Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr., vol. IV, n° 2, 1966.

ÉTUDE DYNAMIQUE DE LA SÉDIMENTATION AU LARGE DE L'ESTUAIRE DE LA BETSIBOKA

par L. BERTHOIS* et A. CROSNIER**

English abstract

The river Betsiboka is the largest river in Madagascar. Its discharge can vary from 400 m^3 / sec to more than 4500 m^3 / sec.

In low stage its estuary belongs to the river mouths in which the equilibrium zone is situated at the coastline, whereas during the floods the equilibrium zone moves out of the coastline (L. Berthois, 1965).

The study of sediment transportation, as well as the grainsize analysis of coarse sediments, and the mineralogical study of fine sediments (thermal differential analysis and X rays), show that the coarse sediments found on the continental shelf are not supplied presently by the river, which only carries a large amount of fine particles. This fine material settles principally at the river mouth in low stage and spreads on the shelf during floods.

As a consequence of low salt content and occurrence of suspended matter in water, the corals which live on the outer edge of the shelf have difficulties to thrive.

Measurements of Potassium, Calcium and Magnesium in fresh and in brackish waters showed that cation percentages are a function of chlorinity and follow linear relations in their variation.

Introduction

C'est en survolant en avion l'estuaire du fleuve Betsiboka et le canal de Mozambique que nous est venue l'idée de ce travail ; les eaux sortant de l'embouchure du fleuve étendaient vers le large, leur coloration rouge, puis verte tranchant sur le bleu intense des eaux de l'Océan Indien, formaient une admirable et immense palette aux couleurs vives.

---

* E.N.S.A. Rennes
** O.R.S.T.O.M.

Mais nous avions à ce moment un objectif bien défini qui était l'étude du lagon de Mayotte et, à la fin de cette campagne Comorienne, il nous était impossible d'entreprendre un autre travail.

C'est pourquoi cette étude à laquelle nous avions songé en 1959 n'a pu être entreprise qu'en 1961 et achevée sur place en 1962. Il était indispensable d'exécuter deux séries de mesures, l'une en étiage et l'autre en crue du fleuve. — A. Crosnier, Biologiste à l'O.R.S.T.O.M. qui était alors attaché au laboratoire de Nosy-Bé a dirigé les deux campagnes et récolté tous les échantillons. Les dosages de salinité et les calculs de correction de température ont été exécutés au laboratoire de l' O.R.S.T.O.M. à Nosy-Bé sous la direction de M. Menaché auquel nous adressons nos très vifs remerciements. Enfin, les échantillons récoltés ont été examinés au laboratoire de sédimentologie de l'E.N.S.A. à Rennes.

PREMIÈRE PARTIE

1° MORPHOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL

Le plateau continental qui s'étend au nord de l'embouchure du fleuve Betsiboka est de largeur restreinte :

en face l'embouchure de la rivière d'Andranolava elle est d'environ 10 milles jusqu'aux accores nord des bancs du Mariner et du Forfait (voir fig. 24).

en face l'embouchure du fleuve Betsiboka le plateau continental atteint 20 milles de largeur, mais en allant vers l'Est sa largeur se réduit à nouveau à environ 10 milles en face de l'embouchure de la rivière Marovandy.

La morphologie de ce plateau continental a été dessinée à l'aide des sondes de la carte n° 4852 — de la Pointe Komany au Cap Tanjona — du Service Hydrographique de la Marine, complétées par un profil de sondage exécuté au cours de cette étude, entre les postes 6 et 23 (voir fig. n° 1).

Le bord externe du plateau continental est jalonné d'une série de « bancs » dont les sommets sont le plus souvent recouverts par moins de 10 mètres d'eau ; en allant d'Ouest en Est on rencontre aux abords de l'embouchure de la Betsiboka : le Banc de la Thétis, le Banc de la Turquoise, le Banc de l'Euryalus, le Banc du Mariner, le Banc du Forfait, le Banc du Vaudreuil, le Banc de la Romanche. Entre ces principaux bancs s'échelonnent des hauts fonds de moindre importance qui complètent la bordure du plateau continental.

Cette série de crêtes sous-marines est échancrée de passes parfois profondes et bien développées, les plus importantes sont, en allant de l'Ouest vers l'Est : la passe de Tanjona, la passe de Makamby la passe de Katsepe, la passe d'Ampajony, la passe d'Andranolava, la passe du Tsimanénoakoho.

Les passes qui existent aux abords immédiats de l'embouchure du fleuve Betsiboka sont orientées suivant des directions rayonnantes autour de celle-ci :

La passe de Makamby possède une digitation Est orientée à 282° ; la passe de Katsepe pénètre sur le plateau continental suivant une direction de 330°, la passe d'Ampajony a une direction de 25°, sur le prolongement de laquelle se trouve un bas-fond de 24 mètres à l'Ouest du banc du Nacrissus. Enfin, la petite fosse Est située à proximité de la côte possède la même direction.

Une série de « hauts fonds » achèvent de donner à ce plateau continental une morphologie compliquée, ce sont :

le Banc de Narcissus culminant à la côte 2,7 m ; trois bancs aux abords du Poste n° 12 dont les sommités atteignent respectivement 3,70 m au Sud de ce poste, 5 m à l'Ouest et 6,20 m au Nord. Enfin, au Sud-Est du Poste n° 8, il existe un dernier haut fond dont le sommet est à la côte 9,2 m. Ainsi les hauts fonds paraissent d'autant moins élevés dans la zone étudiée, qu'ils sont plus éloignés vers le Nord.

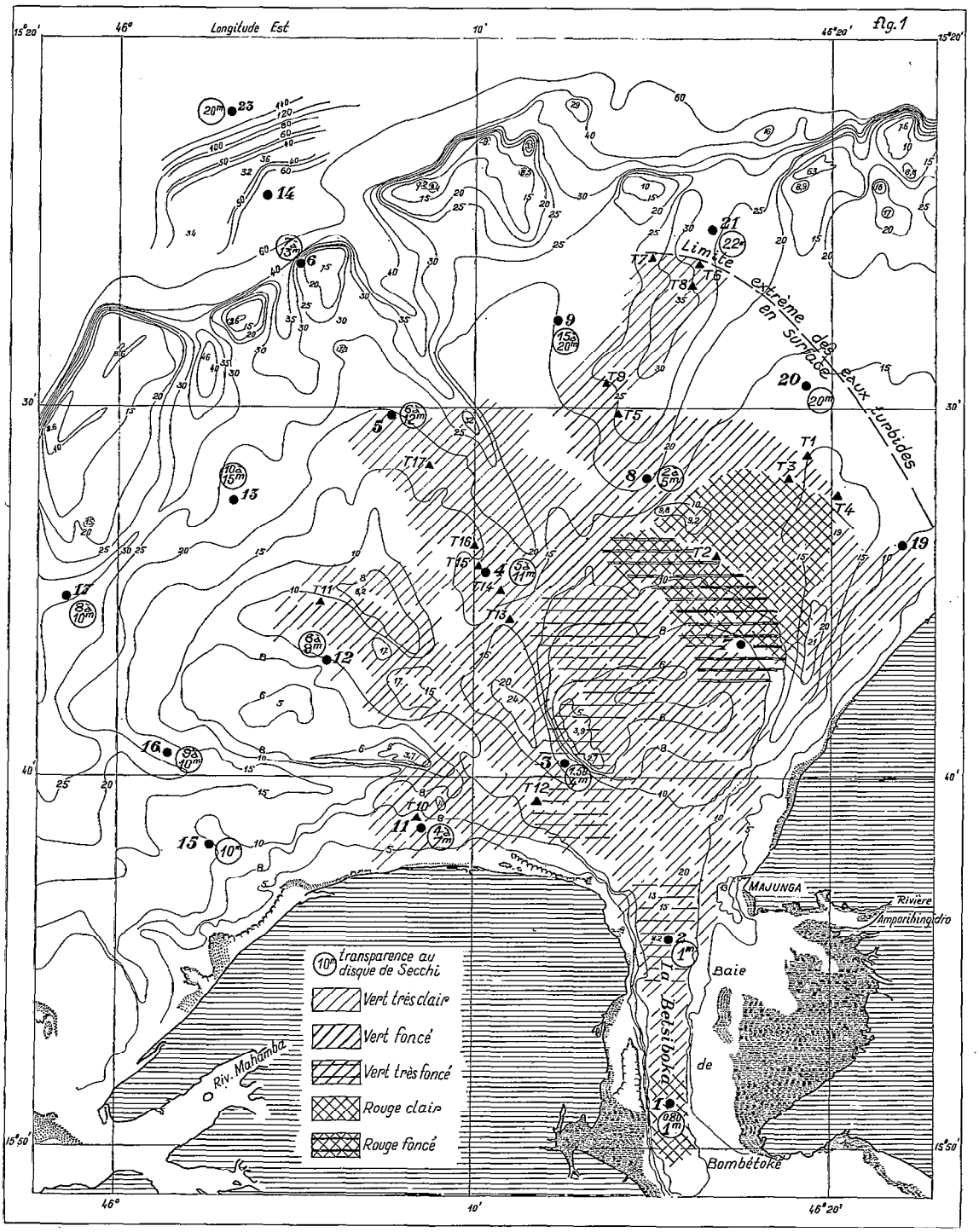

Fig. 1. — Plateau continental aux abords de l'embouchure du fleuve Betsiboka.

Les points noirs accompagnés d'un chiffre désignent les emplacements des postes de mesure et de prélèvements.

Les triangles noirs accompagnés de « T » suivi d'un chiffre filiforme désignent les emplacements des stations de mesure de transparence des eaux au disque de Secchi.

La couleur de l'eau est représentée par des hachures suivant les conventions portées dans la légende.

En résumé l'estuaire de la Betsiboka se prolonge sur le plateau continental par trois chenaux divergents ; l'un vers l'Ouest, le second vers le N-N-O et le troisième vers le N-N-E. Ces chenaux sont séparés par des plateaux dont la pente générale irrégulière est dirigée vers le large, leurs surfaces sont accidentées de hauts fonds décrits précédemment.

Les bancs qui jalonnent le rebord extérieur du plateau continental sont corralliens. Ils paraissent principalement formés de corail mort ou de récifs coralliens dont la vie est extrêmement ralentie actuellement. Ces formations s'apparentent donc à celles qui ont été précédemment décrites sur les côtes Malgaches par A. Guilcher (1954-1958) par R. Battistini (1964) et par L. Berthois, R. Battistini et A. Crosnier (1964) ; cette question sera examinée à nouveau dans le chapitre consacré à la sédimentologie.

2° RÉGIME FLUVIAL DE LA BETSIBOKA

Les débits fluviaux de la Betsiboka sont mesurés à la station d'Ambodiroka où sont enregistrés par conséquent les débits de ce fleuve et de tous ses affluents de la rive droite.

Les eaux des affluents de la rive gauche sont amenées à la Betsiboka par l'Ikopa qui est jaugé à la Station d'Antsarana située en amont de son confluent avec la Betsiboka. C'est pourquoi il est nécessaire, pour obtenir la valeur du débit fluvial total en estuaire, de réunir les évaluations provenant des deux stations de mesures précitées. Malgré cela, il subsiste une zone aval de la Betsiboka qui n'est pas incluse dans les mesures effectuées, elle est comprise entre les deux stations de dosage et l'embouchure du fleuve. En conséquence, les débits qui seront mentionnés plus loin sont un peu trop faibles mais nous n'avons pas voulu apporter de correction arbitraire aux débits mesurés, la majoration serait sans doute assez faible puisqu'il n'existe aucun affluent important dans la zone négligée.

Le bassin versant de la Betsiboka à la station d'Ambodiroka est de.....	11 800 km²
Celui de l'Ikopa à la station d'Antsatrana est de.....	18 550 km²
	30 350 km²

Des relevés journaliers de débits sont faits dans ces deux stations de mesure, les renseignements nous ont été aimablement communiqués par le Service Hydrologique de l'Institut de Recherche Scientifique de Madagascar auquel nous tenons à exprimer notre gratitude.

A l'aide de ces renseignements, nous avons construit un graphique du débit global journalier des deux cours d'eau, représenté en m³ / sec (fig. n° 2).

Ce graphique couvre la période du 1er juillet 1961 au 30 juin 1962. Entre le début de juillet et la fin de novembre les fleuves sont en étiage et leur débit total est presque constamment inférieur à 400 m³ / sec.

La période de crues importantes commence au début de décembre et s'achève vers la mi-avril. Ces cours d'eau ont des débits de crue extrêmement variables pendant de courtes durées, les augmentations sont très brutales elles peuvent atteindre plus de 1000 m³ / sec. entre deux journées consécutives, mais les décrues sont presque aussi rapides bien qu'en général un peu plus amorties que les crues, ce qui se conçoit aisément par un étalement plus marqué de la période de ruissellement.

De la deuxième quinzaine d'avril à la fin de juin le débit fluvial décroît sans fluctuation notable.

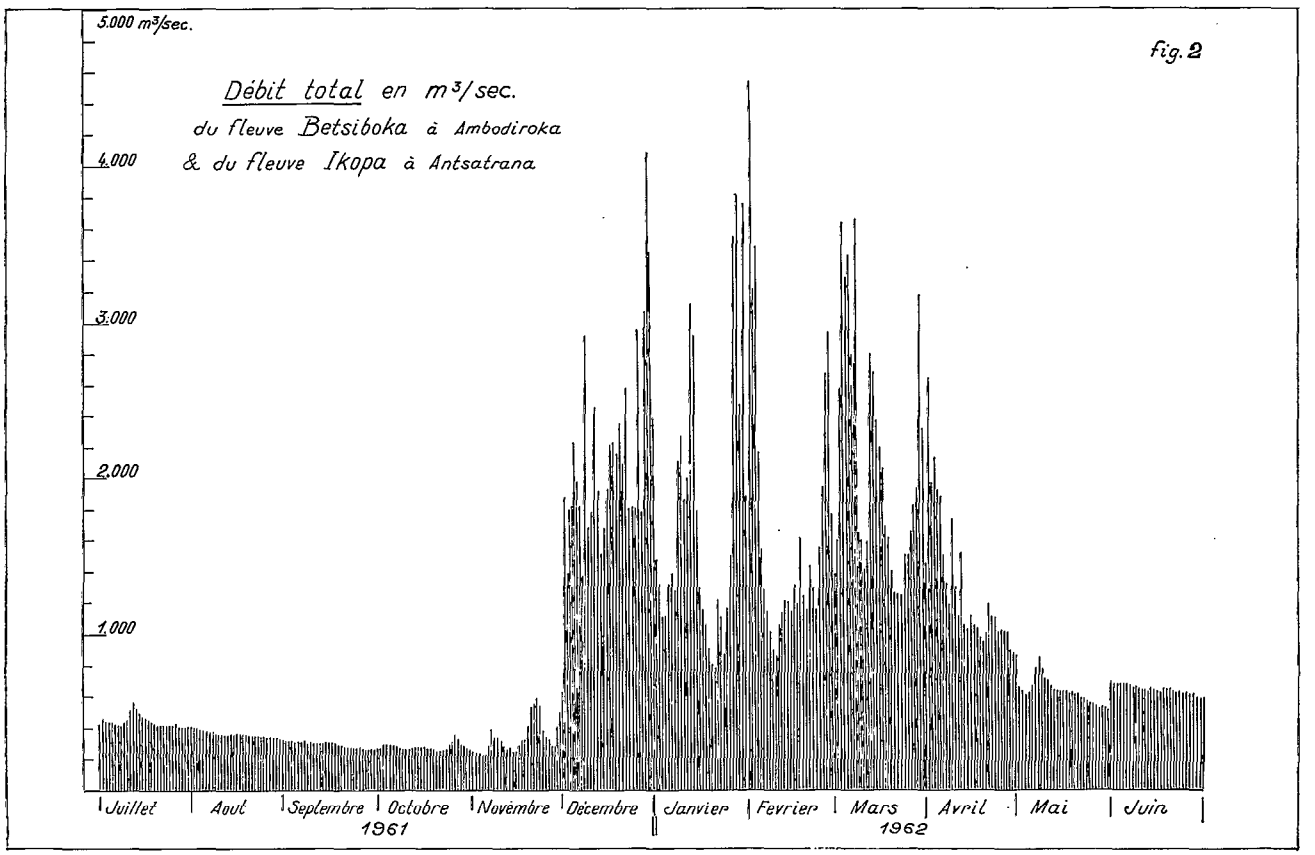

Fig. 2.

Au cours des mesures dont les résultats sont exposés plus loin, les débits fluviaux ont été les suivants :

TABLEAU N° 1

DÉBITS FLUVIAUX PENDANT LES OPÉRATIONS

de juillet 1961	5 — 423 m³ / sec.	de mars 1962	7 — 2742 m³ / sec.
	6 — 429 m³ / sec.		8 — 3665 m³ / sec.
	7 — 424 m³ / sec.		9 — 1651 m³ / sec.
	8 — 424 m³ / sec.		10 — 1598 m³ / sec.
	9 — 433 m³ / sec.		11 — 1427 m³ / sec.
	10 — 457 m³ / sec.		12 — 1596 m³ / sec.
	11 — 509 m³ / sec.		13 — 2810 m³ / sec.
	12 — 562 m³ / sec.		14 — 2680 m³ / sec.
	13 — 531 m³ / sec.		15 — 2378 m³ / sec.
			16 — 2190 m³ / sec.
			17 — 2050 m³ / sec.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DYNAMIQUE DE LA SÉDIMENTATION

1° REMARQUES PRÉLIMINAIRES

L'étude dynamique de la sédimentation dans un estuaire ou sur le plateau continental, au large de cet estuaire, doit comprendre au moins deux séries de mesures : une première campagne en étiage du fleuve et une deuxième pendant une crue.

Dans les régions tropicales où l'on dispose rarement de l'équipement nécessaire, les mesures en période d'étiage permettent une mise au point du matériel et l'entraînement de l'équipage et des aides, mais elles apportent souvent peu de renseignements sur la sédimentation. La période des crues permet en général, de faire les observations les plus importantes, car les apports sédimentaires continentaux atteignent à ce moment leur intensité maximale, mais l'exécution du programme rencontre fréquemment de très grosses difficultés, notamment à cause de la vitesse élevée du courant qui gêne considérablement l'immersion des appareils de mesure.

L'exécution d'une série d'observations doit être faite à poste fixe pendant la durée d'une marée complète, c'est-à-dire environ 12 heures, mais dans les pays tropicaux notamment, il est impossible de faire des observations de cette durée à cause du décalage des marées par rapport à la période diurne et de l'insuffisance du balisage lumineux qui rend difficile les sorties nocturnes. C'est pourquoi certaines observations à poste fixe ont été notablement plus brèves que la durée idéale.

Les mesures effectuées à chaque poste fixe sont réitérées à intervalles de 2 heures ; elles comportent :

Mesures du courant de surface au bâton lesté mêmes mesures à mi-profondeur et au fond à l'aide d'un courantomètre Ekmann. — Mesure de la transparence de l'eau au disque de Secchi.

Les prélèvements d'eau à la bouteille à renversement, munie de thermomètres à renversement ont été effectués en surface puis aux profondeurs de 1 m, 2 m, 3 m, 5 m, puis à proximité du fond, un prélèvement supplémentaire a été fait à 10 m lorsque la hauteur d'eau était importante. Sur ces prélèvements d'eau on a dosé en laboratoire : la salinité, la turbidité, les teneurs en potassium, calcium et magnésium.

2° CHOIX DES EMPLACEMENTS DES POSTES D'OBSERVATION

Le but essentiel de ce travail était l'étude du transport des sédiments à la sortie de l'estuaire et leur répartition sur le plateau continental au large de celui-ci.

C'est pourquoi nous avons placé les postes 1 et 2 (voir fig. 1) à l'embouchure de la Betsiboka. La recherche de la répartition des sédiments sur le plateau continental posait un problème quasi insoluble quant à la répartition des postes d'observation ; en effet, les mesures devaient d'abord être faites en période d'étiage du fleuve, puis réitérées aux mêmes postes pendant une crue fluviale. Or, pendant la première série de mesures, faite en étiage, les eaux turbides n'auraient sans doute qu'une faible extension sur le plateau continental ; et seraient incluses dans le damier des postes d'observations. Mais, nous savions qu'au cours des mesures faites pendant la crue fluviale, la nappe d'eau turbide s'étendait plus loin vers le large et elle risquait alors de déborder le damier des postes où les observations seraient réitérées.

Cependant, nous savions aussi que les crues peuvent être violentes et très courtes et qu'en conséquence le nombre des postes devait être assez restreint, qu'enfin ils ne devaient pas être éloignés de plus de 5 milles. C'est en tenant compte de toutes ces considérations que nous avons fixé la position des postes d'observations telle qu'elle est indiquée sur la figure 1.

Initialement, nous avions prévu 4 postes supplémentaires au bord externe du plateau continental ; ils portaient des numéros 10 au large du n° 9, n° 22 au large du 21, n° 14 au large du n° 13 et n° 18 au large du n° 17. Ils n'ont pu être stationnés comme prévu, mais leur abandon n'a pas eu de conséquences fâcheuses ainsi que nous le verrons plus loin.

3° REPORT DES RÉSULTATS, ÉTABLISSEMENT DES PROFILS

L'un de nous (L. Berthois 1965) a montré les avantages offerts par l'établissement de profils instantanés dans l'étude de la sédimentation estuarienne. Nous avons tenté d'utiliser cette méthode pour l'étude du déplacement des eaux et du dépôt des sédiments sur le plateau continental.

Lorsqu'on travaille, comme c'est le cas ici, dans une région où la marée est semi-diurne, l'échelonnement idéal dans le temps consiste à établir un profil instantané toutes les heures en prenant la basse mer ou la pleine mer comme origine des temps. Mais cela suppose une réitération fréquente de toutes les observations et un stationnement de 12 heures à chaque poste ; de telles conditions d'exécution sont pratiquement irréalisables dans les pays tropicaux où il faut opérer dans des conditions difficiles.

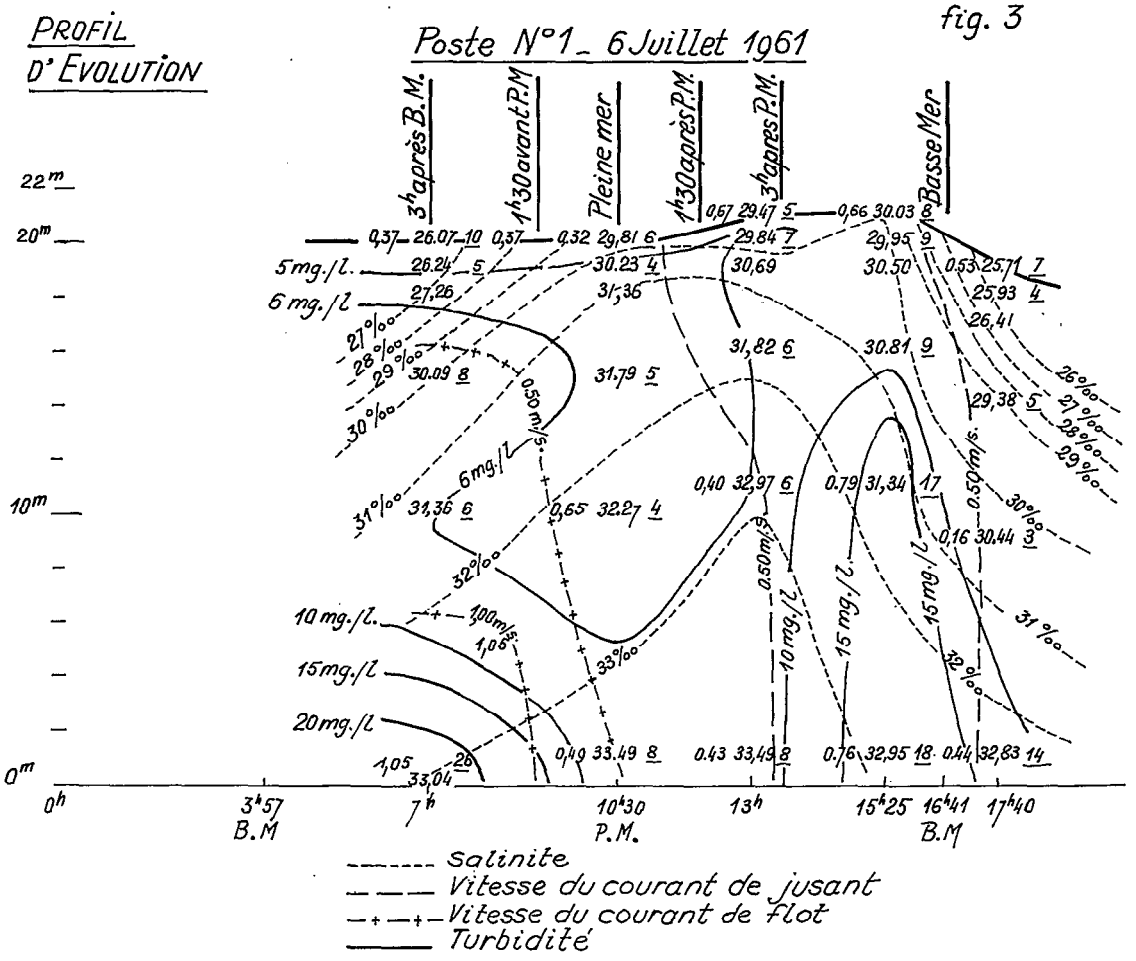

Fig. 3. — Profil d'évolution au poste n° 1 en période d'étiage du fleuve. Les courbes qui relient les valeurs identiques de salinité, turbidité, etc., n'ont pas de signification intrinsèque, elles matérialisent l'évolution et permettent des interpolations plus rapides.

C'était le cas ici où deux postes voisins devaient être stationnés à tour de rôle avec des décalages horaires inévitables. Cette manière d'opérer, imposée par les circonstances et les conditions de travail, oblige à calculer ensuite des interpolations entre les séries de mesures. Pour exécuter des calculs aussi exactement que possible, il est préférable de construire pour chaque poste un profil d'évolution qui représente les états successifs au cours de la marée (voir fig. 3).

Nous avons donc construit, pour chacun des postes de mesures, un profil d'évolution du même type que celui de la figure 3, mais pour ne pas allonger démesurément ce travail les autres profils d'évolution n'ont pas été reproduits, ils n'ont servi qu'à la construction des profils instantanés qui vont être étudiées en détail.

Cependant, pour permettre un contrôle de nos mesures et éventuellement, leur utilisation pour une autre étude, nous avons donné en annexe, à la fin de ce travail, des tableaux de tous les résultats obtenus.

4° DYNAMIQUE DE LA SÉDIMENTATION EN ÉTIAGE DE FLEUVE

Les mesures ont été exécutées du 6 au 13 juillet 1961, les débits fluviaux n'ont subi que de faibles variations pendant cette période (voir tableau n° 1) ; les conditions océaniques étaient également stables.

Les positions des postes d'observation sont indiquées sur la fig. n° 1. Il nous a paru inutile de donner une réprésentation du fond à cause de l'énorme distorsion des graphiques (plus de 1000 fois) ; la complexité de ceux-ci nous a également conduit à supprimer toutes les valeurs mesurées et à ne représenter que les courbes isohalines, d'isoturbidité et d'isocélérité, puisque les valeurs exactes sont données en annexe.

Profil transversal du plateau continental dans l'axe de l'embouchure du fleuve (Postes 1 à 6).

a) **Basse-Mer.**

Au poste 1, la salinité est abaissée à 27 ‰, cette forte réduction est de faible amplitude puisqu'au fond la salinité dépasse 32 ‰ et qu'elle atteint déjà 30 ‰, un peu en aval du poste n° 2 ; cependant, sur tout le plateau continental la salinité est abaissée, elle n'atteint 35 ‰ qu'aux abords du poste n° 6, situé près de la limite extérieure du plateau continental.

La vitesse du courant de jusant est encore importante, près de la surface, au poste n° 2, mais elle s'atténue rapidement en profondeur, elle n'est plus que de 0,40 m / sec. à 9 m au-dessus du fond où les eaux se déplacent très lentement ; entre les postes 3 et 6 la vitesse du courant est de 0,20 m / sec. à 5-6 m au-dessus du fond où les eaux sont immobiles.

La turbidité atteint 8 mg / l. dans les eaux de surface au Poste 1, les eaux de la tranche médiane sont moins turbides, les eaux du fond contiennent 10 à 15 mg / l. de sédiments en suspension entre les postes 1 et 4, mais cette quantité se réduit à 2 mg / l. entre les postes 5 et 6.

b) **3 heures après la Basse-Mer** (période de Flot).

La salinité a faiblement augmenté dans les eaux estuariennes profondes des postes 1 et 2 mais elle est restée stationnaire en surface, elle a légèrement augmenté au poste n° 3 où la courbe de 34 % englobe une plus grande épaisseur d'eau profonde.

Le courant de flot se fait intensément sentir, il atteint 1 m / sec. dans les eaux profondes du P. 1. Aux postes 4 à 6 le courant de flot atteint 0,20 m / sec. au fond et 0,30 m / sec. dans les eaux médianes.

Sous l'effet de ce courant de flot, les sédiments qui étaient restés en suspension sont refoulés vers l'estuaire et se concentrent vers les postes 2 et 1 où la turbidité a augmenté.

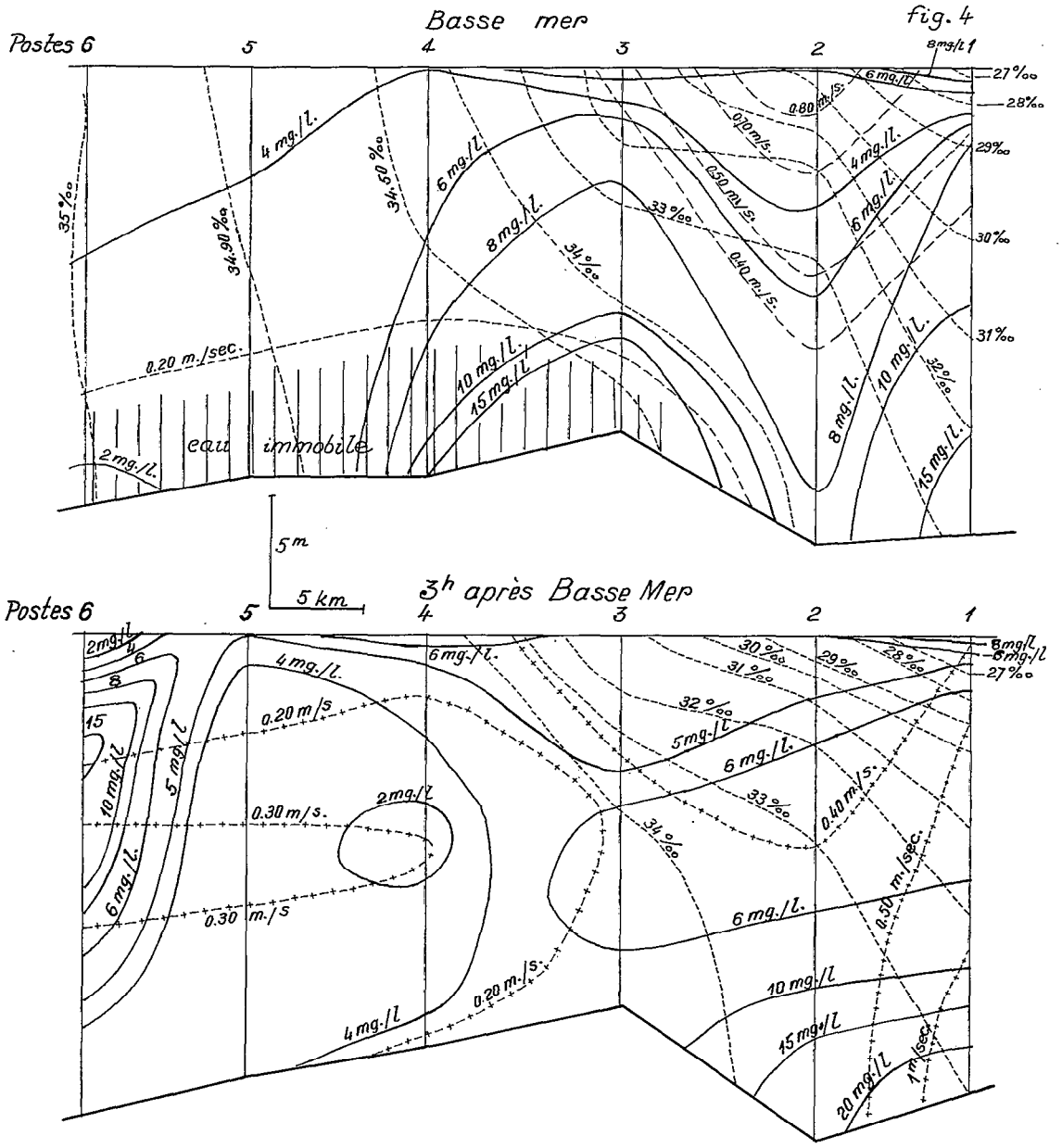

Fig. 4. — Coupe axiale. Profils instantanés en étiage du fleuve.

A ce moment, il apparaît au Poste 6 une couche d'eau médiane dont le maximum de turbidité 15 mg / l. se situe à près de 6 m de profondeur, cette petite lentille d'eau turbide est allongée verticalement et les sédiments qu'elle renferme tendent à gagner le fond.

c) **1 h 30 avant la Pleine-Mer** (période de flot).

La salinité a augmenté au poste 1 où les eaux de surface atteignent 29 ‰ ; tandis que les eaux du fond dépassent 33 ‰. En outre, l'isohaline de 34 ‰ passe à 5 m au-dessous de la surface au P. 3, et atteint le P. 2 à 7 m au-dessus du fond ; enfin, l'isohaline de 35 ‰ dépasse le P. 6 et atteint le P. 5 à 2 m au-dessus du fond.

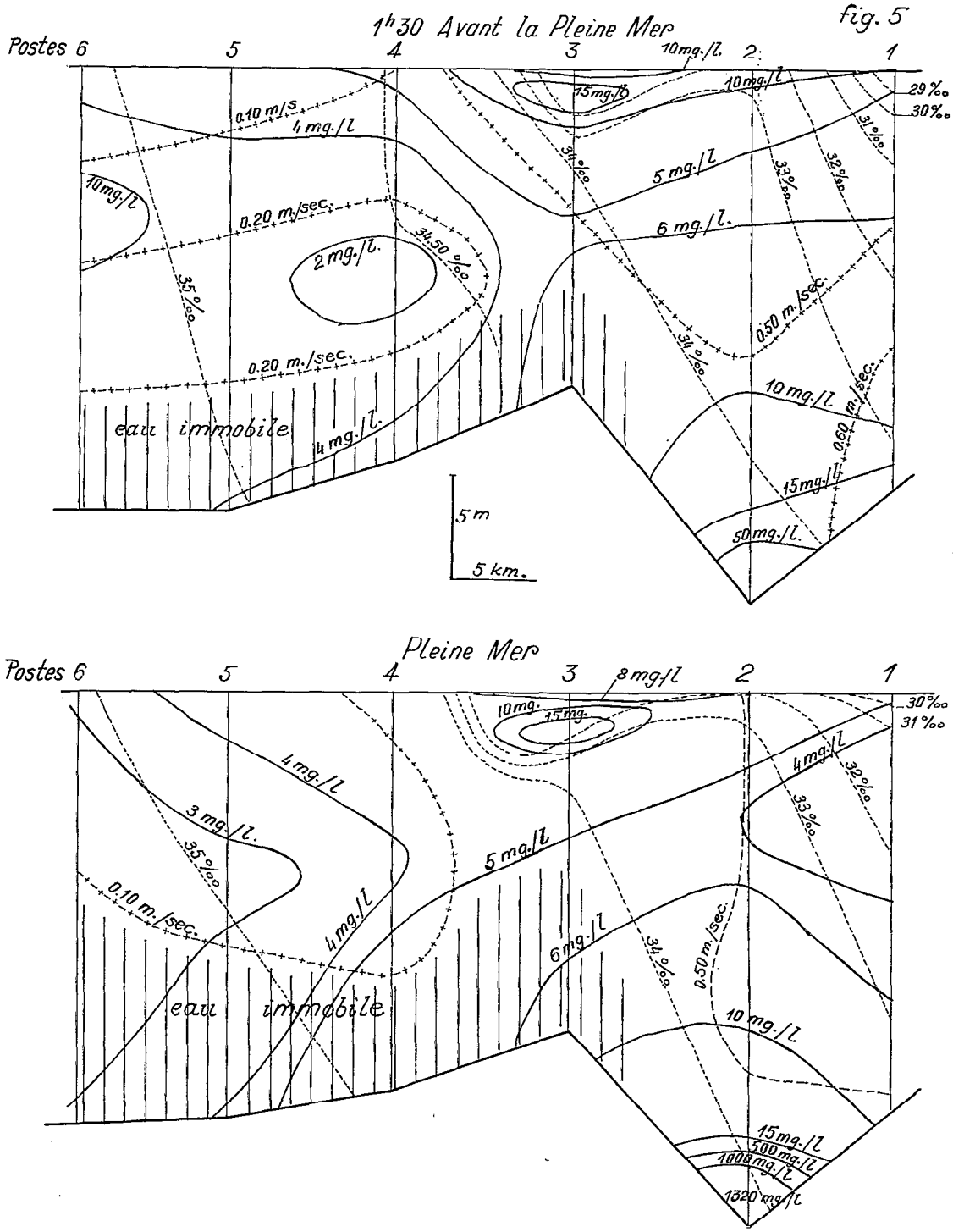

Fig. 5. — Profils instantanés en étiage du fleuve.

La vitesse du courant a notablement diminué : elle n'est plus que de 0,60 m / sec. au poste 1 et de 0,20 m / sec. à 5-6 m au-dessus du fond aux postes 6-5 et 4 où les eaux profondes sont immobiles.

Sous l'effet de ce ralentissement du courant, les sédiments en suspension se concentrent et les eaux se décantent. La turbidité a diminué dans la tranche d'eau médiane du poste 6. Une lentille d'eau turbide apparaît à 1-2 m de profondeur au P. 3, ces sédiments proviennent sans doute de la remise en suspension d'un dépôt sur le haut fond du banc du Narcissus. Enfin, la turbidité a notablement augmenté au P. 2.

d) **Pleine-Mer** (début du courant de jusant en amont).

La salinité a légèrement augmenté dans l'ensemble du profil, mais cette progression est plus apparente en surface (augmentation de 1 $^0/_{00}$ au P. 1) qu'en profondeur ou la progression de l'isohaline de 35 $^0/_{00}$ est la plus marquée.

Le courant de jusant apparaît déjà aux postes 1 et 2 avec une vitesse de 0,50 m / sec., tandis que le courant de flot est encore sensible aux postes 6-5 et 4, mais sa vitesse est seulement de 0,10 m / sec. à une distance du fond comprise entre 7 m et 12 m, si bien qu'on peut en inférer que les eaux sont immobiles à proximité du fond.

Sous l'effet du courant de jusant existant en amont (P. 1 et 2), les sédiments se concentrent au P. 2 où nous avons dosé 1 gr / l. mais à la faveur de la très faible mobilité des eaux aux postes 4, 5 et 6, les particules en suspension se sédimentent : on remarque notamment une nette diminution de la turbidité au poste 3 et la disparition de la lentille d'eau turbide au poste 6.

e) **1 h 30 après la Pleine-Mer** (période de Jusant).

La répartition et le tracé des courbes isohalines n'ont subi que de faibles modifications, on note seulement, l'étirement des isohalines en surface, entre les postes 3 et 4, et la régression très marquée de la courbe de 35 $^0/_{00}$ vers le large.

Les vitesses du courant de jusant sont encore fluctuantes et mal définies, cependant le courant oblique du profil précédent a fait place à un courant bien orienté vers l'embouchure, mais moins rapide, au-delà du P. 3 jusqu'au P. 6 les courants sont très lents. A l'aplomb du P. 3 les eaux sont immobiles, c'est ce qui permet la sédimentation des particules qui étaient en suspension à 1 m-1,50 m au-dessous de la surface ; cette lentille d'eau turbide qui s'est appauvrie pendant sa descente est maintenant à 11 m de profondeur. Enfin les eaux des postes 4, 5 et 6 sont elles-mêmes en cours de décantation.

f) **3 heures après la Pleine-Mer** (Période de Jusant).

La salinité a très peu varié pendant la période d'1 h 30 qui vient de s'écouler ; entre les P. 1 et P. 2 les isohalines se sont étirées vers le large ; la courbe de 34 $^0/_{00}$ est en légère régression, mais celle de 35 $^0/_{00}$, qui est également en régression dans sa partie profonde, paraît au contraire avoir légèrement avancé vers la surface.

Le courant de jusant s'est précisé et intensifié depuis les observations précédentes en surface et 0,50 m / sec. à 3 m du fond au P. 2 au P. 4 ; il existe encore un courant de 0,20 m / sec. à 1 m du fond, mais entre le P. 4 et le P. 6 la vitesse du courant n'atteint que 0,10 m / sec. à 13 et 15 m. au-dessus du fond, ce qui implique l'immobilité d'une épaisse tranche d'eau profonde.

La turbidité des eaux a évolué entre les deux observations : elle a notablement augmenté aux postes 1 et 2, où elle atteint 10 mg / l. près du fond. Dans la tranche d'eau médiane du P. 3 apparaît une longue lentille d'eau à 4 mg / l. de turbidité qui s'étend jusqu'au P. 6 où elle atteint presque la surface, cette localisation de la turbidité matérialise la décantation des eaux qui se poursuit en l'absence quasi totale de courant.

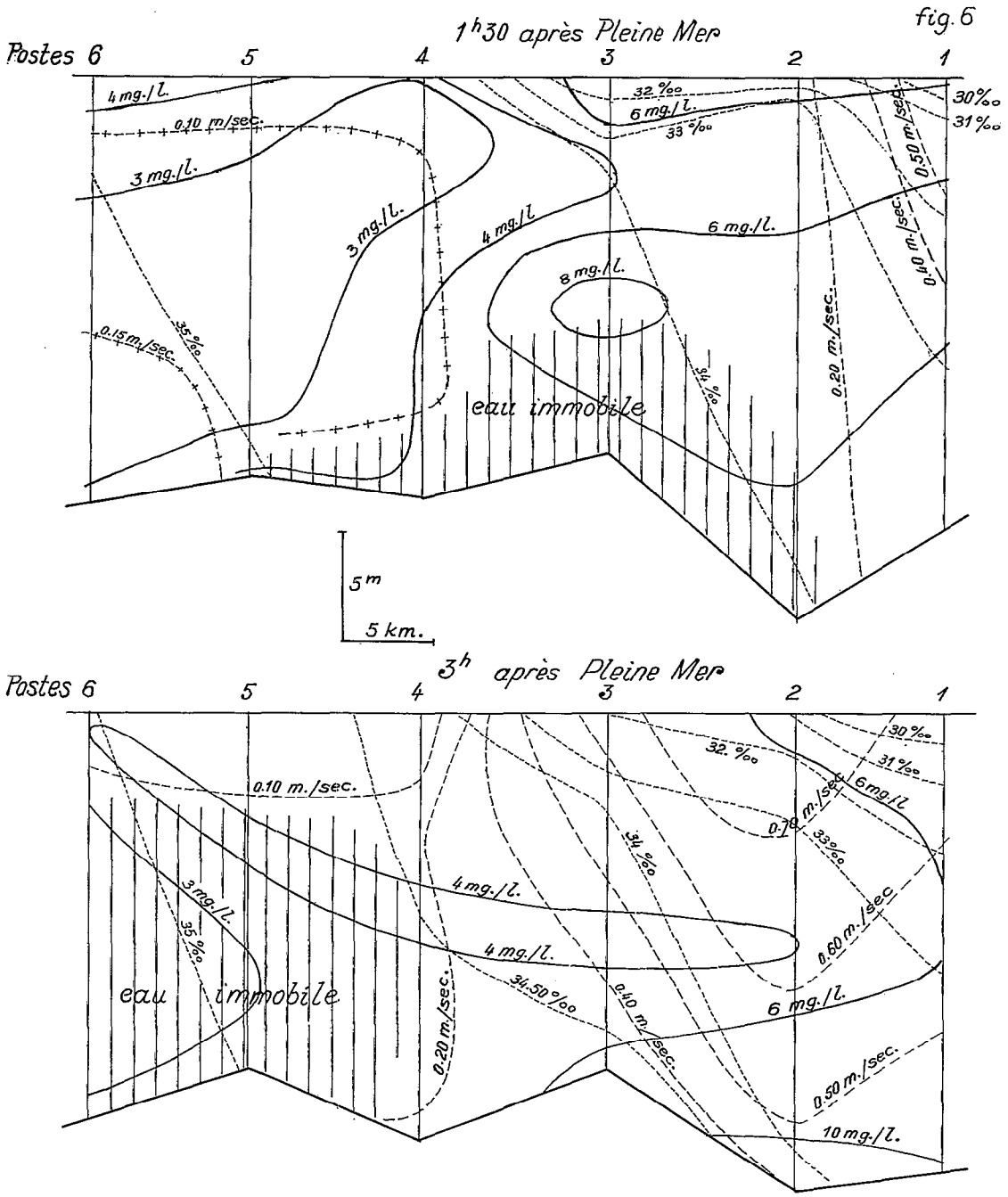

Fig. 6. — Profils instantanés en étiage du fleuve.

EN RÉSUMÉ.

Ces profils instantanés qui partent de l'estuaire du fleuve et traversent la totalité du plateau continental pour aboutir à son bord extérieur, mettent en évidence les faits suivants :

La sédimentation est intimement liée aux conditions dynamiques et en conséquence la turbidité des eaux peut être momentanément élevée à l'embouchure de l'estuaire ; elle reste toujours faible sur le plateau Continental où les eaux profondes sont immobiles pendant de très longues périodes entre lesquelles les courants sont toujours animés de faibles vitesses. Il apparaît que

les matières en suspension sont amenées par les eaux de surface qui se décantent lentement. Les sédiments fraîchement déposés sur les hauts fonds sont probablement remaniés partiellement, c'est ce qui expliquerait l'apparition de lentilles turbides isolées à faible profondeur aux postes 3 et 6.

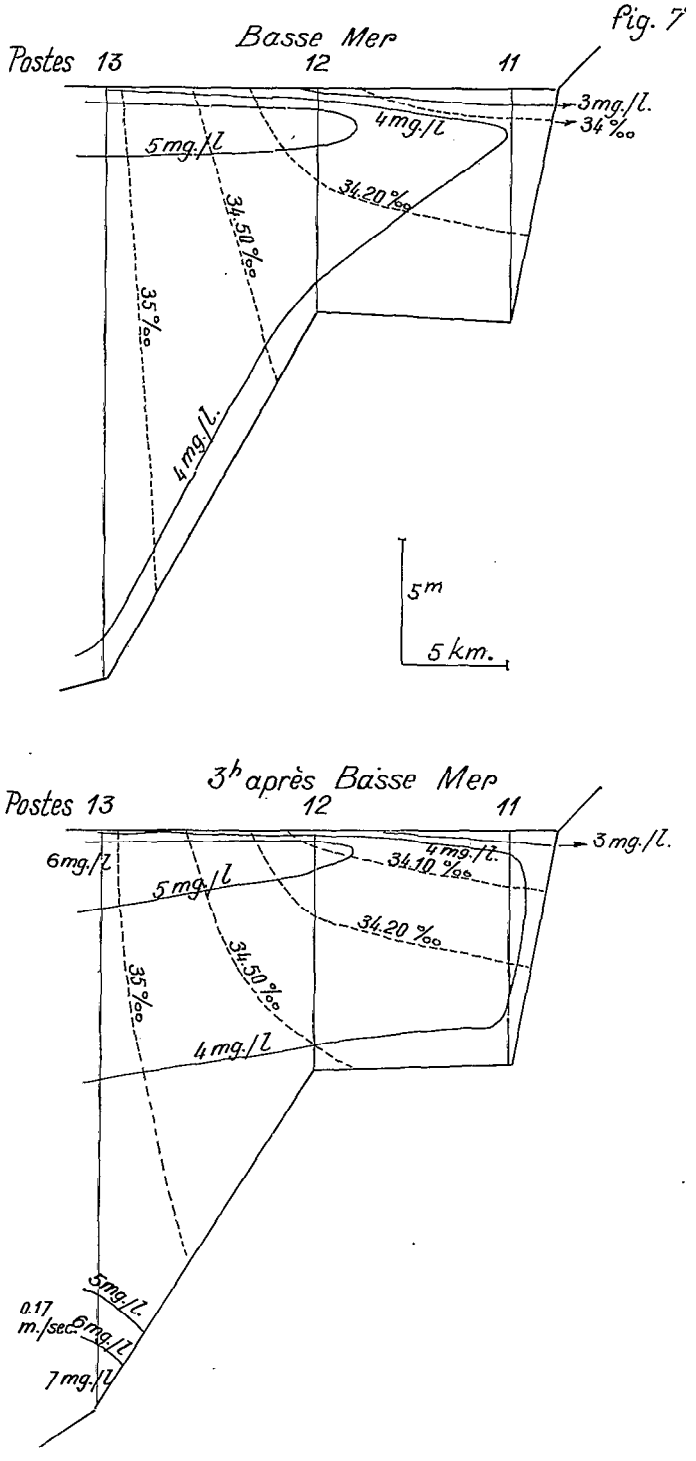

Fig. 7. — Première transversale Ouest. Profils instantanés en étiage du fleuve.

Premier profil transversal à l'ouest du profil axial (Postes 11 à 13).

a) **Basse-Mer** (voir fig. 7). (Période de flot).

La salinité est plus élevée au P. 11 qu'au moment de la Basse-Mer au P. 3 où elle était supérieure à 31 ‰ (fig. 6), elle augmente assez régulièrement vers le large et atteint 35 ‰ avant la verticale du P. 13.

La turbidité est faible : 3 à 4 mg / l. en surface, 4 mg / l. près du fond et 5 mg / l. dans une lentille d'eau s'étendant de 0,75 m à 1,50 m entre les postes 12 et 13.

b) **3 heures après la Basse-Mer** (Période de flot).

La salinité n'a pas subi de modification notable pendant la période écoulée, aussi, malgré l'absence de mesure de vitesse de courant, on peut en inférer un très faible mouvement des eaux sur le plateau continental.

A la faveur de cette quasi-immobilité des eaux la décantation s'est amorcée, la courbe d'isoturbidité de 4 mg / l. s'est éloignée du fond du poste 13 où l'on observe des teneurs en suspension atteignant 7 mg / l. Un courant de 0,17 m / sec. à 4 mètres au-dessus du fond ne peut s'opposer à ce dépôt.

c) **1 h 30 avant Pleine-Mer** (Période de flot, fig. 8).

La salinité a légèrement augmenté : l'isohaline de 34,5 ‰ atteint le fond à l'aplomb du poste 11 et celle de 35 ‰ s'est rapprochée du P. 12.

La vitesse du courant a augmenté légèrement, elle est maintenant de 0,24 m / sec. à 1 m du fond au P. 13.

Sous la poussée du flot, la turbidité en surface au P. 11 est passée de 3, à 4 mg / l. et la teneur de 6 mg / l. des eaux, situées à 2 m. de profondeur au P. 13, atteint maintenant le P. 12.

Cependant, au P. 11 la turbidité s'est abaissée à 3 mg / 1. et au P. 13, la turbidité au fond, n'a augmenté que d'1 mg / l. malgré l'accélération de la vitesse du courant.

d) **Pleine-Mer.**

A la pleine-mer, la salinité n'a pratiquement pas varié depuis les précédentes observations ; il en est de même de la turbidité en surface et dans la tranche d'eau médiane.

Dans la zone profonde du P. 13, la turbidité a augmenté de 2 mg / l., il s'est donc probablement amorcé une concentration des matières en suspension qui peut être attribuée à la réduction de la vitesse du courant passée de 0,24 m / sec. à 0,20 m / sec.

e) **1 h 30 après Pleine-Mer** (période de Jusant).

Les observations sont incomplètes, elles ne permettent pas l'établissement d'un profil instantané.

f) **3 heures après la Pleine-Mer** (Période de Jusant, fig. 9).

La salinité n'a pas subi de profondes modifications mais elle a augmenté légèrement aux postes 11 et 12 tout en restant pratiquement inchangée entre les postes 12 et 13.

La vitesse du courant n'est plus que de 0,11 m / sec. à 2 m du fond du P. 13 ; à la faveur de cette perte de vitesse des eaux, les sédiments se sont déposés : il ne reste que 3 mg / l. en suspension.

Les courbes d'isoturbidité font apparaître une augmentation de la turbidité vers le large, ce qui montre que les sédiments transportés en suspension tendent à s'écarter du littoral.

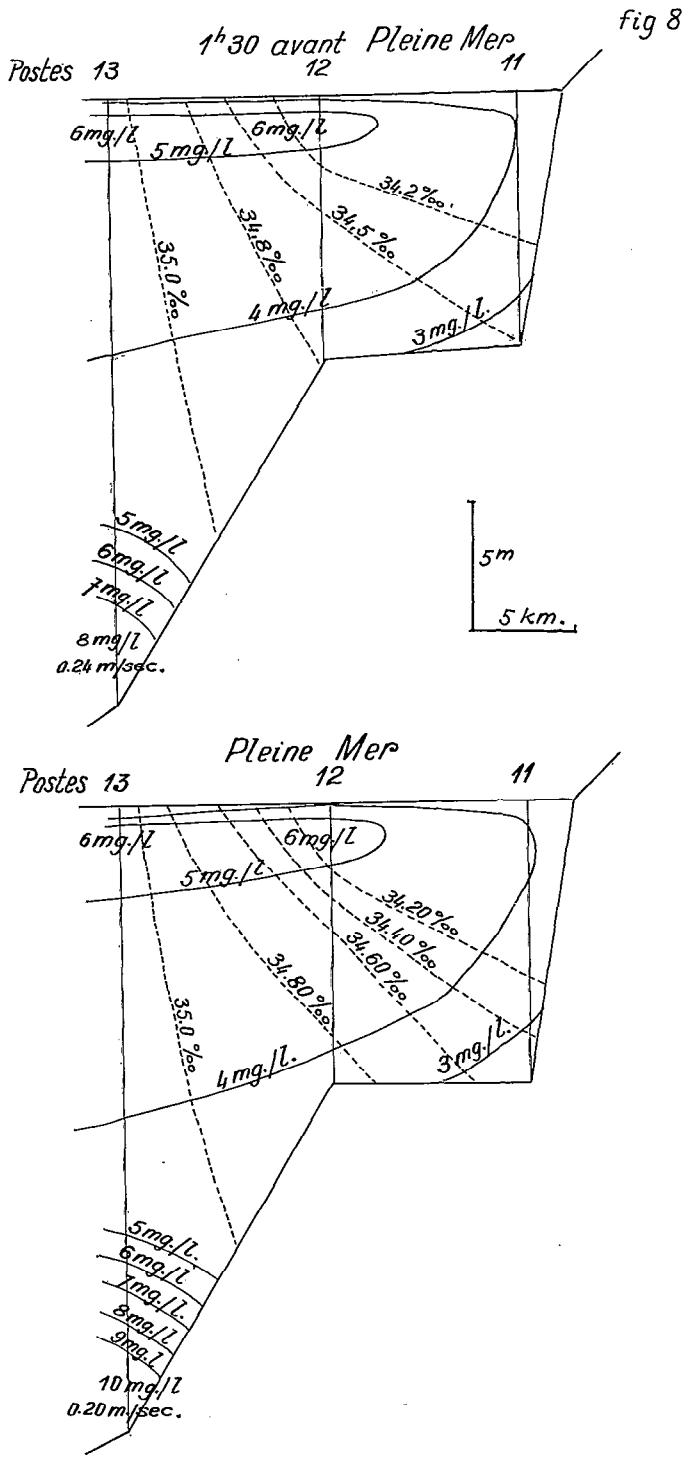

Fig. 8. — Profils instantanés en étiage du fleuve.

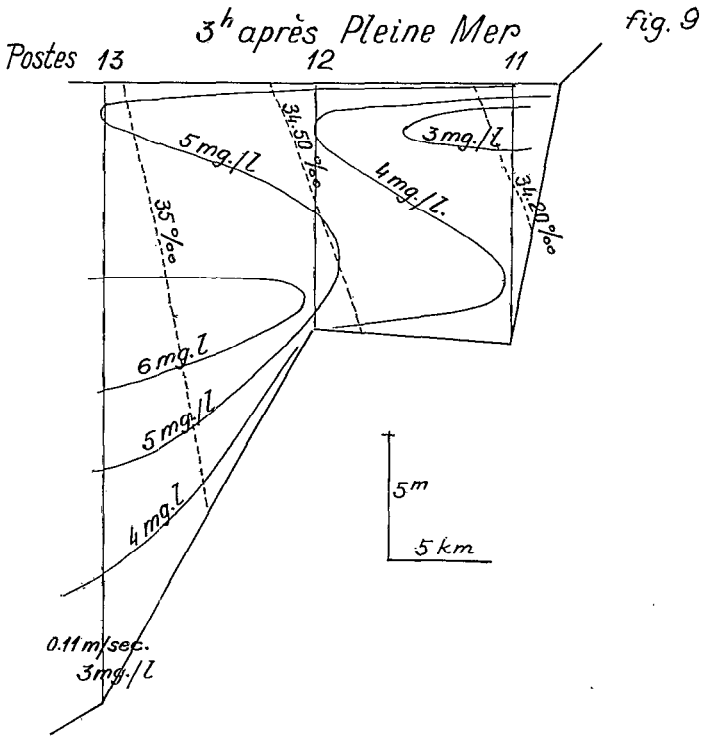

Fig. 9. — Profil instantané en étiage du fleuve.

En résumé.

L'étude des états successifs du premier profil transversal à l'ouest du profil axial a montré que :

la salinité subit des modifications sensibles mais peu importantes qui décroissent rapidement vers le large, sur la verticale du P. 13 la salinité reste pratiquement inchangée.

La turbidité est plus importante vers le large qu'à proximité du littoral, les courants de surface, que nous étudierons en détail ultérieurement, étant orientés vers l'extérieur dans ce secteur du plateau continental.

Cette répartition sédimentaire de la fraction fine apparaît dans la composition granulométrique des dépôts. En effet, les sédiments qui ont été dragués renferment des fractions de diamètres inférieurs à 0,080 m qui sont le suivantes :

Poste n° 11 — 0,7 % de grains < 0,080 mm.
n° 12 — 0,6 % de grains < d.
n° 13 — 45,1 % de grains < d.

Cette répartition sédimentaire sera examinée à nouveau dans une étude d'ensemble.

Deuxième profil transversal à l'Ouest du profil axial (Postes 15 à 17).

Pour des raisons de navigation le poste 15 n'a pu être stationné au point initialement prévu, il a du être reporté vers le large d'environ 1 mille ½. Cependant, les postes 16 et 17 ont été stationnés, comme prévu par le travers des postes 12 et 13.

a) **Basse-Mer** (fig. 10).

La salinité est plus élevée qu'aux postes 11 et 13 pendant la même période : la courbe isoha-

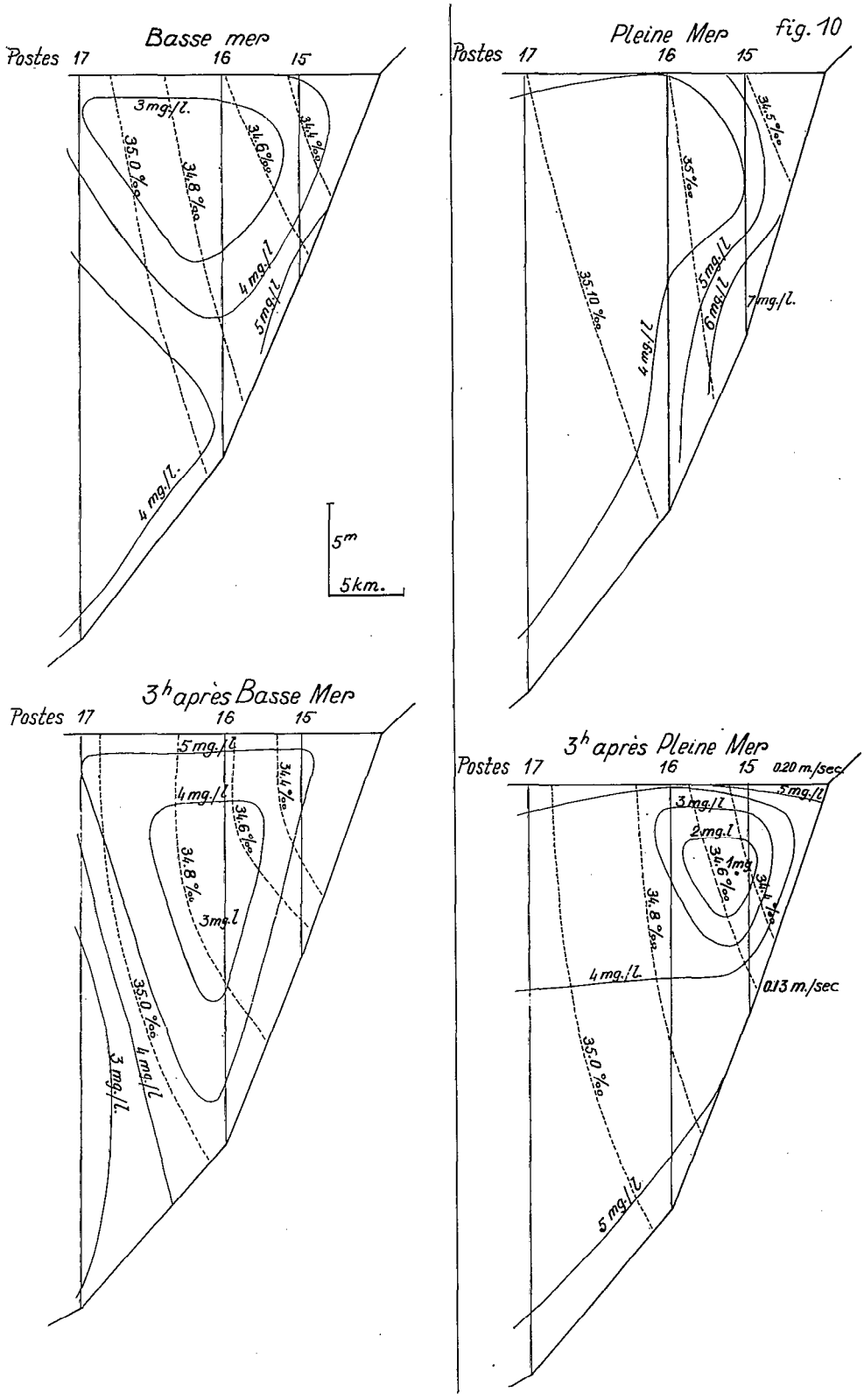

Fig. 10. — Deuxième transversale Ouest. Profils instantanés en étiage du fleuve.

line de 35 ‰ est voisine du poste 16, en profondeur et il n'y a, dans l'ensemble du profil, qu'un abaissement de 0,6 ‰ de la salinité au P. 15.

La turbidité est faible : 3 mg / l. dans la partie médiane de la tranche d'eau, 5 mg / l. près du fond au P. 15 et 4 mg / l. au P. 17.

b) **3 heures après la Basse-Mer** (Période de flot, fig. 10).

La salinité est restée pratiquement inchangée depuis les précédentes observations.

La turbidité est toujours faible mais elle présente une évolution intéressante : les eaux de la tranche médiane tendent à se décanter, par conséquent, il y a un abaissement de la teneur en suspension dans les zones où elle était de 4 mg / l (Poste 17).

Il y a régularisation ou augmentation de la turbidité à proximité du fond aux postes 15 et 16 où la courbe d'isoturbidité de 5 mg / l. s'allonge vers le fond. Mais corrélativement, un nouvel apport de sédiments s'effectue dans les eaux de surface refoulées par le courant, la turbidité y atteint 5 mg / l.

c) **Pleine-Mer** (fig. 10).

Les eaux plus salées du large sont repoussées vers le littoral, cependant la salinité n'a augmenté que de 0,1 ‰ au profil 15. Toutefois la courbe isohaline de 35 ‰ est maintenant située entre les postes 16 et 15 et celle de 35, 10 ‰ atteint presque la verticale du poste n° 16.

Les eaux turbides ont suivi ce mouvement vers le littoral : la teneur en suspension est de 7 mg / l. près du fond au P. 15 puis, elle diminue vers le large pour être comprise entre 4 et 5 mg / l. au P. 16, au P. 17 elle est encore de 4 mg / l. au fond. Les eaux de surface ont des turbidités comprises entre 5 et 4 mg / l., elles paraissent se décanter avec une extrême lenteur.

d) **3 heures après la Pleine-Mer** (Période de Jusant, fig. 10).

La salinité est en régression au P. 15 nous retrouvons sensiblement l'état initial de la Basse-Mer et il en est à peu près de même aux postes 16 et 17.

On observe entre les postes 15 et 16 un noyau à très faible turbidité, il est entouré d'une couche d'eau plus turbide, à la base elle est due à la décantation et en surface aux nouveaux apports sédimentaires.

Entre les postes 16 et 17 la courbe d'isoturbidité à 4 mg / l. se relève à cause de la décantation des eaux qui atteignent 5 mg / l. de suspension à proximité du fond à ces deux derniers postes.

Résumé.

La salinité varie très peu et la turbidité également, les vitesses des courants sont faibles et ne se prêtent pas à des déplacements importants des sédiments du fond. Les sédiments en suspension sont plus aisément transportés. La comparaison des teneurs en fraction fine (< 0,080 mm) montre que :

Au P. 11 de la première transversale ouest la fraction fine représentait..... 0,7 %
au poste 15 de la 2e transversale elle est de..... 5,8 %

Cependant, il est important de noter qu'au poste 15 la teneur en suspension des eaux est toujours inférieure à celles qui ont été observées au poste n° 13.

Les sédiments du P. 16 sont difficilement comparables à ceux du P. 12 car les premiers peuvent être enrichis, en fraction fine, par les apports de la Rivière Mahamba.

Premier profil transversal à l'est du profil axial (Postes nos 7 et 9, fig. 1).

Les postes nos 7-8 et 9 ont été placés par le travers des postes nos 3, 4 et 5 du Profil axial, ils sont donc comparables à ces derniers.

a) **Basse-Mer** (fig. 11).

La salinité est notablement plus élevée au poste 7 qu'au poste n° 3, mais la quantité d'eau douce qui parvient, en surface, au P. 7 est plus importante que celle qui franchit le P. 11 où l'abaissement du taux de salinité est faible, on peut donc en déduire que l'écoulement des eaux estuariennes s'oriente vers le N.-E. à l'embouchure du fleuve. Au poste n° 8 la salinité est comparable à la valeur trouvée au P. 4 de la transversale axiale et au poste 9 elle est un peu plus élevée qu'au poste 5.

La turbidité est répartie autour de deux maxima : le premier au P. 7 (8 mg / l.) avec une décroissance régulière des teneurs en suspension en allant vers le P. 8 et des valeurs constantes de la surface au fond.

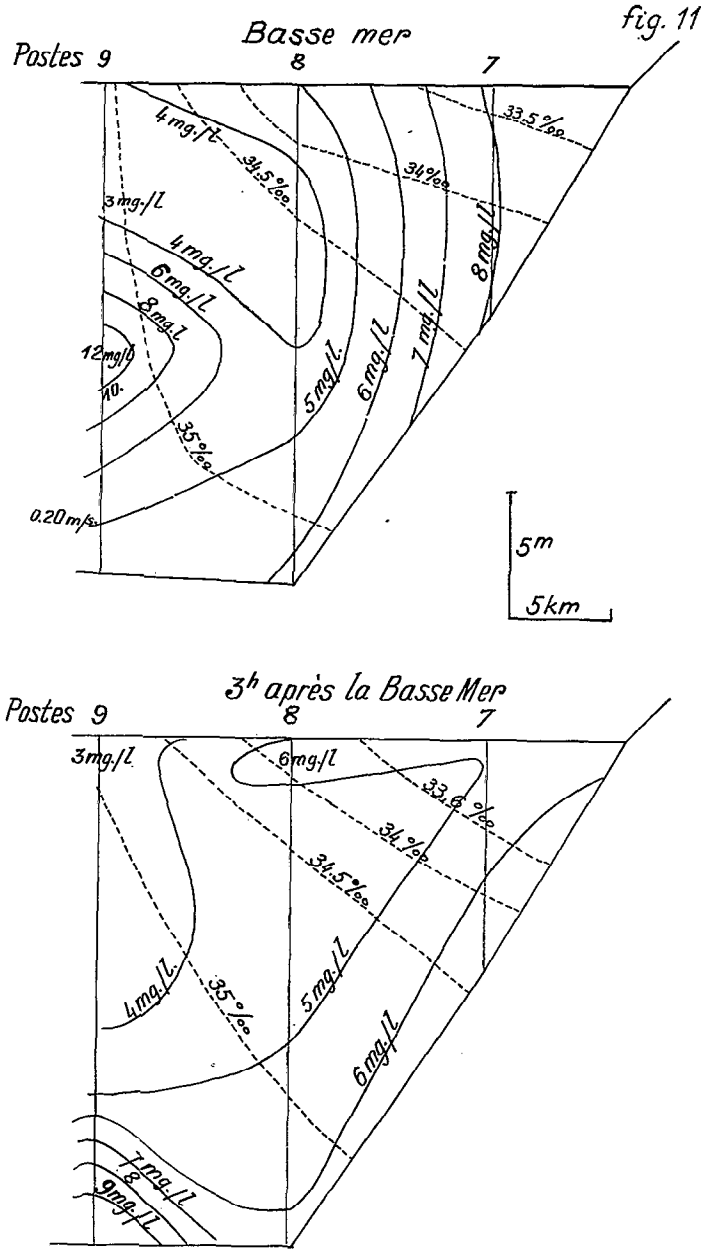

Fig. 11. — Première transversale Est. Profils instantanés en étiage du fleuve.

Le deuxième maximum est situé à 11 m. de profondeur à l'aplomb du P. 9, il est représenté par une lentille d'eau turbide, de faible étendue, avec une teneur maximale de 12 mg / l.

b) **3 heures après la Basse-Mer** (Période de flot, fig. 11).

La salinité a très légèrement augmenté depuis les dernières observations.

La turbidité a notablement décru entre les postes 7 et 8. Il en est de même au P. 9 où les eaux sont décantées d'une notable partie des matières en suspension qui sont maintenant à proximité immédiate du fond.

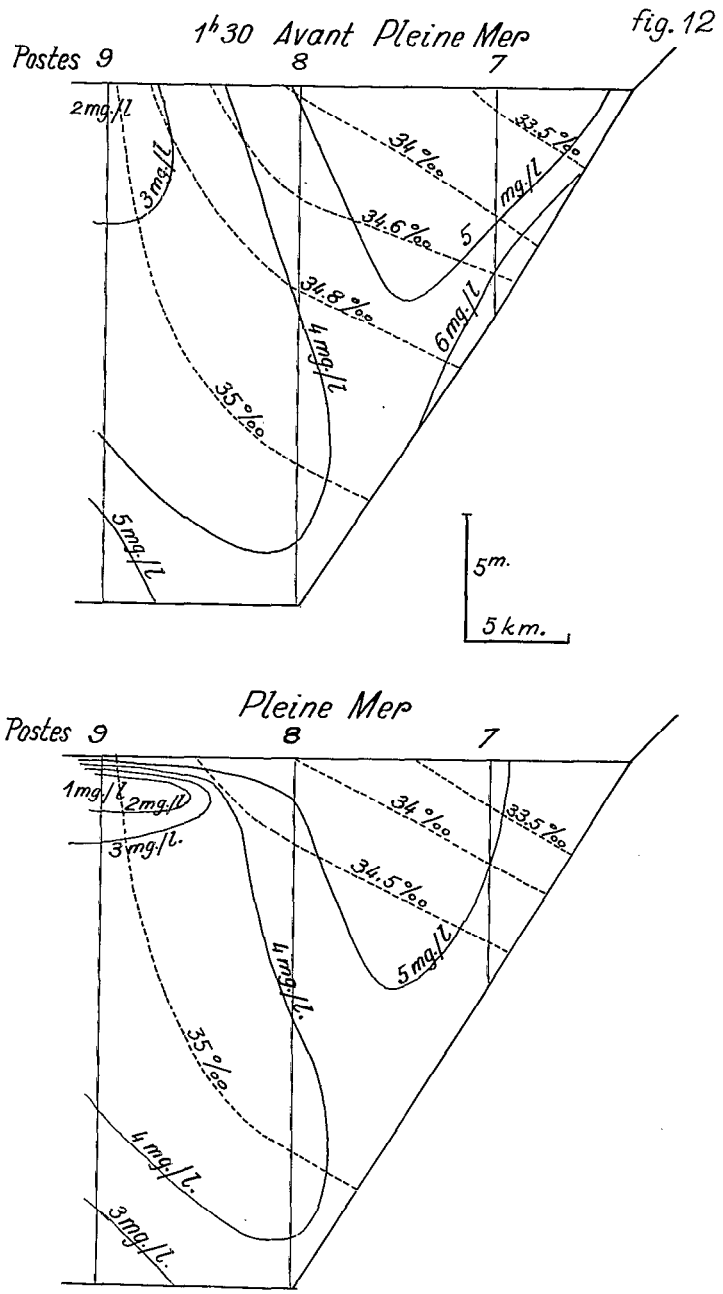

Fig. 12. — Profils instantanés en étiage du fleuve.

c) **1 h 30 avant la Pleine-Mer** (Période de flot, fig. 12).

La salinité a encore très légèrement augmenté et la turbidité a diminué, il ne subsiste plus qu'une petite lentille d'eau chargée de 6 mg / l. de suspension au P. 7, et une autre avec 5 mg / l. de suspension au P. 9.

d) **Pleine-Mer** (fig. 12).

Le taux de salinité est toujours stationnaire, mais la turbidité a encore diminué dans l'ensemble du profil, il apparaît même, à faible profondeur, au P. 9 une lentille d'eau très claire (1 mg / l).

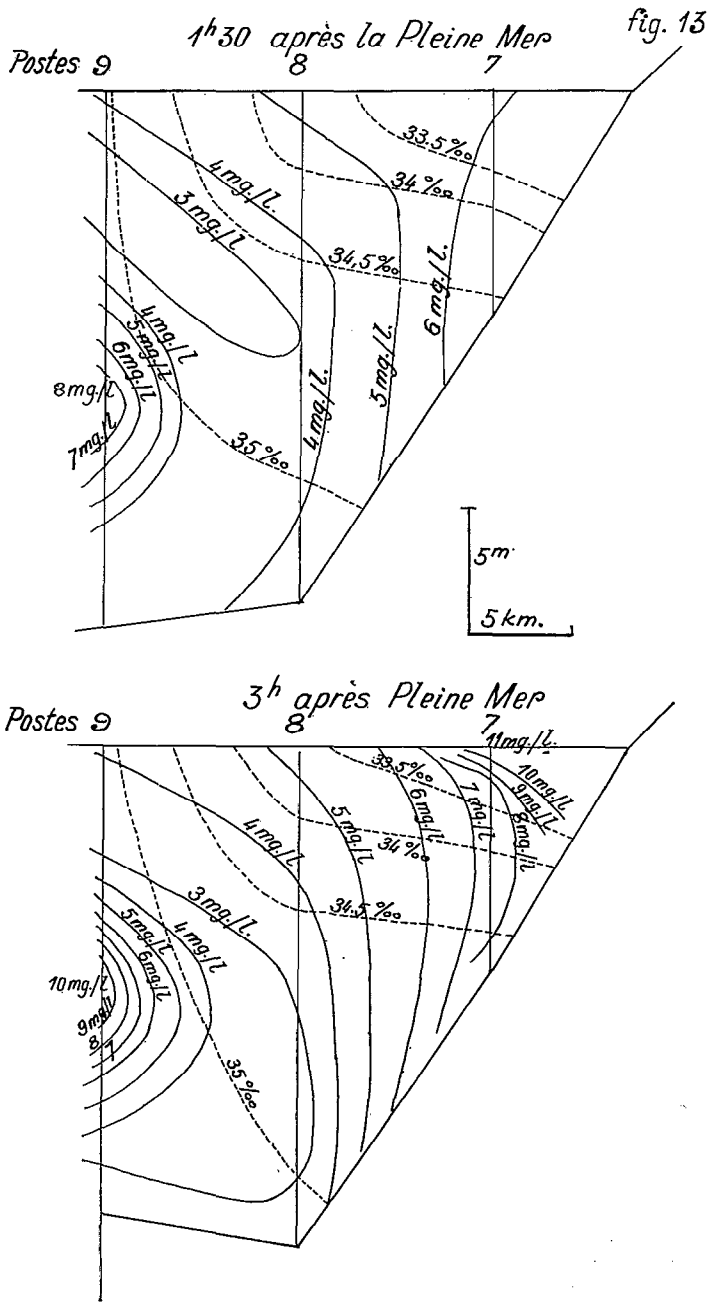

Fig. 13. — Profils instantanés en étiage du fleuve.

e) **1 h 30 aprés la Pleine-Mer** (Période de Jusant, fig. 13).

La salinité est en légère régression aux postes n°s 7 et 8 mais elle est restée pratiquemment stationnaire au poste 9.

La turbidité a augmenté depuis la pleine mer :
au poste 7 les eaux contiennent plus de 6 mg / l. et il apparaît à nouveau,
au P. 9, une lentille d'eau turbide (8 mg / l.) à la profondeur de 12 m.

f) **3 heures après la Pleine-Mer** (Période de Jusant, fig. 13).

La salinité est en légère régression au P. 7, elle est pratiquement inchangée aux postes 8 et 9.

La turbidité a notablement augmenté dans l'ensemble du profil surtout par un apport des eaux de surface au P. 7 où nous observons une augmentation de 5 mg / l.

D'autre part, la lentille d'eau turbide du P. 9 s'est légèrement renforcée par des apports nouveaux, elle atteint maintenant 10 mg / l.

Résumé.

L'étude de ce profil transversal montre une remarquable stabilité du taux de salinité aux postes 8 et 9, c'est seulement au poste 7 que des fluctuations peuvent être observées. Il apparaît donc que le dessalement n'affecte qu'une mince tranche d'eau superficielle.

La localisation des eaux turbides explique la séparation verticale des matières en suspension.

Le courant orienté N.E.-S.O. qui, d'après la carte marine, longe la bordure du plateau continental, contribue sans doute au maintien des matières en suspension aux postes situés vers le large (ici le poste 9) et à leur répartition le long de cette bordure. Aucun poste n'ayant pu être stationné au large du P. 9, la limite nord des eaux turbides qui apparaissent parfois dans la tranche médiane n'a pu être fixée.

L'étude des sédiments qui sera développée ultérieurement confirme cette répartition de la turbidité; les teneurs en fraction fine ($<$ 0,080 mm) sont les suivantes :

station n^0 7 — fraction fine — 99,7 %
n^0 8 — fraction fine — 99,1 %
n^0 9 — fraction fine — 10,5 %

Deuxième profil transversal à l'est du profil axial (Postes n°s 19 à 21, fig. 1).

Les postes n°s 19, 20 et 21 ont été stationnés aux emplacements prévus, par le travers des postes 7, 8 et 9 qui viennent d'être étudiés.

a) **Basse-Mer** (fig. 14).

La salinité la plus basse est observée au poste 20 où les eaux les moins salées paraissent s'écouler comme dans un chenal délimité par la teneur de 34 $^0/_{00}$; toutefois, il ne faut pas oublier que par suite de l'énorme distorsion de ces profils, il ne s'agit que d'une mince tranche d'eau s'étendant sur une dizaine de kilomètres de largeur. Il faut encore noter que l'abaissement de la salinité est moins important que dans le premier profil transversal.

La turbidité atteint son maximum dans les eaux superficielles mais elle est peu élevée ; les eaux de la tranche médiane et les eaux profondes sont les moins chargées de sédiments.

b) **3 heures après la Basse-Mer** (Période de flot, fig. 14).

La salinité a légèrement augmenté, principalement vers le fond. La turbidité évolue dans le sens de la décantation des eaux ; la comparaison avec le profil 7 à 9 de la même période (fig. 11). montre que la turbidité décroît très nettement lorsqu'on passe de la 1re transversale Est à la deuxième. En particulier les eaux turbides qui existaient au fond, au profil n^0 9, n'atteignent pas le P. 21.

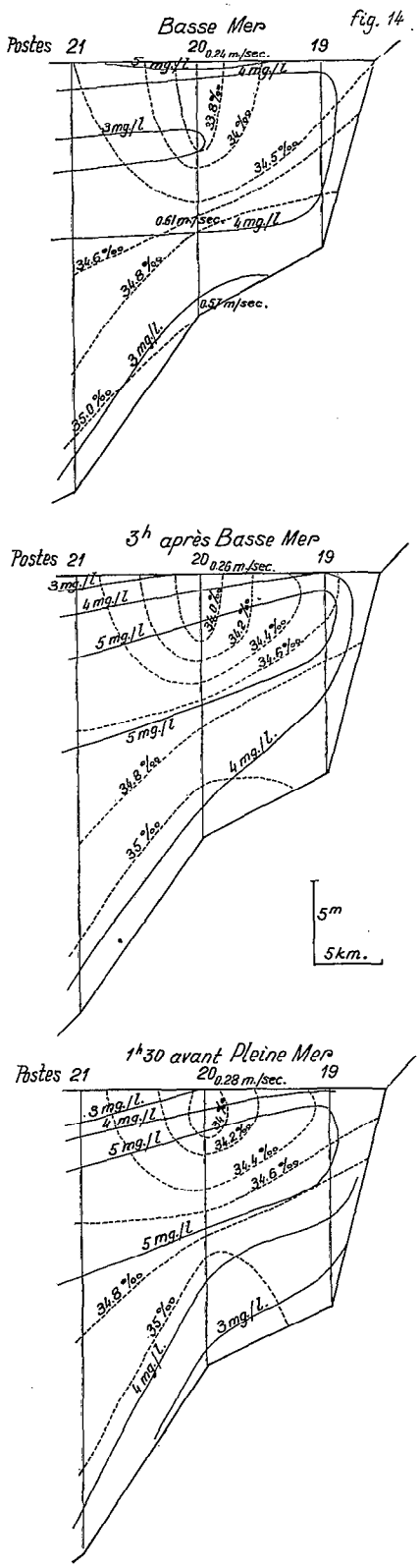

Fig. 14. — Deuxième transversale Est. Profils instantanés en étiage du fleuve.

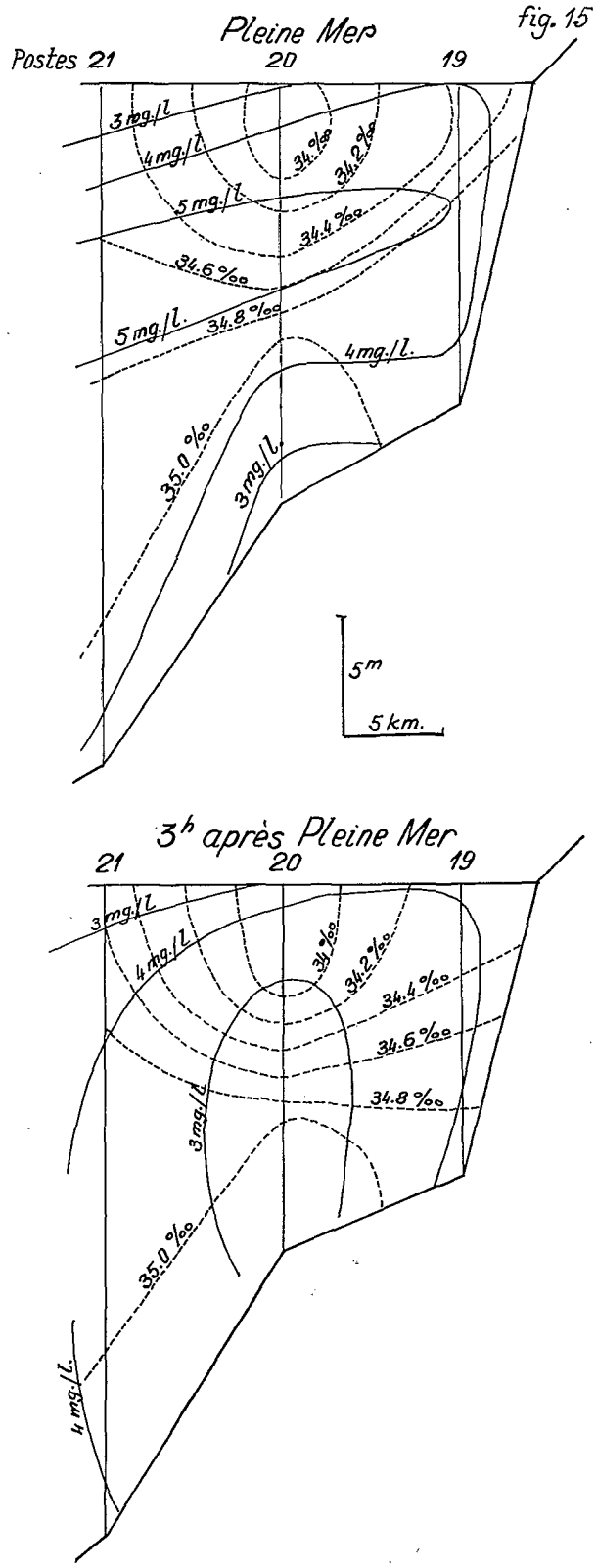

Fig. 15. — Profils instantanés en étiage du fleuve.

c) **1 h 30 avant la Pleine-Mer** (Période de flot, fig. 14).

La salinité a faiblement augmenté depuis les observations précédentes et la turbidité est restée pratiquement inchangée, on note seulement une zone légèrement moins turbide que précédemment, à proximité du fond aux postes 19 et 20.

La comparaison avec le profil 7 à 9, de la première transversale Est, montre que les teneurs en suspension ont, dans les deux cas, des valeurs sensiblement identiques.

d) **Pleine-Mer** (fig. 15).

La salinité n'a pas varié sensiblement depuis les dernières mesures, il en est de même pour la turbidité.

La comparaison avec le profil 7 et 9 de la première transversale Est montre que les teneurs en suspension sont du même ordre de grandeur dans les deux cas.

e) **3 heures après la Pleine-Mer** (fig. 15).

La salinité s'est abaissée au P. 19 depuis les dernières observations.

La turbidité a également diminué pendant la même période, la lentille d'eau contenant 3 mg / l. s'est considérablement développée.

La comparaison avec les profils 7 et 9, de la première transversale Est, permet de constater un abaissement très net de la turbidité lorsque les eaux atteignent la deuxième transversale.

En résumé.

L'examen des profils de la deuxième transversale Est montre qu'il y existe une stabilité notable de la salinité, le dessalement des eaux de surface est un peu plus important au P. 20 que dans les deux postes latéraux, mais la stratification des eaux reste pratiquement constante.

On observe également une diminution des teneurs en suspension qui ne présentent plus de maximum bien défini. Ainsi, des deux comparaisons latérales qui viennent d'être faites, avec la ligne du Profil Axial traversant le plateau continental, il apparaît que les déplacements sédimentaires sont plus importants, à l'est qu'à l'ouest de l'axe choisi.

D'autre part, il semble que les transports importants de sédiments ne dépassent pas sensiblement, en régime d'étiage du fleuve, la deuxième transversale Est. Pour examiner cette question plus en détail, nous avons construit une série de profils spéciaux qui vont être examinés ci-dessous.

Établissements de profils pour la recherche de l'évacuation des sédiments sortant de l'estuaire du fleuve en période d'étiage.

a) **Basse-Mer** (fig. 16).

Le dessalement des eaux a, bien entendu, son maximum dans les deux postes estuariens et les courbes isohalines s'incurvent vers les postes extérieurs ; celle de 33 $^0/_{00}$ atteint en surface le P. 7.

Le maximum de turbidité au fond est situé au P. 1, ensuite la turbidité au fond diminue progressivement jusqu'au P. 2 ; elle reste quasi stationnaire au fond entre les postes 2 et 7 où elle est égale sur toute la hauteur de la tranche d'eau. Enfin, la turdibité diminue entre les P. 7 et 19.

Les eaux de surface, en provenance de l'estuaire, renferment 8 mg / l. de sédiments en suspension, mais elles ont déjà abandonné une portion des particules transportées avant d'atteindre le P. 2. Entre les P. 2 et P. 7 la décantation paraît se poursuivre, mais il y a une augmentation de teneur au P. 7.

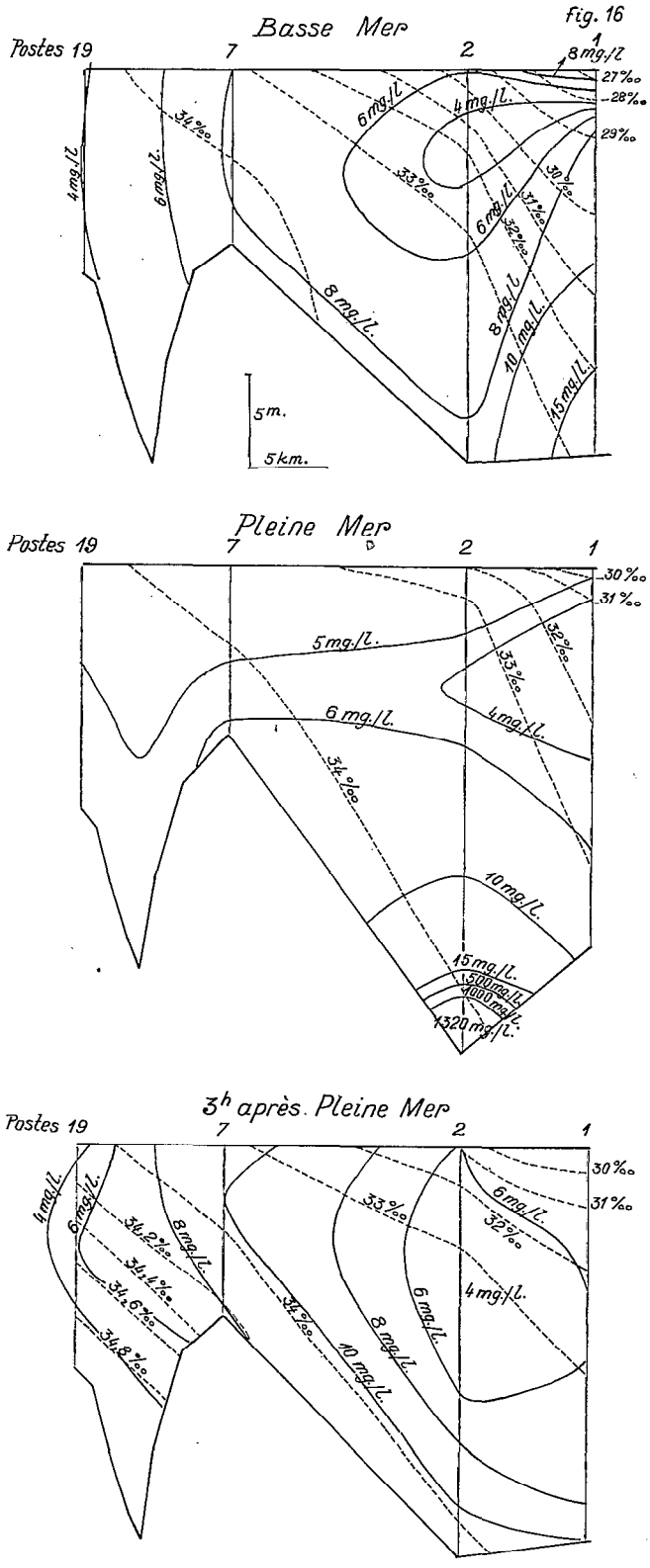

Fig. 16. — Profils pour l'étude de l'évacuation des sédiments de l'estuaire du fleuve.

b) **Pleine-Mer** (fig. 16).

A la pleine-mer la salinité augmente d'une manière très sensible.

Sous la poussée du courant de flot les sédiments en suspension sont refoulés vers l'entrée de l'estuaire où ils sont bloqués. On observe alors une concentration de plus d'un gramme par litre d'eau près du fond au P. 2 mais il y a déjà moins de 10 mg / l. au P. 1. Il apparaît donc que l'importante masse sédimentaire de l'entrée n'est pas déplacée vers l'amont du fleuve.

En surface et jusqu'à la tranche d'eau médiane la turbidité s'est abaissée et régularisée.

c) **3 heures après la Pleine-Mer** (Période de Jusant, fig. 16).

La salinité s'abaisse dans la partie amont du profil où la courbe isohaline de 33 $^0/_{00}$ atteint presque le P. 7 tandis que celle de 32 $^0/_{00}$ dépasse largement de P. 2. L'isohaline de 34 $^0/_{00}$ reste inchangée.

Une partie des sédiments précédemment concentrés au P. 2 est refoulée par le jusant et remise en suspension ; il en résulte un accroissement de la turbidité au fond et en surface aux postes 7 et 19.

EN RÉSUMÉ.

La comparaison des deux profils transversaux Est (Postes 7 et 9 et Postes 19 à 21) avec le profil axial (Postes 1 à 6) avait montré que les eaux fluviales s'orientaient de préférence au N.-N.-E. à leur sortie de l'estuaire ainsi qu'on pouvait s'y attendre.

Il était en outre apparu que le courant de flot, dirigé vers le littoral, pouvait peut-être provoquer une concentration des sédiments vers les postes côtiers 7 et 19. Il était donc nécessaire d'étudier sur des profils spéciaux, les conséquences de ces deux actions dynamiques sur la répartition des sédiements.

L'examen détaillé qui vient d'être fait montre, qu'en période d'étiage du fleuve, la masse sédimentaire importante qui se concentre au P. 2 à la pleine-mer ne progresse pas vers l'amont.

La fraction fraîchement déposée paraît être remise en suspension et partiellement dispersée au cours du jusant suivant, mais les eaux assez fortement turbides qui atteignent le P. 7 sont notablement moins riches en sédiments lorsqu'elles atteignent le P. 19 où le dépôt paraît être beaucoup moins actif.

5e DYNAMIQUE DE LA SÉDIMENTATION EN PÉRIODE DE CRUE DU FLEUVE

Les mesures ont été exécutées du 8 au 17 mars 1962. Les débits fluviaux ont subi des variations importantes pendant cette période, notamment le 8 mars, mais justement la brusque augmentation du débit qui était passé à 3.665 m^3 / sec. n'a pas permis de poursuivre les observations qui ont du être interrompues et reprises le lendemain 9 mars.

Ainsi donc, les mesures ont été faites pour des débits fluviaux variant de 1427 m^3 / sec. à 2.810 m^3 / sec. L'écart est important, mais il ne paraît pas possible, à l'examen de la courbe des débits totalisés (fig. 2), de découvrir une période de 8 à 10 jours durant laquelle le débit fluvial soit stabilisé. Cela est d'autant plus irréalisable qu'en commençant une campagne de mesures, il est impossible de connaître comment évoluera la crue qui va être étudiée.

Cependant, les variations, dans les évolutions dynamiques ou sédimentaires devront être interprétées en tenant compte de ces fluctuations du débit fluvial au cours des mesures.

Les conditions océaniques ont également subi des fluctuations assez importantes pour cette région du globe où les marnages sont modérés. Les hauteurs des basses-mers ont varié de 0,60 m à 2,50 m, celles des hautes-mers de 3,40 m à 5,20 m.

Profil tansversal du plateau continental dans l'axe de l'embouchure du fleuve (Postes 1 à 6 et 23).

a) **Basse-Mer** (fig. 17).

La salinité est fortement abaissée, elle est inférieure à 2 ‰ aux postes 1 et 2 et les eaux superficielles n'atteignent que 15 à 20 ‰ sur toute la longueur du profil. La courbe isohaline de 30 ‰ apparaît seulement au 1/3 de la hauteur d'eau et près du fond on observe seulement 33 ‰.

Les vitesses de courant de surface varient de 0,42 à 1 m / sec., mais il y a une disproportion énorme entre ces vitesses superficielles et celles près du fond qui sont comprises entre 0, 09 et 0,20 m / sec.

La turbidité des eaux de surface est supérieure à 10 mg / l. jusqu'au-delà du P. 3, puis elle est comprise entre 4 et 6 mg / l. aux postes 4-5 et 6.

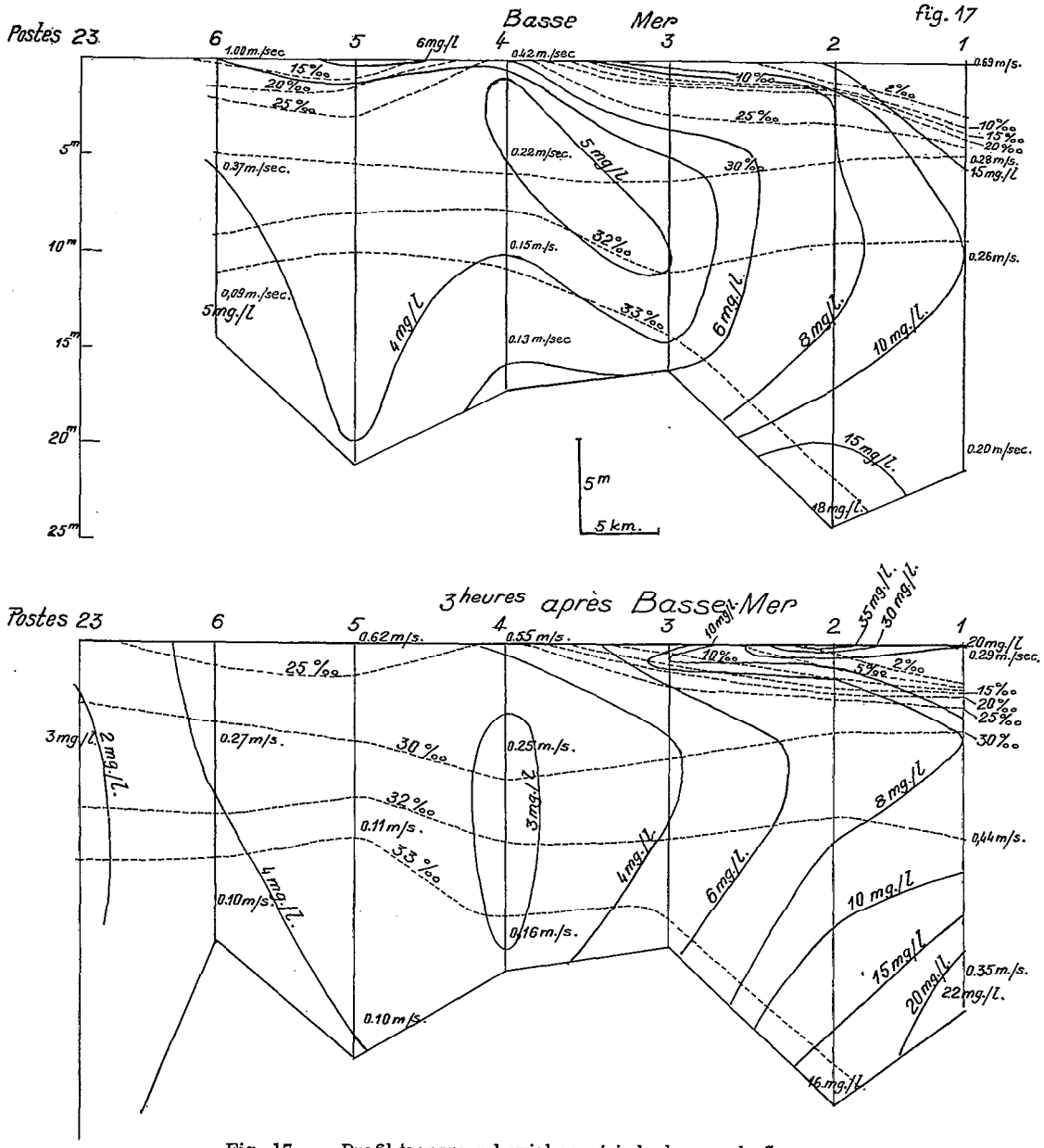

Fig. 17. — Profil transversal axial en période de crue du fleuve.

La turbidité près du fond varie de 6 à 18 mg / l. pour les 3 premiers postes, le maximum étant situé au P. 2. Entre postes 3 et 6, la turbidité près du fond varie de 4 à 6 mg / l.

b) **3 heures après la Basse-Mer** (Période de flot, fig. 17).

La salinité est restée quasi stationnaire près du fond dans la tranche d'eau médiane. Par contre, les eaux très dessalées de la surface sont en régression très nette puisqu'on observe 25 ‰ de salinité du P. 23 au P. 4.

Les vitesses des courants de surface sont comprises entre 0,29 et 0,62 m / sec. ces vitesses s'atténuent vers le fond puisqu'à mi-profondeur elles varient de 0,25 à 2,27 m / sec. sur le plateau continental et 0,44 m / sec. dans le fleuve. Près du fond, les vitesses sont encore plus réduites 0,10 à 0,16 m / sec. sur le plateau continental et 0,35 m / sec. en estuaire ; avec d'aussi faibles courants près du fond, il est impossible d'assurer d'importants transports de sédiments grossiers

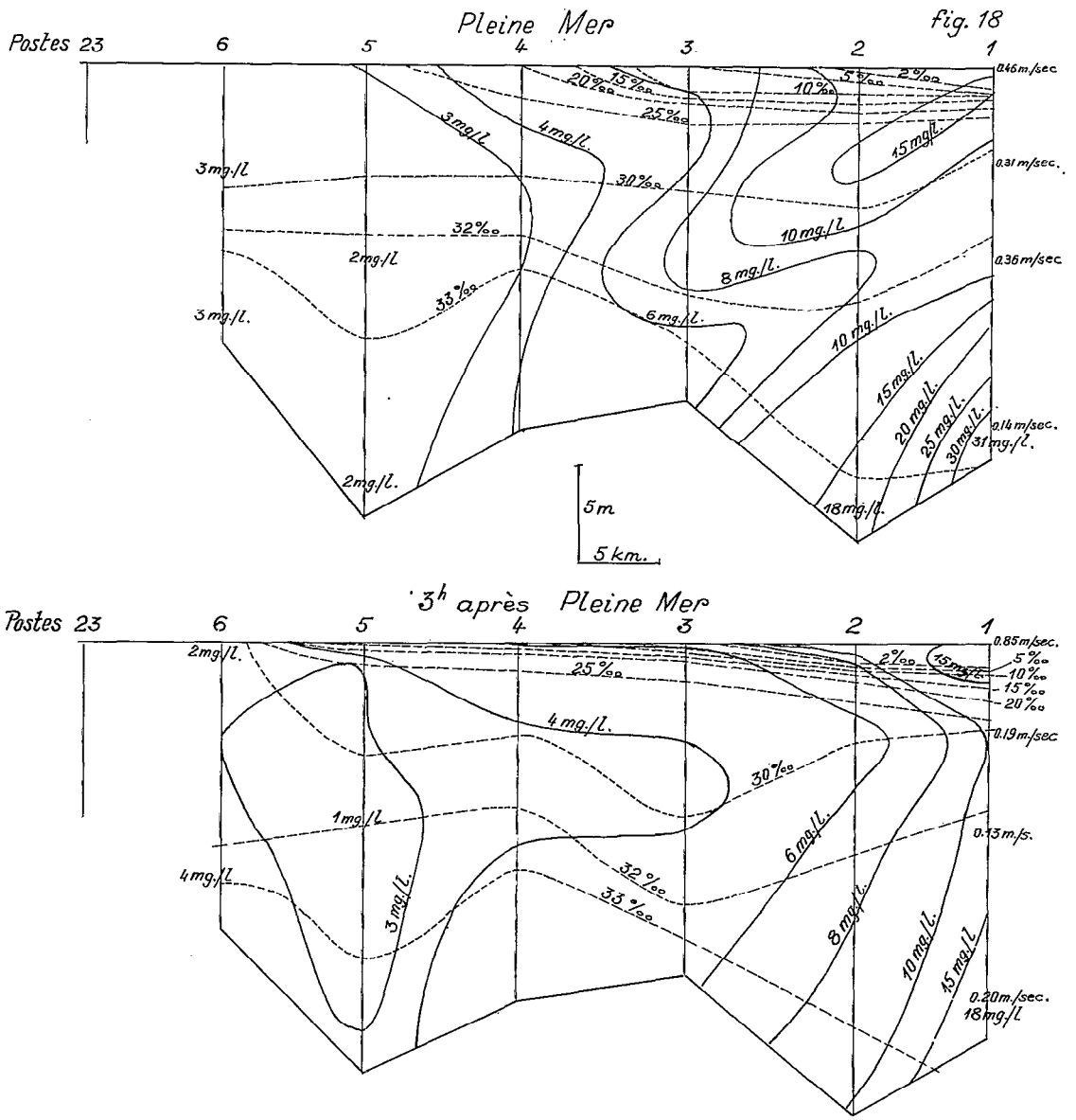

Fig. 18. — Profil instantané en période de crue du fleuve.

et même de sédiments fins. Le transport sédimentaire intéresse donc surtout les particules fines qui sont abondantes dans les eaux de sub-surface : 35 mg. à 10 mg / l. entre les postes 1 et 3.

Près du fond, on observe des teneurs de 10 à 20 mg / l. aux P. 1. et P. 2 mais ensuite la turbidité des eaux se réduit vers le large.

c) **Pleine-Mer** (fig. 18).

A la Pleine-mer, la salinité a un peu augmenté depuis les dernières observations ; ceci se traduit par une épaisseur un peu plus grande de la couche d'eau à 33 $^0/_{00}$ et un léger recul des couches d'eau à très faible salinité.

Les mesures de vitesses de courant sont limitées au poste 1 mais elles sont cependant intéressantes avec 0,46 m / sec. en surface et seulement 0,14 m / sec. en profondeur.

Les eaux fortement turbides qui existaient en surface, lors des dernières observations, se sont décantées et l'on observe maintenant 15 mg / l. à des profondeurs comprises entre 1,50 m. et 5 m ; corrélativement, la turbidité a augmenté en profondeur aux postes 1 et 2 où l'on observe maintenant deux maxima de 18 et 31 mg / l.

La turbidité diminue rapidement vers le large, elle est seulement de 2 à 3 mg / l. à partir de la mi-distance entre les postes 4 et 5.

d) **3 heures après la Pleine-Mer** (Période de Jusant, fig. 18).

La salinité a diminué dans la tranche superficielle où les eaux à 15 $^0/_{00}$ s'étendent jusqu'au-delà du P. 5. Par contre, les eaux profondes ne sont pratiquement pas modifiées depuis les précédentes observations.

Les vitesses de courant n'ont été mesurées qu'au poste 1, leur répartition verticale est très caractéristique ; nous avons enregistré 0,85 m / sec. en surface et 0,19 m / sec. à 4 m. de profondeur, ce qui souligne la stratification des eaux.

La turbidité des eaux superficielles a augmenté depuis les dernières observations, les eaux à 6 mg / l. de suspension atteignent maintenant le poste n° 4.

Les teneurs en suspension près du fond ne sont importantes qu'aux postes 1 et 2, elles sont cependant moins élevés qu'à la Pleine-Mer. La faible vitesse des courants près du fond n'autorise pas à supposer une dispersion importante des sédiments en suspension, c'est plutôt une décantation des eaux et un dépôt des sédiments qui doit être envisagé.

EN RÉSUMÉ.

L'examen de ces profils transversaux qui s'étendent jusqu'à la limite nord du plateau continental met en évidence les faits suivants :

1° Il existe une stratification extrêmement serrée des eaux sortant de l'estuaire du fleuve. Le dessalement qui est presque total à l'embouchure s'atténue vers le large mais il est encore extrêmement marqué et abaisse la salinité de 10 $^0/_{00}$ jusqu'à la limite du plateau.

2° les vitesses de courant sont elles-mêmes fortement stratifiées, elles se réduisent au 1/3 ou au 1/4 de leur valeur en surface, à 4 ou 5 m de profondeur. Il en résulte que les courants, à proximité du fond, sont toujours de faible intensité, et qu'il n'existe pas de transport important de sédiment sur le fond. Ce sont les particules transportées en suspension qui constituent l'essentiel de la sédimentation sur le plateau continental.

Premier profil transversal à l'ouest du profil axial, période de crue du fleuve (Postes 11 à 13).

Les mesures qui ont été effectuées en Mars 1962 n'ont permis que la construction de deux profils complets.

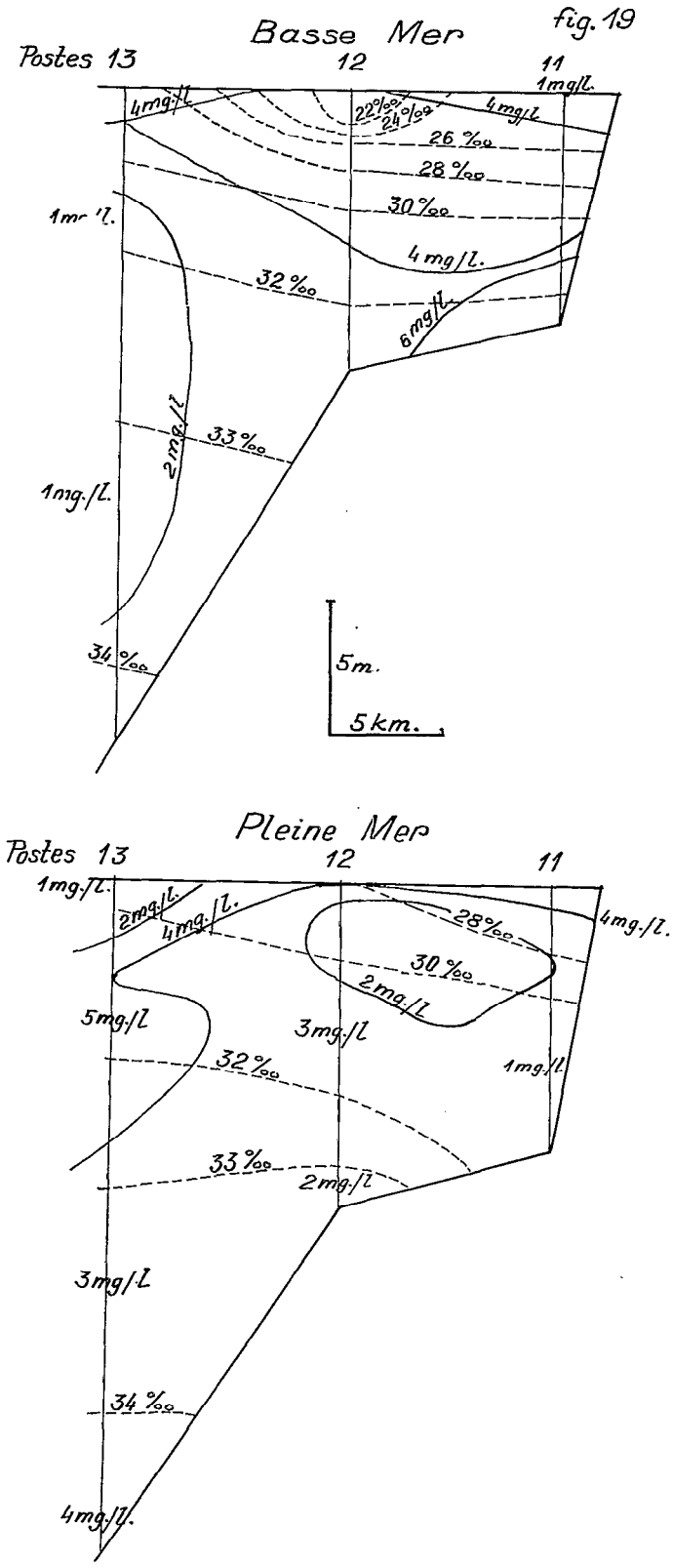

Fig. 19. — Première transversale Ouest, en période de crue du fleuve.

Basse-Mer (fig. 19).

Le dessalement des eaux de surface est beaucoup moins important ici que sur la transversale axiale. En effet, au P. 3 situé en face du P. 11, nous avions observé (fig. 17) moins de 10 ‰ de salinité, tandis qu'au P. 11 la salinité était supérieure à 25 ‰. C'est au P. 12 qu'est observé le dessalement le plus important, mais il est beaucoup moins marqué au P. 4 du profil axial.

La turbidité des eaux superficielles et médianes est faible (4 mg / l.), elle augmente seulement jusqu'à 6 mg / l. près du fond, au P. 11. Sur la verticale du P. 13, la turbidité est faible : elle varie de 1 à 2 mg / l.

Pleine-Mer.

La salinité a nettement augmenté depuis la Basse-Mer ; en particulier dans la tranche d'eau de surface qui est passée d'un minimum de 22 ‰ à près de 28 ‰.

La turbidité a diminué à l'aplomb des postes 11 et 12, mais elle a augmenté au P. 13 de 3 à 5 mg / l. dans les eaux médianes et profondes tandis qu'elle a diminué dans les eaux superficielles qui semblent s'être décantées.

Deuxième profil transversal à l'ouest du profil axial (Postes 15 à 17) **en période de crue.**

Les mesures qui ont été effectuées en mars 1962 n'ont permis que la construction de deux profils complets.

Basse-Mer (fig. 20).

La salinité est plus élevée que dans le premier profil transversal, sauf au P. 13 où elle dépassait 28 ‰. Il en résulte que la stratification des eaux est nettement moins serrée ici que dans le premier profil transversal.

La turbidité est faible dans la tranche d'eau supérieure (2 à 3 mg / l.) mais elle augmente sensiblement au P. 16 où elle atteint 10 mg / l. à proximité du fond.

Pleine-Mer (fig. 20).

La salinité a augmenté, les eaux à 28 ‰ se trouvent cantonnées dans une étroite zone superficielle près du P. 15, mais les eaux à salinité plus élevée n'ont pas beaucoup évolué et leurs isohalines ne subissent que des modifications de détail.

Les sédiments qui étaient en suspension près du fond au cours des mesures faites en Basse-Mer se sont probablement déposés, car cette anomalie a totalement disparu. Dans le profil établi pour la Pleine-Mer la turbidité décroît en allant vers le large, elle est toujours assez faible.

En résumé.

L'étude des deux transversales Ouest, en période de crue du fleuve montre que l'abaissement de la salinité des eaux superficielles, y est considérablement moins marqué que sur la transversale axiale. En conséquence, la stratification des eaux est signalée par les courbes isohalines peu serrées et une salinité plus élevée des eaux profondes.

La turbidité y est modérée, elle paraît s'accentuer vers le poste n° 13 au moment de la Pleine-Mer, mais pendant la même période elle s'amoindrit en P. 17.

Premier profil transversal à l'est du profil axial (Postes 7 à 9) Période de crue du fleuve.

Les mesures effectuées sur place en mars 1962 ont permis la construction de 3 profils.

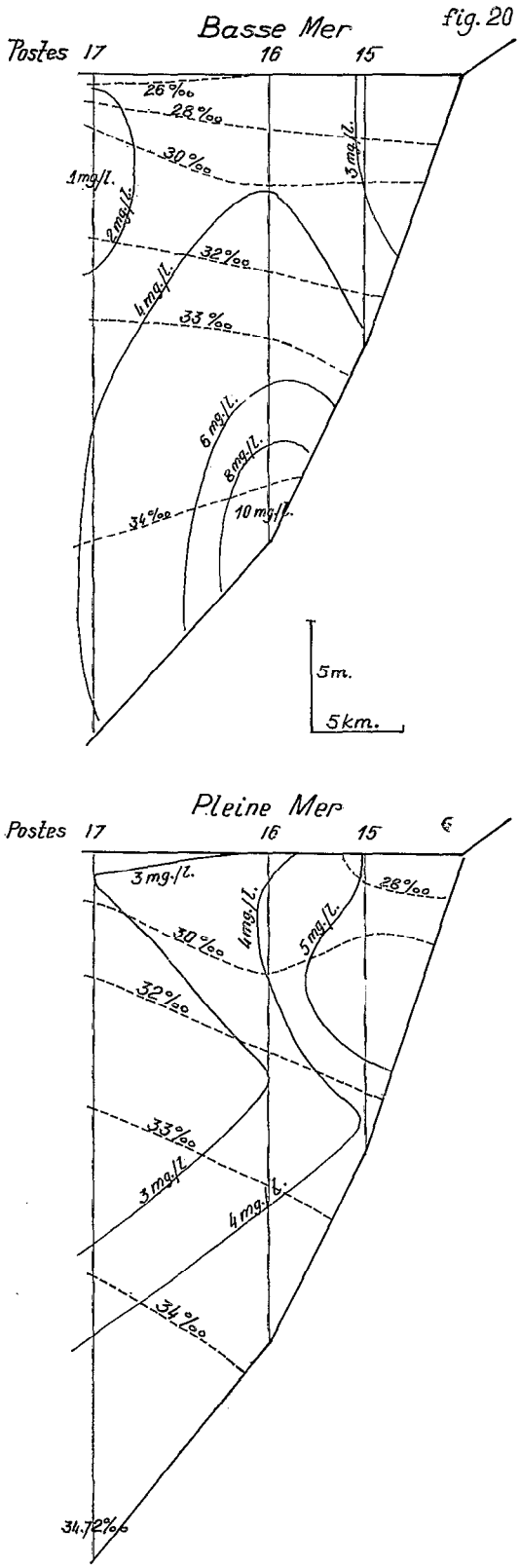

Fig. 20. — Deuxième transversale Ouest, en période de crue du fleuve.

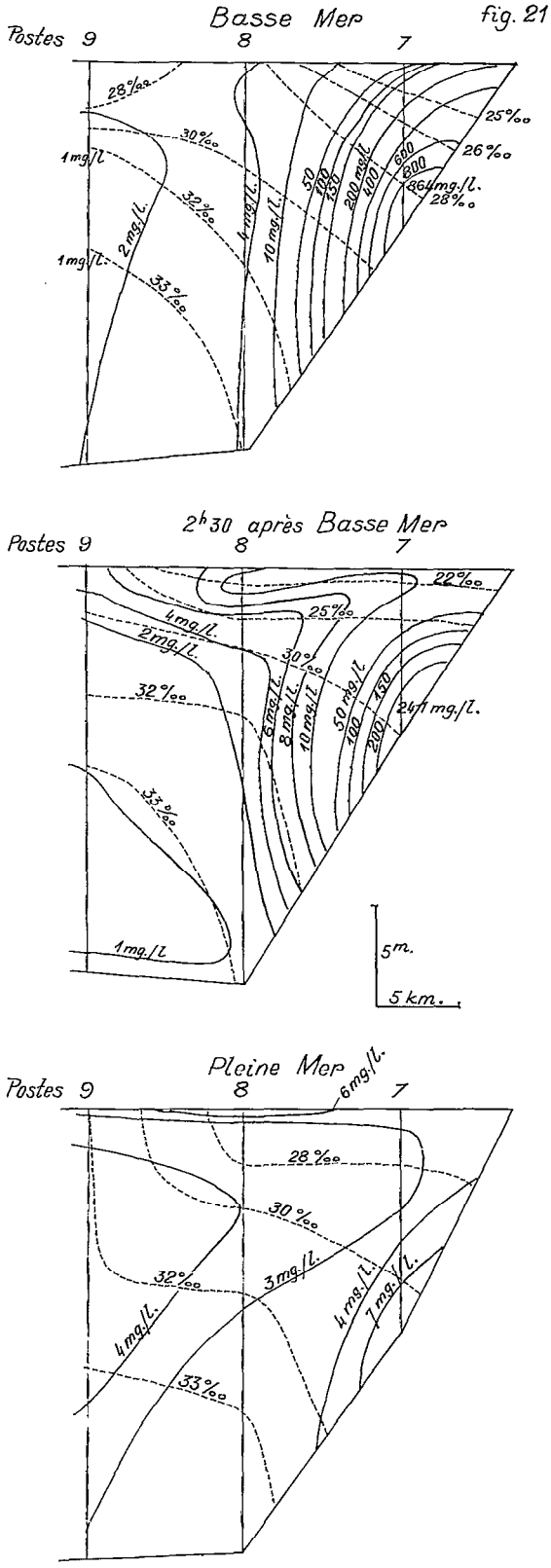

Fig. 21. — Première transversale à l'est du profil axial en période de crue du fleuve.

Basse-Mer (fig. 21).

La comparaison avec les salinités observées sur la transversale axiale (fig. 17) notamment aux postes 3, 4 et 5 par le travers desquels sont situés les postes 7, 8 et 9 montre que les eaux de surface dont le dessalement est très marqué n'atteignent pas le profil Est. En effet, la salinité ne s'abaisse pas au-dessous de 25 $^0/_{00}$ au poste 7.

Par contre la turbidité est extrêmement élevée au Poste 7 presque aussi élevée qu'au poste 2 des profils pour l'étude de l'évacuation des sédiments en période d'étiage. Elle décroît très rapidement vers le large, elle ne s'élève plus qu'à 4 mg / l. au P. 8 et 1 à 2 mg / l. au P. 9.

2 h 30 après la Basse-Mer (fig. 21).

La salinité des eaux de surface s'est abaissée à 32 $^0/_{00}$ mais dans les eaux moyennes et profondes la salinité est pratiquement inchangée.

La turbidité des eaux profondes a considérablement diminué au P. 7, et, corrélativement, elle a également diminué légèrement à l'aplomb. du P. 8 ; cependant les eaux de surface contiennent une plus grande quantité de sédiments en suspension que précédemment et la couche d'isoturbidité de 6 mg / l. atteint presque le P. 9. Il est à noter que les eaux profondes de ce poste sont très faiblement turbides.

Pleine-Mer (fig. 21).

La salinité a notablement augmenté dans la tranche d'eau supérieure puisque l'isohaline de 25 $^0/_{00}$ est remplacée par celle de 28 $^0/_{00}$. Dans la partie médiane et profonde des eaux, la salinité ne subit que de faibles variations.

La turbidité a considérablement évolué, la masse de sédiments en suspension près du fond au P. 7 est pratiquement déposée, il ne subsiste plus que 7 mg / l. en suspension. Vers les P. 8 et P. 9 les teneurs en suspension varient de 3 à 4 mg / l.

EN RÉSUMÉ.

En période de crue importante du fleuve, la salinité est plus fortement abaissée dans le profil transversal 7-8-9 à l'est du profil axial. que dans le profil transversal 11-12-13 situé à l'ouest de ce même profil axial.

La masse de sédiments transportés en suspension à proximité du fond s'étend jusqu'aux abords du profil 7 en période de crue et paraît s'y déposer.

Deuxième profil transversal à l'est du profil axial (Postes n°s 19-20-21) Période de crue du fleuve.

Les mesures effectuées sur place en Mars 1962 n'ont permis que la construction de deux profils.

Basse-Mer (fig. 22).

La salinité est notablement moins abaissée qu'à la même période dans le premier profil transversal à l'est du profil axial (Postes n°s 7, 8 et 9). On observe cette fois 28 $^0/_{00}$ dans les eaux de surface des postes 19 et 20 tandis qu'il existait moins de 25 $^0/_{00}$ au P. 7.

Les eaux sont stratifiées obliquement (mais avec une très faible déclivité si l'on tient compte de la distorsion qui est considérable).

La turbidité est faible : 4 mg / l. en surface au P. 19, puis dans tout le reste du profil, de la surface au fond, les teneurs en suspension sont comprises entre 1 et 2 mg / l., notamment dans les eaux profondes du P. 19 et dans toute la hauteur d'eau des postes 20 et 21.

Pleine-Mer (fig. 22).

La salinité a légèrement augmenté depuis les observations précédentes.

La turbidité atteint 9 mg / l. dans les eaux profondes du P. 19 mais elle s'abaisse à 3-4 mg / l. dans la tranche d'eau supérieure jusqu'à la surface. Aux postes 20 et 21 la turbidité est comprise entre 1 et 2 mg / l.

En résumé.

L'étude du deuxième profil transversal à l'est du profil axial montre que le dessalement y est faible en surface, les eaux sont encore stratifiées, mais les courbes isohalines sont largement écartées et leurs positions respectives ne subissent que des modifications de détail au cours d'une marée.

La turbidité est considérablement moins élevée qu'au poste 7 du premier profil transversal est, le P. 19 paraît bien constituer la limite est du dépôt des sédiments fins.

Pour étudier plus efficacement cette question de limite sédimentaire actuelle et pour préciser les données qui viennent d'être acquises nous avons établi un profil comprenant les postes n°s 1-2-7 et 19.

Établissement de profils pour la recherche de l'évacuation des sédiments sortant de l'estuaire du fleuve en période de crue.

Basse-Mer (fig. 23).

La salinité est extrêmement faible dans la couche de surface des postes 1 et 2, c'est pratiquement de l'eau douce qui s'écoule et la stratification est extrêmement serrée dans les premiers mètres au-dessous de la surface. Mais cet abaissement important de la salinité n'atteint pas le P. 7 où l'on observe de l'eau à 25 $^0/_{00}$.

La turbidité est assez réduite aux Postes 1 et 2 mais elle est considérable au P. 7 où l'on observe 200 mg / l. à 1 m. de la surface et 864 mg / l. au fond. Cette masse de matériaux en suspension n'atteint pas le P. 19 où la turdidité est seulement de 1 à 3 mg / l.

Pleine-Mer (fig. 23).

La salinité a légèrement augmenté mais la stratification des eaux de surface aux postes 1 et 2 et 7 est quasi inchangée.

La turbidité est élevée aux P. 1 et 2 où les sédiments en suspension gagnent le fond ; au P. 7 la presque-totalité de la masse de sédiments en suspension a été déposée. la turbidité est toujours faible au P. 19.

3 heures après la Pleine-Mer (fig. 23).

La salinité s'est abaissée mais le schéma de répartition des isohalines est resté inchangé.

La teneur en suspension est peu élevée aux postes 1 et 2 à cause de l'entraînement dû au courant de Jusant.

Par contre, la turbidité est à nouveau très élevée au P. 7, à cause des nouveaux apports sédimentaires auxquels s'ajoutent sans doute des éléments fraîchement déposés qui sont remis en suspension.

La turbidité est restée faible au P. 19.

En résumé.

En période de crue les sédiments en suspension peuvent être transportés en masses importantes sur le plateau continental, ils paraissent se déposer en majeure partie aux abords de la station n^0 7 dans les conditions fluviales et océaniques de nos expériences.

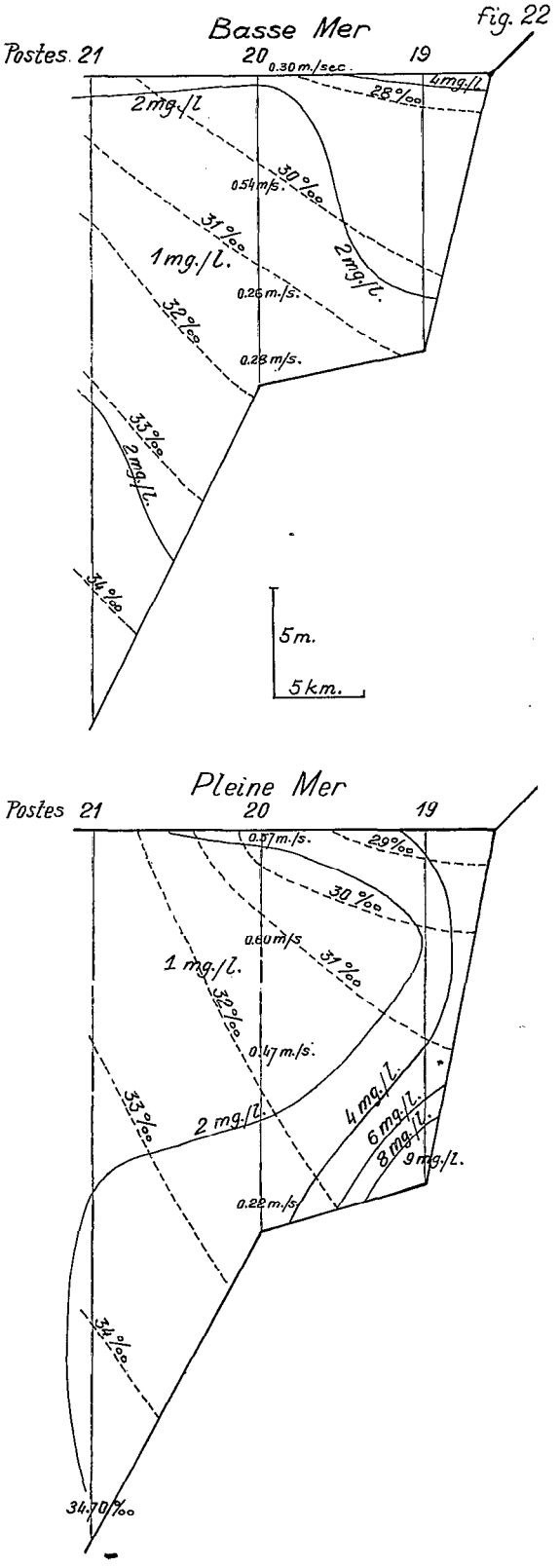

Fig. 22. — Deuxième transversale à l'est du profil axial en période de crue du fleuve.

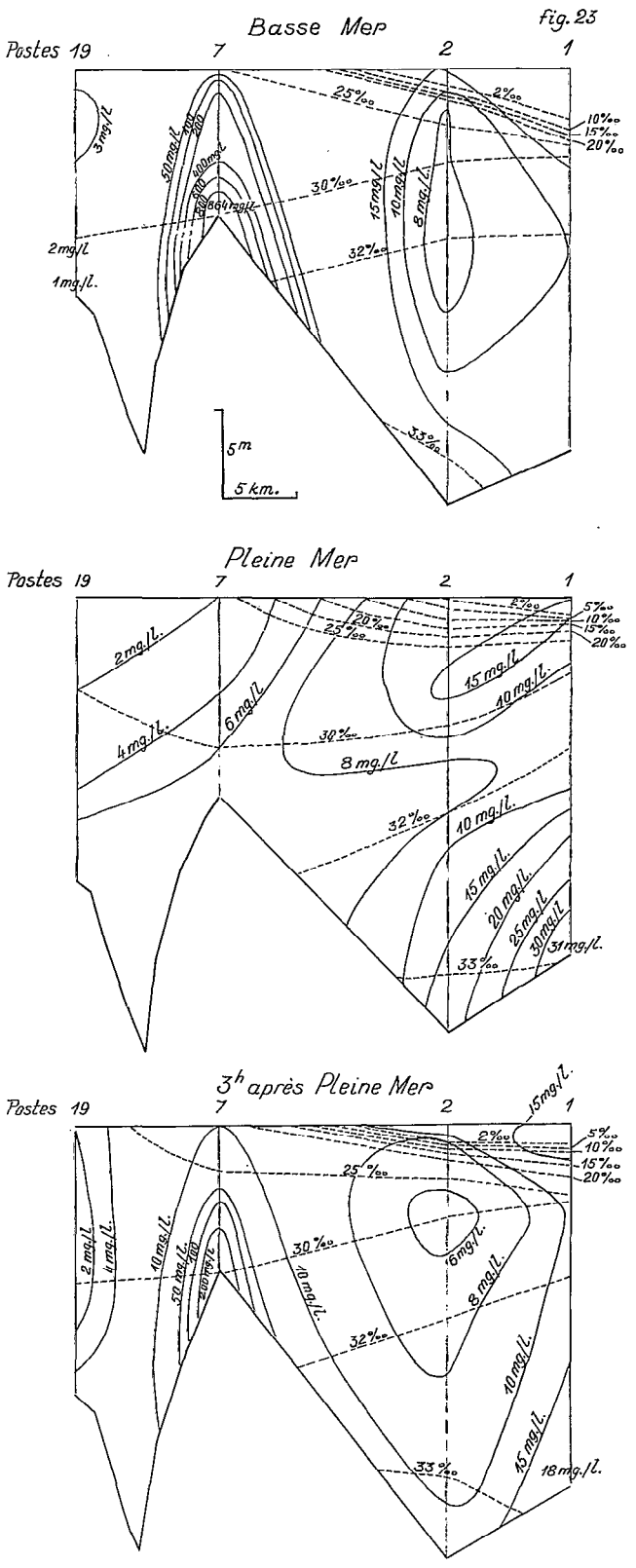

Fig. 23. — Évacuation des sédiments sortant de l'estuaire en période de crue.

TROISIÈME PARTIE

SÉDIMENTOLOGIE

1re ÉTUDE DES SÉDIMENTS FINS TRANSPORTÉS EN SUSPENSION

L'étude du transport sédimentaire en suspension comprendra deux parties :

a) l'étude de la transparence des eaux ;

b) l'étude de la répartition des sédiments fins (< 0,080 mm) qui peuvent être transportés en suspension dans la tranche d'eau superficielle.

a) *Étude de la transparence des eaux.*

La transparence des eaux a été mesurée par M. A. Crosnier, au disque de Secchi au cours des observations faites pendant la crue fluviale de mars 1962.

Ces mesures sont extrêmement intéressantes à la condition d'en bien définir la portée et d'en préciser la signification.

Des observations de coloration des eaux de surface ont été faites aux stations représentées sur la figure 1 par un triangle noir accompagné de l'indication T1, T2, etc...

A l'aide de ces remarques nous avons représenté la coloration par une série de hachures d'autant plus serrées que la teinte des eaux était plus accusée.

On remarquera immédiatement que les eaux rouge foncé ont été observées aux abords du poste n° 7 où l'étude des profils de turbidité signale justement une concentration importante des sédiments en suspension.

Mais la répartition des couleurs dessinée sur la figure 1 ne représente qu'un schéma approximatif, car les observations ne pouvaient pas être faites au même instant à tous les postes (elles ont eu lieu les 9-10-12-13-16 et 17 mars) et d'autre part, elles ont été faites à des heures différentes à chacun des postes considérés ; elles concernent par conséquent des périodes distinctes de l'évolution océanique et non tel moment caractéristique par rapport à la basse mer ou la pleine mer.

Malgré ces imperfections, dont il est indispensable de tenir compte, cette répartition, même schématique, est fort intéressante car elle matérialise la répartition des eaux renfermant des matières en suspension, sur le plateau continental.

Les mesures de la transparence des eaux au disque de Secchi ont été exécutées au cours des stationnements de l'embarcation aux postes successifs, les résultats de ces mesures sont portés sur la figure 1, où la profondeur d'immersion du disque de Secchi est entouré d'un cercle.

Il faut faire ici la même restriction qu'en ce qui concerne les mesures de coloration, car les mesures de transparence n'ont pas été simultanées sur l'ensemble du plateau continental ; mais, elles ont été répétées au cours de chaque station et c'est pourquoi il existe fréquemment deux indications de profondeur à l'intérieur du cercle : elles représentent le minimum et la maximum d'enfoncement du disque de Secchi pendant la durée du stationnement. Lorsqu'il n'y a qu'une valeur c'est parce que la profondeur d'immersion est restée inchangée.

Les deux résultats des mesures peuvent être voisins mais ils peuvent aussi être très différents ; par exemple au P. 4, l'enfoncement du disque a varié de 5 à 11 m, au poste 5 de 6 à 12 m. au poste 6 de 7 à 13 m.

L'étude des profils instantanés, qui a été developpée précédemment nous a appris que cette augmentation de la transparence était en majeure partie attribuable à la décantation des eaux. En effet, les faibles variations de salinité qui ont été observées dans la plupart des postes, au cours de l'évolution de la marée, ne nous autorise pas à envisager un remplacement complet des eaux turbides par des eaux claires venues du large.

Cette interprétation est confirmée par la faible amplitude des écarts de transparence dans les postes de l'extrême périphérie, par exemple.

TABLEAU n° 2

TRANSPARENCES MESURÉES AU DISQUE DE SECCHI

Poste	n° 15	Hauteur	10 m	différence	0 m
—	n° 16	—	9 à 10 m	—	1 m
—	n° 17	—	8 à 10 m	—	2 m
—	n° 23	—	20 m	—	0 m
—	n° 21	—	22 m	—	0 m
—	n° 20	—	20 m	—	0 m

Aux trois derniers postes, les mesures ont été faites constamment en eau claire.

Aux trois premiers postes, les eaux sont turbides, mais la quasi stabilité de la turbidité montre que, ces eaux se décantent lentement et très faiblement au cours des observations. Nous noterons en passant que la sédimentation aux trois premiers postes (n°s 15, 16 et 17) est probablement influencée par les apports de la rivière Mahamba dont l'embouchure est voisine, cette question sera examinée à nouveau dans le paragraphe consacré à l'étude des sédiments grossiers.

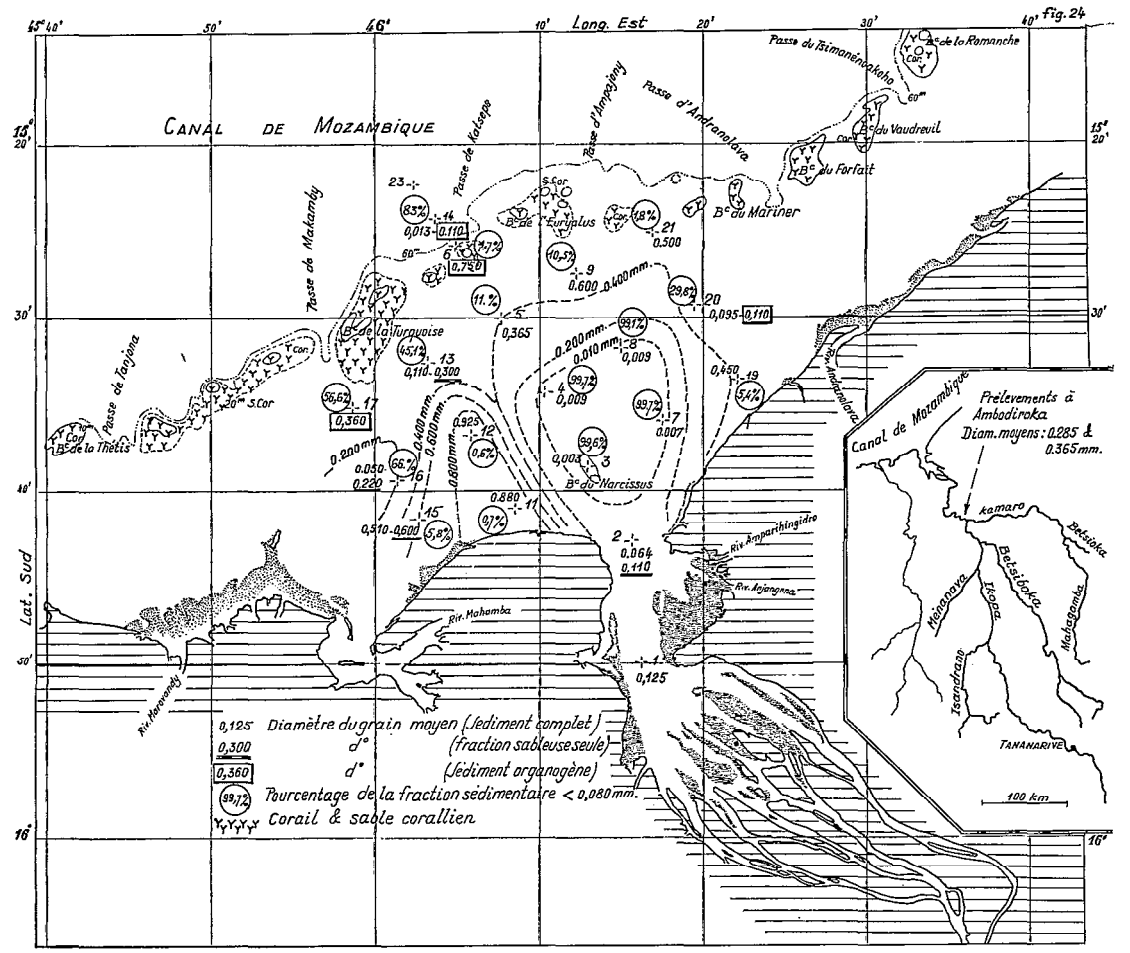

Fig. 24. — Sédimentologie de l'embouchure de la Betsiboka et du Plateau Continental.

b) *Étude de la repartition des sediments fins (diamètres inférieurs à 0,080 mm) qui peuvent être transportés en suspension dans la tranche d'eau superficielle.*

Nous avons choisi arbitrairement le diamètre de 0,080 mm :

1° Parce qu'il correspond à la limite inférieure des grains qui peuvent être tamisés à sec.,

2° A cause de la facilité avec laquelle on isole cette fraction d'un ensemble sédimentaire complexe, par un tamisage sous l'eau,

3° Parce que cette dimension correspond sensiblement au diamètre maximum des particules susceptibles d'un transport de longue durée par un cours d'eau à l'étiage.

Sur la figure 24, nous avons reporté les pourcentages de cette fraction fine dans le dépôt dragué au fond (ces pourcentages sont entourés d'un cercle).

On constate que les sédiments fins se déposent dans une aire assez restreinte englobant les postes n°s 3, 4, 7 et 8, et nous noterons que l'étude des profils instantanés a montré que, dans les conditions fluviales et océaniques de nos observations, la sédimentation de la fraction fine était particulièrement active aux abords de la station n° 7.

Mais le dépôt des sédiments fins n'est pas limité à cette zone priviligiée et dans les stations extérieures, c'est-à-dire voisines de la bordure nord du plateau continental les proportions suivantes ont été décelées :

TABLEAU n° 3

POURCENTAGES DES SÉDIMENTS FINS DANS LES STATIONS EXTERNES

	% de sédiments < 0,080 mm
Poste n° 17	56,6 %
Poste n° 13	45,1 %
Poste n° 5	11,0 %
Poste n° 9	10,5 %
Poste n° 21	1,8 %
Poste n° 6	1,7 %
Poste n° 14	83,0 %

Nous ne prenons pas en considération le poste n° 14 dans la suite de cet exposé ; il est en effet situé dans les conditions très différentes des 6 premiers. Son emplacement dans une dépression allongée entre deux abrupts du plateau continental n'autorise pas une assimilation complète aux autres postes situés sur le plateau continental.

Mais ce qu'il est important de retenir de la lecture de ce tableau, c'est la proportion, parfois très importante, de sédiments fins apportés par les eaux de surface, ainsi que les profils instantanés l'ont montré, et déposés sur le fond jusqu'au bord du plateau continental.

Pour terminer ce paragraphe consacré à l'étude des sédiments transportés en suspension, nous allons rechercher l'influence de ce facteur sur le développement des récifs coralliens.

Influence de la sédimentation fine sur le développement des récifs coralliens.

Les auteurs qui ont étudié les récifs coralliens de la côte ouest de Madagascar, en particulier A. Guilcher (1954-1958) et R. Battistini (1964) ont signalé que la bordure externe du plateau continental était constituée par de très nombreuses protubérances coralliennes ; elles sont indiquées sur les cartes marines du Service Hydrographique et désignées sous le vocable général de « bancs ». Nous en avons mentionné quelques-uns dans la description morphologique de la première partie de ce travail, elles sont constamment immergées sous 6 à 10 mètres d'eau R. Battistini (*loc. cit.* p. 448) a signalé la présence de bourrelets coralliens sous-marins, dans le sud

de Madagascar et il a parfois constaté, avec quelque surprise, l'indigence de la vie corallienne dans un certain nombre d'endroits.

Tenant compte de la basse latitude (25° sud) des lieux d'observation et de la découverte par M. Ménaché (1961) d'un phénomène de remontée d'eau profonde au sud du Canal de Mozambique, R. Battistini s'est demandé si le ralentissement de la vie des coraux ne pouvait pas s'expliquer par le refroidissement des eaux.

Dans la région que nous avons étudiée, les bancs coralliens ont une vie très ralentie ; un dragage au poste n° 6 a rapporté une quantité importante de débris de corail, mais presque exclusivement du corail mort.

Pour examiner ce problème en détail, nous avons recherché une comparaison avec les conditions océaniques des récifs coralliens de Mayotte où la vie est intense. Les termes de comparaison sont réunis dans le tableau suivant.

Comparaison des conditions océaniques à Mayotte et en Bordure du Plateau Continental au large de l'embouchure de la Betsiboka.

TABLEAU n° 4

Lagon de l'Ile Mayotte (Comores)				Plateau Continental Malgache			
Profondeur m	Salinité °/oo	Température °C	Turbidité mg/l	Profondeur m	Salinité °/oo	Température °C	Turbidité mg/l
Ouest des Iles Ajangua (Lagon Est)				POSTE N° 6 (8 h 10 le 17-3-62)			
0	35,24	27°00	0,3	0	14,36	28°18	4,4
10	35,03	25°01	0,6	5	30,95	28°97	3,6
20	35,04	24°88	0,4	13	33,68	28°37	5,3
30	35,01	24°78	0,7				
40	35,03	24°69	0,8				
Lagon Sud				POSTE N° 6 (10 h 40 à 11 h)			
0	35,16	25°00	0,4	0	20,25	29°20	5,7
5	35,07	24°98	0,4	5	30,77	29°14	5,0
10	35,04	24°40	0,0	14	33,68	28°45	4,1
20	35,06	23°99	0,5				
30	35,04	23°91	0,0				
Lagon S.-W.				POSTE N° 9 (11 h 20 le 10-3-62)			
0	35,20	25°40	0,9	0	27,07	30°31	4,5
5	35,07	25°52	1,0	1	27,09	29°51	2,9
15	34,78	24°15	1,1	5	32,25	28°75	0,8
25	35,04	23°96	0,8	10	33,08	28°45	0,9
35	35,06	23°74	1,5	19	33,77	28°21	1,6
Lagon Ouest				POSTE N° 13 (15 h 15 le 13-3-62)			
0	35,32	26°10	3,1	0	29,63	29°51	3,3
10	35,04	24°87	1,6	1	29,63	29°48	4,4
20	35,06	24°68	0,8	5	31,94	28°96	0,9
30	35,06	24°08	0,7	15	33,51	28°07	0,7
40	35,05	23°87	0,9	23	34,14	27°52	3,3
				POSTE N° 17 (13 h 55 le 13-3-62)			
				0	25,15	29°34	2,8
				1	27,27	29°18	1,0
				5	31,55	28°79	0,8
				15	33,51	27°99	4,4
				29	34,45	26°99	4,5

La comparaison des deux parties de ce tableau met en évidence les faits suivants :

1° Les températures des eaux du plateau continental sont plus élevées que dans le lagon de Mayotte. Lors des mesures effectuées en juillet 1961 (Période d'étiage du fleuve) les températures des eaux du plateau continental malgache étaient moins élevées, mais cependant elles ne descendaient guère au-dessous de 25° C c'est-à-dire qu'elles étaient au moins égales à celles du lagon de Mayotte.

2° En période de crue du fleuve la salinité des eaux de surface sur le plateau continental malgache, est beaucoup trop basse pour être favorable à la vie corallienne.

3° Dans le lagon de Mayotte, sauf à proximité du petit port de Dzaoudzi où les eaux sont polluées, la turbidité est presque toujours inférieure à 1,5 mg / l. Exceptionnellement il a été observé 3,1 mg / l. dans les eaux de surface du lagon ouest.

Sur le bord externe du plateau continental malgache la turdibité des eaux atteint fréquemment 3 mg / l. et dépasse parfois 5 mg / l. l'abondance des particules en suspension dans l'eau s'oppose certainement à la prolifération d'organismes constructeurs de récifs. D'après M. M. Sachet (1962) on sait que les conditions satisfaisantes de développement des coraux sont les suivants :

a) la température ne doit jamais descendre au-dessous de 20° C la température optima se situant entre 25° et 30° C ;

b) l'eau doit être suffisamment salée, l'optimum étant 36 ‰.

c) l'eau doit être très limpide. Dans une île corallienne la croissance des coraux est toujours amoindrie là où la circulation de l'eau est ralentie et la sédimentation importante.

On peut donc conclure que l'abaissement de la salinité et la turdibité relativement élevée des eaux, du bord externe du plateau continental malgache, ne permettent pas une vie corallienne intense.

2° ÉTUDE DES SEDIMENTS GROSSIERS

1° Étude des courants.

Avant d'étudier la granulométrie des sédiments et leur répartition sur le plateau continental, il nous paraît important d'étudier les conditions de répartition de sédiments par les courants.

Période d'étiage du fleuve.

a) *courants de Jusant* (fig. n° 25).

A la sortie de l'estuaire de la Betsiboka, les courants de Jusant mesurés aux postes 1 et 2, sont rapides en surface et au fond, il faut toutefois remarquer qu'au poste n° 1, la mesure a été faite à 4 m du fond et en conséquence, la vitesse à proximité du fond doit être réduite d'environ 2/3.

Sur le plateau continental, les vitesses de courants de surface sont très faibles, dirigées dans des directions voisines du Nord.

Les vitesses des courants mesurées près du fond sont faibles, surtout si nous tenons compte de la hauteur au-dessus du fond des mesures faites au moulinet.

Les vecteurs des courants de fond et de surface portent parfois, à la suite de la vitesse de courant, mesurée pendant la période considérée, l'indication d'une vitesse maximale qui a été mesurée soit en jusant, soit en flot, mais avec un certain décalage horaire par rapport à la période étudiée.

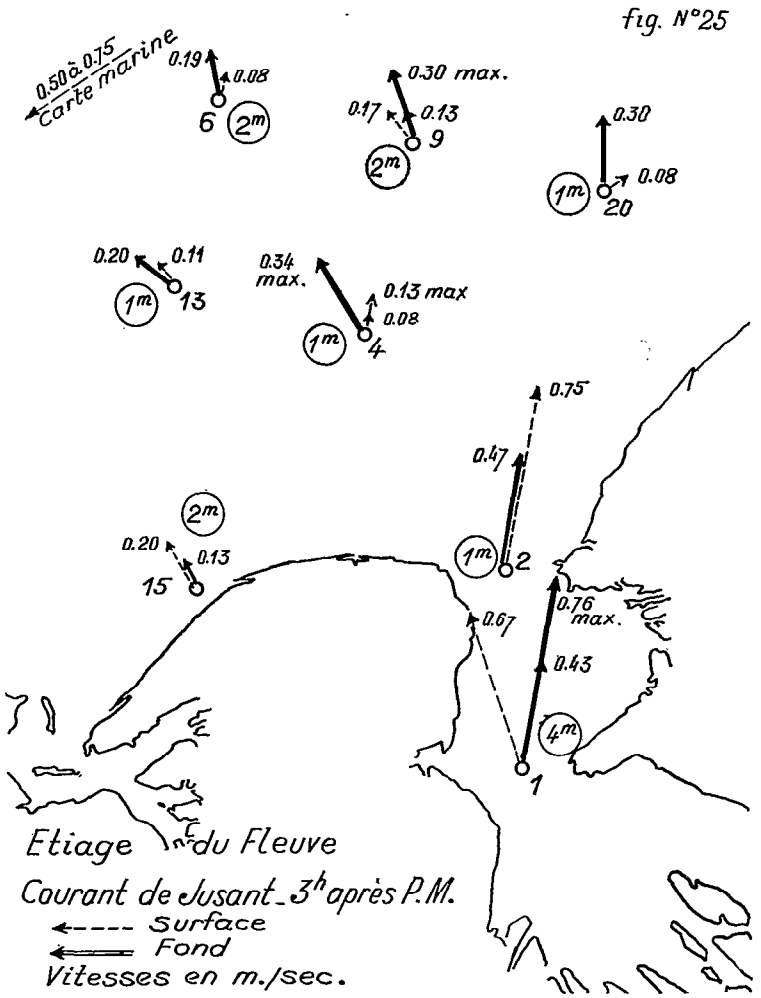

Fig. 25. — Les cotes entourées d'un cercle indiquent la hauteur du moulinet au-dessus du fond pendant la mesure de la vitesse du courant.

b) *Courants de flot* (voir fig. 26).

Les courants de surface sont moins rapides qu'en Jusant aux postes 1 et 2, ce qui est conforme à ce qu'on sait de l'équilibre estuarien.

Sur le plateau continental, les vitesses des courants de surface sont un peu plus élevées que pendant la période de jusant.

Les courants de flot sont très rapides à l'entrée de l'estuaire. Sur le plateau continental, compte tenu des hauteurs auxquelles ont été faites les mesures au moulinet au-dessus du fond, les vitesses du courant de flot sont sensiblement équivalentes à celles du courant de Jusant.

Ces vitesses atteignent au maximum 0,34 m / sec., à 1 m. au-dessus du fond ce qui correspond à une vitesse qui est certainement inférieure à 0,15 m / sec. à proximité du fond dans de telles conditions l'abaque de Hjulström (L. Berthois, *loc. cit.* 1965, p. 3) montre qu'un sédiment composé de grains de 0,5 mm. peut être transporté par ce courant, mais il ne peut pas être érodé dans un dépôt préexistant.

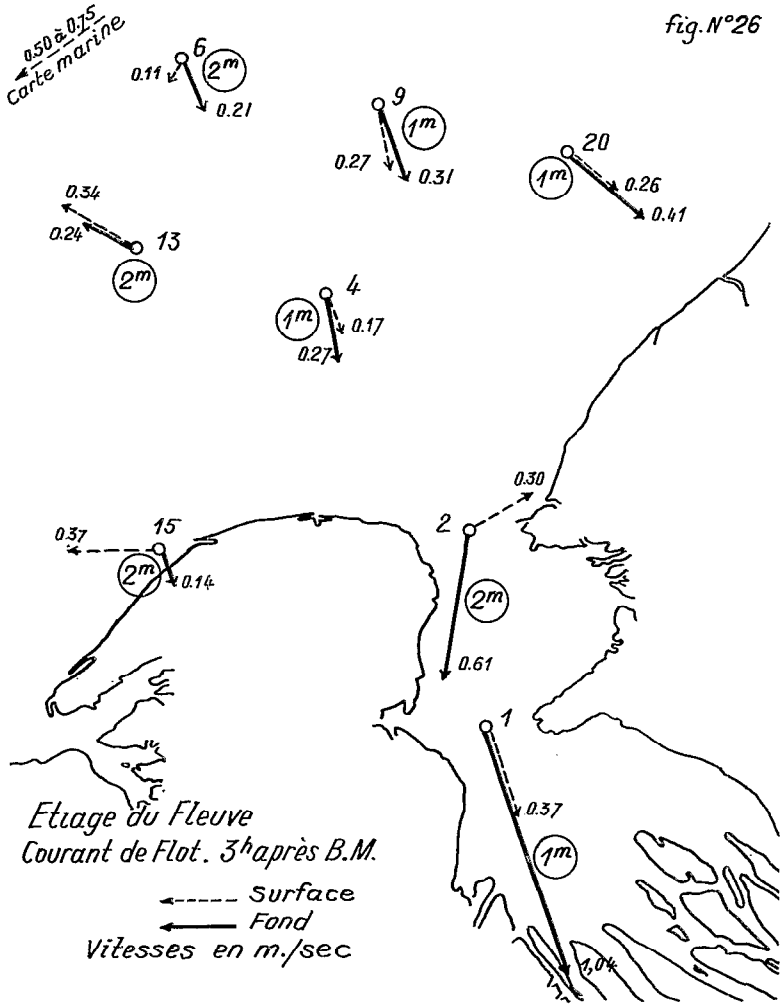

Fig. 26. — Les cotes entourées d'un cercle indiquent la hauteur du moulinet au-dessus du fond pendant la mesure de la vitesse du courant.

Période de crue du fleuve.

a) *Courants de Jusant* (fig. 27).

Les courants de surface sont extrêmement rapides aux postes 1 et 2 situés à l'embouchure de la Betsiboka.

Sur le plateau continental, les courants de surface sont moins rapides mais ils atteignent encore des vitesses relativement considérables ; ils sont tous dirigés vers le secteur N.O. à N.N.O. Ces directions et les vitesses élevées dont ils sont animés justifient pleinement le dessalement important de l'eau de mer que nous avons observé jusqu'à la crête du talus du plateau continental (voir tableau n° 4, poste 6 à 8 h 10) où la salinité est abaissée à 14,36 ‰.

Les courants de flot ont des vitesses extrêmement réduites et cependant, aux postes nos 4 et 12 les mesures ont été faites à 2 mètres du fond et au poste n° 6 à 2,50 m et 4 m du fond, ce qui signifie qu'à proximité du fond les eaux sont pratiquement immobiles. Ceci est confirmé par le très faible abaissement de la salinité dans les eaux profondes (voir tableau n° 4, poste n° 6) ainsi pour un abaissement de salinité à 14,36 ‰ en surface, la salinité à 13 m est de 33,68 ‰.

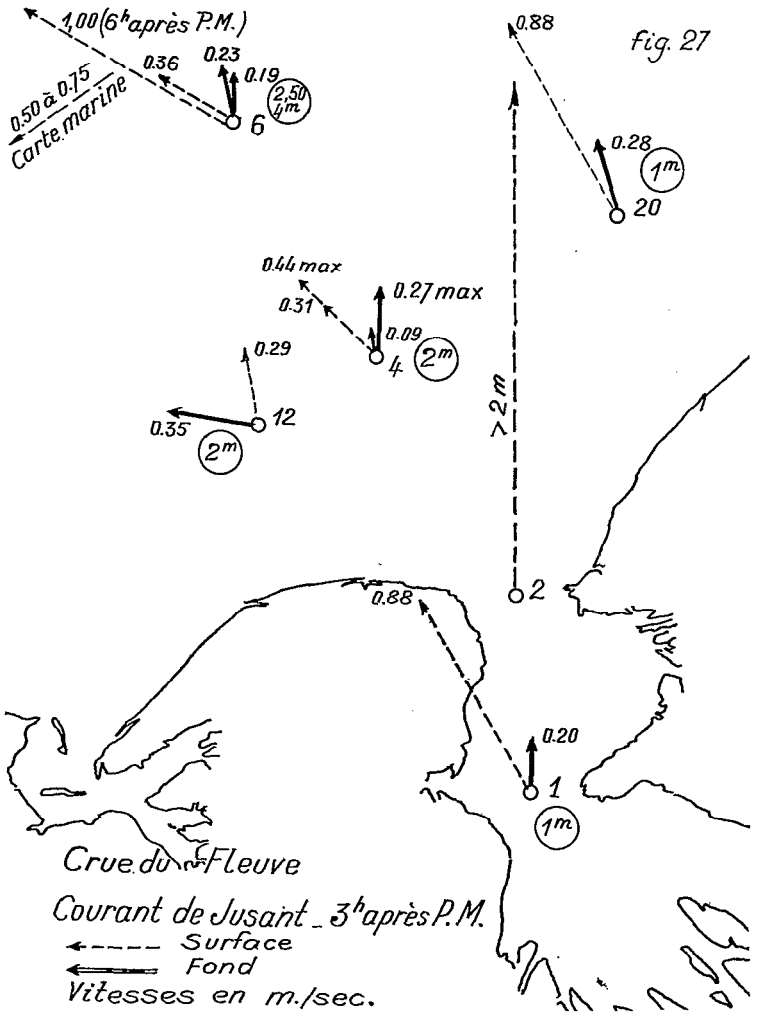

Fig. 27. — Les cotes entourées d'un cercle indiquent la hauteur du moulinet au-dessus du fond pendant la mesure de la vitesse du courant.

b) *Courants de flot* (voir fig. 28).

A la sortie de l'estuaire, les courants de surface dirigés vers le Nord sont très rapides (2,37 m / sec. au P. 2), sur le plateau continental les courants de surface sont fortement atténués mais surtout, ils ont des directions désordonnées qu'on peut attribuer à la poussée vers le large des eaux continentales. La persistance de la direction ouest au poste 4 et d'une direction N.-O. au poste n° 6, 3 heures après la Basse-Mer, est le facteur dominant qui justifie du dessalement des eaux de surface sur le plateau continental au large de l'embouchure de la Betsiboka.

Les vitesses des courants mesurés à 1 m ; 2 m et 4 m au-dessus du fond sont extrêmement réduites. En rapprochant ces observations de celles concernant la salinité au fond qui accuse des variations extrêmement faibles en période de flot, comme en période de Jusant, nous pouvons en conclure, que les eaux profondes sont animées de mouvements très lents ou même pratiquement immobiles sur le plateau continental.

Ces observations conjuguées sur la stabilité de la salinité au fond, et sur la quasi-immobilité des eaux profondes sur le plateau continental permettent d'établir une liaison entre l'équilibre estuarien et la sédimentation.

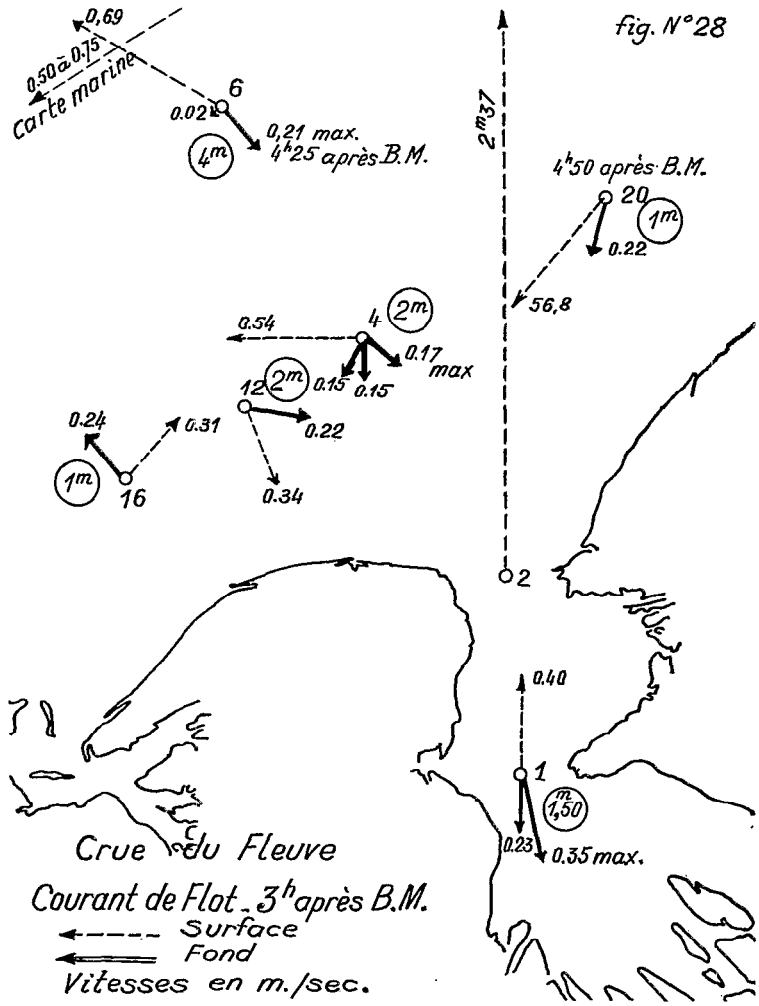

Fig. 28. — Les cotes entourées d'un cercle indiquent la hauteur du moulinet au-dessus du fond pendant la mesure de la vitesse du courant.

En période d'étiage les sédiments grossiers qui peuvent arriver jusqu'à l'embouchure du fleuve par roulement ou saltation sur le fond ne peuvent pas parvenir jusqu'au plateau continental où il n'existe pas de courant de vitesse suffisante pour les transporter en masse importante sur le fond (voir les figures 4, 5 et 6).

Les sédiments transportés en suspension se déposent dans la zone estuarienne d'équilibre qui est, à ce moment, en amont de l'embouchure.

En période de crue du fleuve.

L'équilibre fluvio-océanique profond est reporté sur le plateau continental mais les vitesses du courant au fond sont insuffisantes pour y apporter les sédiments grossiers (voir les fig. 17, 18, 27 et 28).

Par contre, les courants de surface qui sont très rapides transportent des quantités importantes de sédiments en suspension, ils se déposent en majeure partie aux abords des stations 3, 4, 7 et 8 et une fraction non négligeable atteint le bord externe du talus continental.

Ainsi, l'apport de la Betsiboka dans la sédimentation actuelle sur le plateau continental est essentiellement contitué par des sédiments fins apportés, en suspension par les eaux superficielles. Les sédiments qui peuvent être déplacés par des courants dont la vitesse est le plus souvent inférieure à 0,15 m. seconde ont des diamètres atteignant au maximum 0, 500 mm. d'après Hjulström.

2e Granulométrie des sédiments dragués.

a) *travaux antérieurs.*

Dans un travail fort documenté L.R. Lafond (1957) a distingué les variétés sableuses suivantes dans la région occupée par l'estuaire de la Betsiboka. Ses observations sont résumées ci-dessous :

1° *Sables de plage* (autour de Majunga) à granulométrie assez grossière, l'arrière-plage est très souvent formée de dunes, cependant ni la granulométrie ni la morphoscopie ne permettent de déceler une évolution poussée du sédiment sous des actions éoliennes.

2° *Sables continentaux* ce sont des sables éoliens, formés de grains de quartz fins recouverts d'une mince pellicule d'oxyde de fer. Ils recouvrent les formations anciennes dans l'intérieur du pays.

3e *Sables fluviaux de la Betsiboka.* Ils sont essentiellement quartzeux, les grains sont anguleux, leur granulométrie varie suivant les conditions locales de dépôt.

TABLEAU n° 5

Caractéristiques granulométriques des sables étudiés par L.R. Lafond (*loc. cit.* d'après la fig. 3, p. 428).

	Diamètres en mm.	
	maximum	moyen
M. 503. — Ambato. — Boeni. — Confluent de la Betsiboka et du Kamoro (en étiage).....	2,00	0,500
M. 115. — Sable de dune. — Ambovory.....	1,20	0,600
M. 516. — Haut fond sableux au voisinage de l'île verte.....	5,00	0,750
M. 114. — Sable de la plage d'Ambovory.....	3,00	1,250

b) *Granulométrie des sédiments récoltés aux postes d'observation.*

Observation : Les remarques qui ont été faites précédemment sur les apports de sédiments fins sur le plateau continental nous ont conduit, dans certains cas, à calculer un diamètre moyen de la fraction sableuse associée, dans le dépôt, à la fraction fine apportée en suspension.

Les modes de transport étant différents pour les deux fractions sédimentaires, il importait donc de les séparer granulométriquement comme elles l'avaient été hydrauliquement.

Dans le tableau suivant, la composition minéralogique a été mentionnée lorsqu'elle pouvait être déterminée par observation directe à la loupe binoculaire, c'est-à-dire jusqu'au diamètre minimum de 0,360 mm. La composition minéralogique des sédiments fins a été étudiée par analyse thermique différentielle et diffraction X, elle sera décrite ultérieurement.

TABLEAU n° 6

GRANULOMÉTRIE ET COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

N° du Poste	Diamètre en mm			Pourcentages				
	Maximum	Diamètres moyens		Quartz	feldspath	Mica	Débris organogènes	Observations sur la composition de la fraction sableuse
		Sédiment complet	fraction sableuse seule					
1	0,510	0,125		18,7	3,2	78,1		
2	0,510	0,064	0,110					non déterminé
3	0,003	0,003						non déterminé
4		0,009						non déterminé
5	>2,18	0,365		99,5	0,5			
6	>10,0	0,750					100,0	Sable corallien et coquillier.
7		0,007						non déterminé
8		0,009						non déterminé
9	>2,18	0,600		98,0			2,0	
11	>3,0	0,880		99,0			1,0	
12	>3,0	0,925		99,0			1,0	
13	>2,18	0,110	0,300	75,0			25,0	foraminifères et débris coquilliers.
14	>2,18	0,013	0,110					-d°-
15	>3,0	0,510	0,600	95,0			5,0	
16	>2,18	0,050	0,220	95,0			5,0	débris coralliens
17	>2,18	0,070	0,360	25,0			75,0	foraminifères
19	>2,18	0,450		98,0			2,0	
20	>2,18	0,095	0,110	80,0			20,0	foraminifères
21	>2,18	0,500		99,0			1,0	

c) *morphoscopie du quartz.*

L'examen morphoscopique du quartz a été fait à la loupe binoculaire en utilisant la méthode de A. Cailleux (1943) et A. Cailleux et J. Tricart (1949) nous avons examiné séparément chaque résidu de tamisage jusqu'à la dimension de 0,360 mm.

Les résultats sont exposés dans le tableau n° 7.

TABLEAU n° 7

MORPHOSCOPIE DU QUARTZ EXPRIMÉE EN POURCENTAGES

symboles
N.U. = non usé
E.L. = émoussé luisant
R.L. = rond luisant
R.M. = rond mat
E.M. = émoussé mat

N° du Poste	Symboles	Diamètres en mm > 2,18	2,18 1,48	1,48 1,09	1,09 0,75	0,75 0,51	0,51 0,36
1	N.U.						61,5
	E.L.						38,5
5	N.U.	29,1			2,6	16,0	
	E.L.	67,3	98,6	100	97,4	84,0	97,1
	R.L.	3,6	1,4				2,9
9	N.U.	3,0	50,0	30,0	30,0	40,0	55,0
	E.L.	96,0	30,0	50,0	50,0	50,0	40,0
	R.L.	1,0	10,0	10,0	15,0	5,0	4,0
	R.M.	0	10,0	10,0	5,0	5,0	1,0
11	N.L.			3,6	2,1		
	E.L.	100,0	100,0	96,4	97,9	100,0	100,0
12	E.L.	99,0	100,0	96,4	98,1	96,9	98,0
	R.L.	1,0		3,6	1,9	3,1	2,0
13	E.L.		64,0	19,7	47,0	88,5	88,5
	R.M.		36,0	80,3	53,0	11,5	11,5
15	N.U.			10,0	10,0	15,0	25,0
	E.L.	100,0	100,0	85,0	85,0	80,0	70,0
	R.L.			5,0	5,0	5,0	5,0
16	E.L.	corail	corail	corail	98,6	95,2	94,2
	R.L.				1,4	4,8	5,8
19	E.L.		88,9	93,2	95,8	99,3	100,0
	R.M.		11,1	6,8	4,2	0,7	
21	E.L.			5,8	42,0	92,8	97,3
	E.M.	100,0	98,3	94,2	57,0	7,2	
	R.M.		1,7		1,0		2,7

Pour compléter ce tableau dans lequel sont réunis les principaux éléments d'observation concernant le quartz, nous exposerons les résultats des observations faites sur les organismes et débris organogènes du plateau continental.

Poste 6. — (Profondeur 20 m). — Les débris coralliens sont fréquemment roulés.

Poste 9. — (Profondeur 18 m). — Malgré l'usure accentuée du quartz, il existe des débris coquilliers anguleux, des foraminifères à coquille mince portant des ornementations sans trace d'usure, de très petits lamellibranches : Mye striée, bucarde épineuse, sans aucune trace d'usure.

Poste 13. — (Profondeur 23 m.). — Les foraminifères, qui sont abondants possèdent des coquilles gris très foncé portant de fines ornementations sans trace d'usure.

Poste 17. — (Profondeur 30 m.). — Les foraminifères sont abondants quelques-uns portent des traces d'usure.

Poste 20. — (Profondeur 15 m.). — Le sédiment est presque exclusivement composé de foraminifères discoïdes et de débris anguleux avec de très petits lamellibranches : tapes et cardiites sans aucune trace d'usure, tant sur les côtes que sur les ornementations de la charnière.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

Nous avons montré, dans le tableau n° 6, qu'il existe sur le plateau continental, des sédiments quartzeux grossiers dont la répartition est représentée fig. 24.

Ces sables composés de grains quartzeux façonnés par le transport dans l'eau ont parfois conservé leur faciès éolien ; ils alternent ou coexistent dans les gisements avec des organismes fragiles, le plus souvent dénués de traces d'usure ou ne portant que de faibles stigmates de transport.

Nous avons antérieurement montré que, même en période de crue fluviale importante, les eaux marines recouvrant le plateau continental sont quasi immobiles ou animées de courants très faibles incapables de déplacer les sédiments grossiers qui gisent au fond.

La répartition des sédiments fins (fig. 24) au large de l'embouchure de l'estuaire de la Betsiboka montre que ce fleuve dépose, principalement en période de crue, des sédiments apportés en suspension qui recouvrent les dépôts grossiers mis en place à une époque antérieure.

3° Minéralogie des sédiments fins.

Les sédiments dragués contenant une fraction fine importante ont été étudiés par l'analyse thermique différentielle et par diffraction aux rayons X (raie Kα du Cobalt).

a) *analyses thermiques différentielles.*

Les analyses ont été faites sur une fraction brute de l'échantillon, sans aucune concentration des parties les plus fines. Les courbes des analyses thermiques différentielles sont groupées sur la fig. 29.

Commentaires.

L.R. Lafond (*loc. cit.* p. 428) a signalé que les sédiments rouges renferment du quartz, des minéraux argileux (essentiellement de la Kaolinite) et de l'oxyde de fer colloïdal. D'après cet auteur, la teneur en $Fe^2 O^3$ atteint en moyenne 5 % du poids sec de la partie fine du sédiment.

L'examen des courbes portant les n^{os} P. 2, 3, 4, 5, 8, et 7 de la fig. 29 confirme pleinement cette composition minéralogique.

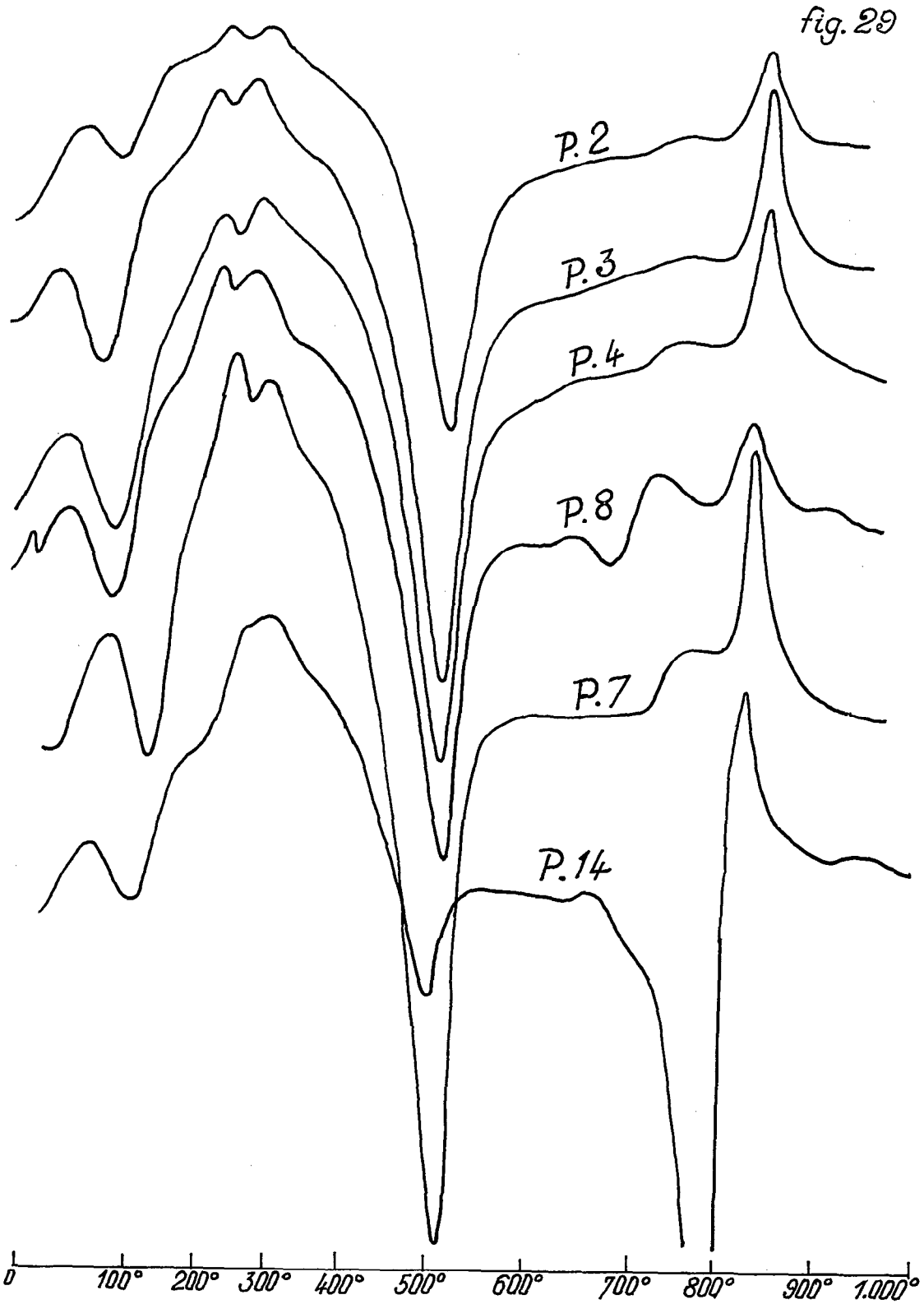

Fig. 29. — Courbes d'analyses thermiques différentielles des échantillons bruts, les courbes portent les numéros des postes où ils ont été dragués.

Dans les courbes obtenues par analyse thermique différentielle, les accidents endothermiques et exothermiques sont signalés par des crochets dont le développement n'est pas rigoureusement proportionnel au pourcentage du minéral responsable de leur production ; mais, il est certain que l'abondance ou la rareté d'un minéral influe considérablement sur l'importance de l'accident thermique qu'il provoque. Ce fait a été mis en évidence au cours des recherches faites que J. Orcel (1924) sur les mélanges artificiels de montmorillonite et de kaolinite (J. Orcel et S. Caillère 1933).

La courbe du sédiment du poste 2, correspondant à un lieu de dépôt des sédiments fins en période d'étiage, montre des crochets très nets mais assez peu développés, et on peut en inférer que le pourcentage d'argile est relativement peu élevé parce que les apports sédimentaires fins ne sont pas abondants en période d'étiage du fleuve.

La comparaison des courbes des sédiments dragués aux postes 3, 4, 7 et 8 montre que les trois premières courbes présentent des crochets endothermiques et exothermiques qui sont pratiquement d'importance semblable. On peut en déduire que les sédiments déposés dans ces trois stations au cours des crues du fleuve possèdent des teneurs en argile à peu près identiques.

Le sédiment récolté au poste 7, se différencie nettement des trois premiers : les crochets endothermique et exothermique de la Kaolinite (520° et 850°) y sont beaucoup plus développés, nous pouvons donc en conclure que les sédiments fins se déposent de préférence aux abords du poste 7.

Nous rappellerons que l'étude dynamique de la sédimentation en période de crue fluviale nous a justement conduit à cette même conclusion.

La courbe des sédiments du poste 14 diffère notablement des 5 courbes précédentes, elle présente en effet, entre 700 et 850°, un grand crochet endothermique dû à la présence d'aragonite.

L'énorme développement de ce crochet montre que la sédimentation n'est plus en majorité argileuse, car le crochet de la kaolinite est peu marqué, mais qu'elle est au contraire à dominance organogène.

Les conclusions de l'étude dynamique sont donc à nouveau confirmées puisque l'examen des profils instantanés (fig. 17 et 18) nous avait conduit à conclure qu'il n'y avait qu'une faible fraction, des apports fluviaux en suspension, qui étaient suceptibles d'atteindre les postes 6 et 23 entre lesquels se trouve le point de dragage n° 14.

b) *analyses par diffraction aux rayons X.*

De même que pour les analyses thermiques différentielles, les analyses aux rayons X ont été exécutées sur des échantillons bruts.

Les résultats sont groupés dans le tableau n° 8.

TABLEAU n° 8

ANALYSE PAR DIFFRACTION AUX RAYONS X

	5 très abondant
	4 abondant
Symboles	3 peu abondant
	2 rare
	1 très rare

N° du Poste	quartz	kaolinite	palygorskite	goethite	feldspath	chamosite (type kaolinique)	Cordiérite	Illite	chlorite	aragonite	pyrophyllite
2	3	3		2				2	1		
3	3	5			1			2	1		
4	2	5		2		1	1	2			
7	2	5		2		1		3			
8	2	4		2				2	2		
14	1	1				1				3	1
16	1	3		1				1	1		1
20	3		3								1

Commentaires.

L'examen de ce tableau confirme les analyses thermiques différentielles dont les résultats ont été discutés précédemment et il complète les déterminations minérologiques. En outre, ces analyses apportent deux renseignements complémentaires importants :

Sédiment du poste n° 16.

On y observe une diminution très nette de la teneur en Kaolinite confirmant la moindre abondance des apports en suspension qui avait déjà été mise en évidence par l'étude dynamique de la sédimentation.

Sédiment du poste n° 20.

L'étude de la répartition dynamique des sédiments sur le plateau continental, nous avait conduit à penser que les sédiments apportés actuellement pendant les crues du fleuve Betsiboka n'atteignaient pas le poste n° 20. L'étude aux rayons X confirme cette interprétation puisque, dans la fraction fine, la kaolinite, qui existe dans les dépôts actuels, manque totalement ici où elle est remplacée par une Palygorskite.

Sédiments des postes n°s 14, 16 et 20.

Dans ces trois sédiments, où la Kaolinite devient rare, ou même fait totalement défaut, apparaissent des traces de Pyrophyllite. Ce silicate d'alumine fait probablement partie du dépôt ancien, au même titre que la palygorskite du sédiment n° 20.

4° Étude chimique des eaux.

L'étude chimique entreprise a principalement porté, à l'origine, sur les eaux fluviales douces ou faiblement salées, puis, le caractère très particulier des résultats obtenus nous a incité à analyser les eaux de chlorinité plus élevée.

Malheureusement, un incident regrettable s'est produit ; après la deuxième campagne de mesures, une partie des eaux récoltées n'est pas parvenue en France et l'étude chimique n'a pas pu être entreprise sur ces échantillons.

Nous avons dosé le calcium et le magnésium par la méthode au Versenate. Le potassium a été dosé au photomètre à flamme.

Les résultats de ces dosages sont donnés dans les tableaux annexes à la fin de ce travail, nous les avons utilisés pour construire un graphique en fonction de la chlorinité (voir fig. n° 30).

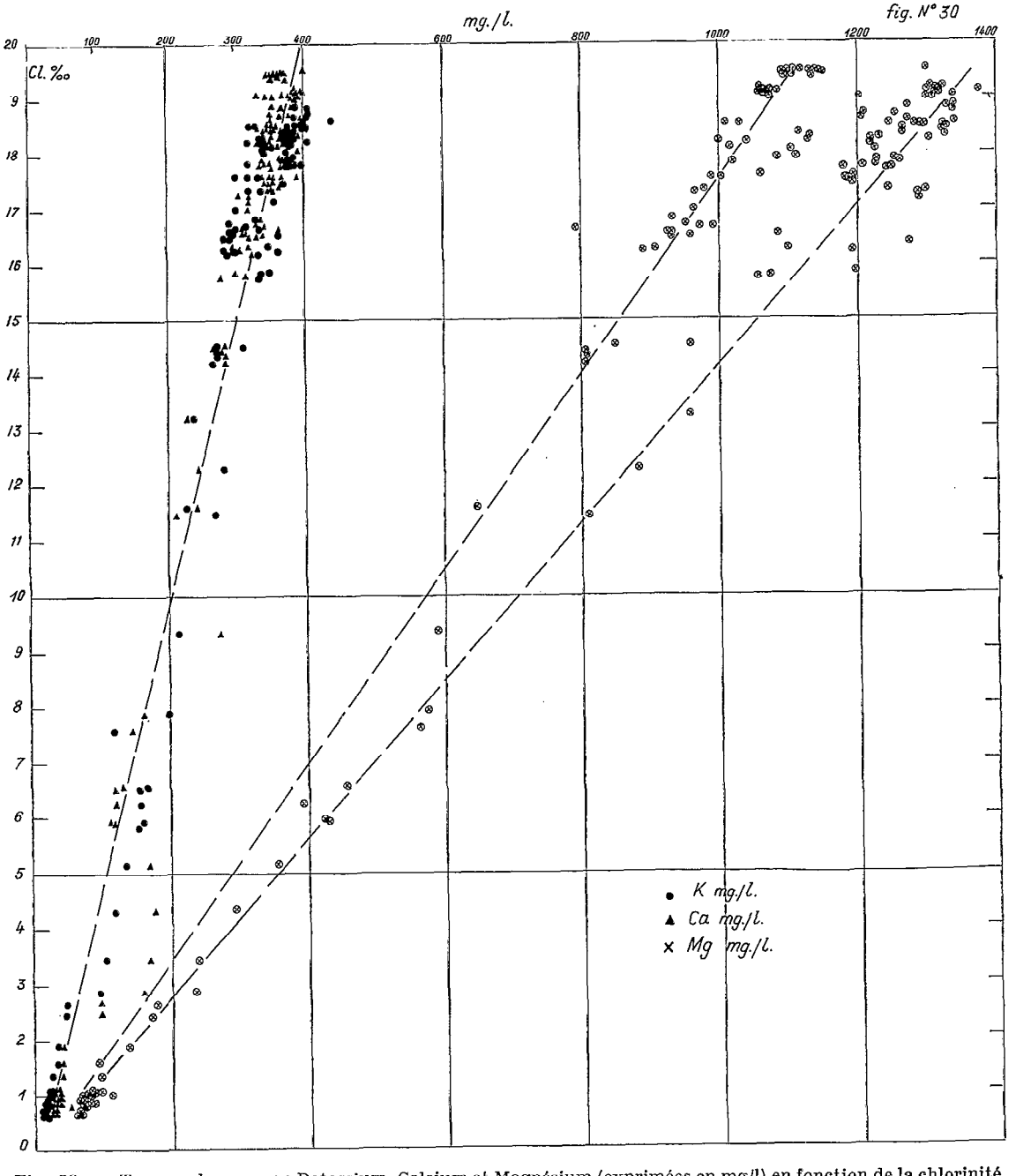

Fig. 30. — Teneurs des eaux en Potassium, Calcium et Magnésium (exprimées en mg/l) en fonction de la chlorinité.

Il apparaît, sur ce graphique, que les teneurs en Potassium et en Calcium se groupent sensiblement suivant une droite dont l'équation est

$$X = 20\ y$$

Par conséquent, pour des chlorinités comprises entre 0,5 et 20 $^0/_{00}$, les teneurs en Potassium et calcium, exprimées en mg / l. sont voisines de 20 fois le taux de chlorinité.

En ce qui concerne le magnésium les résultats des dosages offrent une dispersion plus accusée que pour le Potassium et le Calcium, ils répondent à deux équations :

$$X = 57\ Y$$
$$X = 70\ Y$$

Ainsi, pour des chlorinités comprises entre 0,5 et 20 $^0/_{00}$l es teneurs en magnésium, exprimées en mg / l. sont approximativement comprises entre 57 et 70 fois le taux de chlorinité.

Ces résultats diffèrent profondément de ceux qui ont été obtenus dans le lagon de l'Ile Mayotte (Comores) et à l'extérieur de ce lagon, par L. Guilcher, L. Berthois, Y. Le Calvez, R. Battistini et A. Crosnier (*loc. cit.* 1964, pp. 55-57) où ces auteurs ont observé qu'à l'intérieur du lagon les sneurs en Ca^{++}, K^{+} et Mg^{++} peuvent varier de 10 à 20 % dans d'étroites limites de chlorinité, tandis qu'à l'extérieur du lagon des variations peu importantes des mêmes cations s'accompagnent de fluctuations étendues de la chlorinité.

Par contre, des relations linéaires du type de celles qui viennent d'être décrites, aux abords de l'embouchure de la Betsiboka, ont été observées récemment par Taizo Okuda (1964) au Vénézuela.

La continuité et l'échelonnement des résultats sur une gamme aussi étendue des valeurs de chlorinité est une manifestation de l'influence des eaux fluviales sur une aire étendue du plateau continental.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Des conclusions partielles ont déjà été formulées à la fin de chaque chapitre, nous nous bornerons ici à les rappeler et à les relier entre elles pour constituer un ensemble plus cohérent.

Le fleuve Betsiboka est le plus important de Madagascar tant par sa longueur et celle de ses affluents, que par la surface de son bassin versant ; son embouchure est située sur la côte ouest de l'île qui est bordée par un plateau continental étroit, dont le bord extrême est jalonné par une série de « bancs » qui sont des formations d'origine corallienne, à vie très ralentie, immergés sous 7 à 10 mètres d'eau.

Le régime fluvial de la Betsiboka et de son principal affluent, l'Ikopa, est sujet à d'importantes variations saisonnières, le débit total journalier en 1961-1962 a été inférieur à 400 m³ / sec. pendant 5 mois, puis il a parfois dépassé 4500 m³ / sec. au cours de la saison des pluies qui dure de décembre à la mi-avril, en mai et juin le débit est voisin de 700 m³ / sec.

Deux séries de mesures et de prélèvements d'eau ont été faites ; la première en période d'étiage de juillet 1961, la deuxième pendant la crue de mars 1962.

L'étude dynamique de la sédimentation a été conduite en construisant d'abord des profils d'évolution à chaque poste d'observation, puis en utilisant ces profils pour la construction de profils instantanés, de l'estuaire du fleuve et de coupes transversales sur le plateau continental, aux abords de l'embouchure.

L'étude des profils instantanés construits avec les données recueillies en période d'étiage fluvial montre qu'il s'établit à l'embouchure du fleuve une lentille d'eau profonde immobile ou animée de mouvements très lents, qui se maintient sur toute l'étendue du plateau continental et ne permet pas aux sédiments grossiers d'y pénétrer par roulement et saltation sur le fond.

Les sédiments fins, transportés en suspension, peuvent seuls atteindre puis dépasser légèrement l'embouchure du fleuve.

En période de crue fluviale, les faibles vitesses des courants animant les eaux profondes sur le plateau continental, ne permettent pas aux sédiments grossiers actuellement apportés par le fleuve d'y parvenir, la comparaison des faibles vitesses des courants voisins du fond avec la

granulométrie des sables recouvrant le plateau continental, confirme cette manière de voir, cette interprétation est consolidée par la répartition des sédiments quartzeux grossiers, qui alternent ou coexistent avec des foraminifères et de très petits lamellibranches dont les ornementations ne portent aucun stigmate d'usure.

Les eaux fluviales qui s'étendent à la surface des eaux marines sur le plateau continental provoquent un dessalement très important qui peut atteindre le bord externe du plateau continental.

Ces eaux fluviales transportent, en suspension, une masse considérable des sédiments fins qui se déposent dans la zone d'équilibre fluvio-océanique, notamment aux abords du poste 7.

Il se constitue ainsi, au cours d'une crue, un dépôt extrêmement important de sédiments fins (plus de 99 % d'éléments inférieurs à 0,80 mm) qui recouvrent une aire ayant approximativement 10 milles dans le sens Nord-Sud et 8 milles dans le sens Est-Ouest.

Ainsi, l'estuaire de la Betsiboka constitue un type intermédiaire dans la classification établie par l'un de nous (L. Berthois 1965, *loc. cit.* p. 77) en période d'étiage du fleuve, cet estuaire est une embouchure fluviale à zone « d'équilibre littoral » tandis qu'en période de crue importante il possède une embouchure dont la zone d'équilibre est située un peu « au-delà du littoral » il s'apparente donc au fleuve Konkouré de la côte Ouest africaine (République de Guinée) décrit par l'un de nous (L. Berthois 1963).

L'étude minéralogique des sédiments fins par l'analyse thermique différentielle et l'analyse aux rayons X, a fourni d'autres arguments en faveur de cette interprétation : elle a montré que la plus grande concentration de kaolinite dans les sédiments du fond se trouvait justement aux abords du poste d'observation (Poste 7) où la décantation des eaux atteint sa valeur maximale.

Elle a montré, en outre, que les postes du plateau continental qui n'étaient pas atteints par les dépôts actuels du fleuve ne contenaient pas de kaolinite, mais une palygorskite. Que les postes qui n'étaient que faiblement atteints par ces matériaux transportés en suspension contenaient moins de kaolinite mais de petites quantité de pyrophyllite.

Tout ce faisceau d'observations a permis de conclure que les sédiments grossiers du plateau continental ont été mis en place au cours d'un épisode sédimentaire antérieur à l'époque actuelle pendant laquelle le fleuve Betsiboka n'y apporte que des éléments fins en suspension, les sables grossiers apportés par les crues ne progressant pas sensiblement au-delà de l'embouchure.

L'étude du dessalement des eaux marines et de l'apport de matériaux fins en suspension, a montré que l'abaissement de la salinité et l'augmentation de la turbidité, à la limite externe du plateau continental, constituaient des conditions très défavorables à la vie des récifs coralliens qui est extrêmement ralentie dans la zone que nous avons étudiée.

Enfin, les dosages de potassium, calcium et magnésium exécutés sur des eaux douces et saumâtres ont montré que les pourcentages de ces cations varient en fonction de la chlorinité suivant des relations simples de type linéraire, l'étendue des valeurs des chlorinités observées est liée à la pénétration des eaux douces dans le domaine maritime du plateau continental.

ANNEXE

a) Tableaux des heures des marées et hauteurs d'eau

b) Mesures et dosages d'Hydrologie { température, Salinité, Turbidité, dosage des Cations K^+, Ca^{++}, Mg^{++}

c) Mesures des vitesses du courant.

MESURES EN PÉRIODE D'ÉTIAGE DE LA BETSIBOKA

TABLEAU n° 9

Heures et hauteurs de la marée au cours des observations en Juillet 1961.

Date	Basse Mer		Pleine Mer		Basse Mer		Pleine Mer	
	heure	hauteur en m	heure	hauteur en m	heure	hauteur en m	heure	hauteur en m
6 Juillet	3 h 57	1,8	10 h 25	4,0	16 h 41	2,1	22 h 47	3,7
7 Juillet	5 h 10	1,9	11 h 45	3,9	18 h 10	2,2		
8 Juillet							0 h 14	3,6
8 Juillet	6 h 32	2,0	13 h 07	4,0	19 h 34	2,1		
10 Juillet							2 h 40	3,8
10 Juillet	8 h 42	1,8	15 h 05	4,3	21 h 27	1,7		
11 Juillet							3 h 29	3,9
11 Juillet	9 h 28	1,6	15 h 46	4,5	22 h 07	1,5		
12 Juillet							4 h 08	4,1
12 Juillet	10 h 06	1,5	16 h 22	4,6	22 h 41	1,4		
13 Juillet							4 h 41	4,2
13 Juillet	10 h 41	1,5	16 h 53	4,6	23 h 11	1,3		

TABLEAU n° 10

HYDROLOGIE EN PÉRIODE D'ÉTIAGE DE LA BETSIBOKA

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
			POSTE N° 1 6 JUILLET 1961					
—1—	0	24,87	14,42	26,07	10,6	277,0	279	807,5
7 h à	1	24,97	14,52	26,24	5,4	277,0	285	849,0
7 h 30	2		15,08	27,26			—	—
	5	25,49	16,65	30,09	8,4	301,5	309	794,5
	10	25,61	17,35	31,36	6,0	320,0	351	977,0
	20	25,68	18,29	33,04	25,8	339,0	339	1132,0
—2—	0	25,59	16,50	29,81	6,0	294,0	333	960,0
10 h 30	1	25,69	16,73	30,23	3,8	294,0	331	951,5
à	2		17,36	31,36				
10 h 55	5	25,51	17,59	31,79	5,2	320,0	351	1005,0
	10	25,60	17,86	32,27	4,2	320,0	352	1010,0
	20	25,67	18,53	33,49	8,0	330,0	354	1030,0
—3—	0	26,19	16,31	29,47	4,6	286,0	312	907,8
13 h 00	1	26,25	16,51	29,84	7,2	286,0	321	932,5
à	2		16,98	30,69				
13 h 20	5	25,59	17,61	31,82	5,7	301,5	339	989,0
	10	25,62	18,25	32,97	5,6	320,0	352	1000,0
	21	25,59	18,54	33,49	8,0	320,0	359	1009,5
—4—	0	25,67	16,62	30,03	8,4	294,0	311	928,5
15 h 25	1	25,47	16,57	29,95	8,8	294,0	318	929,0
à	2		16,88	30,50				
15 h 45	5	25,62	17,05	30,81	9,0	301,5	319	963,5
	10	25,63	17,34	31,34	17,4	339,0	347	966,0
	21	25,71	18,23	32,95	17,8	339,0	347	1042,0
—5—	0	26,51	14,22	25,71	6,7	268,5	287	808,0
17 h 40	1	26,12	14,35	25,93	3,7	277,0	287	808,0
à	2		14,61	26,41				
17 h 55	5	25,87	16,26	29,38	4,8	301,5	303	890,0
	10	25,74	16,84	30,44	3,2	330,0	338	932,0
	19	25,70	18,17	32,83	14,0	358,6	347	1017,0
			POSTE N° 2 6 JUILLET 1961					
—1—	0	25,50	18,04	32,60	3,8	377,5	344,0	1228,5
9 h 30	1	25,48	18,30	33,13	4,1	388,5	352,0	1329,0
à	2		18,35	33,16				
9 h 50	5	25,74	18,38	33,22	4,2	377,5	352,0	1329,0
	10	25,68	18,38	33,22	7,9	377,5	368,0	1296,0
	21	25,83	18,86	34,03	11,6	409,0	364,0	1332,5
	23	—	—	—	1320,0	409,0	368,0	1342,0
—2—	0	25,96	18,43	33,30	5,1	388,5	340,0	1266,0
11 h 40	1	25,82	18,40	33,24	3,8	377,5	340,0	1266,0
à	2		18,43	33,30				
11 h 55	5	25,70	18,44	33,32	3,5	377,5	356,0	1326,5
	10	25,72	18,54	33,49	4,1	388,5	348,0	1342,0
	22	25,83	18,87	34,09	7,2	388,5	356,0	1360,5

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidite mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l. c
suite du POSTE N° 2								
—3—	0	26,41	17,16	31,00	5,7	358,5	320,0	1290,0
13 h 55	1	25,91	17,81	32,19	6,2	388,5	344,0	1263,5
à	2		17,65	31,89				
14 h 15	5	25,74	18,25	32,98	5,0	377,5	336,0	1303,5
	10	25,70	18,49	33,41	3,9	398,0	348,0	1284,0
	18	25,79	18,76	33,90	8,8	409,0	352,0	1340,0
—4—	0	25,71	16,33	29,52	5,6	350,0	320,0	1278,0
16 h 25	1	25,53	16,53	29,87	5,1	—	—	—
à	2	—	16,82	30,39	—	—	—	—
16 h 45	5	25,61	17,89	32,33	3,2	377,5	340,0	1254,0
	10	25,69	18,49	33,40	5,8	398,0	336,0	1291,5
	18	25,71	18,58	33,57	7,3	398,0	352,0	1271,0
—5—	0	25,81	15,84	28,63	4,2	350,0	300,0	1197,0
19 h 05	1	25,57	15,87	28,69	4,2	339,0	316,0	1072,7
à	2		16,95	30,63	—	—	—	—
19 h 25	5	25,69	17,81	32,19	3,4	377,5	332,0	1230,0
	10	25,69	18,48	33,39	4,3	398,0	354,0	1245,5
	19	25,78	18,70	33,79	16,6	409,0	380,0	1207,0
POSTE N° 3 7 JUILLET 1961								
—1—	0	25,19	17,50	31,63	27,9		356,0	1187,5
7 h 30	1	25,03	17,37	31,39	28,0		356,0	1244,5
à	2		17,59	31,78				
7 h 45	5	25,61	18,35	33,15	26,0		368,0	1237,0
	10	25,96	19,09	34,50	33,0		384,0	1378,5
	14	25,99	19,11	34,52	30,0		368,0	1319,0
—2—	0	25,71	17,51	31,65	4,7		344,0	1182,5
10 h 30	1	25,54	17,56	31,74	19,3		356,0	1198,5
à	2		17,60	31,81				
10 h 55	5	25,87	19,01	34,34	3,3		384,0	1309,5
	10	25,91	19,13	34,56	7,1		384,0	1314,5
	13	25,93	19,16	34,61	5,2		384,0	1320,5
—3—	0	26,82	17,25	31,17	7,2		304,0	1310,5
12 h 50	1	26,30	17,30	31,26	7,3		320,0	1301,0
à	2		18,02	32,57				
13 h 10	5	25,95	19,02	34,37	4,3		392,0	1339,0
	10	26,05	19,15	34,61	9,0		388,0	1318,0
	15	26,00	19,16	34,62	6,0		396,0	1302,0
—4—	0	26,18	17,80	32,17	3,7		354,0	1210,5
15 h 10	1	25,69	17,84	32,24	5,1		380,0	1230,0
à	2		17,91	32,37				
15 h 25	5	25,88	19,02	34,36	4,7		388,0	1302,0
	10	25,99	19,10	34,51	3,5		388,0	1318,0
	14	25,99	19,55	34,61	4,7		400,0	1295,0

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 3								
—5—	0	26,09	17,72	32,01	7,7		368,0	1249,0
17 h 30	1	26,01	17,58	31,76	5,3		372,0	1224,0
à	2		17,54	31,70				
17 h 45	5	25,89	18,21	32,91	7,9		380,0	1219,0
	10	25,81	18,83	34,02	8,7		384,0	1274,5
	14	25,97	19,14	34,58	19,0		396,0	1302,0
POSTE N° 4 7 JUILLET 1961								
—1—	0	25,71	19,10	34,52	6,9			
9 h 10	1	25,55	19,07	34,45	4,8			
à	2		19,06	34,43				
9 h 25	5	25,79						
	10	26,01	19,14	34,59	1,2			
	16	26,29	19,27	34,81	3,6			
—2—	0	26,09	19,04	34,41	4,3			
11 h 45	1	25,93	19,04	34,41	3,3			
à	2		19,03	34,39				
12 h 05	5	25,89	19,04	34,41	3,0			
	10	25,96	19,11	34,52	4,6			
	18	26,26	19,25	34,79	4,8			
—3—	0	26,47	19,05	34,42	2,8			
13 h 55	1	26,26	19,06	34,43				
à	2		19,05	34,42				
14 h 10	5	25,92	19,06	34,43	3,1			
	10	25,91	19,10	34,52	4,2			
	17	26,22	19,23	34,75	4,1			
—4—	0	26,39	18,98	34,30	4,2			
16 h 15	1	26,26	18,99	34,31	4,2			
à	2		18,98	34,30				
16 h 30	5	25,90	19,05	34,42	3,0			
	10	25,97	19,13	34,57	3,4			
	17	26,11	19,22	34,73	16,6			
—5—	0	25,99	18,95	34,24	3,1			
18 h 40	1	25,80	18,96	34,26	4,8			
à	2		18,96	34,25				
19 h 00	5	26,00	19,00	34,33	6,7			
	10	26,14	19,23	34,75				
	16	26,16	19,22	34,72	5,0			
POSTE N° 5 8 JUILLET 1961								
—1—	0	26,03	19,29	34,85	4,4			
7 h 00	1	25,88	19,29	34,86	3,6			
à	2		19,28	34,84				
7 h 15	5	26,23	19,28	34,84	3,5			
	10	26,34	19,33	34,92	2,9			
	17	26,36	19,34	34,95	3,2			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l
suite du POSTE N° 5								
—2—	0	26,18	19,35	34,97	5,1			
9 h 10	1	26,02	19,34	34,94	3,8			
à	2		19,33	34,83				
9 h 30	5	26,32	19,34	34,94				
	10	26,34	19,33	34,93	3,4			
	18	26,36	19,35	34,96	3,1			
—3—	0	26,48	19,38	35,01				
11 h 25	1	26,29	19,34	34,95				
à	2		19,33	34,93				
11 h 45	5	26,34	19,32	34,91				
	10	26,26	19,33	34,92				
	20	26,34	19,35	34,97	4,0			
—4—	0	26,79	19,32	34,91				
13 h 50	1	26,77	19,34	34,94	3,9			
à	2		19,32	34,91				
14 h 05	5	26,26	19,32	34,90	3,3			
	10	26,23	19,31	34,89	3,3			
	18	26,34	19,36	34,98	4,2			
—5—	0	26,70	19,33	34,92	6,1			
15 h 50	1	26,41	19,28	34,84	3,1			
à	2		19,25	34,86				
16 h 05	5	26,16	19,28	34,84	3,8			
	10	26,16	19,28	34,84	3,1			
	15	26,22	19,30	34,88	3,4			
POSTE N° 6 8 JUILLET 1961								
—1—	0	26,11	19,39	35,03	4,0			
5 h 15	1	25,86	19,37	34,99	5,0			
à	2		19,36	34,98				
5 h 45	5	26,38	19,36	34,97				
	12	26,42	19,36	34,98	4,4			
—2—	0	26,34	19,38	35,02	4,0			
8 h 00	1	26,15	19,38	35,01				
à	2		19,39	35,03				
8 h 20	5	26,51	19,37	34,99	4,4			
	10	26,52	19,38	35,01	2,0			
	20	26,51	19,39	35,03	2,2			
—3—	0	26,51	19,42	35,08	4,2			
10 h 20	1	26,46	19,41	35,07	1,7			
à	2		19,42	35,08				
10 h 40	5	26,53	19,39	35,03	2,8			
	10	26,54	19,39	35,04	15,0			
	20	26,26	19,41	35,08	3,2			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 6								
—4—	0	26,99	19,42	35,09	3,3			
12 h 40	1	26,71	19,40	35,06	3,0			
à	2		19,39	35,03				
13 h 00	5	26,68	19,39	35,04	3,0			
	10	26,56	19,40	35,06	3,1			
	20	26,44	19,44	35,12	3,0			
—5—	0	27,02	19,38	35,01	2,8			
14 h 50	1	26,80	19,40	35,06	3,8			
à	2		19,38	35,02				
15 h 10	5	26,64	19,37	35,00	3,0			
	10	26,60	19,39	35,04	2,2			
	18	26,52	19,44	35,13	3,4			
POSTE N° 7 10 JUILLET 1961								
—1—	0	25,48	18,30	33,07	10,7			
6 h 50	1	25,32	18,31	33,08	8,2			
à	2		18,30	33,07				
7 h 00	5	25,96	18,87	34,09				
	8	26,04	18,93	34,20	8,0			
—2—	0	25,93	18,60	33,61	5,2			
11 h 00	1	25,87	18,58	33,58	5,0			
à	2		18,58	33,57				
11 h 10	5	25,97	18,61	33,62				
	8	26,11			8,0			
—3—	0	26,03						
14 h 40	1	26,12	18,52	33,46	5,4			
à	2		18,53	33,48				
14 h 50	5	26,14	18,55	34,06	4,9			
	8	26,30	19,22	34,73	6,3			
POSTE N° 8 11 JUILLET 1961								
—1—	0	25,53	18,60	33,60	3,8			
6 h 55	1	25,54	18,60	33,60	4,7			
à	2		18,64	33,69				
7 h 05	5	26,01	19,00	34,34	3,7			
	10	26,31	19,25	34,79	3,0			
	19	26,36	19,39	35,04	3,2			
—2—	0	26,16	18,65	33,70	5,3			
11 h 10	1	26,20	18,64	33,68	7,1			
à	2		18,82	34,01				
11 h 20	5	26,28	19,13	34,56	3,8			
	10	26,38	19,29	34,86	5,0			
	19	26,38	19,41	35,07	7,4			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 8								
—3—	0	26,30	18,81	33,99	4,8			
15 h 15	1	26,21	18,85	34,05	4,5			
à	2		18,99	34,31				
15 h 25	5	26,26	19,20	34,69				
	10	26,35	19,31	34,89	3,7			
	19	26,43	19,42	35,08	4,4			
POSTE N° 9 11 JUILLET 1961								
—1—	0	26,09	19,39	35,03				
8 h 10	1	26,19	19,39	35,03	3,6			
à	2		19,38	35,01				
8 h 25	5	26,42	19,38	35,02	3,4			
	10	26,38	19,38	35,02	16,8			
	18	26,42	19,39	35,03	3,1			
—2—	0	27,21	19,39	35,04	3,2			
12 h 10	1	26,71	19,39	35,04	3,1			
à	2		19,37	35,00				
12 h 30	5	26,53	19,39	35,04	2,8			
	10	26,45	19,37	35,00	3,3			
	18	26,45	19,38	35,01	9,2			
—3—	0	26,61	19,38	35,01	6,2			
16 h 25	1	26,64	19,37	35,00	0,93			
à	2		19,37	35,00				
16 h 40	5	26,50	19,37	35,00	3,5			
	10	26,49	19,40	35,05	4,5			
	18	26,49	19,40	35,06	3,1			
POSTE N° 11 13 JUILLET 1961								
—1—	0	25,92	18,84	34,04	5,3			
8 h 45	1	25,96	18,83	34,02	3,2			
à	2		18,84	34,05				
8 h 55	5	26,27	18,99	34,32				
	8	26,29	19,03	34,39	4,1			
	8				4,4			
—2—	0	26,30	18,75	33,88	1,5			
11 h 55	1	26,22	18,76	33,89	6,6			
à	2		18,86	34,07				
12 h 05	5	26,31	18,79	33,96	5,5			
	7,5	26,28	18,94	34,23	6,8			
—3—	0	26,00	18,87	34,10	4,2			
15 h 25	1	26,07	18,87	34,09	5,6			
à	2		18,88	34,11				
15 h 40	5	26,27	18,92	34,18				
	8	26,27	19,03	34,38	4,7			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
			POSTE N° 12 12 JUILLET 1961					
—1—	0	25,81	19,07	34,45	7,0			
6 h 20	1	25,81	19,06	34,43	6,2			
à	2		19,05	34,42				
6 h 40	5	26,08	19,05	34,42				
	9	26,08	19,06	34,44	9,5			
—2—	0	26,29	18,89	34,13	4,2			
10 h 55	1	26,19	18,87	34,09	7,5			
à	2		18,87	34,10				
11 h	5	26,02	18,87	34,10				
	8	26,02	18,88	34,12	6,2			
—3—	0	26,43	18,83	34,03	5,6			
14 h 10	1	26,43	18,84	34,05	9,7			
à	2		18,86	34,07				
14 h 25	5	26,26	19,17	34,63				
	8	26,26	19,17	34,64				
			POSTE N° 13 12 JUILLET 1961					
—1—	0	26,30	19,45	35,15	4,7			
8 h 00	1	26,30	19,45	35,15				
à	2		19,46	35,17				
8 h 15	5	26,48	19,45	35,15				
	10	26,48	19,45	35,15	5,5			
	23	26,48	19,45	35,15	3,1			
—2—	0	27,08	19,46	35,16	3,8			
11 h 55	1	26,71	19,45	35,15	5,5			
à	2		19,45	35,14				
12 h 10	5	26,65	19,46	35,16				
	10	26,54	19,46	35,17	3,9			
	22	26,54	19,46	35,16	3,6			
—3—	0	26,64	19,45	35,14	3,0			
16 h 20	1	26,55	19,45	35,14	5,8			
à	2		19,44	35,12				
16 h 45	5	26,49	19,44	35,12				
	10	26,47	19,44	35,12				
	23	26,46	19,43	35,11	10,3			
			POSTE N° 15 13 JUILLET 1961					
—1—	0	25,82	18,99	34,31	5,2			
7 h 35	1	25,82	18,99	34,31	3,1			
à	2		19,00	34,34				
7 h 50	5	26,16	19,05	34,42	0,9			
	10	26,29	19,16	34,62	4,0			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 15								
—2—	0	26,00	18,98	34,30	4,5			
10 h 55	1	26,03	18,98	34,30	2,2			
à	2		18,99	34,31				
11 h 05	5	26,31	19,01	34,34				
	10	26,34	19,18	34,65				
—3—	0	26,15	18,99	34,32	3,1			
14 h 10	1	26,15	19,00	34,33	4,5			
à	2		18,99	34,32				
14 h 20	5	26,41	18,99	34,31	4,4			
	11	26,41	19,17	34,63	7,2			
POSTE N° 16 13 JUILLET 1961								
—1—	0	25,71	19,24	34,76	3,8			
6 h 30	1	25,72	19,20	34,69	3,2			
à	2		19,19	34,68				
6 h 40	5	26,16	19,19	34,68				
	10	26,16	19,20	34,69	3,6			
	22	26,36	19,38	35,01				
—2—	0	25,91	19,16	34,62	4,5			
9 h 55	1	25,98	19,13	34,57	3,1			
à	2		19,14	34,58				
10 h 05	5	26,17	19,14	34,59				
	10	26,21	19,19	34,67	3,4			
	20	26,31	19,35	34,97				
—3—	0	26,11	19,18	34,65	4,5			
13 h 05	1	26,23	19,16	34,61	5,0			
à	2		19,16	34,61				
13 h 15	5	26,42	19,16	34,61				
	10	26,35	19,21	34,70	3,2			
	20	26,41	19,35	34,97	4,7			
POSTE N° 17 12 JUILLET 1961								
—1—	0	26,38	19,44	35,19	3,8		361	1094,0
9 h 25	1	26,36	19,44	35,13	3,2		363	1144,5
à	2		19,45	35,14				
9 h 40	5	26,44	19,47	35,17				
	10	26,36	19,45	35,15	3,6		375	1140,5
	30	26,31	19,45	35,15	3,6		364	1108,5
—2—	0	26,91	19,46	35,16	5,5			
13 h 05	1	26,83	19,46	35,17	4,8		373	1118,0
à	2		19,45	35,15				
13 h 15	5	26,48	19,45	35,15				
	10	26,48	19,45	35,15	3,6		359	1150,2
	30	36,41	19,45	35,14	3,0		355	1107,0

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 17								
—3—	0	26,33	19,43	35,10	4,4		355	1132,0
16 h 40	1	26,32	19,45	35,14	3,6		357	1090,8
à	2		19,44	35,13				
16 h 55	5	26,66	19,44	35,12				
	10	26,48	19,46	35,17	4,1		347	1097,0
	30	26,31	19,45	35,14	3,7		357	1100,8
POSTE N° 19 10 JUILLET 1961								
—1—	0	25,91	19,00	34,33	3,8			
8 h 10	1	25,52	18,99	34,31	4,2			
à	2		18,97	34.27				
8 h 20	5	26,02	19,18	34,66	4			
	10	26,06	19,31	34,89				
—2—	0	26,41	19,14	34,58	4,0			
12 h	1	26,26	19,08	34,48	5,2			
à	2		19,09	34,49				
12 h 15	5	26,14	19,25	34,79	4,9			
	11	26,14	19,34	34,94	2,9			
—3—	0	26,22	19,04	34,40	3,8			
15 h 55	1	26,14	19,04	34,41	4,1			
à	2		19,04	34,40				
16 h 10	5	26,21	19,35	34,96	4,5			
	11	26,21	19,34	34,95	3,5			
POSTE N° 20 10 JUILLET 1961								
—1—	0	25,61	18,62	33,65	5,2			
9 h 05	1	25,69	18,62	33,64	4,1			
à	2		18,59	33,59				
9 h 20	5	22,85	18,66	33,72	3,2			
	10	26,23	19,29	34,86	3,9			
	14	26,26	19,36	34,98	3,2			
—2—	0	26,49	18,82	34,01	2,5			
13 h 00	1	26,48	18,68	33,75	3,8			
à	2		18,76	33,90				
13 h 20	5	26,13	18,99	34,32	3,3			
	10	26,44	19,40	35,05	3,6			
	15	26,44	19,41	35,08	2,6			
—3—	0	25,89	18,69	33,78	3,2			
17 h 25	1	25,91	18,69	33,78	4,0			
à	2		18,70	33,79				
17 h 40	5	25,96	18,83	34,02	3,0			
	10	26,36	19,38	35,01	3,2			
	15	26,36	19,38	35,01	3,5			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
			POSTE N° 21	11 JUILLET 1961				
—1—	0	25,66	19,11	34,53	3,2		357	1075,0
9 h 55	1	25,76	19,11	34,52	4,0		383	1050,0
à	2		19,11	34,52				
10 h 05	5	25,91	19,11	34,53	3,1		331	1071,5
	10	25,91	19,10	34,52	3,6		343	1064,0
	24	26,41	19,42	35,08	3,1		375	1060,5
—2—	0	26,41	19,09	34,49	3,0		343	1084,0
13 h 40	1	26,41	19,08	34,47	2,8		347	1067,0
à	2		19.09	34,50				
13 h 50	5	26,06	19,09	34,50	6,0		347	1067,0
	10	26,11	19,18	34,65	5,0		349	1071,0
	24	26,38	19,43	35,10	3,8		359	1135,2
—3—	0	25,77	19,11	34,52	3,2		343	1104,0
17 h 50	1	25,73	19,12	34,54	3,5		355	1057,0
à	2		19,11	34,53				
18 h 10	5	26,26	19,23	34,75	3,7		369	1078,0
	10	26,34	19,31	34,88	4,0		375	1065,5
	26	26,39	19,41	35,08	4,2		373	1066,0

TABLEAU n° 11

MESURES DES VITESSES DU COURANT EN PÉRIODE D'ÉTIAGE DE LA BETSIBOKA

Station et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction	*Station* et heure	Profondeur en m.	Vitesse en m/sec.	Direction
			POSTE N° 1	6 JUILLET 1961			
—1—	0	0,37	160°	—4—	0	0,67	350°
7 h 45	15	1,05	160°	15 h 30	10	0,79	10°
à	20	1,04	160°	à	20	0,76	10°
8 h 20	21	fond		15 h 45	24	fond	
—2—	0	0,32	160°	—5—	0	0,53	50°
10 h 40	10	0,65	180°	17 h 40	10	0,16	230°
à	20	0,49	190°	à	20	0,44	170°
10 h 55	23	fond		17 h 55	21	fond	
—3—	0	0,67	340°				
13 h 00	10	0,40	10°				
à	20	0,43	10°				
13 h 15	24	fond					

Station et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction	*Station* et heure	Profondeur en m.	Vitesse en m/sec.	Direction
			POSTE N° 2	6 JUILLET 1961			
—1—	0	0,62	160°	—3—	0	0,75	10°
9 h 35	10	0,61	185°	13 h 55	10	0,66	5°
à	24	0,32	195°	à	20	0,47	0 à 10°
9 h 45	26	fond		14 h 10		0,41	
					21	fond	
—2—	0	0,17	90°	—4—	0	0,83	30°
11 h 45	10	0,06	80°	16 h 30	10	0,50	0 à 10°
à	—	0,09	345°	à	20	0,28	10°
12 h	22	0,14	345°	16 h 45	21	fond	
	25	fond					
				—5—	0	0,30	60°
				19 h 00	10	0,53	190°
				à	20	0,61	190°
				19 h 15	22	fond	
			POSTE N° 4	7 JUILLET 1961			
—1—	0	0,17	160°	—4—	0	0,12	340°
9 h 15	10	0,31	170°	16 h 15	10	0,41	335°
à	18	0,27	170°	à	18	0,34	325°
9 h 30	19	fond		16 h 30	19	fond	
—2—	0	0,12	160°	—5—	0	0,15	130°
11 h 45	10	0,21	140°	18 h 45	10	0,13	250°
à	18	0,05	140°	à	15	0,17	230°
12 h	21	fond		19 h	16	fond	
—3—	0	0,05	10°				
14 h 00	10	0,23	350°				
à	18	0,28	340°				
14 h 15	19	fond					
			POSTE N° 6	8 JUILLET 1961			
—1—	0	0		—4—	0	0,03	220°
5 h 30	12	0,09	170°	12 h 30	10	0,18	150°
à	14	fond		à	20	0,12	130°
5 h 45				12 h 45	22	fond	
—2—	0	0,13	200°	—5—	0	0,08	10°
8 h 00	10	0,36	120°	15 h	10	0,14	350°-0
à	20	0,24	160°	à	20	0,19	350°-0
8 h 15	21	fond		15 h 15	22	fond	
—3—	0	0,08	220°				
10 h 15	10	0,27	130°				
à	20	0,19	160°				
10 h 30	22	fond					

Station et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction	*Station* et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction
			POSTE N° 9 11 JUILLET 1961				
—1—	0	0,17	320°	—3—	0	0,18	115°
8 h 10	10	0,20	350°	16 h 30	10	0,26	20°
à	18	0,13	340°	à	—	0,35	0°
8 h 25	19	fond		16 h 45	18	0,30	10°
					20	fond	
—2—	0	0,27	170°				
12 h 15	10	0,37	160-180°				
à	18	0,31	160°				
12 h 30	19	fond					
			POSTE N° 13 12 JUILLET 1961				
—1—	0	0,20	310°	—3—	0	0,29	170°
8 h 10	10	0,17	340°	15 h 30	10	0,29	200°
à	24	0,11	320°		24	0,20	220°
8 h 25	26	fond			25	fond	
—2—	0	0,34	210°				
12 h	10	0,36	210°				
à	22	0,24	210°				
12 h 15	24	fond					
			POSTE N° 15 13 JUILLET 1961				
—1—	0	0,20	330°	—2—	0	0,37	270°
8 h 00	10	0,13	330°	11 h	10	0,14	160°
	12	fond		à	12	fond	
				11 h 15			
			POSTE N° 20 13 JUILLET 1961				
—1—	0	0,24	110°	—3—	0	0,08	55°
9 h 15	10	0,61	125°	17 h 30	10	0,39	0°
à	15	0,57	125°	à	15	0,30	0°
9 h 30	16	fond		17 h 45			
—2—	0	0,28	160°	—4—	0	0,02	20°
13 h 00	10	0,36	130°	19 h 45	10	0,23	340°
à	15	0,26	130°	à	15	0,17	340°
13 h 15	16	fond		20 h			

MESURES EN PÉRIODE DE CRUE DE LA BETSIBOKA

TABLEAU n° 12

Heures et hauteur de la marée au cours des observations en Mars 1962

Date	Basse Mer		Pleine Mer		Basse Mer		Pleine Mer	
	heure	hauteur en m	heure	hauteur en m	heure	hauteur en m	heure	hauteur en m
8 mars			5 h 35	5,2	11 h 47	0,6	17 h 55	5,2
9 mars	0 h 03	0,7	6 h 10	5,1	12 h 22	0,7	18 h 30	5,1
10 mars	0 h 39	0,9	6 h 45	4,9	12 h 55	0,9	19 h 05	4,9
11 mars								
12 mars	1 h 54	1,5	7 h 56	4,2	14 h 06	1,5	20 h 21	4,3
13 mars	2 h 38	1,9	8 h 37	3,8	14 h 49	1,9	21 h 10	3,9
14 mars								
15 mars	5 h 33	2,5	11 h 35	3,2	18 h 01	2,5		
16 mars							0 h 45	3,5
16 mars	7 h 47	2,4	13 h 56	3,4	19 h 57	2,4		
17 mars							2 h 17	3,7
17 mars	8 h 47	2,1	14 h 56	3,7	20 h 54	2,1		

TABLEAU n° 13

HYDROLOGIE EN PÉRIODE DE CRUE DE LA BETSIBOKA

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
			POSTE N° 1	15 MARS 1962				
—1—	0	28,65	1,00	1,84	20,8	20,8	32,0	68,8
7 h 00	1	28,63	0,93	1,71	10,9	18,3	28,0	68,7
à	2	28,64	1,12	2,05				
7 h 10	3	28,87	1,43	2,61				
	5	28,97	14,97	27,05	6,8			
	10	28,55	17,98	32,48	17,3			
	18	28,41	18,16	32,81	15,0			
	19	fond						
—2—	0	28,75	0,65	1,20	19,6	16,0	24,0	62,1
9 h 20	1	28,68	0,65	1,20	15,8	12,4	24,0	48,1
à	2	28,75	0,88	1,62				
9 h 30	3	29,01	13,05	23,59				
	5	28,82	16,67	30,12	7,6	337,0	384,0	991,0
	10	28,72	17,62	31,83	7,0	337,0	392,0	1060,0
	18	28,54	18,09	32,68	22,2	343,0	392,0	1104,0
	19	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 1								
—3—	0	29,68	0,85	1,56	14,2	19,2	28,0	86,2
11 h 40	1	29,41	0,84	1,55	16,7	17,0	28,0	70,9
à	2	29,10	10,31	18,64				
11 h 50	3	28,97	15,10	27,29				
	5	28,77	17,33	31,31	9,3			
	10	28,64	17,91	32,36	9,3			
	19	28,39	18,24	32,95	31,0			
	20	fond						
—4—	0	30,80	1,05	1,93	13,7	23,2	32,0	87,3
13 h 45	1	30,00	1,10	2,02	13,6	20,6	34,0	82,6
à	2	29,28	11,19	20,23				
14 h 05	3	29,15	15,28	27,61				
	5	28,71	17,57	31,74	7,2			
	10	28,57	18,01	32,54	12,3			
	19	28,43	18,22	32,92	21,4			
	20	fond						
—5—	0	30,09	0,65	1,20	17,1	17,4	22,0	63,3
16 h 15	1	29,71	0,67	1,24	16,9	13,5	22,0	63,3
à	2	28,98	0,97	1,78				
16 h 35	3	28,84	1,16	2,12				
	5	28,84	17,01	30,73	16,0			
	10	28,59	17,86	32,27	10,5			
	20	28,55	18,07	32,65	11,9			
	21	fond						
POSTE N° 2 8 MARS 1962								
—1—	0	28,44	14,21	25,68	142,0			
6 h 25	1	28,60	14,19	25,64	177,0			
à	2	28,60	14,13	25,53	144,0			
6 h 55	5	28,83	14,50	26,20	270,0			
	10	28,86	15,19	27,45	1062,0			
	25	28,86	16,62	30,03	1248,0			
Aucune prise d'échantillon de fond n'a pu être faite au cours de cette station, le courant étant trop rapide								
NOUVELLES STATIONS LE 15 MARS 1962								
—1—	0	29,20	0,80	1,47	36,0	18,8	52,0	72,8
8 h 10	1	28,94	1,37	2,50	9,0	25,7	40,0	96,0
à	2	29,02	6,41	11,60				
8 h 20	3	29,05	15,59	28,17				
	5	28,92	16,70	30,17	7,1			
	10	28,55	17,95	32,43	7,6			
	23	28,27	18,41	33,26	16,0			
	24	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 2								
—2—	0	29,28	1,01	1,85	10,8	22,2	30,0	97,5
10 h 20	1	29,08	2,63	4,78	14,6	46,4	96,0	177,5
à	2	29,08	7,40	13,39				
10 h 30	3	29,02	13,45	24,31				
	5	29,02	15,87	26,68	10,7			
	10	28,77	17,62	31,83	5,7			
	23	28,27	18,41	33,26	17,8			
	24	fond						
—3—	0	30,17	1,02	1,87	13,4	22,8	30,0	85,0
12 h 40	1	30,08	6,25	11,31	7,8	157,0	120,0	394,0
à	2	29,71	10,13	18,31				
12 h 50	3	29,47	14,88	26,89				
	5	29,16	16,57	29,94	21,0			
	10	28,82	17,52	31,65	7,9			
	23	28,25	18,42	33,28	17,1			
	24	fond						
—4—	0	30,58	0,99	1,83	13,2	23,3	26,0	111,4
15 h	1	30,25	1,02	1,87	3,4	22,2	26,0	78,9
à	2	29,68	11,32	20,46				
15 h 15	3		13,97	25,35				
	5	29,22	16,77	30,30	5,3			
	10	28,77	17,69	31,96	6,9			
	23	28,30	18,41	33,26	9,9			
	24	fond						
—5—	0	30,02	0,86	1,58	14,7	20,0	24,0	80,1
17 h 30	1	29,85	0,90	1,65	7,9	19,3	24,0	66,3
à	2	29,24	11,89	21,49				
17 h 40	3	29,37	14,04	25,37				
	5	28,97	16,68	30,14	8,2	337,0	362,0	974,0
	10	28,67	17,84	32,23	7,1	370,0	370,0	1083,0
	23	28,31	18,36	33,17	17,9	370,0	392,0	1115,0
	24	fond						
POSTE N° 3 16 MARS 1962								
—1—	0	27,79	1,90	3,46	9,1	37,0	40,0	138,0
6 h 05	1	28,61	7,59	13,73	5,8	119,8	144,0	562,6
à	2	29,20	12,23	22,11				
6 h 20	5	29,00	16,79	30,34	5,8			
	10	28,53	18,19	32,86	3,9			
	15	28,29	18,45	33,33	4,1			
	16	fond						
—2—	0	28,33	2,43	4,42	7,0	46,4	96,0	169,4
9 h 05	1	28,49	3,43	6,22	10,6	105,6	164,0	239,6
à	2	29,40	12,38	22,38				
9 h 15	5	29,26	16,24	29,34	3,7			
	10	28,85	17,59	31,78	5,5			
	15	28,09	18,63	33,66	3,9			
	16	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 3								
—3—	0	29,75	5,16	9,34	7,1	134,5	168,0	357,3
11 h 55	1	29,46	9,34	16,89	7,7	216,0	276,0	587,5
à	2	29,48	14,01	25.32				
12 h 05	5	29,37	16,21	29,29	3,1			
	10	28,83	17,70	31,98	3,7			
	15	27,97	18,75	33,87	4,6			
	16	fond						
—4—	0	30,30	2,83	5,14	6,8	99,0	160,0	237,0
14 h 20	1	30,20	4,28	7,76	6,5	119,0	178,0	293,2
à	2	29,62	12,31	22,25				
14 h 30	5	29,47	16,41	29,65	5,5			
	10	29,05	17,29	31,24	8,9			
	16	28,05	18,69	33,77	4,6			
	17	fond						
—5—	0	30,23	1,62	2,95	6,4	35,2	36,0	92,4
17 h 00	1	29,71	11,61	20,99	5,0	228,0	244,0	648,0
à	2	29,75	13,87	25,07				
17 h 10	5	29,45	16,22	29,31	4,0	333,0	324,0	1181,0
	10	29,37	16,68	30,14	4,4	380,5	332,0	1187,0
	16	28,39	18,36	33,17	5,5	380,5	374,0	1136,0
	17	fond						
POSTE N° 4 16 MARS 1962								
—1—	0	29,10	15,21	27,48	3,7			
7 h 25	1	29,11	15,27	27,59	5,0			
à	2	29,14	15,29	27,63				
7 h 40	5	29,20	16,01	28,93	5,4			
	10	28,65	18,24	32,95	4,4			
	16	28,29	18,49	33,40	6,1			
	17,5	fond						
—2—	0	29,47	15,30	27,65	3,6			
10 h 05	1	29,37	15,31	27,66	3,6			
à	2	29,33	15,30	27,65				
10 h 25	5	29,37	15,50	28,01	2,7			
	10	28,69	18,22	32,92	2,7			
	16	28,18	18,61	33,62	3,1			
	17	fond						
—3—	0	29,80	11,82	21,37	4,6			
12 h 50	1	29,68	12,79	23,12	3,8			
à	2	29,59	14,40	26,02				
13 h 05	5	29,49	15,66	28,30	2,4			
	10	28,68	18,23	32,94	3,3			
	17	28,23	18,59	33,58	5,1			
	18	fond						
—4—	0	30,10	10,73	19,40	5,5			
15 h 20	1	29,90	12,97	23,44	5,8			
à	2	29,73	15,11	27,30				
15 h 35	5	29,32	15,50	31,62	3,6			

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 4								
fin du	10	28,59	18,30	33,06	3,4			
—4—	18	27,97	18,78	33,93	4,4			
	19	fond						
—5—	0	30,09	5,89	10,66	5,7	161,0	116,0	430,5
18 h	1	29,68	13,20	23,86	5,2	238,0	230,0	962,0
à	2	29,63	14,14	25,55				
18 h 15	5	29,55	16,26	29,38	4,0	363,0	298,0	1102,0
	10	28,78	18,17	32,83	3,6	380,5	364,0	1327,0
	17	28,08	18,68	33,75	5,8	387,0	368,0	1254,0
	18	fond						
POSTE N° 5 17 MARS 1962								
—1—	0	27,92	6,53	11,82	6,6	167,0	130,0	457,0
7 h 15	1	28,40	7,90	14,29	4,4	200,0	162,0	578,5
à	2	29,12	13,35	24,13				
7 h 25	5	29,12	16,54	29,88	2,9	363,0	340,0	1103,0
	10	28,97	17,77	32,10	0,8	399,0	378,0	1178,0
	20	28,27	18,64	33,68	4,6	445,0	392,0	1205,0
	21	fond						
—2—	0	29,21	9,47	17.12	5,0			
9 h 45	1	29,13	10,07	18,21	5,4			
à	2	29,15	12,51	22,61				
9 h 55	5	29,27	16,46	29,74	4,0			
	10	28,62	18,31	33,08	3,8			
	20	28,15	18,63	33,66	3,6			
	21	fond						
—3—	0	30,80	14,37	25,97	4,0			
14 h 10	1	29,82	14,71	26,58	2,3			
à	2	29,75	14,79	26,73				
14 h 20	5	29,39	16,39	29,61	3,3			
	10	28,79	18,22	32,92	3,0			
	22	28,12	18,68	33,75	2,6			
	23	fond						
—4—	0	30,61	15,50	28,01	2,9			
16 h 10	1	30,45	15,53	28,06	2,5			
à	2	29,82	15,67	28,31				
16 h 20	5	29,57	15,99	28,89	2,7			
	10	29,07	17,70	31,98	2,2			
	22	27,97	18,76	33,89	1,0			
	23	fond						
POSTE N° 6 17 MARS 1962								
—1—	0	28,72	17,24	31,15	2,1			
5 h 35	1	28,77	17,28	31,22				
à	2	28,88	17,28	31,22				
6 h 00	5	28,87	17,28	31,22	2,8			
	10	28,99	17,62	31,83				
	12,5	28,69	18,34	33,13	4,1			
	14,5	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 6								
—2—	0	28,18	7,94	14,36	4,4			
8 h 10	1	28,45	9,99	18,06				
à	2	28,84	15,52	28,04				
8 h 30	5	28,97	17,13	30,95	3,6			
	10	28,88	18,13	32,75				
	13	28,37	18,64	33,68	5,3			
	14	fond						
—3—	0	29,20	11,20	20,25	5,7			
10 h 40	1	29,14	11,44	20,68				
à	2	29,30	15,86	28,66				
11 h	5	29,14	17,03	30,77	5			
	10	28,88	18,00	32,52				
	14	28,45	18,64	33,68	4,1			
	15	fond						
—4—	0	30,55	14,34	25,91	3,9			
12 h 55	1	29,58	14,46	26,13	3,2			
à	2	29,59	14,63	26,44				
13 h 15	5	29,14	16,79	30,34	3,2			
	10	28,87	18,15	32,79	5,9			
	15	28,29	18,81	33,98	5,5			
	16	fond						
—5—	0	30,63	15,72	28,40	3,1			
15 h 05	1	30,35	15,64	28,26				
à	2	29,58	15,80	28,55				
15 h 25	5	29,51	15,96	28,24				
	10	28,94	18,39	33,22				
	13	28,87	18,77	33,91	3,2			
	14	fond						
POSTE N° 7 9 MARS 1962								
—1—	0	28,81	15,14	27,36	2,2			
6 h 45	1	28,90	15,13	27,34	2,6			
à	2	28,97	15,23	27,52				
7 h	5	28,99	16,34	29,52	3,2			
	10	28,99	16,76	30,28	7,0			
	11	fond						
—2—	0	30,01	13,86	25,05	46,5			
11 h 10	1	29,47	13,69	24,74	202,0			
à	2	29,13	14,22	25,70				
11 h 20	5	29,05	14,71	26,58	400,0			
	7	29,05	15,69	28,35	864,0			
	8	fond						
—3—	0	30,78	11,33	20,48	10,2	257,0	244,0	727,5
14 h 40	1	30,40	12,28	22,20	9,2	282,0	244,0	848,5
à	2	29,31	13,37	24,16				
14 h 50	5	29,17	16,35	29,54	155,0	363,0	344,0	1084,0
	7	29,12	16,50	29,81	241,0	363,0	352,0	1079,0
	8	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
			POSTE N° 8	10 MARS 1962				
—1—	0	29,00	14,89	26,91	8,3			
8 h 45	1	29,00	14,87	26,87	0,9			
à	2	28,94	14,98	28,07				
9 h 00	5	29,07	16,66	30,10	4,5			
	10	28,65	17,94	32,41	3,1			
	21	28,07	18,63	33,66	1,7			
	22	fond						
—2—	0	32,00	15,89	28,71	2,8			
12 h 30	1	30,14	15,87	28,68	4,6			
à	2	29,69	15,85	28,64				
12 h 40	5	29,25	16,60	29,99	3,1			
	10	28,86	17,69	31,96	3,7			
	18	28,47	18,26	32,99	4,1			
	19	fond						
—3—	0	30,80	5,82	10,54	8,8	157,0	93,5	426,5
16 h 05	1	29,66	12,31	22,25	13,9	282,0	244,0	883,5
à	2	29,95	11,83	21,38				
16 h 15	5	29,07	17,48	31,58	3,8	370,0	356,0	1192,0
	10	28,80	17,94	32,41	2,4	387,0	364,0	1112,0
	20	28,53	18,23	32,94	0,9	407,0	370,0	1218,0
	21	fond						
			POSTE N° 9	10 MARS 1962				
—1—	0	28,61	17,71	32,00	2,1			
7 h 20	1	28,58	17,73	32,03	4,9			
à	2	28,58	17,74	32,05				
7 h 30	5	28,58	17,84	32,23	2,0			
	10	28,52	18,08	32,66	4,8			
	21	28,09	18,77	33,91	3,2			
	22,5	fond						
—2—	0	30,31	14,98	27,07	4,5			
11 h 20	1	29,51	14,99	27,09	2,9			
à	2	29,30	15,04	27,18				
11 h 30	5	28,75	17,85	32,25	0,8			
	10	28,45	18,31	33,08	0,9			
	19	28,21	18,69	33,77	1,6			
	20	fond						
—3—	0	32,30	15,47	27,95	4,8			
14 h 55	1	29,79	15,91	28,75	4,4			
à	2	29,52	16,54	29,88				
15 h 05	5	29,07	17,39	31,42	1,4			
	10	28,57	18,28	33,03	0,8			
	19	28,17	18,74	33,86	0,8			
	20	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
			POSTE N° 11	12 MARS 1962				
—1—	0	29,50	14,85	26,83	4,1			
6 h 50	1	29,53	14,87	26,87	4,1			
à	2	29,52	14,93	26,98				
7 h 00	5	29,17	16,88	30,50	0,8			
	9	29,15	17,19	31,06	1,0			
	10	fond						
—2—	0	30,08	11,45	20,70	5,7	269,0	212,0	813,0
11 h 15	1	29,92	13,70	24,76				
à	2	29,90	12,83	23,19				
11 h 25	5	29,85	14,54	26,27	5,2	315,0	268,0	959,0
	8	29,62	15,78	28,51	6,2	337,0	276,0	1054,5
	9,5	fond						
—3—								
15 h 10	0	30,20	14,40	26,02	1,1			
à	1	30,10	14,43	26,08	4,5			
15 h 20	2	30,08	14,39	26,00				
	5	29,05	16,96	30,64	1,7			
	7	28,77	17,69	31,96	7,1			
			POSTE N° 12	13 MARS 1962				
—1—	0	28,62	15,73	28,42	3,6			
8 h 30	1	28,83	16,32	29,49	1,3			
à	2	28,87	16,38	29,60				
8 h 50	5	28,87	17,20	31,08	2,7			
	11	28,27	18,36	33,17	1,8			
	12	fond						
—2—	0	29,45	16,57	29,94	0,9			
12 h 05	1	29,35	16,57	29,94	1,0			
à	2	29,28	16,59	29,97				
12 h 20	5	28,97	17,41	31,46	3,0			
	10	28,54	18,09	32,68	4,0			
	11	fond						
—3—	0	29,88	11,72	21,18	4,2			
16 h 10	1	29,82	12,15	21,96	4,7			
à	2	29,43	15,28	27,61				
16 h 30	5	29,39	17,06	30,82	4,2			
	9	28,68	18,14	32,77	4,8			
	10	fond						
			POSTE N° 13	13 MARS 1962				
—1—	0	28,72	16,24	29,34	1,0			
7 h 25	1	29,00	16,61	30,01	0,8			
à	2	29,07	16,77	30,30				
7 h 35	5	28,85	17,50	31,62	4,7			
	15	28,22	18,57	33,55	3,1			
	24	27,27	19,00	34,33	4,0			
	25	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
Suite du POSTE N° 13								
—2—								
11 h 05	0	28,95	16,61	30,01	4,5			
à	1	28,98	16,62	30,03	4,5			
11 h 15	2	29,00	16,69	30,16				
	5	28,88	17,53	31,67	1,4			
	15	28,15	18,59	33,58	2,5			
	24	27,42	18,90	34,14	1,7			
	25	fond						
—3—								
15 h 15	0	29,51	16,40	29,63	3,3			
à	1	29,48	16,40	29,63	4,4			
15 h 25	2	29,17	16,50	29,81				
	5	28,96	17,68	31,94	0,9			
	15	28,07	18,55	33,51	0,7			
	23	27,52	18,90	34,14	3,3			
	24	fond						
POSTE N° 15 12 MARS 1962								
—1—	0	29,50	15,37	27,77	5,5			
8 h 40	1	29,47	15,35	27,74	5,5			
à	2	29,40	15,71	28,39				
8 h 50	5	29,35	17,30	31,26	6,7			
	12	28,79	17,80	32,16	4,4			
	13,5	fond						
—2—	0	30,02	15,49	27,99	3,5			
12 h 25	1	29,95	15,50	28,01	3,0			
à	2	29,74	15,73	28,42				
12 h 35	5	29,67	16,54	29,88	3,4			
	11	29,09	18,00	32,52	4,2			
	12	fond						
—3—	0	29,67	16,03	28,96	1,4			
17 h 20	1	29,68	16,03	28,96	3,2			
à	2	29,68	16,08	29,05				
17 h 30	5	28,82	17,79	32,14	4,4			
	12	27,48	18,35	33,15	1,4			
	13	fond						
POSTE N° 16 12 MARS 1962								
—1—	0	29,34	15,14	27,36	3,5			
9 h 15	1	29,33	15,15	27,38	3,0			
à	2	29,37	15,15	27,38				
9 h 40	5	29,35	15,43	27,88	3,3			
	10	29,15	17,05	30,81	3,5			
	22	27,90	18,47	33,37	3,9			
	23	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 16								
—2—	0	29,91	14,92	26,96	4,2			
13 h	1	29,90	14,94	27,00	5,2			
à	2	29,90	14,95	27,01				
13 h 45	5	29,45	16,69	30,16	3,9			
	10	28,62	18,14	32,77	5,2			
	20	27,14	18,94	34,22	10,0			
	21	fond						
—3—	0	29,45	16,15	29,18	3,0			
18 h 20	1	29,50	16,09	29,07	4,0			
à	2	29,50	16,13	29,14				
18 h 30	5	29,43	16,52	29,85	3,6			
	10	28,82	17,96	32,45	3,2			
	20	27,97	18,61	33,62	5,0			
	22	fond						
POSTE N° 17 13 MARS 1962								
—1—	0	28,70	16,25	29,36	0,8			
6 h 30	1	28,70	16,25	29,36	1,1			
à	2	28,80	16,39	29,61				
6 h 40	5	28,58	17,69	31,96	3,3			
	15	28,04	18,56	33,53	0,8			
	31	26,47	19,22	34,72	0,9			
	32	fond						
—2—	0	28,82	16,58	29,96	3,0			
10 h 05	1	28,80	16,55	29,90	4,0			
à	2	28,81	16,47	29,76				
10 h 15	5	28,87	17,27	31,20	0,9			
	15	27,65	18,75	33,87	2,7			
	31	26,55	19,11	34,52	5,4			
	32	fond						
—3—	0	29,34	13,90	25,15	2,8			
13 h 55	1	29,18	15,09	27,27	1,0			
à	2	29,00	16,33	29,51				
14 h 15	5	28,79	17,46	31,55	0,8			
	15	27,99	18,55	33,51	4,4			
	29	26,92	19,07	34,45	4,5			
	30	fond						
POSTE N° 19 9 MARS 1962								
—1—	0	28,88	15,56	28,12	2,2			
7 h 50	1	28,94	15,58	28,15	1,1			
à	2	29,14	15,98	28,87				
8 h	5	29,16	16,57	27,94	1,1			
	10	29,13	16,67	30,12	0,8			
	15	29,09	16,82	30,39	3,7			
	16	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl °/oo	S °/oo	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 19								
—2—	0	30,11	14,84	26,82	5,5			
12 h 00	1	29,71	15,25	27,56	3,3			
à	2	29,64	15,66	28,30				
12 h 10	5	29,46	16,36	29,56	3,3			
	10	29,25	16,70	30,17	2,2			
	12	29,02	17,05	30,81	0,7			
	12,5	fond						
—3—	0	30,19	15,74	28,44	3,3			
15 h 45	1	29,91	15,93	28,78	4,1			
à	2	29,78	16,13	29,14				
15 h 55	5	29,15	16,73	30,23	1,6			
	10	28,99	17,19	31,06	4,4			
	14	28,99	17,20	31,08	9,4			
	15	fond						
POSTE N° 20 9 MARS 1962								
—1—	0	29,08	16,13	29,14	1,4			
9 h 05	1	29,15	15,72	28,40	3,4			
à	2	28,99	16,24	29,34				
9 h 30	5	28,97	16,60	29,99	2,1			
	10	28,86	17,26	31,18	1,0			
	15	28,67	17,70	31,98	1,4			
	16	fond						
—2—	0	30,08	15,71	28,39	3,3			
13 h 00	1	29,63	15,78	28,61	1,4			
à	2	29,48	16,05	29,00				
13 h 15	5	29,06	16,89	30,52	1,1			
	10	28,86	17,33	31,31	0,6			
	13	28,76	17,64	31,87	1,1			
	14	fond						
—3—	0	30,09	16,44	29,70	3,5			
17 h 00	1	30,11	16,45	29,72	1,5			
à	2	29,76	16,68	30,14				
17 h 15	5	29,07	17,64	31,69	1,0			
	10	28,85	17,60	31,80	1,0			
	17	28,57	18,00	32,52	2,7			
	18	fond						
POSTE N° 21 10 MARS 1962								
—1—	0	28,40	18,13	32,75	1,5			
6 h 20	1	28,43	18,12	32,74	0,6			
à	2	28,44	18,13	32,75				
6 h 30	5	28,47	18,13	32,75	1,0			
	15	28,37	18,43	33,30	2,5			
	31	28,43	19,21	34,70	1,9			
	32	fond						

N° de Station et heure	Profondeur en m	Température °C	Cl ‰	S ‰	Turbidité mg/l.	K mg/l.	Ca mg/l.	Mg mg/l.
suite du POSTE N° 21								
—2—	0	29,12	17,61	31,82	0,8			
10 h 20	1	29,08	17,55	31,71	0,7			
à	2	29,02	17,82	32,20				
10 h 30	5	29,05	17,96	32,45	3,0			
	15	28,43	18,44	33,31	3,0			
	31	27,37	19,12	34,54	0,6			
	32	fond						
—3—	0	31,32	16,82	30,39	1,0			
13 h 55	1	29,92	16,77	30,30	2,1			
à	2	29,50	16,86	30,46				
14 h 05	5	28,97	17,56	31,73	1,5			
	15	28,45	18,41	33,26	2,5			
	28	27,62	19,17	34,63	3,3			
	29	fond						
POSTE N° 23 17 MARS 1962								
—1—	0	29,28	14,30	25,84	0,8			
11 h 45	5	29,02	17,22	31,11	2,6			
à	10	29,07	18,09	32,68				
11 h 50	20	29,15	19,13	34,56				
	150 (environ)		fond					

TABLEAU n° 14

MESURES DES VITESSES DU COURANT EN PÉRIODE DE CRUE DE LA BETSIBOKA

Station et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction	*Station* et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction
POSTE N° 1 15 MARS 1962							
—1—	0	0,39	0°	—4—	0	0,88	330°
7 h 10	5	0,07	0°	14 h 00	5	0,15	0°
à	10	0,18	180°	à	10	0,07	0°
7 h 20	18	0,23	180°	14 h 20	19	0,20	0°
	19,5	fond			20	fond	
—2—	0	0,29	340°	—5—	0	0,69	
9 h 20	5	0.40	170°	16 h 00	5	0,28	0°
à	10	0,44	170°	à	10	0,26	340°
9 h 32	18	0,35	170°	16 h 28	19	0,20	330°
	19,50	fond			20	fond	

Station et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction	*Station* et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction
suite du POSTE N° 1							
—3—	0	0,45					
11 h 45	5	0,31	170°				
à	10	0,36	180°				
11 h 49	19	0,14	180°				
	20	fond					
POSTE N° 2 8 MARS 1962							
—1—	0	0,14	35°	—2—			
6 h 00	5	0,37	130°	9 h 30	0	2,37	0°
à	10	0,17	90°	10 h 00	0	2,37	0°
6 h 30	25	0,27	90°	10 h 30	0	2,05	0°
	27	fond		11 h 00	0	1,55	0°
POSTE N° 4 16 MARS 1962							
—1—	0	0,42	270°	—4—	0	0,44	315°
7 h 30	5	0,22	0°	15 h 25	5	0,20	310°
à	10	0,15	10°	à	10	0,10	350°
7 h 45	15	0,13	10°	15 h 37	16	0,09	350°
	17,5	fond			18	fond	
—2—	0	0,54	270°	—5—	0	0,31	315°
10 h 10	5	0,25	250°	18 h 03	5	0,08	290°
à	10	0,13	305°	à	10	0,27	0°
10 h 30	16	0,15	195°	18 h 11	16	0,27	0°
	18	fond			18	fond	
—3—	0	0,56	290°				
12 h 55	5	0,31	180°				
à	10	0,33	130°				
13 h 05	16	0,17	130°				
	18,5	fond					
POSTE N° 6 17 MARS 1962							
—1—	0	0,36	300°	—3—	0	0,67	300°
5 h 32	5	0,28	0°	10 h 40	5	0,23	320°
à	12	0,19		à	8	0,11	235°
5 h 48	14,5	fond		10 h 55	12	0,02	
					14	fond	
—2—	0	1,00	300°	—4—	0	0,62	260°
8 h 17	5	0,38	350°	13 h 00	5	0,32	290°
à	8	0,23	350°	à	8	0,10	135°
8 h 30	12	0,10	130°	13 h 15	12	0,21	135°
	14	fond			16	fond	
—5—	0	0,50	260°				
15 h 11	5	0,39	300°				
à	8	0,12	270°				
15 h 19	12	0,10	270°				
	15	fond					

Station et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction	*Station* et heure	Profondeur en m	Vitesse en m/sec.	Direction
			POSTE N° 12	13 MARS 1962			
—1—	0	0,37	40°	—3—			
8 h 35	5	0,12	110°	16 h 25	0	0,34	160°
à	11	0,09	110°	à	5	0,29	100°
8 h 45	12	fond		16 h 30	9	0,22	100°
—2—	0	0,29	350°				
12 h 20	5	0,37	320°				
à	9	0,35	280°				
12 h 35	11	fond					
			POSTE N° 16	12 MARS 1962			
—1—	0	0,31	40°				
9 h 20	5	0,12	35°				
à	10	0,05	300°				
9 h 45	—	0,12	100°				
	21	0,24	320°				
	22	fond					
			POSTE N° 20	9 MARS 1962			
—1—	0	0,88	330°	—3—	0	0,57	220°
9 h 15	5	0,40	300°	17 h	5	0,60	200°
à	10	0,49	320°	à	10	0,47	200°
9 h 35	15	0,27	340°	17 h 15	17	0,22	200°
	16	fond			18	fond	
—2—	0	0,30	250°				
13 h 05	5	0,55	230°				
à	10	0,26	210°				
13 h 30	13	0,28	180°				
	14	fond					

LISTE DES OUVRAGES CITÉS

BATTISTINI R. (1964). — Étude géomorphologique de l'extrême sud de Madagascar. Thèse, Cujas, Paris, 633 pp.

BERTHOIS L. (1965). — Techniques d'études estuariennes, Centre Doc. Univ. 1 vol. 144 pp., 46 fig. Éditions S.E.D.E.S., Paris 1965.

BERTHOIS L. (1963). — Contribution à l'étude de la sédimentation dans l'estuaire du Konkouré, en période d'étiage, Cahiers Océanographiques, XVe Année, n° 1, Janv. 1963 pp. 16-52.

BERTHOIS L.; BATTISTINI R., CROSNIER A. (1964). — Recherches sur le relief et la sédimentologie du plateau Continental de l'extrême sud de Madagascar, Cahiers Océanographiques, XVIe année, n° 7 juillet-Août 1964, pp. 511-655.

CAILLEUX A. (1943). — Distinction des sables marins et fluviatiles, Bull. Soc. Géol. Fr., 5e Série, T. 13, 1943, pp. 342-354.

CAILLEUX A. et TRICART J. — Initiation à l'étude des sables et des galets, 3 tomes C.D.U. Paris, Tome II, morphométrie des sables, p. 1 à 194.

GUILCHER A. (1954). — Les récifs coralliens du nord-ouest de Madagascar (note préliminaire), Bull. Ass. des Géogr. Français n° 245-246. Nov.-Déc. 1954, pp. 147-156.

GUILCHER A. (1954). — Caractères du récif barrière de la côte nord-ouest de Madagascar, C.R.S. Soc. Géol. de Fr. n° 14, Séance du 29 nov. 1954, pp. 372-373.

GUILCHER A. (1958). — Mise au point sur la géomorphologie des récifs coralliens de Madagascar et dépendances, Mém. Inst. Scient. de Madagascar, Série F t. II, pp. 89 à 115.

GUILCHER A., BERTHOIS L., BATTISTINI R. (1962). — Formes de corrosion littorale dans les roches volcaniques particulièrement à Madagascar et au Cap Vert (Sénégal), Cahiers Océan. 14e année, n° 4, avril 1962, pp. 208-240.

LAFOND L.R. (1957). — Aperçu sur la sédimentologie de l'estuaire de la Betsiboka, Rev. Inst. Fr. Pét. et Ann. Com. Liq. vol. XII, n° 4 avril 1957, pp. 425-431.

MÉNACHÉ M. 1961. — Découverte d'un phénomène de remontée d'eau profonde au sud du Canal de Mozambique, Mémoires de l'I.R.S.M., Série F. Tome IV, 7 p., 5 fig.

ORCEL J. (1925). — Sur la détermination des températures de départ de l'eau dans les silicates, C.R. du Congrès des Soc. Savantes, Revue Sciences, n° 4.

ORCEL J. (1924). — Départ d'eau dans les silicates, C.R. Ac. Sc. t. 179-17 Nov. 1924, p. 1056.

ORCEL J. (1925). — Emploi de l'analyse thermique différentielle dans la détermination des constituants des argiles, des latérites et des bauxites.
C.R. Cong. Int. des Mines Métal. et géol. appl. Paris 1935, pp. 360-373.

ORCEL J. et CAILLÈRE S. — L'analyse thermique différentielle des argiles à montmorillonite (Bentonites), C.R. Ac. Sc., 9 Oct. 1933, pp. 774-776.

SACHET M.H. (1962). — Monographie physique et biologique de l'Ile Cliperton. Ann. Inst. Océan. Tome XL, fasc. 1, 167 p., 12 pl.

TAIZO OKUDA (1964). — Calcium and magnesium contents in the river and sea waters of tropical area, Bol. Inst. Océanog. Inst. Univ. Oriente, T. 3, nos 1 et 2, pp. 118-135.