 1959) et quoique le débit du fleuve soit supérieur en 1960, on ne trouve guère de différences, sauf dans les sinuosités secondaires des tracés. En comparant les positions où la température fut relevée, on en arrive à la conclusion qu'en surface, l'allure des températures est pratiquement la même en août 1959 et 1960.

En août 1960, nous sommes mieux renseigné sur la zone au Sud de l'embouchure où l'influence du fleuve se fait encore sentir le long du rivage.

Les eaux du fleuve étant plus chaudes que celles du large, la température décroît en s'éloignant de l'axe du courant fluvio-marin, à l'inverse de ce qui se produisait en avril.

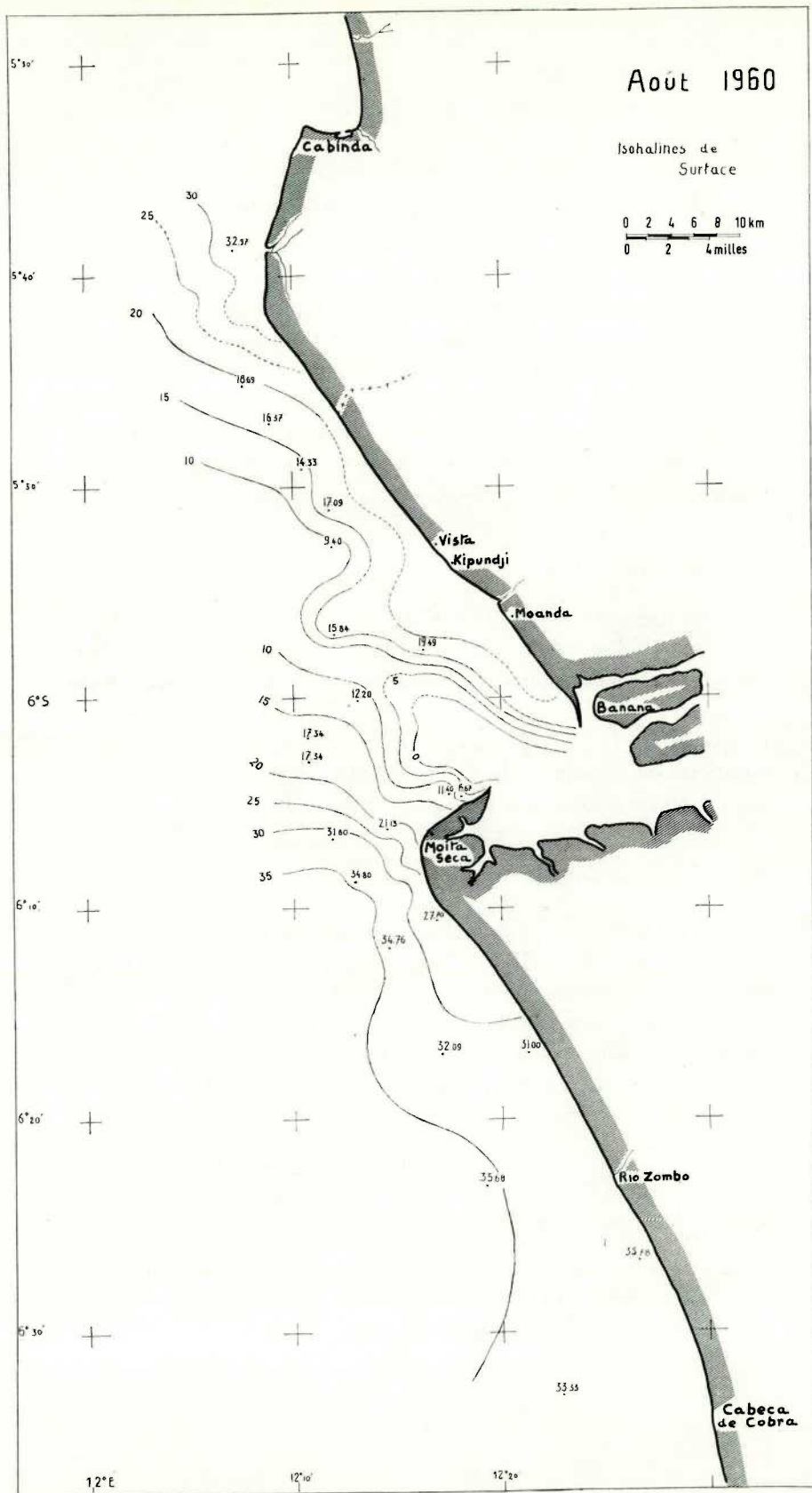


FIG. 35. — Août 1960. Isohalines de surface

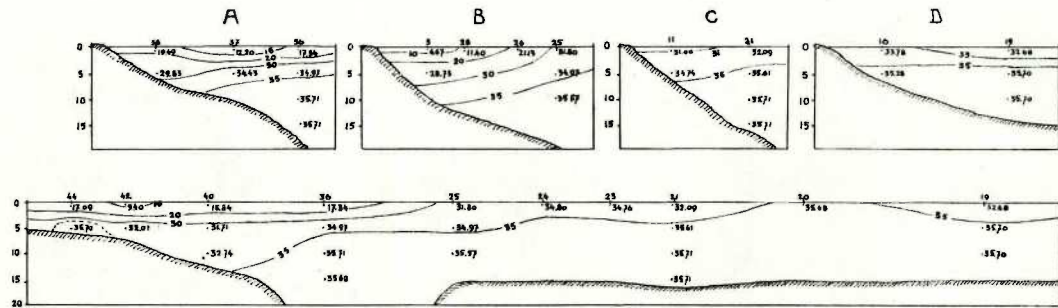
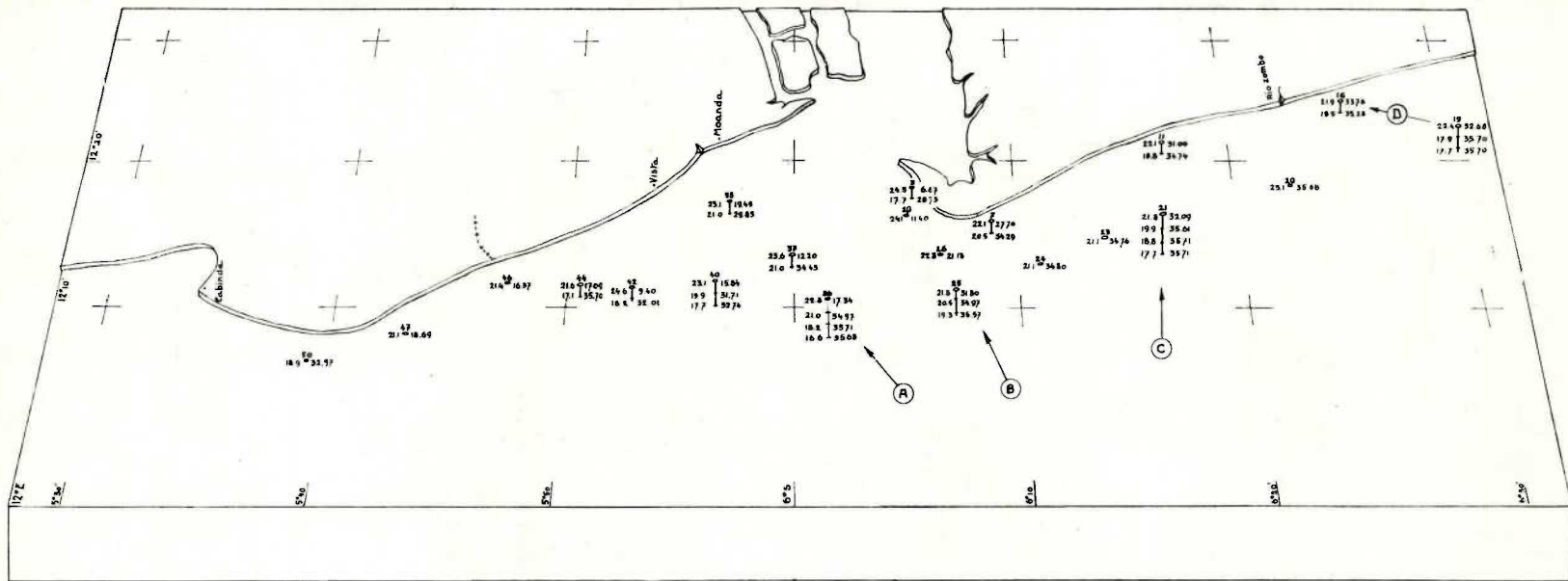


FIG. 36. — Août 1960. Bloc-diagramme donnant la situation générale. — Profil sur l'isobathe de 15 m; A, B, C et D, profils en travers

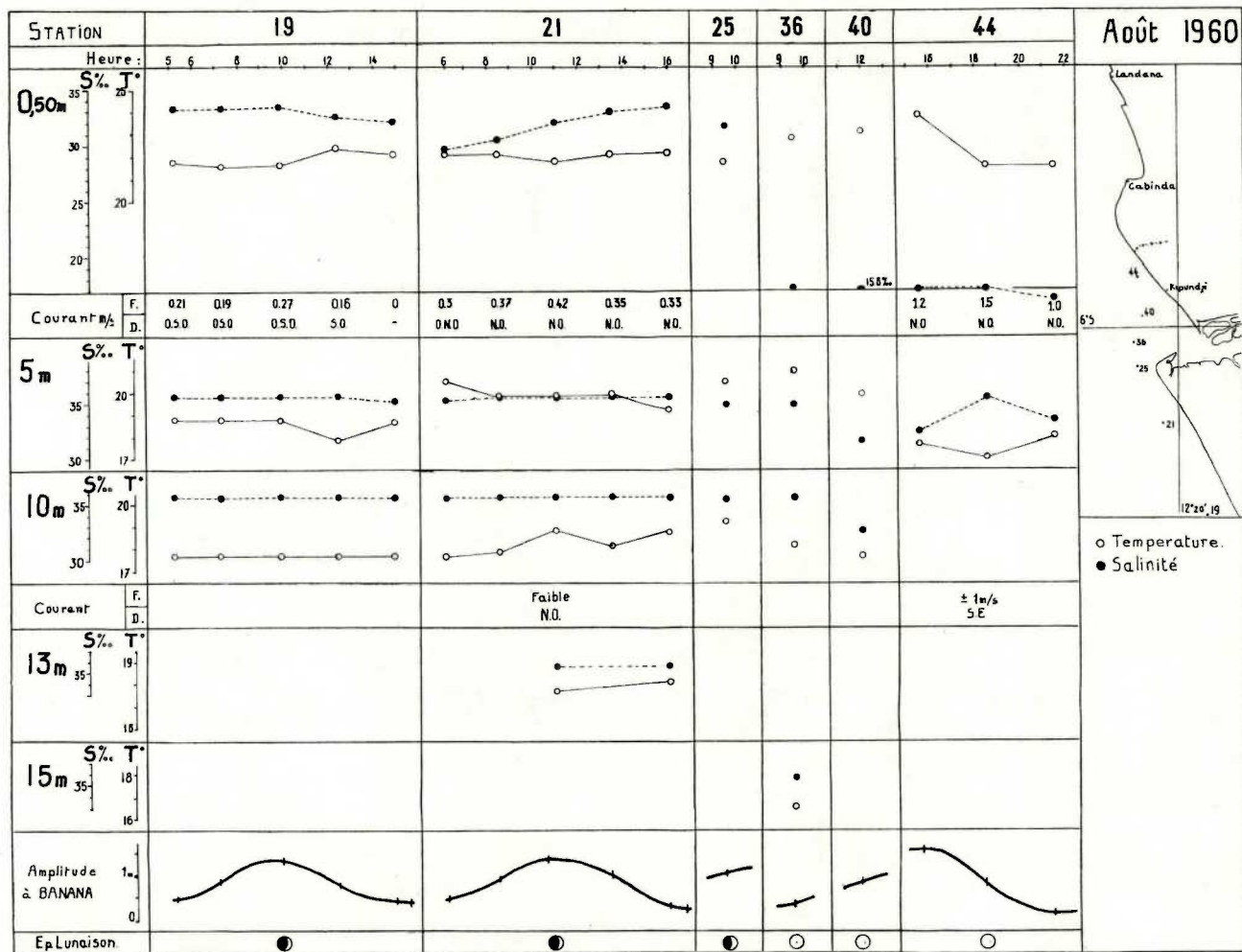


FIG. 37. — Août 1960. Graphique des variations de salinité et température aux stations principales, en fonction de la marée

Isohalines de surface

La comparaison des isohalines de la *figure 35*, correspondant au mois d'août 1960, avec celles de la *figure 17* d'août 1959 nous mène à la même conclusion que celle tirée de l'allure des isothermes de surface. Dans le Nord de l'embouchure, l'isohaline de 20 ‰ longe la rive et la salinité de surface décroît en se rapprochant de l'axe du courant fluvio-marin. L'allure des isohalines dessine bien cet axe orienté vers le Nord-Ouest. Cette orientation de l'axe vers le Nord-Ouest en période de saison marine froide se dessine en août 1959 (*fig. 17*) et est prononcée en janvier 1960 (*fig. 23*). On est fondé à attribuer cette orientation à la poussée des eaux du courant du Benguella.

Dans la zone Sud de l'embouchure, l'isohaline de 35 ‰, limite des eaux océaniques, laisse subsister le long de la côte une grande poche dont les eaux à caractère fluvio-marin s'étendent au-delà de Cabeça de Cobra. Mais, en dehors de cette poche, la limite des eaux océaniques semble bien se situer sur le parallèle de Moita Seca.

Salinité et température en profondeur (fig. 36)

Dans la zone Sud de l'embouchure et à 5 m de profondeur, le profil en long et les profils en travers C et D indiquent bien que, de la rive à l'isobathe de 15 m, on se trouve en présence d'eaux à caractéristiques de grande saison froide, avec des températures voisines de 20° C et des salinités supérieures à 35 ‰.

Le profil en long indique également que, plus au Nord, au point 14 situé dans l'axe du courant fluvio-marin, on ne trouve pas à 15 m le seuil des eaux océaniques mais qu'on le retrouve au point 13 à 15 m de profondeur (*fig. 36, profil C*). Il est permis de supposer que, si ce seuil se retrouve à 15 m au lieu de 10 m, comme en août 1959, il faut l'attribuer au débit plus élevé en 1960.

Le long de la rive, au Nord de Vista, nous n'avons malheureusement pas d'indications.

Au point de vue température, on constatera que, partout à 10 m de profondeur, même dans l'axe du courant, la température reste voisine ou inférieure à 19° C.

Influence de la marée

Sur le diagramme de la *figure 37* nous retrouvons, à 10 m de profondeur, une stabilité de la salinité, supérieure à 35 ‰, au Sud de l'embouchure. Mais, si au point 19, la température se montre stable, au point 21, plus près de l'embouchure, on note une variation de température peu concordante avec la marée. Cette variation se fait encore sentir à 13 m de profondeur.

Au travers du courant fluvio-marin, aux points 26 et 40, à 10 m de profondeur, on devine que des variations se produisent.

A 5 m de profondeur, au Sud de l'embouchure, la salinité, supérieure à 35 ‰, varie peu avec la marée, tandis que la température accuse des différences ne dépassant pas un degré. En surface la variation est plus accentuée.

Au point 19, on notera que le courant de surface se dirige vers l'O.-S.-O. à marée montante, alors qu'au point 21 le courant reste au N.-O. pendant toute la marée.

Au point 44, station établie à proximité du rivage, sur fonds de 5 m, on voit une variation de salinité en surface moins forte qu'en profondeur mais l'inverse pour les variations de température.

Diagramme température/salinité (fig. 20 D)

Ce diagramme est à comparer avec celui de la *figure 20 A*, correspondant au mois d'août 1959. A salinité égale, on trouvera des températures plus élevées en août 1960. Au Sud, les températures sont plus élevées qu'au Nord.

La différence nous paraît attribuable au débit plus élevé du fleuve.

Résumé de la situation

Les eaux du fleuve, à température de 25,6° C et avec un débit voisin du plus faible de l'année, soit 38 500 m³/s, rencontrent des eaux à caractéristiques marquées de grande saison froide, c'est-à-dire à température de 20° C ou moins et à salinité dépassant 35 ‰.

Toute la zone fluvio-marine explorée présente en surface des températures voisines de 22° C. Cette température croît en s'approchant de l'axe du courant fluvio-marin, orienté vers le Nord-Ouest.

La limite des eaux océaniques, à salinité de 35 ‰, se trouve, au Sud, sur le parallèle de Moita Seca. Il subsiste cependant une assez grande poche, à salinité inférieure, le long du rivage mais où, à 5 m de profondeur, on retrouve les hautes salinités.

Dans l'axe du courant fluvio-marin, la salinité augmente rapidement en profondeur mais le seuil des eaux océaniques se trouve à 15 m de profondeur, soit environ 5 m plus bas qu'en août 1959, en raison du débit plus élevé du fleuve.

Au Nord de l'embouchure, à la rive, la salinité est de 20 ‰. Le seuil des eaux froides à salinité normale se retrouve également vers les 5 m de profondeur. La salinité diminue tant en surface qu'en profondeur lorsqu'on s'approche de l'axe du courant fluvio-marin.

On peut constater que depuis juin 1960 les eaux à caractères guinéens ont à nouveau fait place à des eaux à caractères océaniques.

CROISIÈRE N° V - NOVEMBRE 1960

Considérations générales

Epoque: Du 5 au 10 novembre 1960.

Période du fleuve: La mi-octobre se situe à peu près au milieu de la période qui s'étend entre les plus basses et les plus hautes eaux de l'année. En 1960, le débit fut toute l'année supérieur à la moyenne générale.

Débit du 7 novembre: 46 200 m³/s. En surface, température à Malela 27,8° C; température à Banana 27,6° C.

Amplitude de la marée:

Date	5/XI	10/XI
Lunaison	P.L.	D.Q.
Etiage à marée haute	1,71	1,38
Etiage à marée basse	0,39	0,76
Amplitude	1,32	0,62

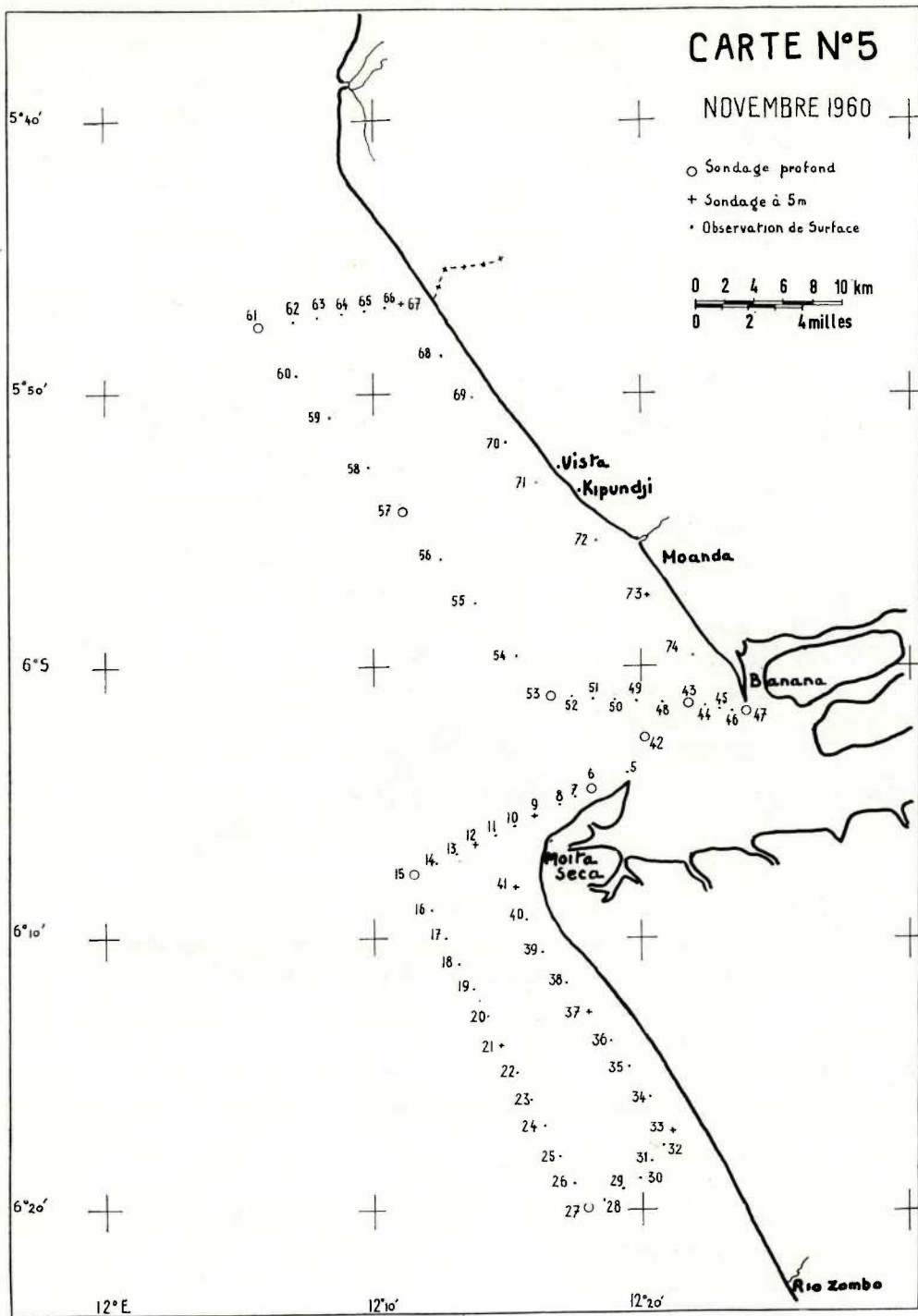


FIG. 38. — Novembre 1960. Croisière n° V: position des stations

Saison marine à Pointe-Noire: On se trouve au début de la petite saison marine chaude. A Pointe-Noire, on observait, le 8 novembre 1960: en surface: température 27,3° C, salinité 33,03 ‰; à 10 m: température 24,6° C, salinité 34,92 ‰.

En résumé, les eaux du fleuve, à température supérieure à 27,5° C et au débit d'environ 46 000 m³/s, rencontraient des eaux à caractères guinéens de la petite saison marine chaude qui, cette année, était relativement assez intense.

Itinéraire

L'itinéraire habituel put être suivi entièrement. Il nous fut cependant interdit d'établir des stations prolongées en vue de compléter l'étude de l'influence de la marée.

Isothermes de surface

La *figure 39* est à comparer avec la *figure 28*. Les mêmes facteurs, mais atténués, amènent une situation identique, notamment:

— Une température à peu près uniforme mais qui s'élève lorsqu'on approche de la côte.

— La présence de poches à température la plus élevée au voisinage immédiat de la rive.

— Les isothermes ne dessinent pas l'axe du courant fluvio-marin.

Isobalines de surface

En comparant l'allure des isohalines de surface de la *figure 40* de novembre 1960 avec celles de la *figure 29* du mois d'avril de la même année et prenant en considération que, dans les deux cas, le débit du fleuve était sensiblement le même, nous pouvons constater que:

— Dans la zone au Nord de l'embouchure, la dessalure générale de surface est beaucoup moins prononcée en avril qu'en novembre. La moindre intensité de la petite saison chaude peut l'expliquer.

— Dans les deux cas les isohalines dessinent un axe du courant fluvio-marin plus orienté vers l'Ouest que le Nord-Ouest.

— L'influence du courant fluvio-marin se fait sentir dans la zone Sud de l'embouchure où, dans les limites de nos recherches, l'isohaline de 35 ‰ n'a pas été rencontrée. La dessalure des eaux de surface y est moins prononcée en novembre qu'en avril.

En décrivant la situation des isohalines de surface ayant trait au mois d'avril nous avons mentionné les causes qui nous paraissaient influencer le caractère particulier des eaux côtières à proximité de l'embouchure, en saison marine chaude.

Nous avons cité en premier lieu la dessalure des eaux guinéennes; le même phénomène agit certainement en novembre. Ensuite, nous avons mentionné la perturbation dans les courants côtiers et ceux du large. L'allure des isohalines de surface en novembre semble bien confirmer qu'en saison marine chaude, il existe une poussée des eaux guinéennes vers le Sud, qui fait dévier l'axe du courant fluvio-marin et provoque l'étalement de ses eaux dans cette même direction.

Salinité et température en profondeur

Reportons-nous à la *figure 13 D*, donnant la section à l'embouchure en novembre, et comparons la avec la section de la *figure 13 C*. Rappelons que le débit d'avril est sensiblement le même qu'en novembre, soit 46 000 m³/s. Elles présentent certaines similitudes d'allure. Les différences sont attribuables à l'intensité moindre de la saison marine chaude. On note que, si la température est plus élevée en surface en avril, par contre, à 15 m de profondeur, les températures sont voisines de 25° C dans les deux cas. Pour la salinité, eaux plus douces en surface; mais, si en novembre on commence à trouver des eaux à salinité de plus de 34 ‰ à partir de 15 m de profondeur, il faut descendre à 20 m en avril pour les trouver.

Le profil sur l'isobathe de 15 m de la *figure 41* peut également être comparé à celui de la *figure 30* (avril 1960). En novembre, on ne retrouve pas non plus des eaux océaniques à 35 ‰ de salinité à 15 m de profondeur, sauf au point 15. La

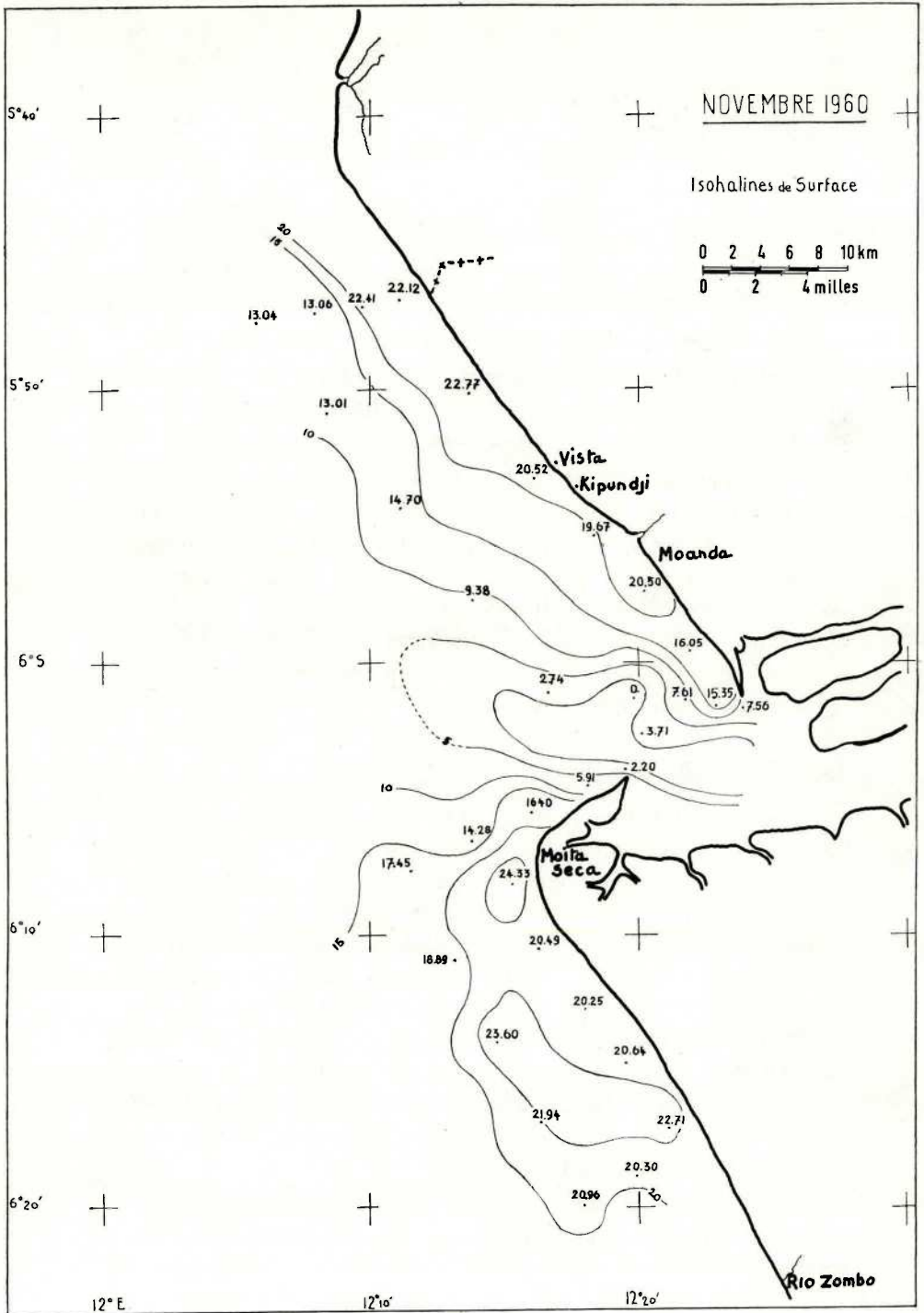


FIG. 40. — Novembre 1960. Isohalines de surface

différence d'intensité de la saison marine chaude est mise en évidence en considérant la position de l'isohaline de 30 ‰, qu'on trouve quelques mètres plus bas en avril.

L'horizontalité des isohalines sur les coupes transversales dénote une certaine stagnation des eaux. On remarquera que, tout comme en avril à 15 m de profondeur, on trouve au large des températures légèrement supérieures à celles notées à l'embouchure.

Diagramme température/salinité

La *figure 20 E* (novembre 1960) marque par rapport à la *figure 20 D* (août 1960) une hausse générale de température. La température ne croît que faiblement avec la diminution de salinité. Si on compare la *figure 20 E* avec la *figure 20 C* (avril 1960), on trouvera la même disposition des points mais avec un niveau de température un peu plus bas, résultat de l'intensité moindre de la saison.

Peu ou pas de distinction entre le groupement des points observés en zone Sud ou Nord.

Résumé de la situation

Les eaux du fleuve, à température légèrement supérieure à 27,5° C et à débit moyen de 46 500 m³/s, rencontrent des eaux à caractères guinéens, dont la température est voisine de celle du fleuve et à salinité de 33 ‰ en surface.

Il en résulte que les eaux côtières offrent une température assez uniforme mais qui augmente à proximité de la rive où on retrouve des poches à température dépassant 28° C.

En surface, on trouve à proximité du rivage des eaux dont la salinité est voisine de 20 ‰ tant dans la zone Nord de l'embouchure que dans celle du Sud.

A 5 m de profondeur, avec une température comprise entre 25° et 26° C, la salinité est voisine de 30 ‰ dans la zone Nord et plus élevée dans la zone Sud.

En profondeur, on trouve des températures de moins de 25° C. Le seuil des eaux océaniques se trouve un peu plus bas que 15 m.

Dans l'ensemble, on se trouve dans une situation analogue à celle du mois d'avril 1960.

VI. CONSIDERATIONS DIVERSES

Influence de la marée

Au cours des observations précédentes, nous avons vu que la température et la salinité variaient au cours de la marée. Nous avons cru utile de grouper au tableau ci-contre l'amplitude des variations de température et de salinité en tenant compte des autres facteurs qui entrent en jeu.

Ce tableau est incomplet et les quelques données disponibles se rapportent principalement aux époques de saison marine froide. Il n'y a qu'à l'embouchure que nous possédons des données de saison marine chaude. Tel qu'il se présente, ce tableau nous permet cependant de donner une idée de l'ordre de grandeur des variations que peut provoquer la marée.

Faisant momentanément abstraction des données enregistrées à l'embouchure et ne considérant que ce qui se passe en saison marine froide on peut noter les particularités suivantes:

— *Au point de vue température:*

L'ampleur des variations est assez faible et n'atteint, au maximum, que $0,5^{\circ}$ C à 10 m de profondeur, sauf en août 1960 où on enregistra $1,1^{\circ}$ à 5 milles au Sud de l'embouchure. A 5 m de profondeur, l'amplitude est plus prononcée et va de $0,5^{\circ}$ à $1,1^{\circ}$ C. En surface, l'amplitude est en général supérieure à 1° C et atteint $2,2^{\circ}$ en août 1960 à 5 milles au Nord de l'embouchure.

— *Au point de vue salinité:*

A 10 m de profondeur, l'amplitude des variations est également très faible et même nulle ou presque à partir de 10 milles de l'embouchure. A 5 m de profondeur, on observe une amplitude marquée, notamment au Nord de l'embouchure où la variation

Amplitude des variations de salinité et de température

Mois	Saison marine — Crue	Profondeur	10 à 20 milles au Nord		5 à 10 milles au Nord		Embouchure		5 à 10 milles au Sud		10 à 20 milles au Sud	
			T. (°C)	S‰	T. (°C)	S‰	T. (°C)	S‰	T. (°C)	S‰	T. (°C)	S‰
Août 1959	Amplitude de marée		0,71 m				1,08 m					
	Grande saison froide — Grande décru	En surface	1,1	5,14	—	—	1,3	5,13	—	—	—	—
		A 5 m	0,5	3,38	—	—	0,6	1,83	—	—	—	—
		A 10 m	0,2	0,10	—	—	0,1	0,10	—	—	—	—
Janvier 1960	Amplitude de marée		0,71 m						1,06 m		1,23 m	
	Petite saison froide — Grande crue	En surface	1,1	5,14	—	—	—	—	1,4	3,28	2,8	6,64
		A 5 m	1,1	2,01	—	—	—	—	0,3	0,76	1,2	0,61
		A 10 m	0,5	0,00	—	—	—	—	0,3	0,00	0,5	0,00
Avril 1960	Amplitude de marée						1,09 m					
	Grande saison chaude — Eaux moyennes	En surface	—	—	—	—	2,0	9,27	—	—	—	—
		A 5 m	—	—	—	—	0,5	4,67	—	—	—	—
		A 10 m	—	—	—	—	0,7	5,67	—	—	—	—
Août 1960	Amplitude de marée				1,24 m				0,91 m		0,96 m	
	Grande saison froide — Grande décru	En surface	—	—	2,2	0,65	—	—	0,4	3,79	0,7	1,28
		A 5 m	—	—	0,8	3,06	—	—	1,1	0,31	0,9	0,45
		A 10 m	—	—	—	—	—	—	1,1	0,65	0,0	0,00
Novembre 1899 (« Rambler »)	Amplitude de marée						?					
	Petite saison chaude — Eaux moyennes	En surface	—	—	—	—	4,0	8,00	—	—	—	—
		A 5 m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		A 10 m	—	—	—	—	—	0,50	—	—	—	—

va de 2 à 4‰, alors que dans le Sud elle reste inférieure à 1‰. En surface, l'amplitude prend des valeurs maximales au Nord où elle peut atteindre plus de 5‰, alors que dans le Sud elle est moins élevée et n'atteint que 4‰. Nous considérons l'amplitude de 6,64‰, enregistrée en janvier 1960 à 20 milles au Sud de l'embouchure, comme accidentelle. Nous avons relaté précédemment la brusque poussée d'eaux à basse salinité qui se produisit en surface. Ce genre d'accident nous paraît pouvoir se produire partout et à tout moment.

À l'embouchure, les amplitudes sont plus fortes, ce qui n'a rien d'étonnant si on considère que le courant fluvio-marin y est encore puissant et y provoque des courants verticaux et un brassage que la marée freine ou accentue. On notera la différence d'amplitude en saisons marines froide et chaude. Durant la saison marine chaude, on observe une amplitude de température pouvant atteindre 4° C et une variation de salinité dépassant 9‰. Nous pouvons conjecturer que partout, en saison marine chaude, on trouvera des amplitudes de température et de salinité plus fortes qu'en saison marine froide.

Relation entre la transparence et la salinité

Chaque fois que ce fut possible nous avons observé la transparence au moyen du disque de Secchi. La *figure 42* donne un graphique où nous trouvons en abscisse le degré de salinité observé en surface et en ordonnée le degré de transparence exprimé en mètres.

On constatera que, pour une profondeur donnée, la salinité peut varier considérablement et que les points s'écartent trop de la courbe présomptive pour conclure à une relation.

Tout au plus, pourra-t-on admettre que, pour des eaux à salinité comprise entre 15 et 30‰, la transparence ne sera pas supérieure à trois mètres dans les conditions où nous avons opéré. Ce ne sera qu'entre 30 et 35‰ que la transparence pourra se situer entre 5 et 11 m, sans oublier que les eaux à caractères guinéens, c'est-à-dire chaudes et à salinité de 32 à 33‰, sont plus transparentes que des eaux plus salées et plus froides. Fait probablement dû à la pauvreté en plancton dans la couche superficielle.

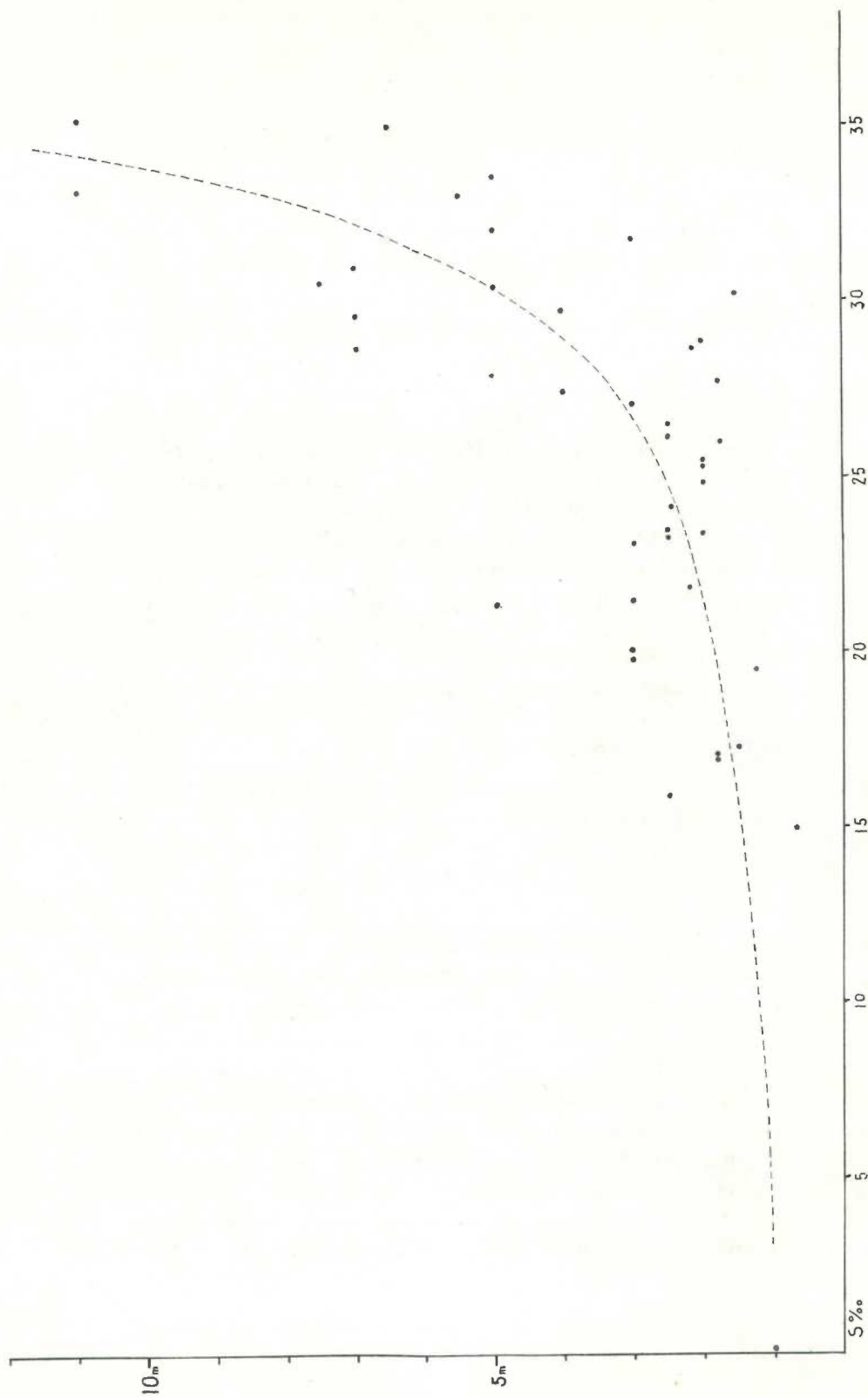


FIG. 42. — Relation entre la salinité et la transparence

Coloration des eaux

L'appréciation de la couleur des eaux est toujours difficile. Nous nous sommes borné à ne considérer que quatre couleurs; cette façon de faire était suffisante pour éviter des confusions et permettait de ce fait de s'adresser à des observateurs différents. A proximité de l'embouchure, les eaux ont une teinte brune marquée. Cette coloration s'atténue en s'éloignant et passe alors à une teinte indéfinissable vert-jaune, avant de devenir franchement verte ou bleue. Nous avons arbitrairement défini cette couleur transitoire sous le terme « olive ».

La couleur verte se retrouve surtout en bordure de la nappe fluvio-marine en saison marine chaude, principalement dans la zone au Sud de l'embouchure, ainsi qu'à proximité des anses de Cabinda et de Pointe-Noire. La ligne de séparation est alors fort nette et les eaux, à teinte jaune ou brune passant à la couleur verte, ne sont séparées que par une bande de transition n'ayant que quelques mètres de largeur, parfois par une simple bande d'écume.

Il semble y avoir une certaine relation entre la couleur de l'eau et la salinité. Nous avons pu observer que la teinte de transition « olive » se manifeste déjà lorsque la salinité atteint 26 ‰, mais la même teinte s'observe encore dans des eaux à salinité de 34 ‰. La couleur verte peut apparaître dès que les eaux atteignent 31 ‰. Au-delà de 35 ‰, les eaux sont en général bleues.

Au cours des déterminations de salinité, les échantillons prélevés à environ 5 m de profondeur ont toujours une teinte beaucoup plus claire que ceux prélevés en surface. A 10 m de profondeur, les échantillons prélevés sont presque toujours limpides, même lorsque la salinité n'atteint pas 30 ‰. On peut en déduire que les matières colorantes ou en suspension ont tendance à migrer et à se maintenir dans les couches superficielles. Ceci peut expliquer qu'on ait pu observer, aux confins de la nappe fluvio-marine, des plages colorées de faible épaisseur. On a également observé qu'un grand navire laisse un sillage bleu ou vert dans des eaux brunes et on en a conclu également à la faible épaisseur de la nappe. Il y a cependant lieu de noter qu'à

certaines saisons le seuil des eaux océaniques se trouve entre 5 et 10 m de profondeur. Le puissant brassage opéré par l'hélice, qui fait sentir ses effets à cette profondeur, ramène ces eaux profondes en surface et explique le phénomène sans devoir invoquer une très faible épaisseur de la nappe.

Il nous reste à signaler deux cas exceptionnels:

Le 30 juillet 1960, à 5 ou 6 milles au Sud de Moita Seca, nous avons traversé, sur une distance de 2 milles environ, une plage de couleur jaune-vert à peu près opaque (transparence de moins d'un m). La falaise assez haute qui borde le rivage portait des traces fraîches d'éboulements assez considérables. Les matières en suspension provenaient de l'action des lames sur les éboulis bien visibles au pied de la falaise.

Le 9 novembre 1960, à hauteur de la frontière Congo-Cabinda, nous avons observé, le long de la rive, sur une largeur de 300 m environ et 2 à 3 milles de longueur, des eaux opaques et très brunes qui ne pouvaient provenir que d'un brassage accidentel d'un fond vaseux.

VII. EXTENSION ET REGIME DE LA NAPPE FLUVIO-MARINE

Considérations générales

Depuis bien longtemps, on a observé des eaux de couleur brunâtre à des distances parfois considérables de l'embouchure du fleuve Congo, laissant supposer que la nappe des eaux fluvio-marines occupe une aire très étendue.

Les variations annuelles du débit du fleuve et l'invasion saisonnière de cette partie de la côte par les eaux guinéennes, venant se superposer au courant du Benguela, les effets de l'upwelling doivent nécessairement amener des variations plus ou moins périodiques dans l'étendue, le contour et la profondeur de cette nappe. L'étude de ce problème assez complexe fait l'objet du présent chapitre.

Ce problème aurait eu une solution satisfaisante s'il avait été possible d'effectuer des observations systématiques pendant plusieurs années sur des radiales ayant leur point d'origine à l'embouchure. Tel ne fut malheureusement pas le cas.

De 1958 à 1963, il nous a été possible d'obtenir des renseignements sur diverses zones avoisinant l'embouchure, mais il subsiste de graves lacunes, notamment en direction Ouest et Sud-Ouest, ainsi qu'en profondeur.

L'ensemble des données recueillies nous permet cependant d'approcher la solution du problème. Des conclusions sur l'étendue et le régime de la nappe fluvio-marine apparaissent mais certaines d'entre elles conserveront un caractère présomptif tant que de nouvelles observations ne seront venues les confirmer.

Il y a lieu au préalable de définir ce que nous avons considéré comme limite des eaux fluvio-marines. Nous nous sommes surtout basé sur trois critères: la couleur, la température et la salinité.

Si en principe nous pouvons admettre qu'en partant de l'embouchure et en s'éloignant vers le large on atteint la limite de la nappe lorsque les eaux prennent la couleur verte ou bleue et présentent un salinité d'au moins 34 ‰, ces conditions ne sont valables qu'en saison marine froide. En saison marine chaude, les eaux guinéennes envahissent la côte; ce sera donc dans des eaux chaudes et à salinité voisine de 32 ‰ que viendront se jeter et se mélanger les eaux du fleuve. La limite de la nappe se situera alors au voisinage de l'isohaline de 32 ‰.

Sur nos cartes nous avons représenté le tracé des isohalines par des courbes assez simples. Il est probable que ces courbes sont beaucoup plus sinueuses en réalité. Le manque de données est à mettre en cause. Nous pouvons toutefois signaler deux facteurs qui contribuent à rendre ces limites sinueuses: le vent et les courants au large.

Pendant 9 mois de l'année, le vent dominant du S.-O. est nul ou faible une grande partie de la journée. Ce n'est que vers 3 heures de l'après-midi que ce vent peut atteindre une force 3 pendant quelques heures et pas tous les jours. Mais, de septembre à octobre, ce vent dominant peut atteindre une force 3 à partir de midi et atteindre une force 5 dans la soirée. Il n'est pas exclu que ce vent, à cette période, s'oppose à l'extension de la nappe vers l'Ouest.

Lorsque les eaux guinéennes, descendant du Nord, viennent s'insérer entre la côte et le courant de la circulation générale orientée vers le Nord-Ouest, il se produit probablement des perturbations à la limite de contact. Ces perturbations influent sur le contour de la nappe lorsque la limite de celle-ci se confond avec celle des eaux guinéennes.

Les données analysées ci-après proviennent d'observations recueillies à bord du chalutier *Noordeinde* affecté à la Mission océanographique belge dans l'Atlantique Sud en 1948-49, et de celles recueillies à bord de l'*Ombango*, navire océanographique français de la station de Pointe-Noire, qui opéra au voisinage de l'embouchure pendant la période s'étendant entre 1958 et 1962. De 1961 à 1963, les navires *Frubel Clementina* et *Mobeka* prélevèrent des séries d'échantillons, respectivement en direction Nord-Ouest et Sud.

On trouvera *in fine* les données numériques et autres détails pour chaque croisière.

1. OBSERVATIONS DU *Noordeinde*

Du trois au 7 août 1948, le chalutier *Noordeinde* quitta l'embouchure du fleuve à Moita Seca et se dirigea vers l'O.-S.-O. Sur ce cap et à 12 milles de la côte, il observa des eaux jaunâtres ayant une transparence de 3 m et une température de surface de 21,8° C. A 25 milles de la côte, les eaux étaient vertes, à transparence de 6 m et à température de surface de 20,3° C. A 45 milles, les mêmes caractéristiques furent observées.

Le débit du fleuve au début d'août 1948 se trouvait à son minimum et accusait 32 400 m³/s. Début août se situe encore en grande saison marine froide et les températures de surface le confirment.

Nous pouvons en conclure que la limite de la nappe fluvio-marine se situait, à ce moment, approximativement sur le parallèle 6°20' S., du moins jusqu'à 45 milles de la côte. Vu le faible débit et selon les affirmations de divers capitaines, il est peu probable que cette limite descende plus au Sud (*fig. 54 B*, mois d'août).

Du 29 septembre au 13 novembre 1948, le chalutier, au cours d'une croisière de pêche, parcourut en tous sens les eaux côtières, entre le parallèle de Point-Noire et celui d'Ambrizette. On trouvera à la *figure 43* les positions successives, dans l'ordre du numérotage, où la température et la salinité de surface furent observées.

Le débit du fleuve, en crue, passa de 42 500 à 52 600 m³/s pendant la période considérée qui englobe la période de transition entre la grande saison marine froide et la petite saison marine chaude, ainsi que toute la durée de celle-ci. Les températures de surface sont en concordance avec les températures normales en cette saison. La température de surface se situa aux environs de 24° C au début de la croisière et de 26° C à la fin de celle-ci.

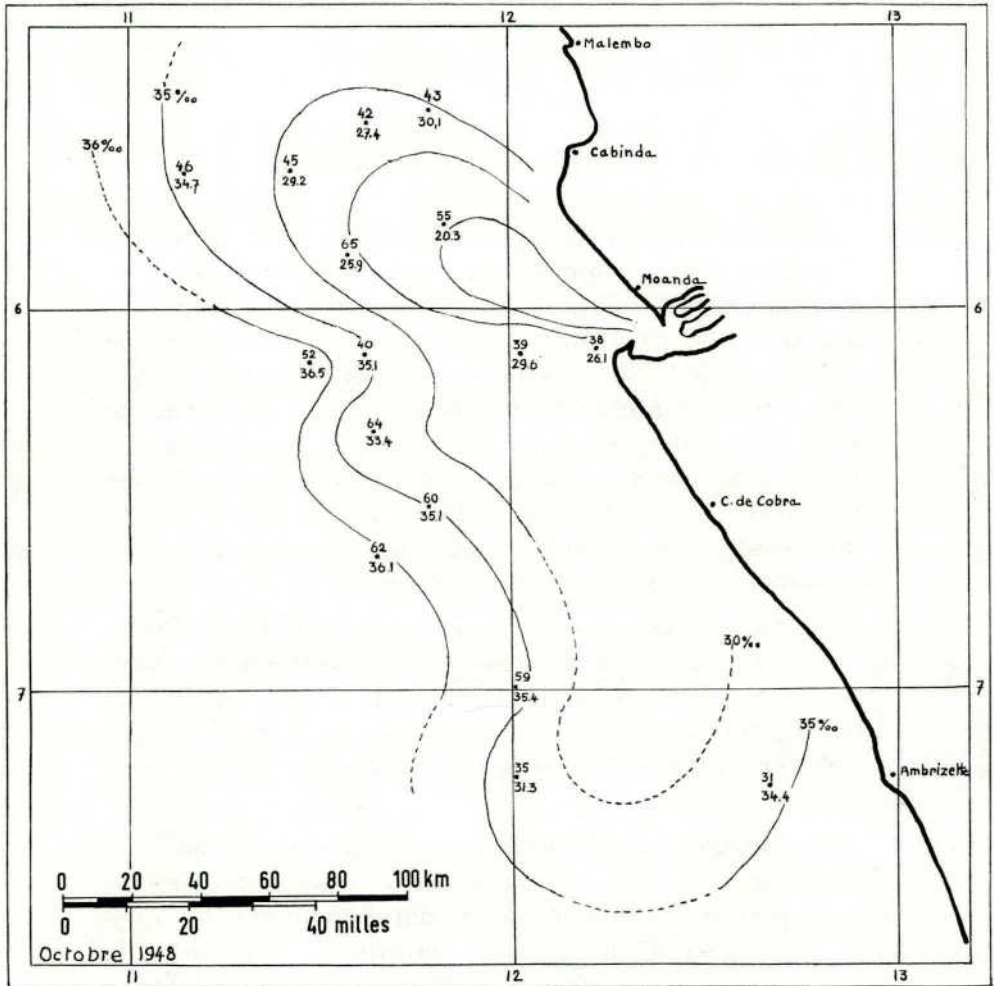


FIG. 43. — Position et salinité de surface des stations du *NOORDEINDE*, du 29 septembre au 13 novembre 1948

Nous avons tracé sur la *figure 43* les isohalines. La situation ainsi dessinée ne correspond pas à la réalité, du fait que la période d'observation fut trop longue. Au cours de cette période, l'augmentation du débit et le changement de saison durent entraîner des modifications dans le contour de la nappe fluvio-marine. Notre intention fut de souligner le recul certain des

limites de la nappe vers le Sud en période de saison chaude, comparativement à la position de celles-ci en août, période de saison froide.

2. OBSERVATIONS DE L'OMBANGO

De 1959 à 1962, l'*Ombango* effectua quatre croisières dans la zone de l'embouchure.

Croisière du 19 au 25 avril 1959

L'*Ombango* effectua une croisière vers le Sud en vue d'observer la situation en période de transition entre la grande saison marine chaude et la grande saison froide. Ce navire descendit vers le Sud, à l'Ouest du méridien 11°30' Est et, au retour, longea approximativement le méridien 12° Est.

Les positions des stations sont reportées à la *figure 44* avec le report de la salinité observée en surface. Les isohalines dessinent une nappe qui, orientée vers le N.-O. au sortir de l'embouchure, s'incurve vers le Sud en s'étalant. L'extension de la nappe n'est pas grande en raison du faible débit de 36 000 m³/s. Les températures relevées se situaient entre 27,5° et 29° C, indiquant que la grande saison chaude n'était pas encore terminée. Mais on est fondé à croire que la poussée des eaux plus salées venant du Sud et longeant la côte annonce le retrait ou la disparition des eaux guinéennes.

Il n'y eut que peu d'observations en profondeur. Aux points marqués d'une croix, à 10 m de profondeur, on a relevé une salinité de 34,28 ‰ dans le N.-O. et 33,37 ‰ dans le Sud. Le seuil des eaux océaniques se trouve donc voisin de cette profondeur.

A proximité de l'embouchure, nous avons reporté sur la même carte nos observations faites en avril 1960. Le débit était alors considérablement plus élevé (45 000 m³/s), ce qui explique les faibles salinités.

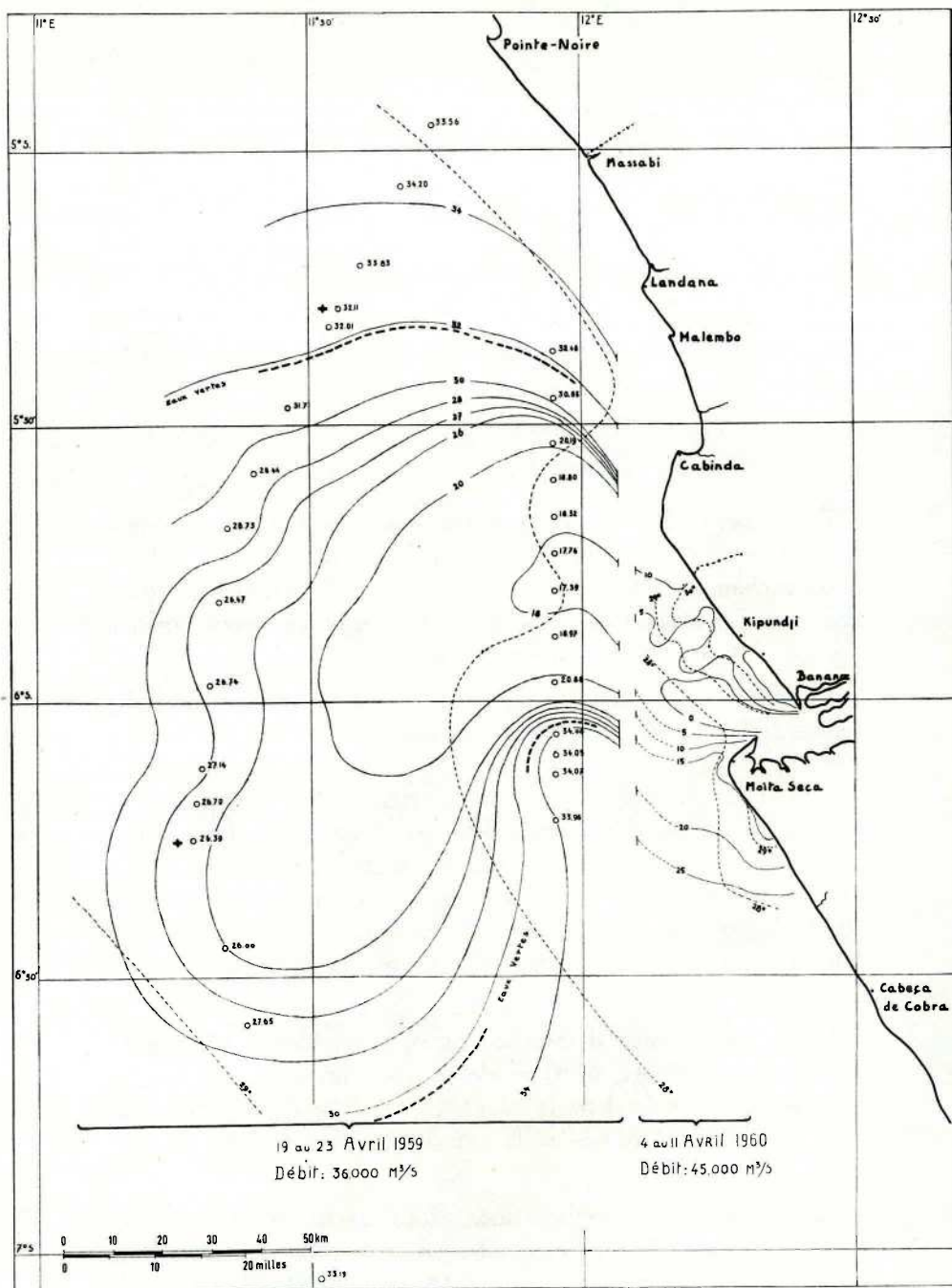


FIG. 44. — Situation de surface en avril 1959 au large, et à la côte en 1960

Croisière du 21 au 24 octobre 1959

L'Ombango opéra sur quelques stations situées sur des normales à la côte, assez distantes l'une de l'autre. On se trouvait en petite saison marine chaude et le fleuve accusait un débit de 46 000 m³/s. L'isohaline de 32 ‰, qui se confond à cette saison avec la limite de la nappe, atteint dans le Sud le parallèle 6°45' Sud, à peu près au même niveau qu'en avril (figure 45).

Les observations en profondeur nous ont permis de dresser un profil sur l'axe A-B. L'isohaline de 33 ‰, considérée dans

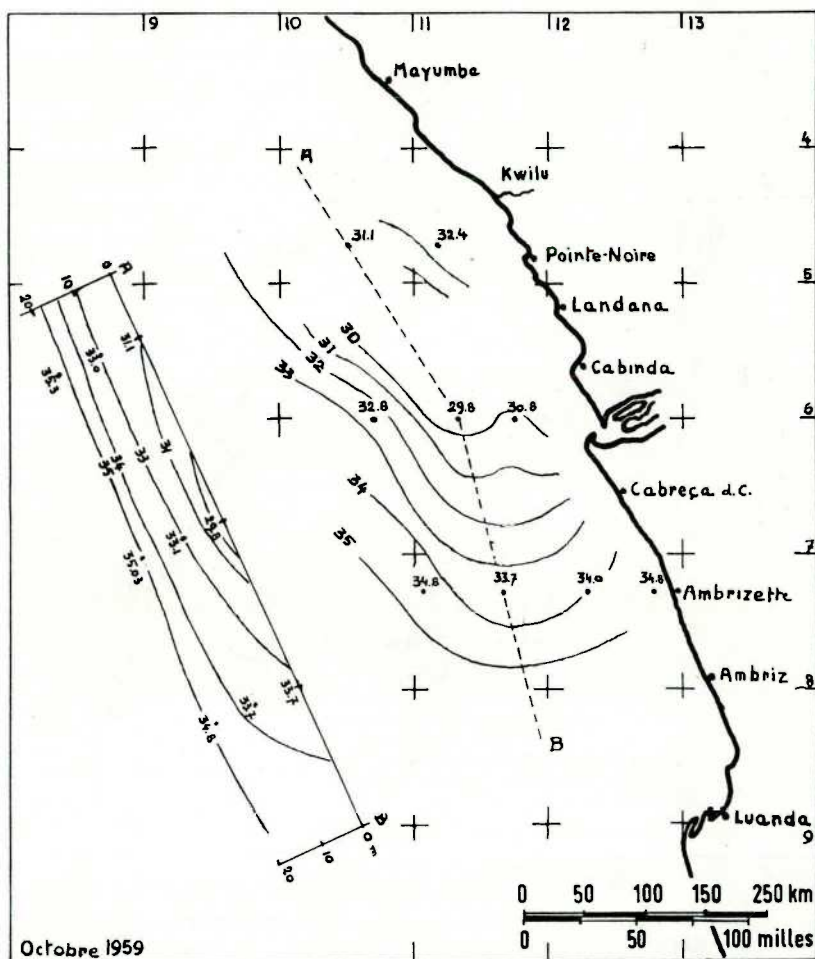


FIG. 45. — Isohalines de surface et profil, octobre 1959

ce cas-ci comme se confondant avec la limite en profondeur de la nappe fluvio-marine, se situe à 10 m et se relève dans le Sud. Cette limite fixée à 33 ‰ se justifie du fait qu'en petite saison marine chaude, les conditions de dessalure sont moins intenses qu'en grande saison chaude, surtout en profondeur.

Croisière du 28 février au 15 mars 1961

L'Ombango suivit un itinéraire à peu près similaire au précédent (voir figure 46).

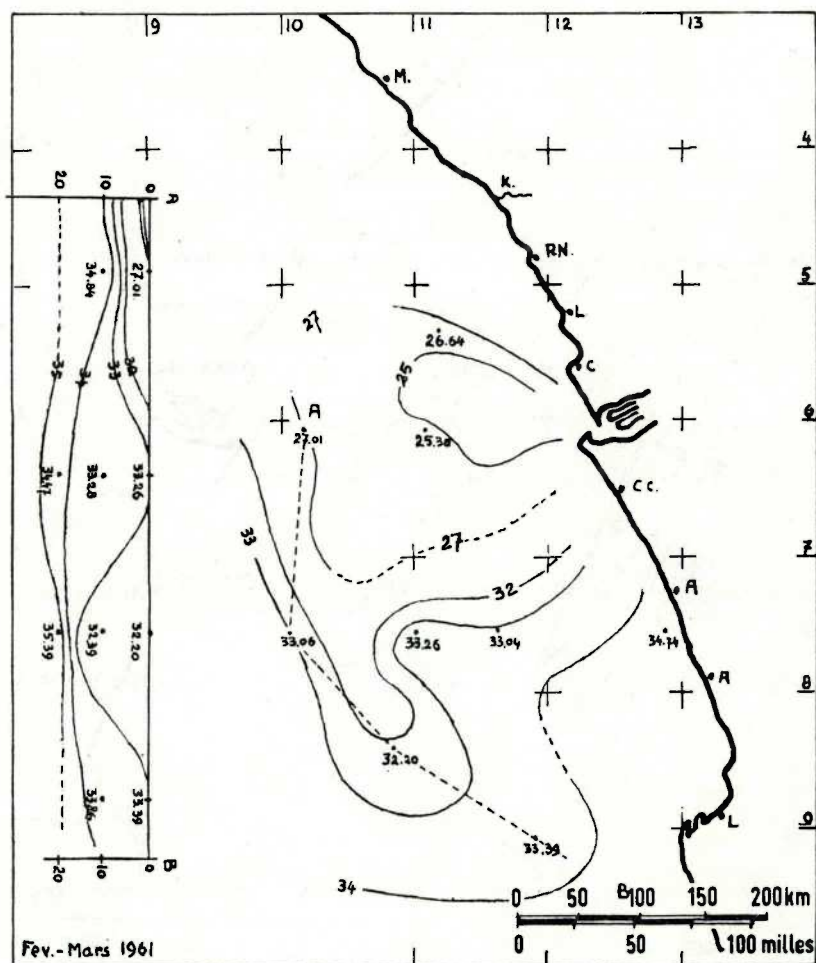


FIG. 46. — Isohalines de surface et profil, février-mars 1961

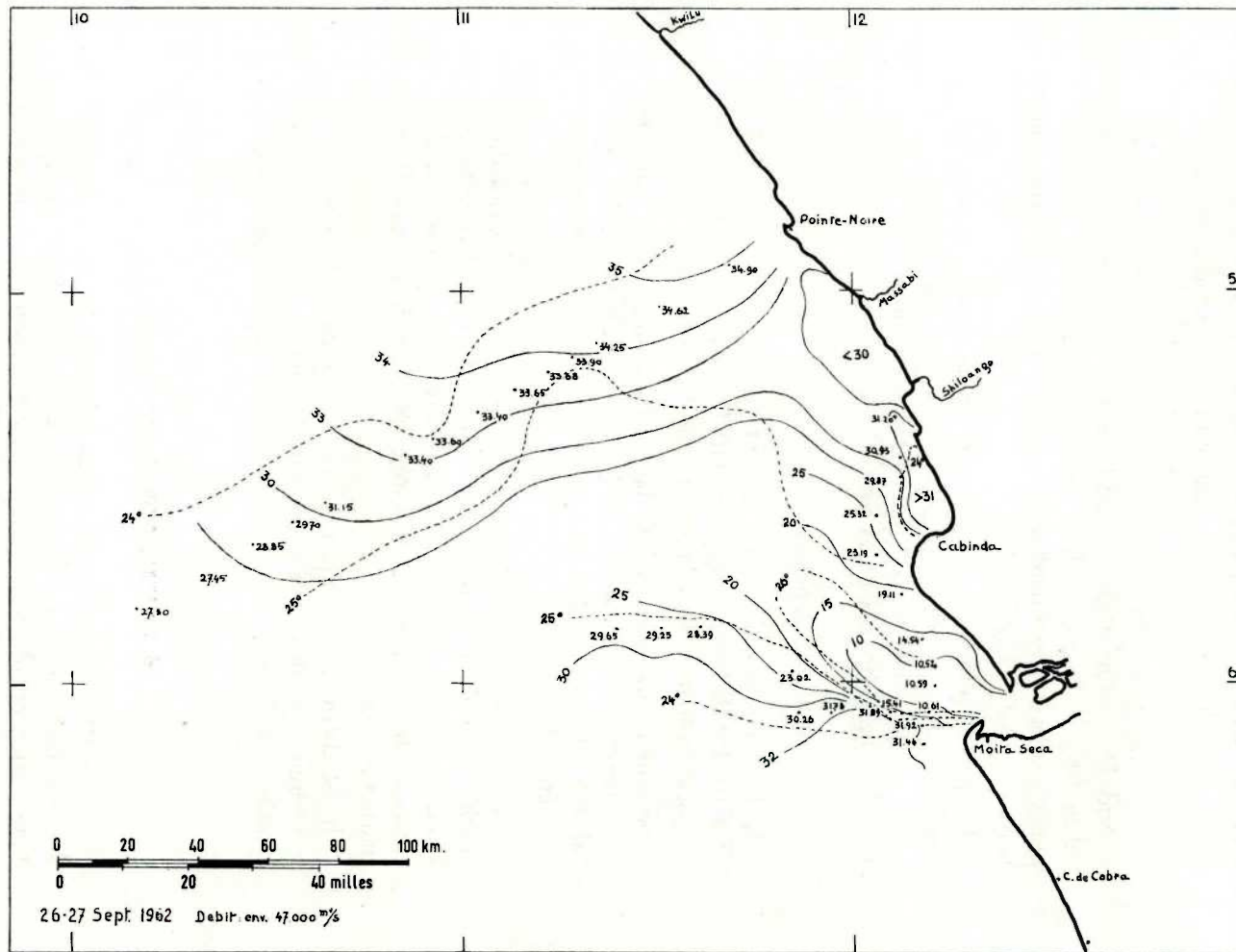


FIG. 47. — Situation de surface à l'embouchure, septembre 1962

On se trouvait à ce moment au cœur de la grande saison marine chaude. Le fleuve, qui subissait une décrue assez rapide, n'accusait plus qu'un débit de 44 000 m³/s. L'isohaline de 32 ‰ dessine une poche dont la limite inférieure dépasse le parallèle 8° Sud. Dans l'Ouest de l'embouchure, elle passe au-delà du méridien 10° Est. La nappe fluvio-marine a donc pris une extension plus considérable que dans les cas précédents en ce qui concerne la zone au Sud de l'embouchure.

Le profil A-B situé en bordure de la nappe montre que l'isohaline de 32 ‰ se trouve à peu de profondeur, à l'Ouest de l'embouchure mais descend à une dizaine de mètres de profondeur dans la poche citée plus haut.

Croisière du 26 et 27 septembre 1962

L'Ombango se dirigea vers le S.-O., jusqu'à atteindre le méridien 10° Est. Il longea alors le parallèle 6° Sud, jusqu'à l'embouchure, et remonta ensuite la côte jusque Pointe-Noire.

Septembre marque la fin de la grande saison marine froide et le fleuve entame sa grande crue. L'année 1962 eut un débit général très élevé, qui atteignait 47 000 m³/s au moment de la croisière.

La *figure 47* indique l'allure des isothermes et des isohalines résultant des données fournies par cette croisière. On se trouve devant une situation assez particulière. Une poussée semble s'exercer du Nord vers le Sud, rejetant l'axe du courant fluvio-marin vers l'Ouest.

Il est difficile d'invoquer la venue des eaux guinéennes, ce qui serait normal à cette époque de l'année, du fait que, sur le parallèle de Pointe-Noire, on observe des salinités de 35 ‰.

3. OBSERVATIONS DU M/S *MOBEKA*

Ce navire effectuait assez régulièrement le trajet Banana-Luanda. Grâce à l'obligeance de son commandant, M. HANNON, nous avons pu obtenir une série d'observations, portant sur la température de surface et des échantillons d'eau de surface et à

5 m de profondeur. Il y eut ainsi 4 séries d'observations qui se situèrent pendant les quatre saisons marquantes. Nous avons déjà signalé qu'au cours des années 1962 et 1963, le débit général du fleuve fut au-dessus de la normale. La station de Pointe-Noire ne fit pas d'observations durant ces années et nous ignorons si les saisons marines furent normales. Il faut donc nous référer aux conditions générales du graphique de la *figure 8*. Pour chaque croisière, nous avons dressé une carte où figurent les isothermes et isohalines de surface, ainsi qu'un profil le long de l'axe de navigation.

Observations du 10 octobre 1962 (fig. 48)

On se trouve en petite saison marine chaude. Le débit du fleuve, en crue, était de 52 000 m³/s.

De l'allure des isohalines et des isothermes de surface, on constatera que le long de la côte la salinité est supérieure à 34 ‰ et la température plus basse qu'au large. La poche allongée ainsi délimitée ne contient pas d'eaux à caractères guinéens.

Les isohalines de 32 et 33 ‰ s'incurvent vers l'Ouest, entre les parallèles 7°30' et 8° Sud marquant, dans cette zone, la limite extrême Sud de la nappe fluvio-marine. La limite des eaux guinéennes descend vraisemblablement plus au Sud, comme semble l'indiquer la salinité, inférieure à 34 ‰, rencontrée au point 14.

La coloration des eaux ne put être observée, le navire ayant effectué le trajet la nuit. L'allure des isohalines 33 et 34 ‰ sur le profil dessine une masse d'eau d'une profondeur voisine de 5 m, de l'embouchure jusqu'au point 10 où, selon toute probabilité, les eaux fluviales et guinéennes ont une limite commune.

Observations du 1 janvier 1963 (fig. 49)

On se trouve en fin de petite saison marine froide et le débit du fleuve atteint 63 000 m³/s.

Les isothermes révèlent une température assez haute, paraissant indiquer que la grande saison chaude a commencé. Cependant, la haute salinité observée sur le trajet indique que les eaux guinéennes n'ont pas encore envahi la zone. L'isohaline de

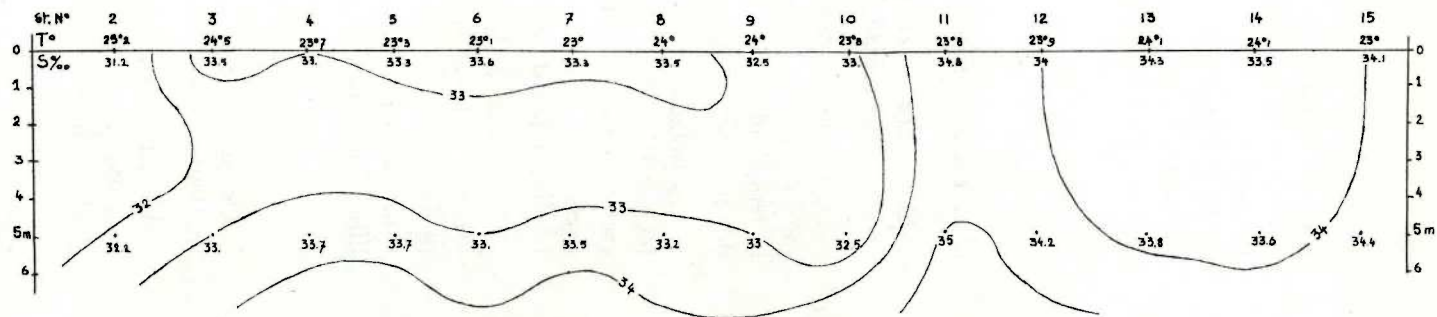
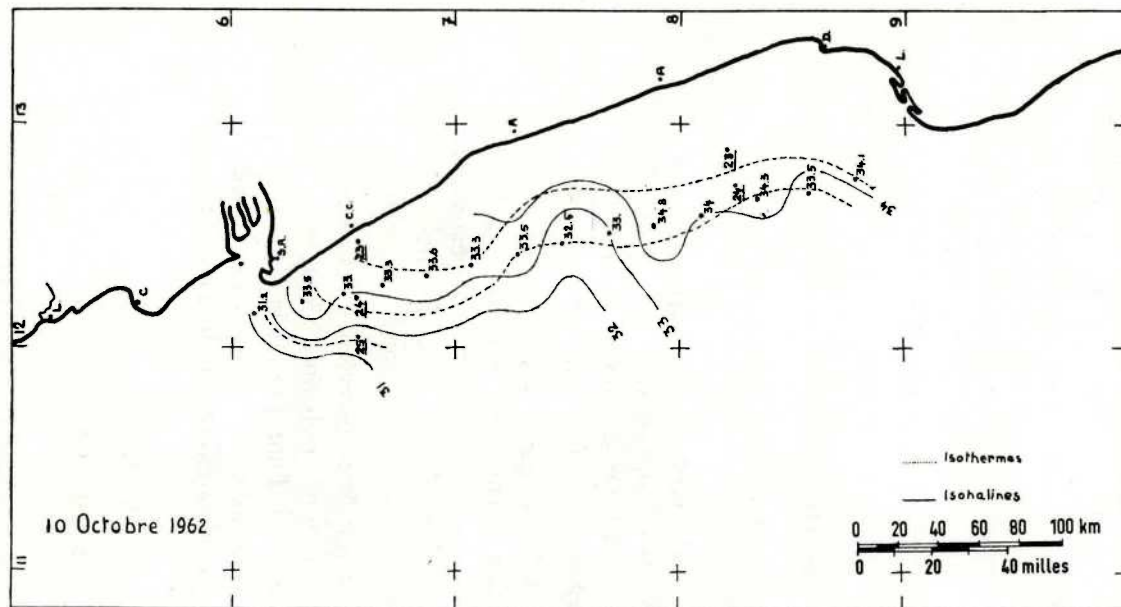


FIG. 48. — Situation de surface et profil dans le Sud, octobre 1962

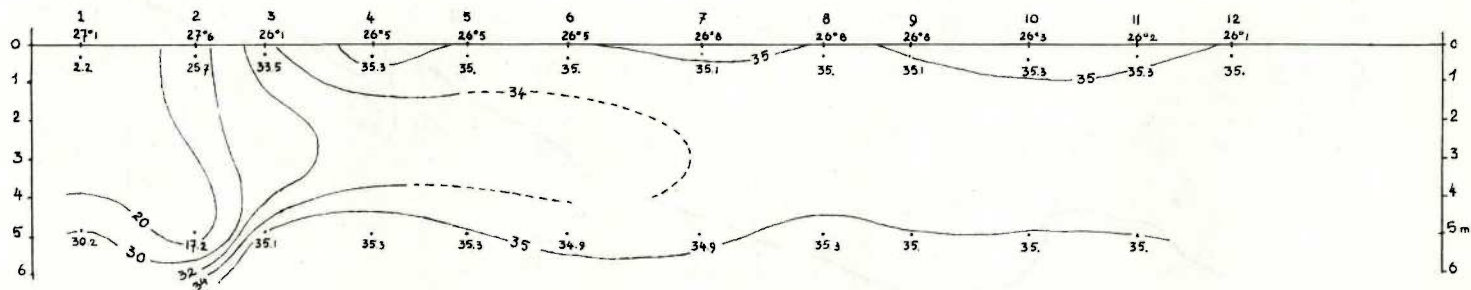
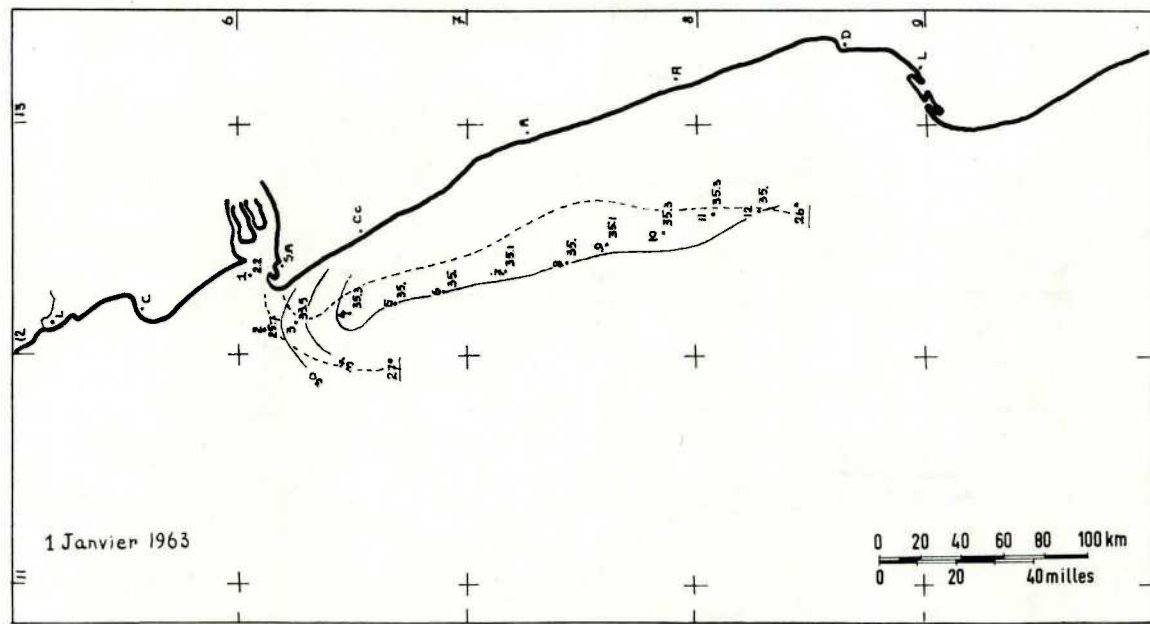


FIG. 49. — Situation de surface et profil dans le Sud, janvier 1963

34‰ se situe à quelques milles au Sud de l'embouchure. Le profil donne la même indication. Comparée avec le cas précédent, la situation indique qu'il y a eu retrait des eaux guinéennes entre octobre et janvier.

Observations du 24 mars 1963 (fig. 50)

On se trouve en pleine grande saison marine chaude. Le fleuve en décrue avait un débit de 49 500 m³/s.

Les températures de surface sont élevées et en concordance avec la saison. L'allure des isohalines indique encore une salinité plus élevée à la côte mais elle accuse un envahissement de toute la zone par des eaux peu salées. Si nous prenons comme limite des eaux fluvio-marines l'isohaline de 32 ‰, on voit que la nappe a sa limite inférieure à proximité du parallèle 9° Sud, soit à 170 milles environ de l'embouchure.

Le profil accuse des eaux fluvio-marines à plus de 5 m de profondeur jusqu'au point 6 et à moins de 5 m plus au Sud.

On notera le retard d'environ trois mois entre le moment où le fleuve a son débit maximal et le moment où la nappe atteint son développement maximal vers le Sud.

Observations du 9 juillet 1963 (fig. 51)

Le s.m. *Mobeka* ne pouvant se rendre à Luanda à ce moment intéressant, le paquebot *Albertville* se chargea d'exécuter le programme prévu.

On se trouvait à ce moment en grande saison marine froide. Isothermes et isohalines indiquent qu'on se trouve en eaux n'ayant ni les caractéristiques des eaux guinéennes ni celles de la nappe fluvio-marine.

Il est à présumer que la limite Sud de la nappe se trouve sur le parallèle 6°20' Sud.

Remarque: Nous avons constaté que l'anse de Luanda ainsi qu'une partie de la côte au Nord de cette anse jouissent d'un régime particulier et ne semblent être envahies par des eaux desalées que dans le cas exceptionnel de très forte crue et en gran-

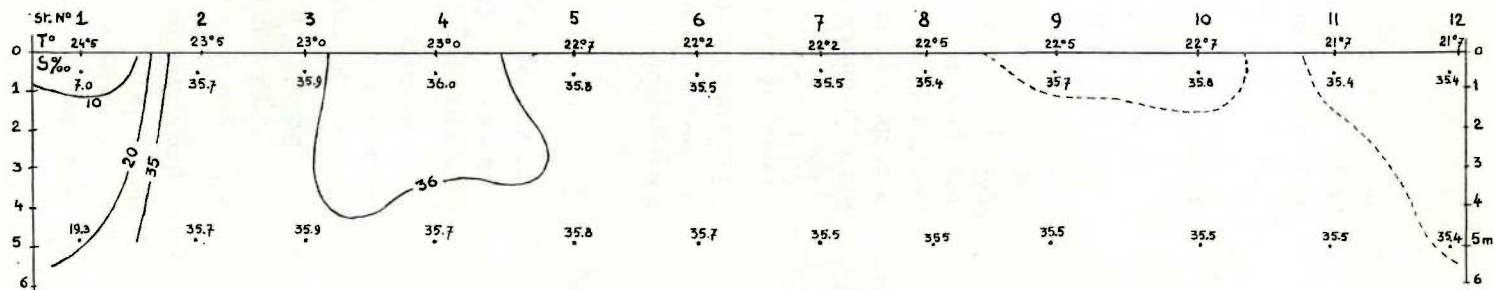
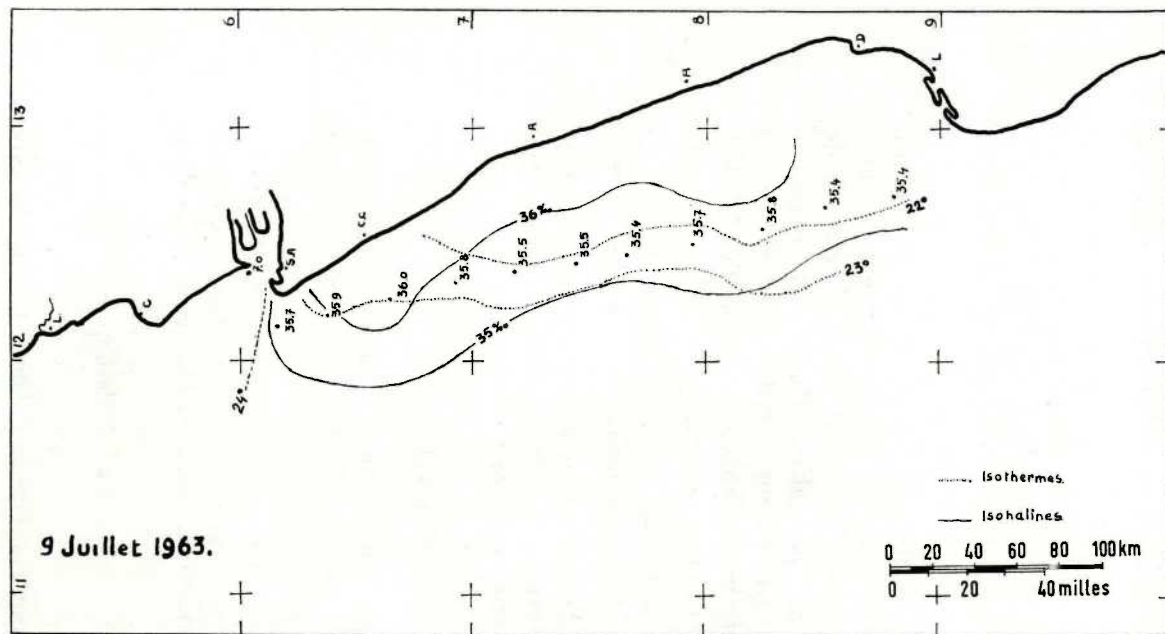


FIG. 51. — Situation de surface et profil dans le Sud, juillet 1963

de saison chaude intense. Cette même particularité s'observe dans l'anse de Cabinda. L'anse moins profonde de Landana, où débouche le fleuve côtier Shiloango, n'a pas cette particularité.

4. OBSERVATIONS DU M/S *FRUBEL CLEMENTINA*

Ce navire opéra, sur un axe orienté vers le Nord-Ouest, de façon similaire à celle adoptée par le m.s. *Mobeka*. La *figure 52* donne la position des stations qui se situaient approximativement au même endroit à chaque passage. On trouvera également le graphique se rapportant au débit du fleuve pendant la période d'observation qui s'étendit de novembre 1961 à septembre 1963.

Les *figures 53 A, B, C, etc.* donnent le profil pour chaque passage. En vue d'éviter un trop grand nombre de cartes, les situations en surface figurent sur les cartes mensuelles des *figures 54 A et B*, qui se rapportent à l'étude du contour de la nappe, question traitée plus loin.

Observations du 9 novembre 1961 (fig. 53 A)

Epoque de petite saison marine chaude. La température de surface est voisine de 26° C et en concordance avec celles des eaux guinéennes.

Le débit du fleuve, encore en crue, atteignait 63 000 m³/s.

La coloration « olive », manifeste au point 7, se prolonge jusqu'au point 8. La couleur passe alors au vert du point 8 au point 9 pour devenir bleue au-delà. La limite apparente de la nappe se situe ainsi au point 8, soit à environ 210 milles de l'embouchure.

L'allure des isohalines 32 et 34‰ vient confirmer ce point de vue. A partir du point 9 et au-delà, on se trouve dans des eaux à salinité normale. Nous pouvons en conclure que la limite de la nappe se trouve entre les points 7 et 9, et à proximité de la limite des eaux guinéennes. Jusqu'au point 6, la nappe a une profondeur de plus de 5 m.

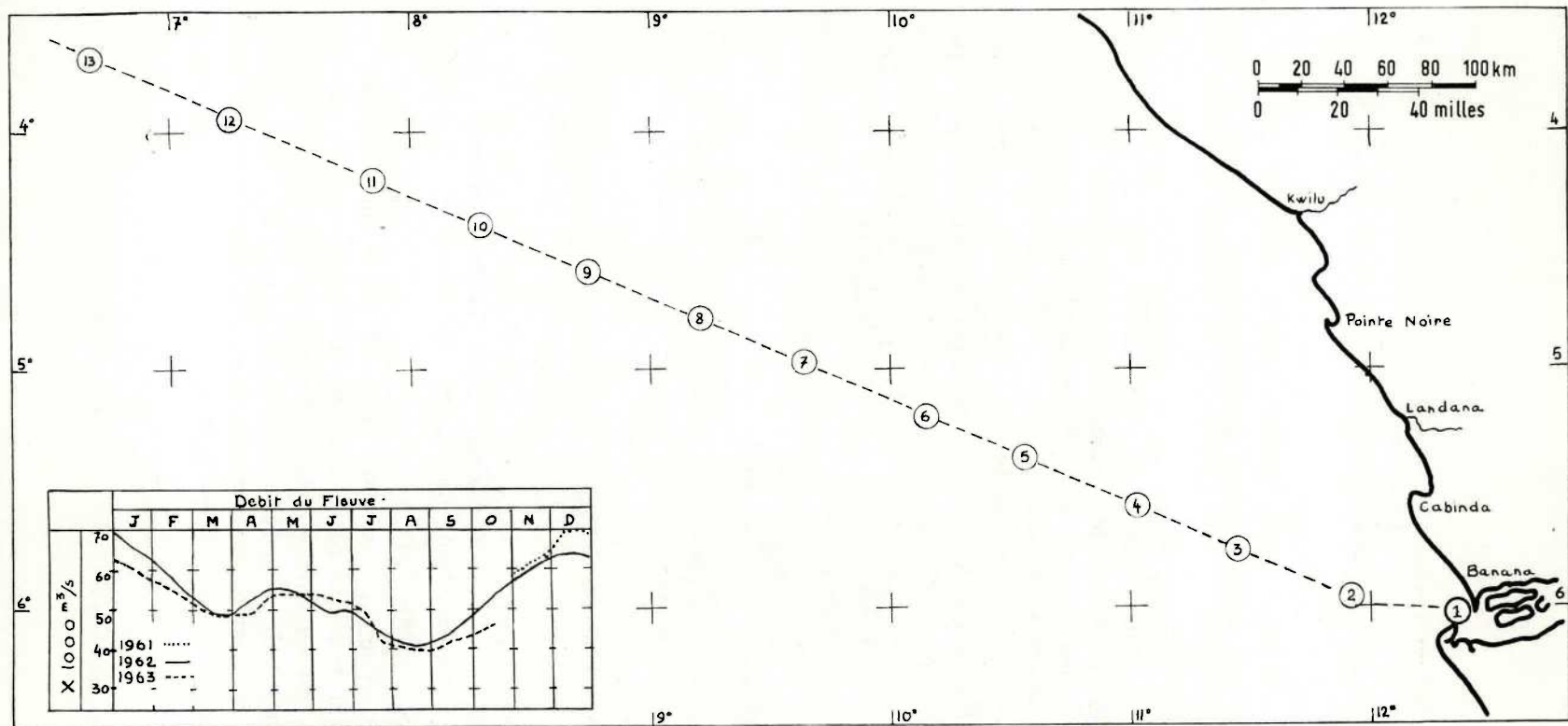
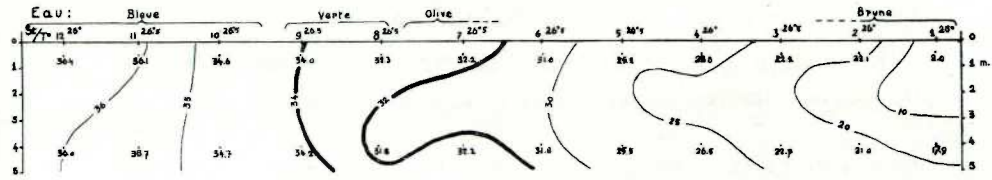


FIG. 52. — Stations du *Frubel Clementina*. — Débit du fleuve de 1961 à 1963

9-10 Novembre 1961

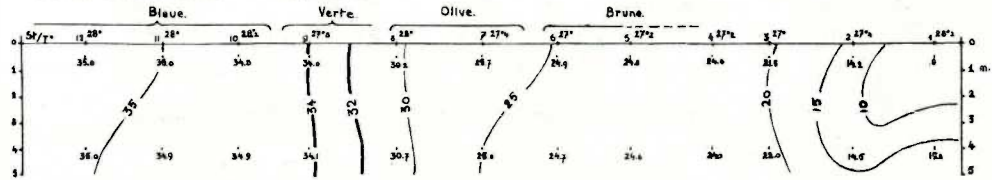
62.700 ‰



A

19-20 Avril 1962

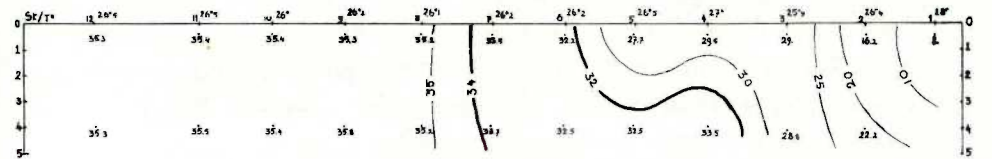
55.300 ‰



B

24-25 Mai 1962

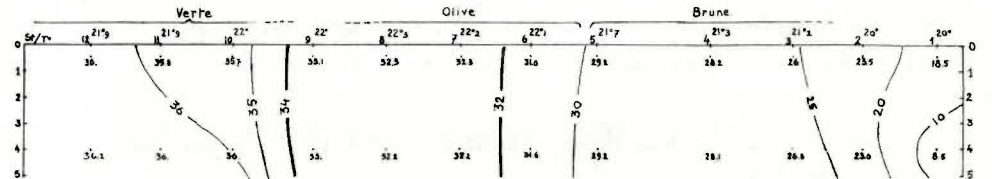
53.300 ‰



C

2-3 Août 1962

42.500 ‰



D

FIG. 53 A, B, C et D. — Sondages et observations du *Frubel Clementina*

Observations du 19 avril 1962 (fig. 53 B)

Epoque de grande saison chaude mais tirant sur sa fin. Les températures de surface se situent entre 27° et 28° C.

Le débit du fleuve, en petite crue, accusait 55 300 m³/s.

La couleur « olive » cesse au point 8, alors que la salinité est encore inférieure à 32 ‰. La couleur verte englobe les isohalines de 32 et 34 ‰, qui sont très voisines. Les limites de la

nappe et des eaux guinéennes semblent se confondre et se trouvent situées à environ 270 milles de l'embouchure.

De l'allure verticale des isohalines, la nappe a une épaisseur de plus de 5 mètres jusqu'à sa limite N.-O. extrême.

Observations du 24 mai 1962 (fig. 53 C)

Mai marque la transition entre la grande saison marine chaude et la grande saison marine froide. On notera l'abaissement des températures de surface par rapport à celles du mois d'avril et qui sont de l'ordre de 25° à 26° C.

Le fleuve a entamé sa grande décrue et son débit diminué accusait 53 300 m³/s.

La couleur « olive » fut remarquée entre les points 6 et 8. Au point 8, la salinité de surface était déjà de 35 ‰. La limite probable de la nappe se situe un peu au-delà du point 7, soit à 210 milles environ de l'embouchure.

On notera l'allure de l'isohaline de 32 ‰, qui dénote un relèvement moins brutal du seuil des eaux océaniques vers la surface.

Observations du 2 août 1962 (fig. 53 D)

Début août se situe encore en grande saison marine froide. Les températures de surface sont basses et comprises entre 20° et 22° C.

Le débit du fleuve, de 42 500 m³/s, n'est plus éloigné du minimum de l'année.

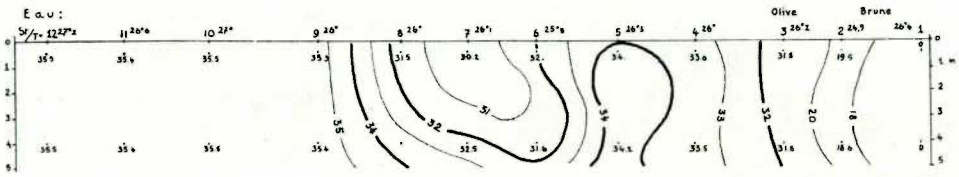
La coloration « olive » fut observée entre les points 5 et 8. La zone de transition est assez étendue mais, en raison de la saison, la limite de la nappe doit se situer aux environs de l'isohaline de 34 ‰.

La profondeur de la nappe est partout supérieure à 5 m.

Observations du 5 décembre 1962 (fig. 53 E)

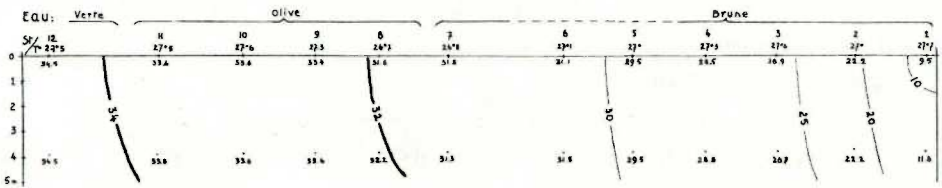
Début décembre se situe en période de transition entre la petite saison marine chaude et la petite saison marine froide.

5-6 Décembre 1962 63 000 %



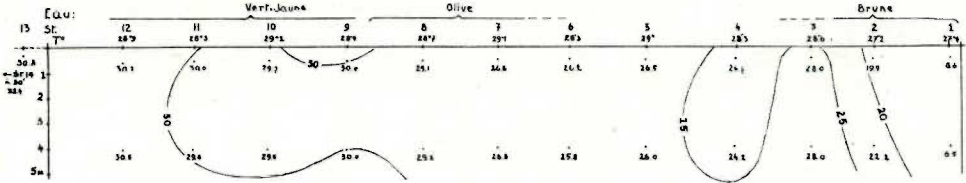
E

9-10 Janvier 1963 61 500 %



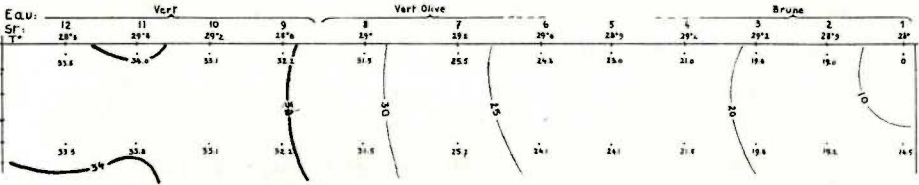
F

13-14 Février 1963 56.000 %



G

20-21 Mars 1963 49.500 %



H

FIG. 53 E, F, G et H. — Sondages et observations du *Frubel Clementina*

Les températures de surface, comprises entre 25° et 27° C, sont en concordance avec cette période de transition de saison.

La coloration ne put être observée.

L'allure des isohalines est assez perturbée et indique que l'axe de navigation se trouve sur la limite sinueuse de la nappe.

Le débit du fleuve, atteignant presque son point culminant de l'année, accusait 63 000 m³/s.

La limite extrême de la nappe, située entre les isohalines 32 et 34 ‰, se trouve au-delà du point 8, soit à environ 240 milles de l'embouchure.

A partir du point 4, le seuil des eaux océaniques se relève et se trouve à moins de 5 m de profondeur.

Observations du 9 janvier 1963 (fig. 53 F)

Début janvier marque la fin de la petite saison marine froide. Les températures de surface sont voisines de 27° C, ce qui marque un réchauffement par rapport au mois précédent.

Le fleuve entamait sa décrue et accusait 61 500 m³/s.

La coloration de transition se manifeste entre les points 7 et 12.

Les isohalines sont plus espacées et indiquent une notable propagation des eaux fluvio-marines vers le N.-O. L'isohaline 34 ‰ se situe à plus de 330 milles de l'embouchure.

La profondeur de la nappe est de plus de 5 m partout.

Observations du 13 février 1963 (fig. 53 G)

Février se situe au début de la grande saison marine chaude. L'année 1963 semble avoir eu une saison précoce et intense, comme en témoigne la température élevée observée en surface, qui se situe entre 28° et 29° C.

Le fleuve en décrue avait un débit déjà sensiblement diminué et accusait 56 000 m³/s.

La coloration « olive » se manifeste au point 7. A partir du point 9, le vert-jaune commence à dominer, à tel point qu'il est jugé utile de prélever un échantillon d'eau 30 milles au-delà du point 12, dernier point prévu.

L'allure des isohalines marque une dessalure qui s'étend fort loin de l'embouchure. Ce ne fut qu'au point 13, soit à 390 milles environ, que l'isohaline 32 ‰ fut rencontrée. Nulle part, on ne retrouve des eaux à salinité élevée à 5 m de profondeur.

Observations du 20 mars 1963 (fig. 53 H)

Mars se situe au cœur de la grande saison marine chaude. Les températures de surface sont élevées et dépassent 29° C.

Le débit du fleuve a encore sensiblement diminué et atteint 49 500 m³/s. Le fleuve subit à ce moment sa petite décrue.

La couleur « olive » se manifeste au point 7 et passe au vert au point 9, qui coïncide avec la position de l'isohaline de 32 ‰. On notera le rapprochement de cette isohaline vers l'embouchure. L'isohaline de 34 ‰ se trouve encore loin vers le N.-O., ce qui laisse supposer que la limite des eaux guinéennes se trouve assez éloignée de la limite de la nappe.

Entre l'embouchure et la position de l'isohaline de 32 ‰, la profondeur de la nappe dépasse 5 m.

Observations du 24 avril 1963 (fig. 53 I)

Fin avril, on se trouve au début de la transition entre la grande saison marine chaude et la grande saison marine froide. Les températures de surface sont encore élevées et voisines de 29° C.

La coloration ne put être observée, la grande partie du trajet ayant été effectué de nuit.

Le débit du fleuve, en petite crue, accusait 51 700 m³/s.

L'isohaline de 32 ‰ s'est encore rapprochée de l'embouchure. Avec le changement de saison, la limite de la nappe devant être située sur une isohaline voisine de 33 ‰, nous devons considérer qu'elle doit se trouver entre les points 8 et 11.

On notera que jusqu'au point 7 la nappe a plus de 5 m de profondeur mais qu'au-delà de ce point, dans la zone de transition, l'isohaline de 34 ‰ se trouve à plus ou moins cette profondeur.

Observations du 29 mai 1963 (fig. 53 J)

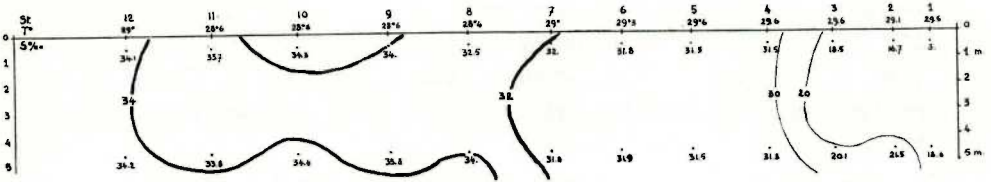
Mai se situe entre les deux grandes saisons marines; on constatera que les températures de surface ont légèrement baissé mais restent encore très élevées pour la saison.

On se trouve au point culminant de la petite crue, avec un débit de 54 500 m³/s.

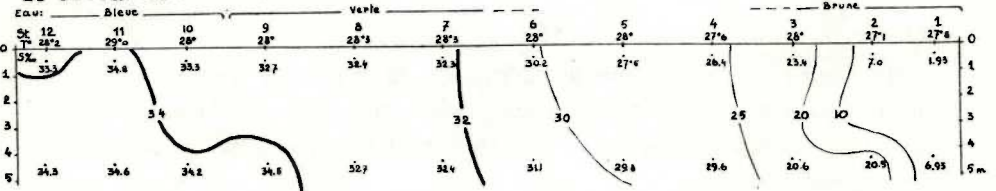
La couleur verte est nettement observée au point 7, où se situe l'isohaline de 32 ‰ qui, par rapport au mois d'avril, se trouve plus éloignée de l'embouchure. Il en va de même pour l'isohaline de 34 ‰.

Jusqu'à l'isohaline de 32‰, la profondeur de la nappe est supérieure à 5 m.

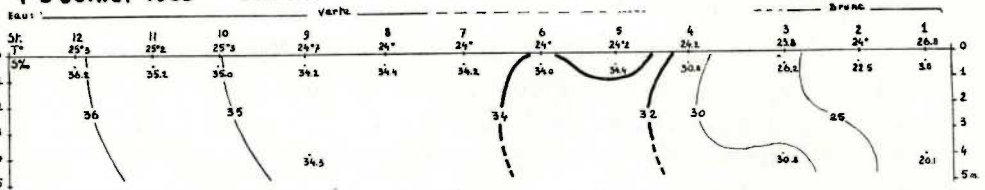
24-25 Avril 1963 51.700 ‰



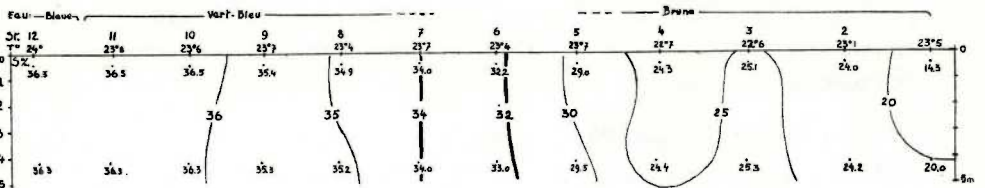
29-30 Mai 1963 54.500 ‰



4-5 Juillet 1963 50.600 ‰



7-8 Août 1963 40.700 ‰



11-12 Septembre 1963 42.000 ‰

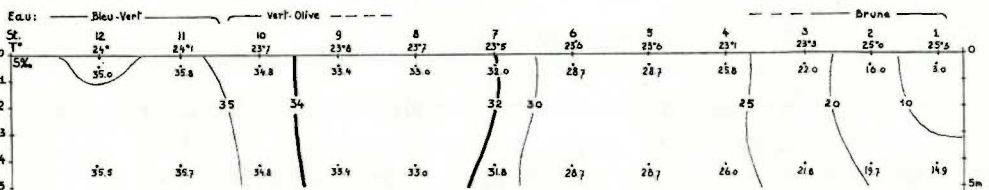


FIG. 53 I, J, K, L et M. — Sondages et observations du *Frubel Clementina*

Observations du 4 juillet 1963 (fig. 53 K)

Juillet se situe en pleine grande saison marine froide. Les températures de surface se situent entre 24° et 25° C. La saison ne marque pas une grande intensité.

En 1963, la petite crue se prolongea au-delà de la normale et le débit du fleuve atteignait encore 50 600 m³/s.

La coloration ne put être observée qu'à partir du point 8, où elle était verte. On se trouvait déjà dans des eaux océaniques, l'isohaline de 34‰ s'étant à nouveau rapprochée de l'embouchure. La limite de la nappe se trouve au point 6, soit à environ 180 milles de l'embouchure.

En profondeur, il n'y eut pas d'observations aux points 4, 5 et 6 mais il est probable que jusqu'au point 5 les eaux océaniques se trouvent à plus de 5 m de profondeur.

Observations du 7 août 1963 (fig. 53 L)

Début août marque la fin de la grande saison marine froide. Les températures de surface sont comprises entre 23° et 24° C. Ces températures sont supérieures à la moyenne de la saison, ce qui confirme qu'en 1963, la grande saison marine froide ne fut pas intense.

Le fleuve atteint son débit minimal de l'année, soit environ 40 700 m³/s.

Le navire passa de nuit aux points 5, 6 et 7, où se trouvait la zone de transition, et le changement de couleur ne put être observé.

L'isohaline de 34‰, qui doit être prise comme limite de la nappe, se situe au point 7, soit à environ 210 milles de l'embouchure.

Le seuil des eaux océaniques est à plus de 5 m de profondeur.

Observations du 11 septembre 1963 (fig. 53 M)

Septembre se situe au milieu de la période de transition séparant la grande saison marine froide de la petite saison marine chaude. Les températures de surface, comprises entre 23° et 24° C,

n'accusent qu'une très faible augmentation par rapport à celles du mois d'août. Il semble y avoir du retard dans le changement de saison.

Le débit du fleuve marque un léger accroissement; il est de 42 000 m³/s.

L'isohaline de 34‰ se situe entre les points 9 et 10, soit à environ 285 milles de l'embouchure. La coloration « olive » s'étend un peu au-delà du point 10. La haute salinité observée au-delà de ce point vient confirmer le retard mentionné plus haut.

La limite inférieure de la nappe se situe partout à plus de 5 m de profondeur.

De l'examen des situations décrites ci-dessus les faits suivants se dégagent:

Les températures de surface des eaux de la nappe fluvio-marine sont en concordance avec celles des saisons marines.

Sur les axes étudiés, la distance de l'embouchure à la limite de la nappe varie d'un mois à l'autre. S'il existe une relation de cause à effet entre le volume du débit et la position de cette limite, elle se manifeste parfois avec un assez grand retard.

Les conditions ne se répètent pas d'une année à l'autre de façon identique.

L'allure verticale des isohalines en bordure de la nappe indique qu'en général, la nappe se termine par un front de plus de 5 m de profondeur, mais il peut arriver que l'halocline limitant la nappe en profondeur rejoigne plus ou moins graduellement la surface.

5. ETENDUE DE LA NAPPE FLUVIO-MARINE

Pour essayer de nous représenter le contour de la nappe et ses variations, nous avons reporté sur des cartes mensuelles tous les éléments que nous avons pu recueillir.

Ces cartes font l'objet des *figures 54 A et B*. Chaque carte mensuelle porte le nom des bateaux, la date de la croisière et le débit

du fleuve au moment de l'observation. Pour le mois de juin, nous ne possédons aucune donnée.

Vers l'Ouest et le Sud-Ouest, les éléments nous faisaient souvent défaut. Nous avons néanmoins tracé une limite présomptive qui est figurée par une bande en grisaille.

La plupart des observations ayant eu lieu pendant des années où le débit du fleuve était très élevé, il y a lieu de considérer que les contours de la nappe tels que nous les avons tracés pour chaque mois déterminent des aires de développement maximal.

Considérons la situation en janvier. Le fleuve se trouve en pleine crue et, au moment des observations, la petite saison marine froide touche à sa fin. Nous avons, pour cette raison, pris l'isohaline de 34‰ comme limite probable de la nappe. Au Nord-Ouest, elle se situe sur le parallèle 4° Sud et s'étend jusqu'au méridien 7° Est. Dans le Sud, les eaux fluvio-marines descendent plus bas que le parallèle 7° Sud.

En février, nous possédons des repères dans toutes les directions. Le fleuve est en décrue et la grande saison marine chaude s'installe. Dans le Nord-Ouest, la limite, qui à cette saison commence à se confondre avec l'isohaline de 32‰, atteint le parallèle 3° Sud et s'étend jusqu'au méridien 6° Est. Dans l'Ouest, la limite se situe sur le méridien 8° Est à hauteur de l'embouchure. Dans le Sud, nous voyons se développer une poche dont la limite inférieure touche le parallèle 8° Sud.

En mars, le fleuve atteignant le point bas de la petite décrue en pleine saison marine chaude, la nappe, délimitée par l'isohaline de 32‰, marque un retrait dans le Nord-Ouest, où elle atteint le parallèle 4°30' S et le dépasse quelque peu au méridien 7° Est. Par contre, elle prend une plus grande extension dans le Sud, où sa limite inférieure touche le parallèle 9° Sud.

En avril, le fleuve voit son débit subir la petite crue et l'on se trouve en fin de saison marine chaude. La nappe paraît se contracter sensiblement. Dans le Nord-Ouest, l'isohaline de 32‰ se situe entre les parallèles 4° et 5° Sud jusqu'au méridien 7° Est. Dans le Sud, la limite remonte vers le Nord au-delà du parallèle 8° Sud. Nous avons tracé la limite présomptive sur ce parallèle, car les observations de 1959 se rapportaient à une année où le débit du fleuve fut assez bas.

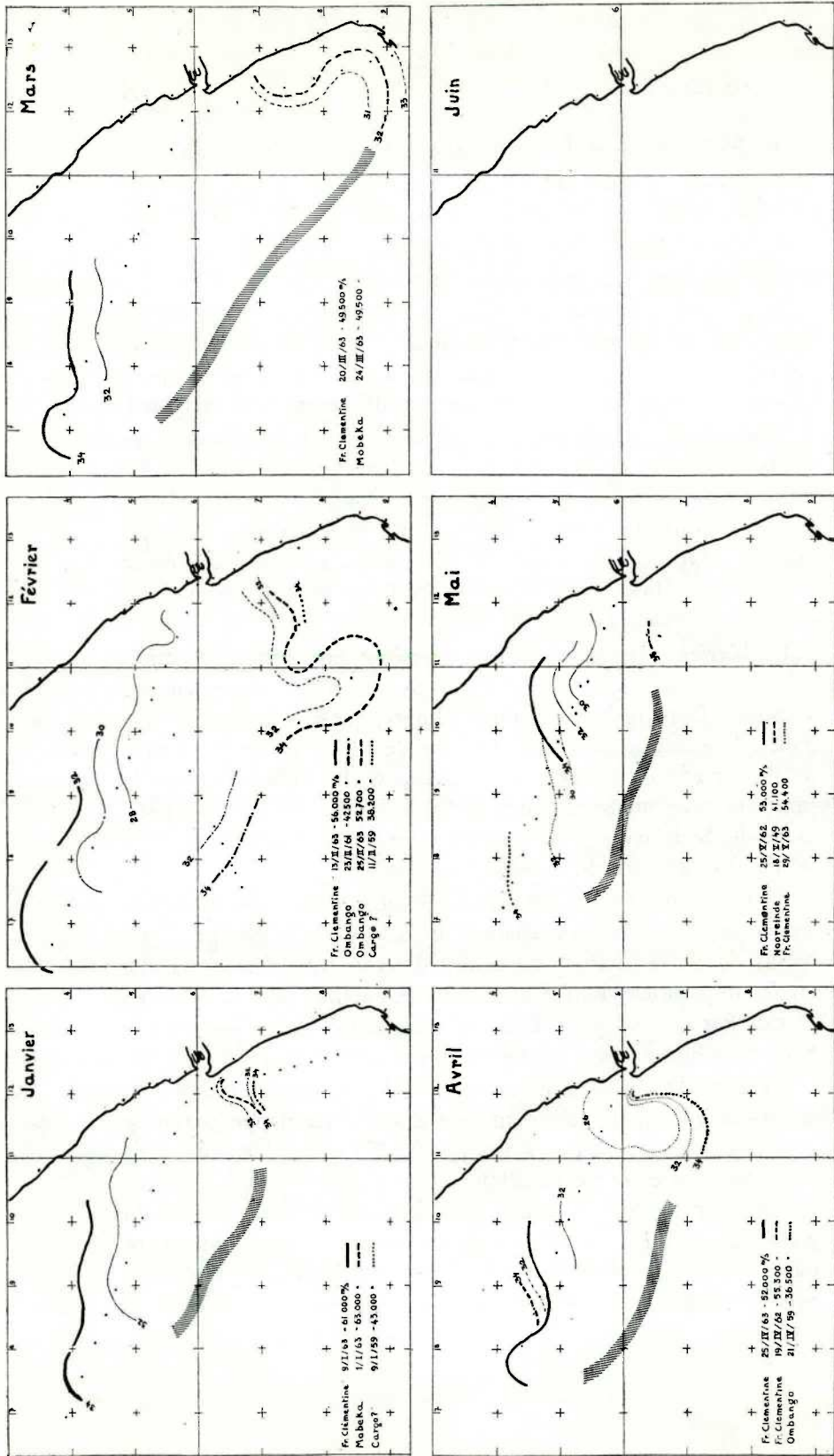


FIG. 54A. — Cartes mensuelles donnant les limites présumées de la nappe fluviomarine

Mai marque la transition entre les grandes saisons marines chaude et froide alors que le fleuve a repris sa décrue. L'étendue de la nappe, dont la limite se situera entre les isohalines de 32 à 33 ‰, ne paraît pas varier mais semble s'orienter plus à l'Ouest. La limite Nord se situe sur le parallèle 5° Sud et sa limite Sud sur le parallèle 6°30' Sud.

En juillet et en août, le débit du fleuve atteint son minimum, alors qu'on se trouve en grande saison froide. La nappe se trouve réduite à son minimum de superficie. La nappe, dont la limite se situe sur l'isohaline de 34 ‰, atteint dans le Nord-Ouest le parallèle 5° Nord et le méridien 6° Est, alors que, dans le Sud, la limite n'arrive pas au parallèle 7° Sud.

Septembre voit le fleuve entamer sa grande crue pendant la transition entre grande saison marine froide et petite saison marine chaude. Nous avons vu la situation particulière qui se présenta en 1962 mais, en 1963, l'extension de la nappe vers le N.-O. semble normale. La nappe, sans avoir changé d'étendue, marque une tendance à s'orienter plus à l'Ouest.

En octobre et novembre, se situe la petite saison marine chaude et le débit du fleuve croît considérablement. Les données de 1959 marquent un faible développement vers le Nord-Ouest; en novembre, il est plus marqué. Dans le Sud, l'extension est marquée comme en grande saison chaude mais la limite, qui se situe à peu près sur l'isohaline de 33 ‰, descend moins vers le Sud en raison de la durée plus courte et des caractères moins intenses de cette saison marine.

Mi-décembre voit le fleuve atteindre le point culminant de la grande crue au moment où commence la petite saison marine froide. Une orientation plus marquée vers le Nord-Ouest se dessine et une légère remontée de la limite Sud vers le Nord. Faute de données intéressant l'Ouest et le Sud-Ouest, il nous est difficile de déterminer le contour de la nappe.

Nous constatons ainsi qu'en juillet-août, la nappe présente la superficie la plus faible de l'année; nous l'estimons de 40 à 50 000 kilomètres carrés, avec une orientation générale vers le N.-O.

Cette superficie ne croît que faiblement de septembre à novembre, malgré le débit croissant du fleuve. Mais on note, en

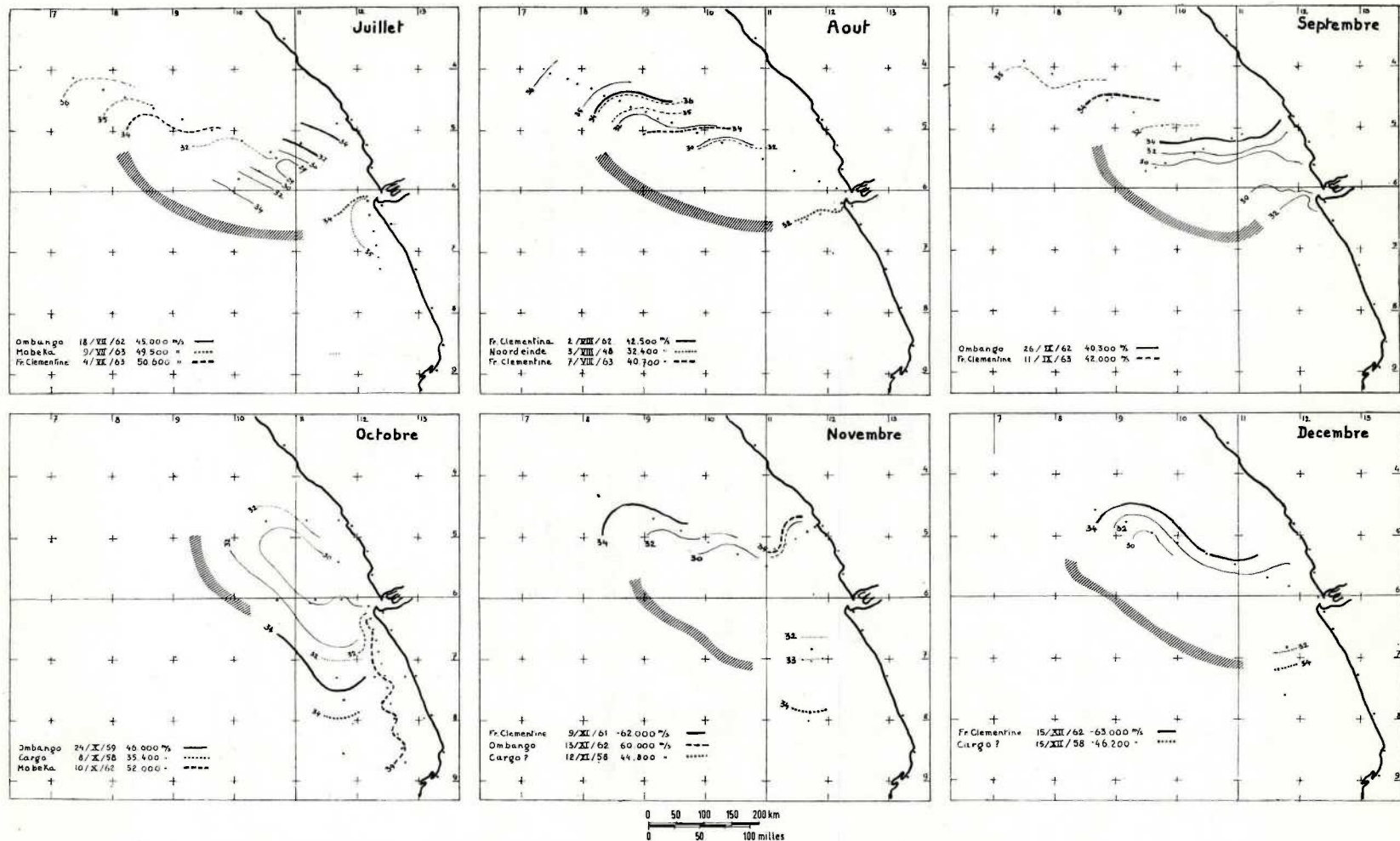


FIG. 54 B. — Cartes mensuelles donnant les limites présomptives de la nappe fluvio-marine

octobre-novembre, une expansion vers le Sud. En décembre, alors que le débit atteint son maximum, l'extension vers le N.-O. s'accroît; fin janvier, l'invasion vers le Sud se manifeste et la nappe, à ce moment, couvre de 80 à 90 000 km² environ.

L'expansion maximale se produit en février-mars. L'étendue de la nappe peut alors atteindre de 120 à 140 000 km². En février, l'expansion continue à se développer dans le Nord-Ouest mais, en mars, on y constate un retrait, alors que dans le Sud se produit l'expansion maximale de l'année.

A partir du mois d'avril, la nappe se contracte assez rapidement pour atteindre à nouveau, en juin, la superficie réduite constatée en juillet-août.

6. RÉGIME DE LA NAPPE FLUVIO-MARINE

Nous avons essayé d'établir un diagramme montrant le régime de la nappe en fonction du débit et de la saison marine (*fig. 55*).

Nous y avons fait figurer la position des saisons marines, l'allure du débit du fleuve pendant la période d'observation ainsi que les positions en latitude des limites observées au Nord et au Sud du parallèle de l'embouchure. A chaque observation marquée d'une croix, figurent l'année et le débit du fleuve, en milliers de m³/s, à la date de l'observation. Les fragments de courbe ont été établis en reliant les observations consécutives ayant trait à la même année.

Malgré ses lacunes, ce diagramme donne une idée assez claire de la relation qui existe entre l'oscillation des limites de la nappe, le débit et la saison marine.

Deux questions se posent:

Pourquoi l'extension de la nappe ne croît-elle pas en concordance avec la grande crue qui se produit de septembre à décembre et pourquoi continue-t-elle à s'amplifier alors que le fleuve est en décrue?

Pourquoi en février, alors qu'on se trouve en saison marine chaude, continue-t-on à voir la nappe s'étendre vers le Nord-

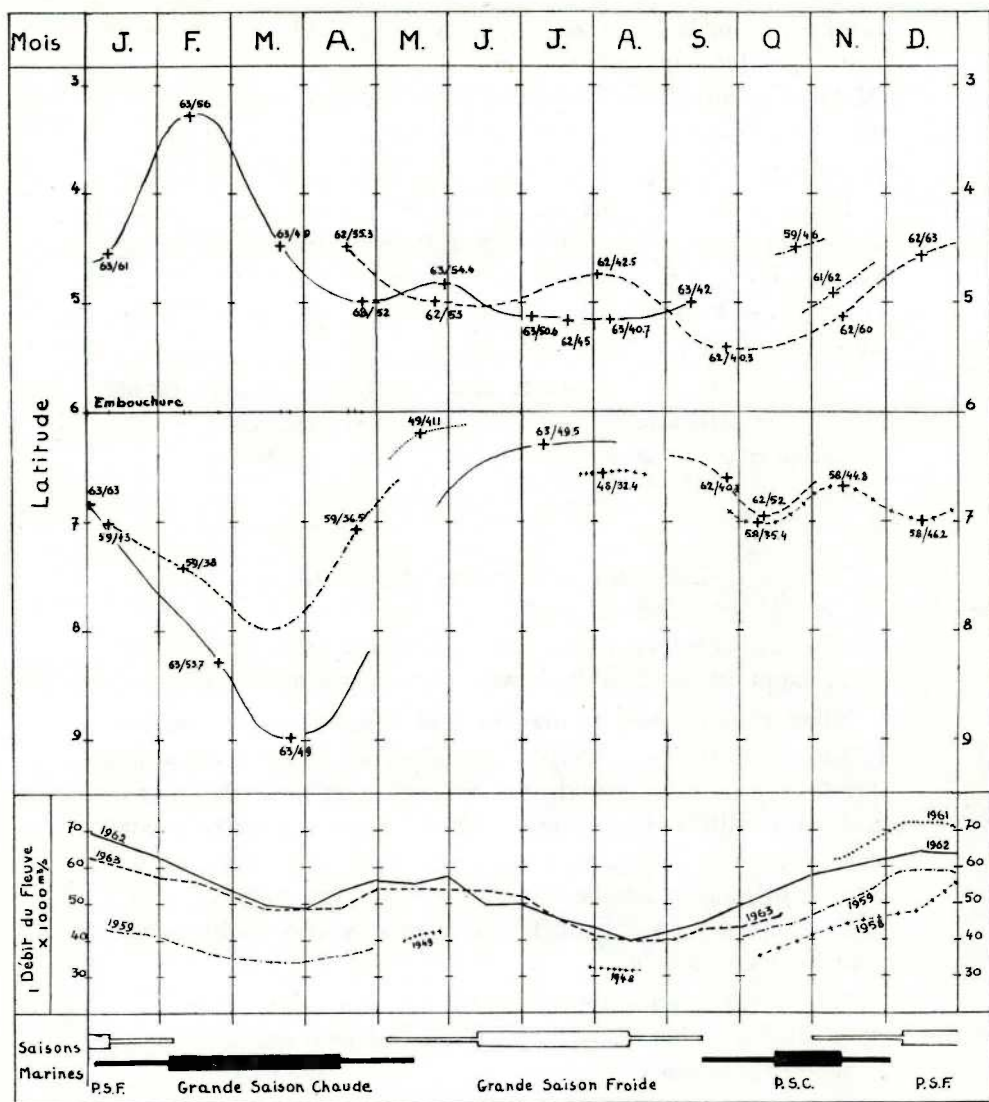


FIG. 55. — Régime de l'extension de la nappe fluvio-marine

Ouest et ne voit-on son extension vers le Sud qu'un mois après?
 Pour répondre à la première question, nous pouvons nous reporter à la figure 13. Nous y voyons qu'en août, la nappe au moment du débit minimal n'atteint que 5 m de profondeur à

l'embouchure. Par contre, en novembre et en janvier, on constate que la nappe est plus profonde. Il n'est donc pas impossible que les eaux de la nappe aient tendance à s'accumuler pendant la période de crue, au cours de laquelle survient la petite saison chaude qui provoque un ralentissement ou un arrêt de la circulation générale vers le N.-O. Ce n'est que lorsque l'accumulation atteint un point critique que la nappe se développe, ce qui semble n'avoir lieu qu'en décembre.

Quant à la seconde question, nous ne pouvons émettre qu'une hypothèse. Lors du passage de la saison froide à la saison chaude, les eaux guinéennes envahissent d'abord la zone côtière pour élargir leur aire ensuite. Une circulation vers le Nord-Ouest persisterait encore en février au large et entraînerait encore des eaux fluvio-marines dans cette direction. Ce ne serait qu'en mars que les eaux guinéennes occuperaient entièrement leur espace propre et favoriseraient ainsi la grande expansion vers le Sud.

RESUME ET CONCLUSIONS

Le fleuve Congo a un débit qui, au cours de l'année, varie de 25 à plus de 60 000 m³/s. Les eaux du fleuve commencent à se mélanger avec des eaux marines en amont de son embouchure. Ces eaux mélangées sortent à l'embouchure sous forme d'une nappe animée d'une vitesse de 6 à 10 km à l'heure. Cette nappe est formée de couches plus ou moins concentriques à salinité croissant vers le bas. La salinité normale des eaux marines se retrouve entre 5 et 12 m de profondeur.

Au sortir de l'embouchure, il se forme une masse d'eau assez étendue et relativement peu profonde. Elle a comme caractère particulier une salinité qui croît régulièrement de l'embouchure vers le large et de la surface vers la profondeur, cette dernière pouvant atteindre 20 m. Cette masse d'eau, que nous avons désignée sous le nom de nappe fluvio-marine, subit des fluctuations en relation avec le débit du fleuve et la nature des eaux marines où elle se forme.

La circulation générale des eaux océaniques porte vers le N.-O., amenant du Sud des eaux froides (20°-22° C) et à salinité de plus de 35 ‰. Deux fois par an, des eaux, ayant leur origine dans le golfe de Guinée, caractérisées par une température élevée (28° à 30° C) et une dessalure pouvant tomber sous 32 ‰, envahissent la région côtière en direction Sud. On note ainsi deux périodes d'apparition d'eaux océaniques alternant avec des eaux guinéennes. On peut donc distinguer quatre saisons marines, deux froides et deux chaudes de longueur et d'intensité inégales et variables d'une année à l'autre.

En grande saison marine froide, qui se situe en juillet-août, ce sont donc des eaux froides à haute salinité qui circulent en direction N.-O. dans la région côtière, alors que le débit du fleuve atteint son minimum de l'année. La nappe fluvio-marine

se trouve entraînée vers le N.-O. et on en trouve sa limite à environ 250 milles dans cette direction. La superficie de la nappe est relativement réduite et son épaisseur a un peu plus de 5 m.

En septembre, on observe une période de transition et la circulation vers le N.-O. est freinée, puis arrêtée pour faire place, en octobre-novembre, à l'invasion des eaux guinéennes de la petite saison marine chaude. La température des eaux monte; la nappe fluvio-marine gagne en épaisseur, celle-ci pouvant aller jusqu'au-delà de 12 m. La superficie de la nappe ne croît pas en proportion du débit croissant du fleuve. Dans le N.-O., on ne constate pas de retrait de la limite mais on note un étalement dans le Sud où la limite se situe à quelque 90 milles de l'embouchure.

Décembre et janvier voient réapparaître la circulation des eaux vers le N.-O., alors que le fleuve atteint son débit maximal. La superficie de la nappe croît sensiblement et ses eaux marquent le refroidissement dû à la petite saison marine froide. La nappe prend de l'extension vers le N.-O. où on trouve la limite à 300 milles de l'embouchure. Elle semble s'élargir mais marque un retrait dans le Sud.

De fin janvier à fin mars, règne la grande saison marine chaude qui présente beaucoup plus d'intensité qu'en octobre-novembre. La température de la nappe atteint le maximum compris entre 28° et 30° C. Le débit du fleuve décroît sensiblement.

Les eaux guinéennes envahissent à nouveau la région côtière en s'insérant d'abord en bordure de la côte. L'accumulation des eaux de la nappe, dont la profondeur dépasse 12 m, semble être arrivée à un point critique à partir duquel la nappe va prendre une extension considérable.

En février, on voit celle-ci se développer vers le N.-O. où la limite peut se situer jusqu'à 390 milles de l'embouchure. L'extension vers le Sud a repris et on peut en trouver les limites à 130 milles dans le Sud de l'embouchure.

Par contre, en mars, si la superficie de la nappe reste à peu près la même, on note un retrait dans le N.-O. mais une extension plus considérable dans le Sud, jusqu'à hauteur de Luanda.

En avril et mai, se produit la transition entre grandes saisons chaude et froide. Le fleuve subit sa petite crue en avril mais

reprend sa grande décrue fin mai. La température des eaux se refroidit. A partir d'avril, la nappe se contracte, les limites se rapprochant de l'embouchure tant dans le N.-O. que dans le Sud. Il n'est pas exclu qu'au cours de ces deux mois, la superficie de la nappe subisse des oscillations jusqu'au moment où elle est ramenée aux dimensions constatées en juillet, départ d'un nouveau cycle.

En bordure immédiate de la côte, de part et d'autre de l'embouchure, les eaux côtières constituent le bord Est de la nappe et subissent le même régime que celle-ci, mais il s'y ajoute des variations en température et en salinité semi-diurnes sous l'effet de la marée.

La zone côtière au Nord de l'embouchure, qui s'étend de Banana jusqu'à proximité de Cabinda, baigne toute l'année dans la nappe. Ce n'est qu'en saison froide, vers 7 ou 8 mètres de profondeur, qu'on pourra trouver des eaux océaniques à salinité normale. Comme cette côte est bordée par un haut fond large de plusieurs milles, les eaux, à la rive, présenteront toujours une dessalure prononcée.

La côte Sud, par contre, peut connaître en saison froide des eaux océaniques à salinité normale jusqu'à proximité immédiate de l'embouchure.

La connaissance de l'étendue et de la profondeur de la nappe peut avoir une signification lorsqu'on considère les perturbations que peut amener la présence de deux masses d'eaux différentes et superposées lors de l'utilisation d'appareils électroniques de sondage ou de repérage. Cependant, elle revêt une importance plus considérable en matière de pêche maritime. Il est un fait connu que le poisson fuit les eaux guinéennes trop chaudes, dessalées et pauvres en plancton. Mais la présence d'une thermocline ou bien la limite de deux masses d'eaux à caractères différents et de mouvement contraire peuvent constituer des lieux de prédilection pour le poisson.

En saison chaude, la zone de la thermocline qui, en profondeur, limite la nappe fluvio-marine, ainsi qu'à l'Ouest la limite entre les eaux océaniques et les eaux guinéennes au moment où elles se propagent vers le Sud déterminent des régions où une étude plus approfondie pourrait être opportune.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Africa pilot, part II (Admiralty Hydrographic Department).
- [2] Archives du Centre océanographique de Pointe-Noire.
- [3] Archives du Service des voies navigables (Boma, République du Congo).
- [4] BERRIT, G.R.: Les saisons marines à Pointe-Noire (O.R.S.T.O.M., Paris, 1958).
- [5] — : Conditions hydrologiques en fin de saison chaude à Pointe-Noire (O.R.S.T.O.M., Paris, 1959).
- [6] BOURCART, J.: Les frontières de l'océan (Albin Michel, Paris, 1952).
- [7] DEVROEY, E. et VANDERLINDEN, R.: Le Bas-Congo (Goemare, Bruxelles, 1951).
- [8] DEVROEY, E.: Le bassin hydrographique congolais (ARSOM, Bruxelles, 1941).
- [9] — : Observations hydrographiques du bassin congolais (1932-1947) (ARSOM, Bruxelles, 1948).
- [10] — : Observations hydrographiques au Congo belge et au Ruanda-Urundi (1948-1950) (ARSOM, Bruxelles, 1951).
- [11] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1951) (ARSOM, Bruxelles, 1952).
- [12] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1952) (ARSOM, Bruxelles, 1953).
- [13] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1953) (ARSOM, Bruxelles, 1954).
- [14] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1954) (ARSOM, Bruxelles, 1955).
- [15] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1955) (ARSOM, Bruxelles, 1956).
- [16] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1956) (ARSOM, Bruxelles, 1957).
- [17] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (1957) (ARSOM, Bruxelles, 1958).
- [18] — : Annuaire hydrologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi pour 1958 (ARSOM, Bruxelles, 1959).

- [19] — : Annuaire hydrologique du Congo et du Ruanda-Urundi pour 1959 (ARSOM, Bruxelles, 1961).
- [20] GARBE, M.: Observations effectuées dans la baie de Banana (Rapport Mission SYNEBA, Bruxelles, 1929).
- [21] GUICHER, A.: Morphologie littorale (Presses Universitaires de France, Paris, 1954).
- [22] HARVEY, H.W.: Recent advances in the chemistry and biology of sea water (University Press, Cambridge, 1945).
- [23] HEEZEN, B.C.; EWING, M.; MENZIES, R.J. and GRANELLI, N.: Extending the limits of the Congo submarine Valley (*Bull. Geological Soc. of America*, vol. 68, n° 12, part 2, pp. 1 743-1 744, 1957).
- [24] PUREY-CRUST, H.E.: Report on undercurrents in the river Congo (Hydrographic Department, London, 1900).
- [25] SPRONCK, A. et TRIQUET: Hydrographie de la côte océanne du Congo belge (C.E.R.E.S., Liège, 1948).
- [26] SPRONCK, A.: Mesures hydrographiques, Bief maritime du Congo (ARSOM, Bruxelles, 1941).
- [27] VAN GOETHEM, Ch.: Etude physique et chimique. Expédition océanographique belge dans les eaux côtières africaines (*I.R.Sc. Nat. de Belgique*, Bruxelles, 1951).
- [28] VEATCH, A.C. and SMITH, P.A.: Atlantic submarine Valleys (*Geological Soc. of America*, special paper, n° 7, 1939).

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	1
SAMENVATTING	3
AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION	7
I. GÉOGRAPHIE SOMMAIRE	13
II. LES SAISONS MARINES	24
III. LE FLEUVE CONGO	32
IV. CHOIX DES MOMENTS D'OBSERVATIONS	46
V. COMPTE RENDU DES CROISIÈRES	49
Croisière n° I	49
Croisière n° II	63
Observations intermédiaires	73
Croisière n° III.	76
Observations intermédiaires	85
Croisière n° IV	88
Croisière n° V	97
VI. CONSIDÉRATIONS DIVERSES	105
VII. EXTENSION ET RÉGIME DE LA NAPPE FLUVIO-MARINE	111
Observations du <i>Noordeinde</i>	113
Observations de l' <i>Ombango</i>	115
Observations du m.s. <i>Mobeka</i>	120
Observations du m.s. <i>Frubel Clementina</i>	127
Etendue de la nappe fluvio-marine	136
Régime de la nappe fluvio-marine	141
RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	144
BIBLIOGRAPHIE	147
TABLES DES MATIÈRES	149

Achevé d'imprimer le 6 mai 1968
par l'Imprimerie SNOECK-DUCAJU et Fils, S.A., Gand-Bruxelles