

**SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS LAGUNAIRES ET ESTUARIENS
VARIATIONS MORPHOLOGIQUES SAISONNIÈRES
DE L'EMBOUCHURE D'UN FLEUVE EN CLIMAT INTERTROPICAL
(LE BANDAMA - CÔTE D'IVOIRE)**

Jean LECOLLE

*Géologue ORSTOM
Laboratoire de Géologie et Sédimentologie
Université de Nice*

RÉSUMÉ

L'étude de la sédimentation estuarienne et des variations morphologiques de l'embouchure du Bandama (Côte d'Ivoire) montre les influences du cycle saisonnier : crue/étiage et des contrôles marins affectant ce bassin paralique en climat intertropical.

ABSTRACT

The study of the estuarine sedimentation and the morphological variations of the mouth of the Bandama river (Ivory Coast) shows the influences of the seasonal cycles : swelling/low waters periods and marine controls influence this paralic basin under intertropical climate.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchung der Aestuarablagerung und der morphologischen Veränderungen der Bandamamündung (Elfenbeinküste) zeigen Einflüsse des jahreszeitlichen Zyklus (Hochwasser/Niedrigwasser) und der Meereskontrollen, die dieses paralische Becken in intertropischem Klima betreffen.

РЕЗЮМЕ

Исследование эстуарного осаднения и морфологических изменений устья реки Бандамы (Берег Слоновой Кости) обнаруживает влияния сезонного цикла: наводок/межень и морских контролей на этот приморский бассейн находящийся в условиях тропического климата.

INTRODUCTION

Le littoral ivoirien montre deux faciès différents :

— A l'Ouest une côte rocheuse de la frontière libérienne à Fresco. Les falaises recouvertes par la forêt sont souvent protégées par une large plage et pratiquement jamais atteintes par la mer.

— A l'Est une côte basse et sableuse soulignée par une série de lagunes qui s'étendent tout le long du littoral de Fresco à la frontière ghanéenne.

Les fleuves de cette région se jettent en lagune et longent la côte en cherchant une embouchure ou « grau » avant de déboucher en mer. Ce système de lagune permet aux rivières de décanter leurs eaux en partie à l'abri du cordon littoral.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE (fig. 1)

La lagune de Grand-Lahou, dans laquelle débouche le fleuve Bandama, est située à environ 80 km à l'Ouest d'Abidjan par $5^{\circ}8$ à $5^{\circ}3$ de latitude nord et par $4^{\circ}51$ à $5^{\circ}11$ de longitude ouest. Elle joue en partie un rôle d'estuaire comme zone d'échanges entre eaux douces et eaux salées.

La zone d'étude comprenant les chenaux fluviaux et estuariens ainsi qu'une partie lagunaire, recouvre une superficie de $5,1 \text{ km}^2$, l'estuaire proprement dit ne faisant que $1,5 \text{ km}^2$.

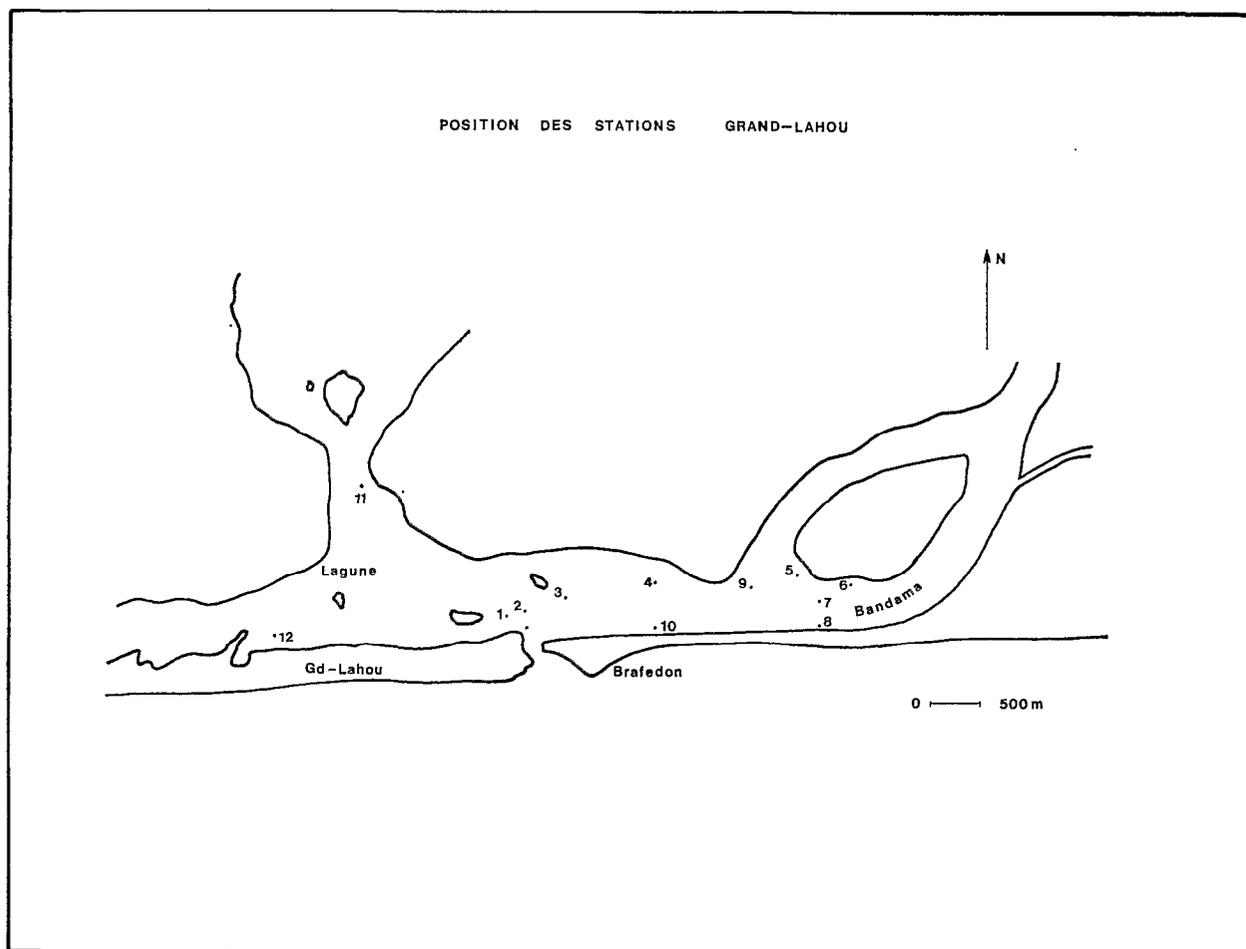


FIG. 1. — Situation géographique, positions des stations.

La longueur maximum est de 5,5 km mais le fleuve ne parcourt que 3 km en lagune, en longeant le cordon littoral avant de sortir en mer. La largeur varie de 500 m à 900 m.

La profondeur change selon les saisons (crues et étiages fluviaux), les marées ou la position géographique. Elle est en moyenne de 2,80 m aux différentes stations avec des extrêmes de 4,00 m (B 10-B 7) et de 1,40 m (B 12-B 6).

Certains hauts-fonds sont colonisés par la végétation, et constituent des îlots. Le plus grand au Nord-Est divise le fleuve en 2 bras. Le Nord de la lagune présente des bancs de sable émergés pendant le jusant.

Le Sud de la lagune, zone de passage du fleuve, accuse les plus grandes profondeurs.

Le marnage maximum en estuaire est de l'ordre de 1 m, mais en général, il est plus faible, avec parfois des retards importants sur la mer.

RÉGIME HYDROLOGIQUE DU BANDAMA (tableau I)

Le bassin du Bandama couvre une superficie de 97 500 km² soit presque le 1/3 de la Côte d'Ivoire. Fleuve entièrement ivoirien, il s'étend du nord au sud du pays pour se jeter en mer par la passe de Grand-Lahou.

Le fleuve est soumis à un régime de variations saisonnières de type tropical de transition au nord, équatorial de transition atténué dans le sud. Il en résulte que la période d'étiage se situe en mars-avril et la crue maximum en septembre-octobre.

Tiassalé est la station hydrologique située le plus en aval sur le fleuve après le dernier affluent important (le N'Zi). C'est donc le point d'aboutissement d'un bassin versant de 94 250 km² soit les 97 % de la totalité.

Les hydrogrammes de Tiassalé utilisés dans cette étude (fig. 8, 9, 10), donnent donc une idée assez exacte du débit du Bandama à Grand-Lahou. Cependant, l'onde de crue met plusieurs jours (variable suivant les saisons) pour franchir les 120 km environ qui séparent Tiassalé de Grand-Lahou.

TABLEAU I

Caractéristiques hydrologiques du Bandama à Tiassalé

Année	1964	1965	1966
Vol. éc. (10 ⁸ · m ³)	15 261 005	13 894 976	11 736 840
Exp. sol. (tonnes)	1 480 032	1 187 568	1 183 250
Dégr. spéc. (t/km ²)	15,7	12,6	12,4
Q _{max} (m ³ /s)	2 380	1 830	1 520
Module annuel (m ³ /s)	484	438	372

Vol. éc. = Volume écoulé.

Exp. sol. = Exportation solide.

Dégr. spéc. = Dégradation spécifique.

Q_{max} = Débit maximum.

MÉTHODES

Choix des zones d'étude

Douze stations matérialisées par des bouées ont été installées (fig. 1). Elles se répartissent comme suit :

La zone du chenal fluvial (bouées 2, 7, 8, 10) est caractérisée par des courants importants, parfois antagonistes, s'annulant ou plus souvent interférant entre eux (courant de marée : flot et jusant, courant fluvial). L'influence marine est prépondérante en période de basses eaux. La mer pénètre alors largement en lagune et dans le cours inférieur du Bandama, le maximum de pénétration saline ayant été observé, à l'étiage et en marée de vive eau à 32 km de l'embouchure par LENOIR et MONNET (1968). Des courants violents sont observés dans la passe, où les fonds sont sableux très grossiers.

Les zones marginales (bouées 4, 5, 9) où les courants sont plus atténués, sont soumises à une sédimentation plus fine. Les fonds présentent des alternances de niveaux sableux et vaseux riches en débris végétaux.

Les zones lagunaires (bouées 11, 12) où les influences marine et fluviale sont plus réduites, ont des fonds nettement vaseux. Cette vase est suffisamment compacte pour ne pas être remise en suspension par les courants.

Dans cette note, 4 stations sont considérées comme représentatives des zones définies ci-dessus :

La Bouée 8 dans le chenal fluvial.

La Bouée 2 près de l'embouchure.

La Bouée 5 sur la bordure du fleuve.

La Bouée 12 en lagune sensu stricto.

L'étude porte ici sur 3 années 1964, 65, 66.

Granulométrie

Nous utilisons la classification de STRAKHOV qui distingue :

- les pélites inférieures à 10μ
- les aleurites de 10 à 100μ
- les sables de 100 à $1\ 000 \mu$

Les représentations granulométriques ont été schématisées sous trois formes :

Les courbes cumulatives (fig. 2, 3, 4, 5).

Les diagrammes triangulaires (fig. 6,7).

Nous avons figuré par années les quatre Bouées et dans chaque triangle, trois catégories de dépôts :

- ceux apportés avec un débit fluvial faible ($10 < Q < 120 \text{ m}^3/\text{s}$)
- ceux apportés avec un débit fluvial moyen ($800 < Q < 1\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$)
- ceux apportés avec un débit fluvial fort ($Q > 1\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$).

Les diagrammes circulaires (fig. 8, 9, 10) représentent la distribution des différentes fractions granulométriques. Les prises d'échantillons sont situées par rapport à l'hydrogramme du Bandama à Tiassalé.

Dosages

Les dosages suivants sont effectués sur tous les échantillons (1) : Carbone, Azote, Fer total, Matière organique.

Quelques déterminations de Minéraux lourds complètent cette étude (2).

GRANULOMÉTRIE DES FONDS

Zone du chenal fluvial (B8)

Les courbes cumulatives se divisent en *deux familles* (fig. 2) l'une à granulométrie d'éléments fins abondants (entre 20 et 50 % inférieurs à 1μ) et l'autre où sables moyens et grossiers dominent (90 % de la totalité supérieure à 100μ).

Nous pouvons noter sur certaines courbes un faciès bimodal. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que la prise de sédiment de fond s'effectue sur 10 cm d'épaisseur, et les couches bien différenciées au départ peuvent se mélanger partiellement à la remontée. Il faut remarquer que les granulométries présentées ici ne concernent que le dépôt le plus superficiel (0 à 2 cm) lorsqu'il y a des alternances visibles.

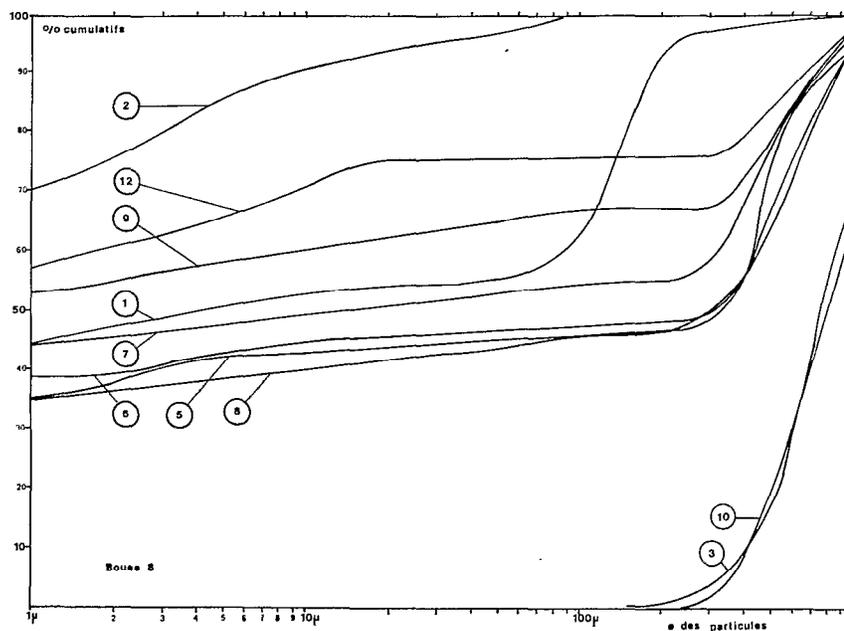


FIG. 2. — Courbes cumulatives des sédiments de fond en 1965. (les chiffres indiquent les mois de l'année).

(1) Dosages exécutés par le laboratoire commun d'analyses d'Adiopodoumé.

(2) Toutes les déterminations ont été faites par Mme DELAUNE au laboratoire de géologie de l'ORSTOM à Bondy.

Dans la première famille, les médianes sont très faibles (10μ) et il n'est pas possible d'évaluer le Sorting-index de Trask par contre, dans la couche sous-jacente les médianes se situent entre 600 et 900 μ , le So reste aux environs de 1,30 et l'hétérométrie de CAILLEUX (1959) est faible (0,45). Ceci nous montre un dépôt sableux bien trié surmonté d'une couche vaseuse.

Dans la deuxième famille, le So varie entre 1,24 et 1,50, l'indice d'hétérométrie est très stable (0,40) ce qui indique un matériau bien classé. Ce sable présente les mêmes caractéristiques que le précédent. Nous pouvons en déduire que cette zone reçoit une succession de dépôts sableux et vaseux, échelonnés dans le temps.

L'année 1965 représentée ici (fig. 2) montre une abondance d'éléments fins (entre 35 et 70 % sont inférieurs à 1 μ). Les courbes presque parallèles à l'abscisse indiquent un manque d'aleurites.

En 1964 et 1966, les courbes cumulatives sont en majorité redressées vers les sables et traduisent une fraction grossière importante avec un pourcentage de pélites peu élevé (inférieur à 20 %).

De la représentation par diagramme triangulaire (fig. 6) se dégagent les résultats suivants :

- regroupement des points près de l'abscisse aleurite.
- importante proportion de pélites (50 %) avec fraction sableuse non négligeable.

Les diagrammes circulaires (fig. 8) mettent en évidence quelques résultats, à savoir :

— les éléments fins (inférieurs à 1 μ) sont particulièrement abondants jusqu'à atteindre 70 % du total.

— l'apport sableux peut être également important (jusqu'à 50 %). Mais nous voyons surtout que malgré la crue, les dépôts fins dominent toute l'année, avec aussi un fort pourcentage de sables. Les autres années, la tendance est renversée. L'alternance des dépôts à laquelle nous assistons ici varie dans le temps, les épisodes vaseux ou sableux étant tributaires des débits et des courants de marée.

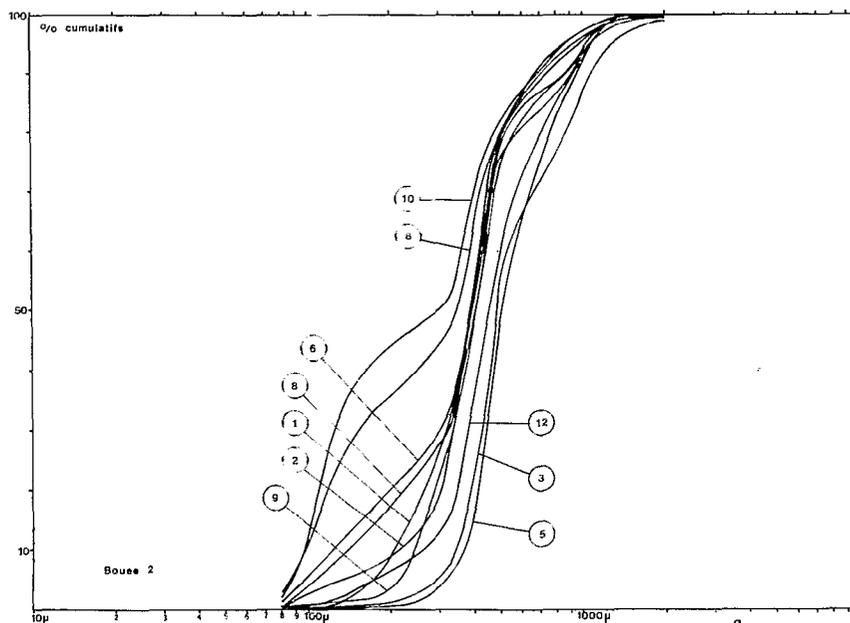


FIG. 3. — Courbes cumulatives des sédiments de fond en 1965, (les chiffres indiquent les mois de l'année).

Près de l'embouchure (B2)

Les fonds sableux subissent une influence marine prépondérante surtout pendant l'étiage, mais aussi en période de crue au moment du flot. Les courants peuvent être forts (jusqu'à 2 m/s), aussi les éléments fins ne se décantent pas ici mais sortent en mer avec le fleuve.

Les courbes cumulatives (fig. 3) sont très redressées, la médiane varie entre 350 et 475 μ et le sorting index de Trask compris entre 1,20 et 1,60 indique un bon triage. L'indice d'hétérométrie très faible désigne un sédiment marin. Aux mois d'août et d'octobre le faciès bimodal montre le dépôt de deux stocks sableux différents. Il s'agit peut-être ici d'un mélange d'apports continentaux et marins. (L'hétérométrie est d'ailleurs plus élevée : 0,40 et 0,54). D'autre part il est intéressant de noter en crue un léger apport d'éléments plus fins (fig. 7) (aleurites).

Zones marginales (B5)

La bouée 5 occupe dans la lagune une position particulière à l'abri de l'île du Bandama. C'est une aire de sédimentation à l'écart des courants fluviaux, bénéficiant parfois d'un débordement du Bandama repoussé sur les zones de bordure par l'onde de marée. Les fonds (fig. 4) comportent souvent une proportion de pélites qui n'excède pas 50 %.

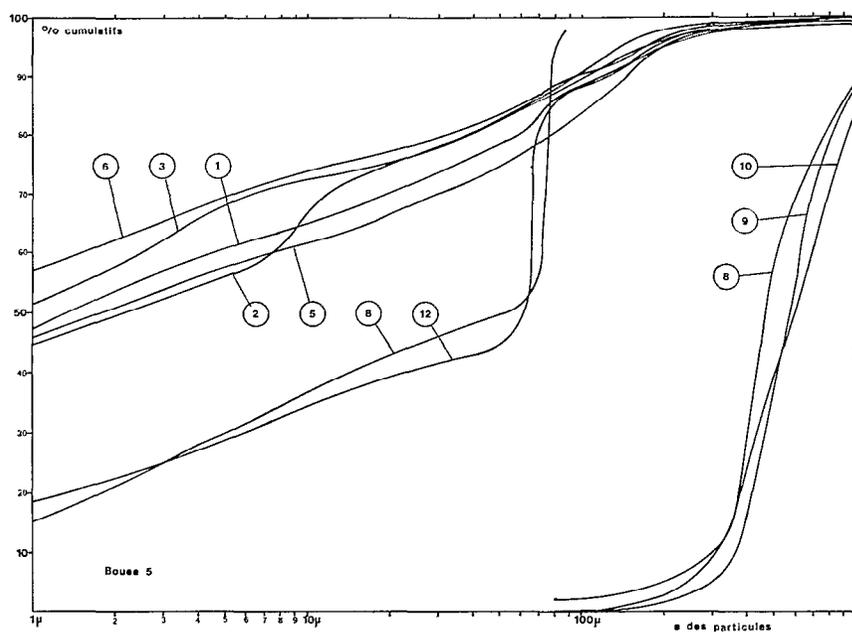


FIG. 4. — Courbes cumulatives des sédiments de fond en 1965, (les chiffres indiquent les mois de l'année).

Un dépôt sableux (100 à 1 000 μ) pendant la crue de 1965 (débit maximum : 1 750 m³/s) se traduit par des courbes redressées. On observe parfois un infléchissement au sommet du graphique vers 60 μ qui peut s'interpréter comme un faciès bimodal provenant du mélange de deux stocks. Le même phénomène s'est déjà présenté à la bouée 8 et a été décrit plus haut. Les prélèvements ont été effectués pendant

le jusant ou l'étalement de basse mer, pendant lesquels le fleuve en crue n'est pas perturbé par le courant de flot. Le Bandama qui entraîne un important stock de charges solides se décante partiellement sur les bordures mais la plus grande partie est transportée jusqu'à la mer.

Les médianes forment deux lots distincts, l'un se situant aux environs de 5μ , l'autre vers 480μ , (pendant la crue de 1965). Cette différence très marquée traduit une dualité des dépôts en relation avec les oscillations climatiques, par l'intermédiaire des débits fluviaux. Une autre représentation (fig. 6) met en évidence un double apport sédimentaire au cours d'une année. Une séparation très nette des points montre :

- en étiage, la décantation des sédiments fins (70 % de pélites).
- en crue, le dépôt des sables.
- pendant la période intermédiaire, la couche superficielle prélevée est moins bien différenciée.

Zone lagunaire (B12)

Les courbes cumulatives (fig. 5) montrent un tracé très étalé, la fraction fine descendant rarement au-dessous de 50 %. La fraction grossière est presque inexistante et les sables peu abondants.

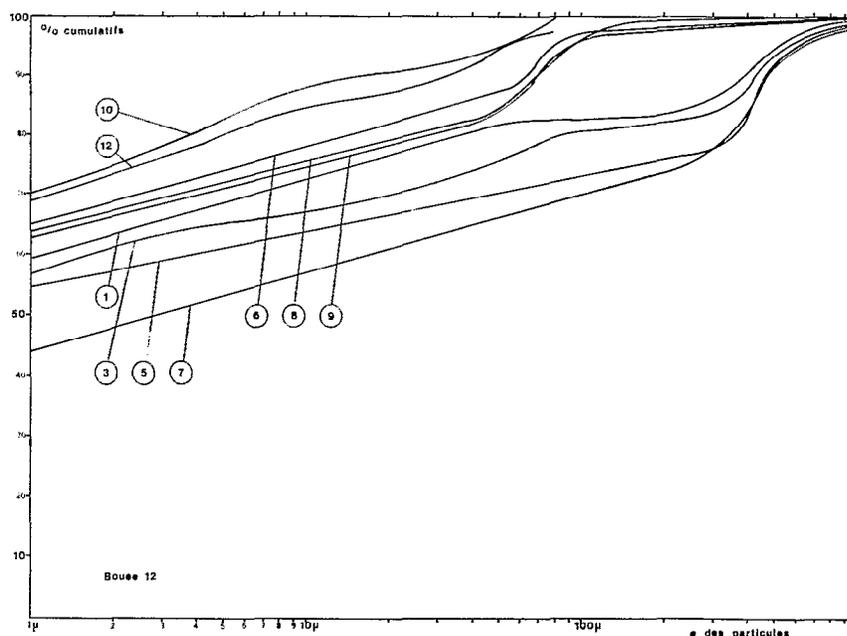


FIG. 5. — Courbes cumulatives des sédiments de fond en 1965, (les chiffres indiquent les mois de l'année).

Les figures 7 et 10 indiquent un léger apport en éléments sableux pendant l'étiage (20 à 30 %).

Il faut remarquer que le nord de la lagune (B11) comporte une fraction plus importante d'apports sableux variant entre 20 et 30 % (en septembre 1964 jusqu'à 70 %). Le pourcentage de pélites reste cependant important, les médianes se situant aux environs de 10μ .

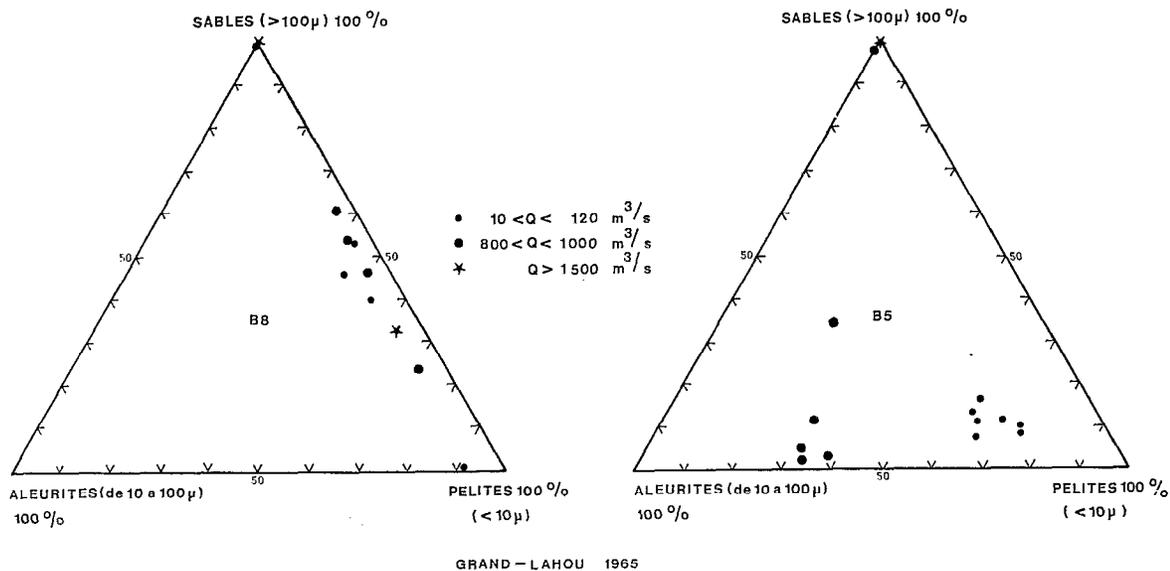


FIG. 6. — Diagrammes triangulaires, granulométrie des fonds.

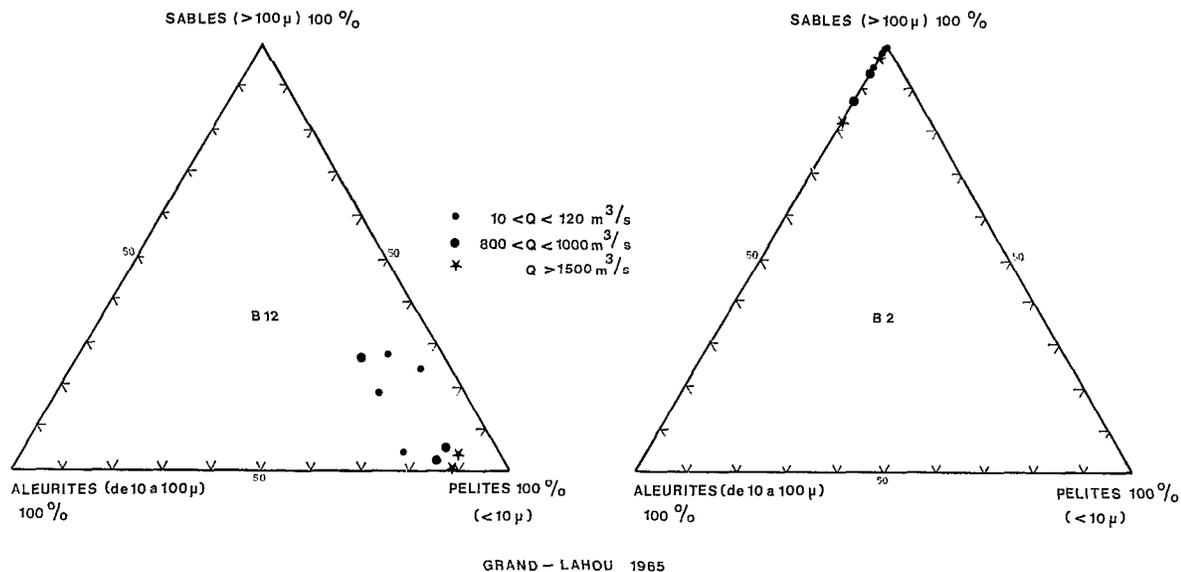


FIG. 7. — Diagrammes triangulaires, granulométrie des fonds.

Remarques

Les observations suivantes peuvent être formulées :

— Un certain manque de cohérence dans l'évolution des granulométries apparaît. Mais il faut se rappeler que l'étude ne porte que sur la couche superficielle du fond et qu'une contamination est possi-

ble au moment du prélèvement quand il y a une alternance des dépôts de quelques centimètres d'épaisseur. Il peut y avoir aussi une modification rapide du fond sous l'action des courants qui, soit en entraînant les éléments fins superficiels, soit en transportant et en déposant des sables fluviaux ou des sables marins, produisent des mélanges de stocks. Ceci se traduit sur les graphiques par des courbes bimodales.

— En certaines stations (par exemple en bouée 2), les éléments fins qui se sédimentent après les épisodes sableux peuvent percoler à travers ces éléments plus grossiers.

Par contre en B5 et B8, nous observons que les éléments grossiers (supérieurs à 1 mm) déposés après un épisode vaseux tendent à être absorbés par ces éléments fins.

Il en résulte un mélange de deux (ou de plusieurs) apports de granulométries différentes qui ne sont pas contemporains.

— L'influence marine se fait sentir partout comme en témoignent les indices de classement faibles.

— Les sédiments ne sont grossiers que dans le chenal fluvial.

DISTRIBUTION DES SÉDIMENTS DE FOND DE LA LAGUNE EN FONCTION DES SAISONS

Plusieurs années d'échantillonnage permettent de suivre les variations de la sédimentation dans les fonds lagunaires et estuariens.

L'étude porte sur des sédiments récoltés en période d'étiage (débit voisin de $10 \text{ m}^3/\text{s}$) et en période de crue (débit de 1 200 à plus de $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$) pendant trois années consécutives dont les crues sont d'ailleurs d'inégales amplitudes (tableau I).

Stations du chenal fluvial

L'observation directe par plongée a permis de reconnaître ici des alternances de dépôts sableux et de dépôts vaseux. Le fond est plat, les eaux surincombantes sont très chargées car la fine pellicule de vase superficielle est instable. Les granulométries attestent la présence de 60 % d'éléments grossiers ($> 1 \text{ mm}$) pendant la crue (en B10, 1964). Pendant l'étiage une sédimentation plus fine apparaît (10 à 30 % d'éléments $< 1 \mu$). BERTHOIS (1965) fait état d'une zone d'équilibre des eaux profondes dans les estuaires. Cette lentille d'eau qui subit des déplacements vers l'amont et vers l'aval en fonction de la marée et du débit du fleuve, constitue une barrière infranchissable pour les sédiments grossiers transportés sur le fond. Seuls les éléments fins dans la tranche d'eau supérieure s'écoulent au-dessus des eaux plus profondes. Une certaine partie se décante au passage de cette zone. Ce coin salé peut remonter le fleuve sur plusieurs dizaines de kilomètres par forte marée et en période d'étiage. Par contre une grosse crue comme celle de 1964 ($Q < 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$) a pour effet de repousser le coin salé vers l'aval et de favoriser ainsi le transport des éléments grossiers.

Au nord du goulet les trois bouées (B₁, B₂, B₃) sont placées dans une zone continuellement en contact avec le milieu marin. Ici les fonds présentent des compositions granulométriques homogènes. Il s'agit essentiellement de sables fins à moyens (de 100 à $1\,000 \mu$). Les médianes sont voisines de 400μ et l'hétérométrie de Cailleux est très faible. Cette zone présente un fond accidenté (ondulations et cuvettes). C'est à ce niveau que s'affrontent des eaux de provenances diverses. Les rigoles observées à la bouée 2 peuvent constituer des figures de courant analogues aux « flutes casts ». Les ondulations sont assimilables à des « ripple marks ».

On note une concentration de sables « rouille » sur la face incurvée amont (par rapport au sens du courant) du « ripple marks », alors que le côté aval est formé de sables plus « blonds ». Cette différence est probablement due à un classement par densité, l'un étant plus riche en minéraux lourds que l'autre.

SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS LAGUNAIRES ET ESTUARIENS (Bandama)

TABLEAU II

Granulométries des fonds. Variations saisonnières

	Stations	Pelites		Aleurites 10 à 100 μ	Sables 100 à 1 000 μ	> 1 000 μ
		< 1 μ	1 à 10 μ			
Etiage Avril 1964	B2	—	—	0,5	98,5	1
	B5	55,0	15	15	14	1
	B8	17,7	4,7	3,3	58,1	16,2
	B12.....	51	7	32	10	0
Crue Septembre 1964	B2	32,9	18,3	15,1	32,8	0,9
	B5	42,0	14,6	19,1	24,1	0,2
	B8	—	—	—	81	19
	B12.....	64	11,2	19,2	5,0	0,6
Etiage Mars 1965	B2	—	—	—	86	14
	B5	51,4	21,1	17,5	9,2	0,8
	B8	—	—	0,4	67,6	32
	B12.....	56,9	10,8	13,3	17,9	1,1
Crue Septembre 1965	B2	—	—	2	95	3
	B5	—	—	—	93	7
	B8	52,9	8,7	5,7	28,1	4,6
	B12.....	71,5	18,0	8,0	—	—
Etiage Mars 1966	B2	—	—	0,1	93,9	6,0
	B5	9,6	14,9	70,5	5,0	—
	B8	—	—	3	86	11
	B12.....	40,7	6,2	9,3	42,7	1,1
Crue Septembre 1966	B2	—	—	—	96,6	3,4
	B5	46,4	14,25	13,85	25,25	0,25
	B8	—	—	2	56	42
	B12.....	59,0	9,3	7,1	14,0	0,6

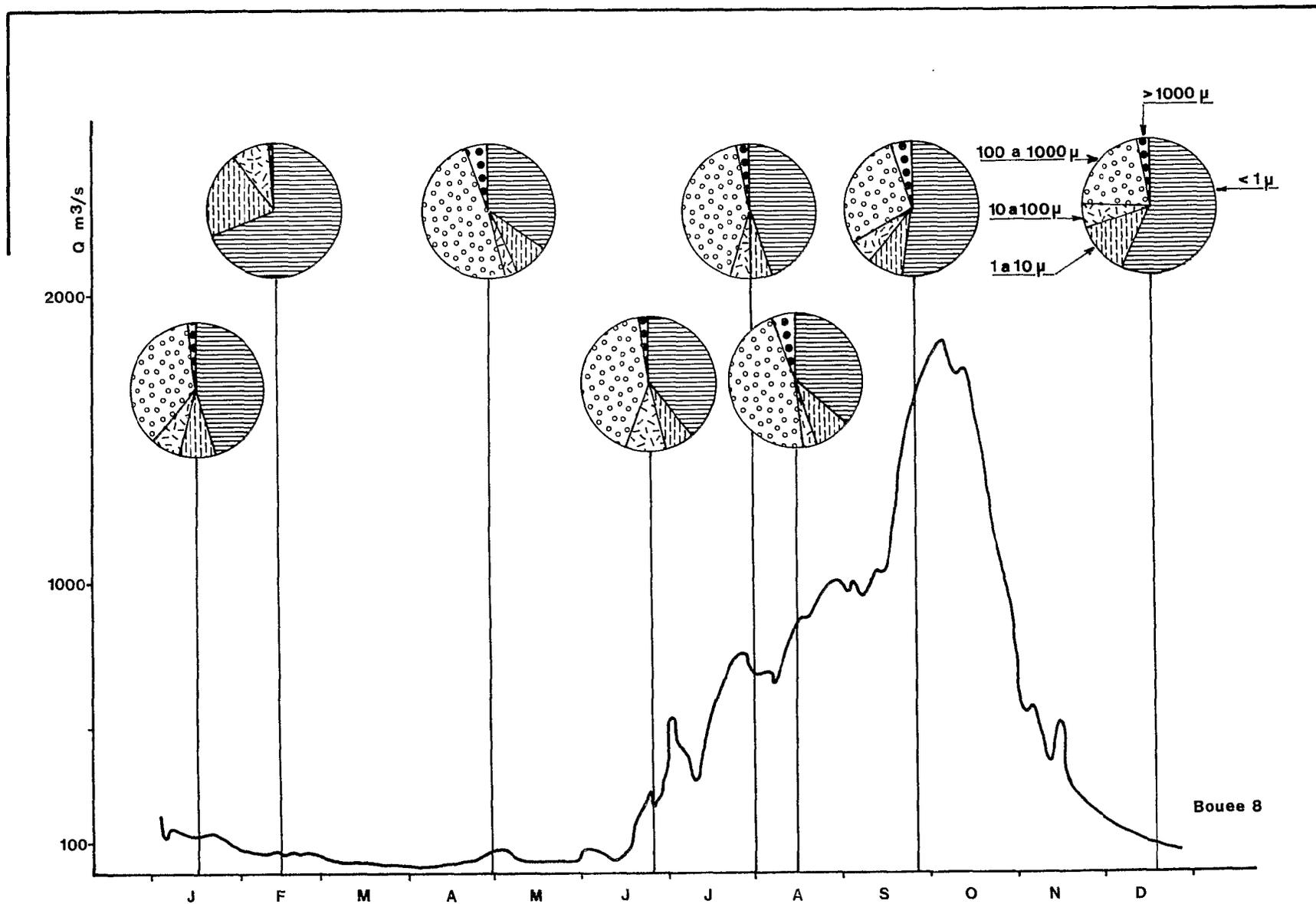


FIG. 8. — Diagrammes circulaires, hydrogramme du Bandama à Tiassalé (1965).

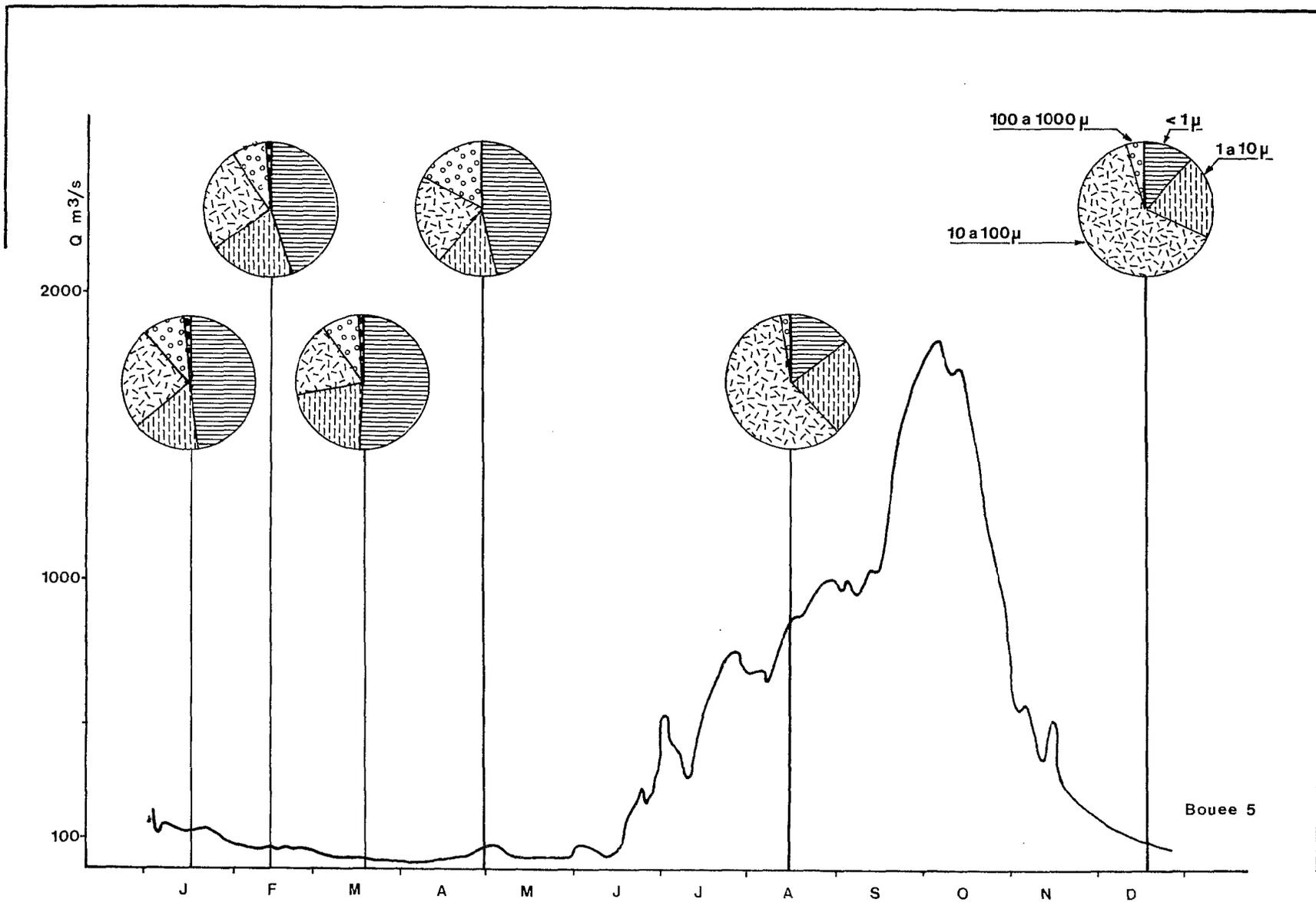


FIG. 9. — Diagrammes circulaires, hydrogramme du Bandama à Tiassalé (1965).

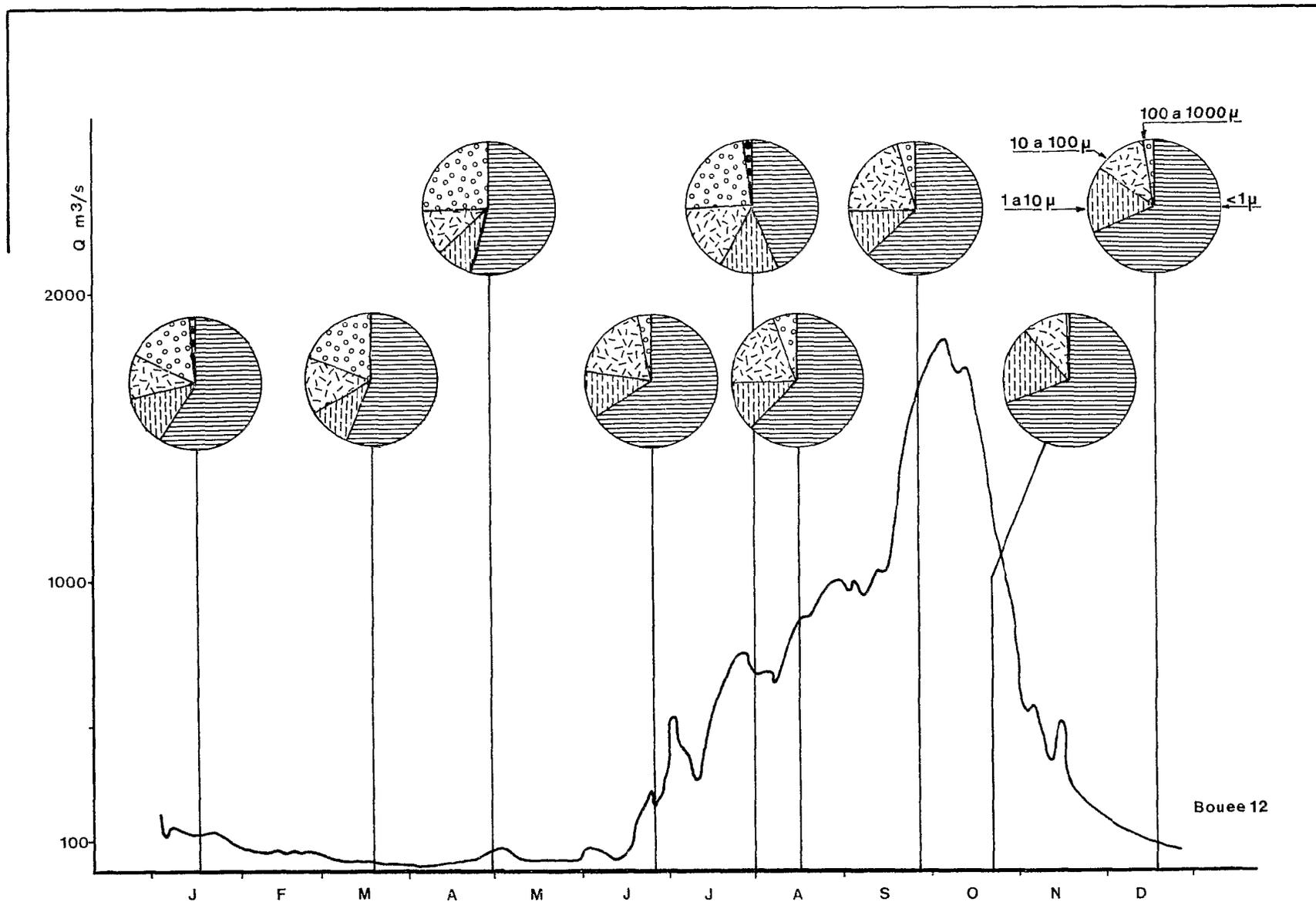


FIG. 10. — Diagrammes circulaires, hydrogramme du Bandama à Tiassalé (1965).

Stations des zones marginales

Le fond est tapissé par un dépôt vaseux très fin généralement instable. Cette fine pellicule est remise en suspension chaque fois qu'un courant se manifeste. Il reste à savoir si ce dépôt vaseux est le fait des courants de marée ou s'il s'agit plutôt d'un apport saisonnier. Or il est peu probable que la quantité de matière en suspension contenue dans l'eau en période d'étiage soit suffisante pour alimenter un dépôt pouvant atteindre plusieurs centimètres au moment des courants de flot et de jusant. Il est plus certain que le contrôle du dépôt soit climatique, le tonnage des charges solides exportées étant important en période de crue.

A la bouée 5 le fond est légèrement bosselé. Il présente trois couches superposées :

- vase beige claire (4 cm) en surface.
- vase sableuse plus consistante (2 cm).
- vase molle épaisse riche en débris végétaux (brindilles et feuilles).

Des trous visibles en surface sont dus à des organismes limnivores.

A la bouée 4 le fond est légèrement différent mais il est intéressant de noter cependant l'alternance des dépôts suivants :

- une première couche vaseuse de quelques centimètres d'épaisseur avec des débris végétaux.
- un couche sableuse jaune riche en micas.
- une deuxième couche vaseuse.

A la bouée 9 le fond est plat et formé d'un sable grossier tapissé en surface d'une couche de vase de 2 à 3 cm d'épaisseur. Quelques coquilles d'huîtres sont enfouies dans la couche superficielle.

Stations lagunaires

La marée au moment du flot contrarie le courant fluvial. Les eaux sont repoussées vers l'amont et trouvent un exutoire dans la lagune.

L'influence très atténuée mais certaine des échanges fluvio-marins se fait sentir sur les granulométries des fonds.

Ceux-ci sont très plats et composés :

- de vase très compacte visqueuse et grise (5 à 10 cm) en surface.
- de vase un peu plus noire.
- d'un sable gris sous-jacent.

Des accumulations d'huîtres se trouvent plus ou moins enfouies dans cette couche vaseuse superficielle. L'eau est relativement claire en surface comme au fond, la vase n'étant pas remise en suspension par le courant venant du Nord.

Au Nord de la lagune (B11) la proportion de pélites semble varier généralement entre 30 et 50 % et celle des éléments grossiers (supérieurs à 1 000 μ) dépasse rarement 10 %.

Cependant nous pouvons noter une exception en septembre 1964. Les couches en superposition montrent en surface : une fraction importante pour cette zone de sables grossiers (supérieur à 10 %) et une proportion de pélide particulièrement peu élevée (10 %). Mais par contre la couche sous-jacente est d'une composition totalement différente : 50 % de pélites, 10 % d'aleurites, 40 % de sables.

En B12 les *éléments fins* dominent jusqu'à 74 % du total.

L'observation et la description faites « in situ » complètent l'étude granulométrique qui, seule employée, ne saurait rendre un compte exact de la nature des fonds.

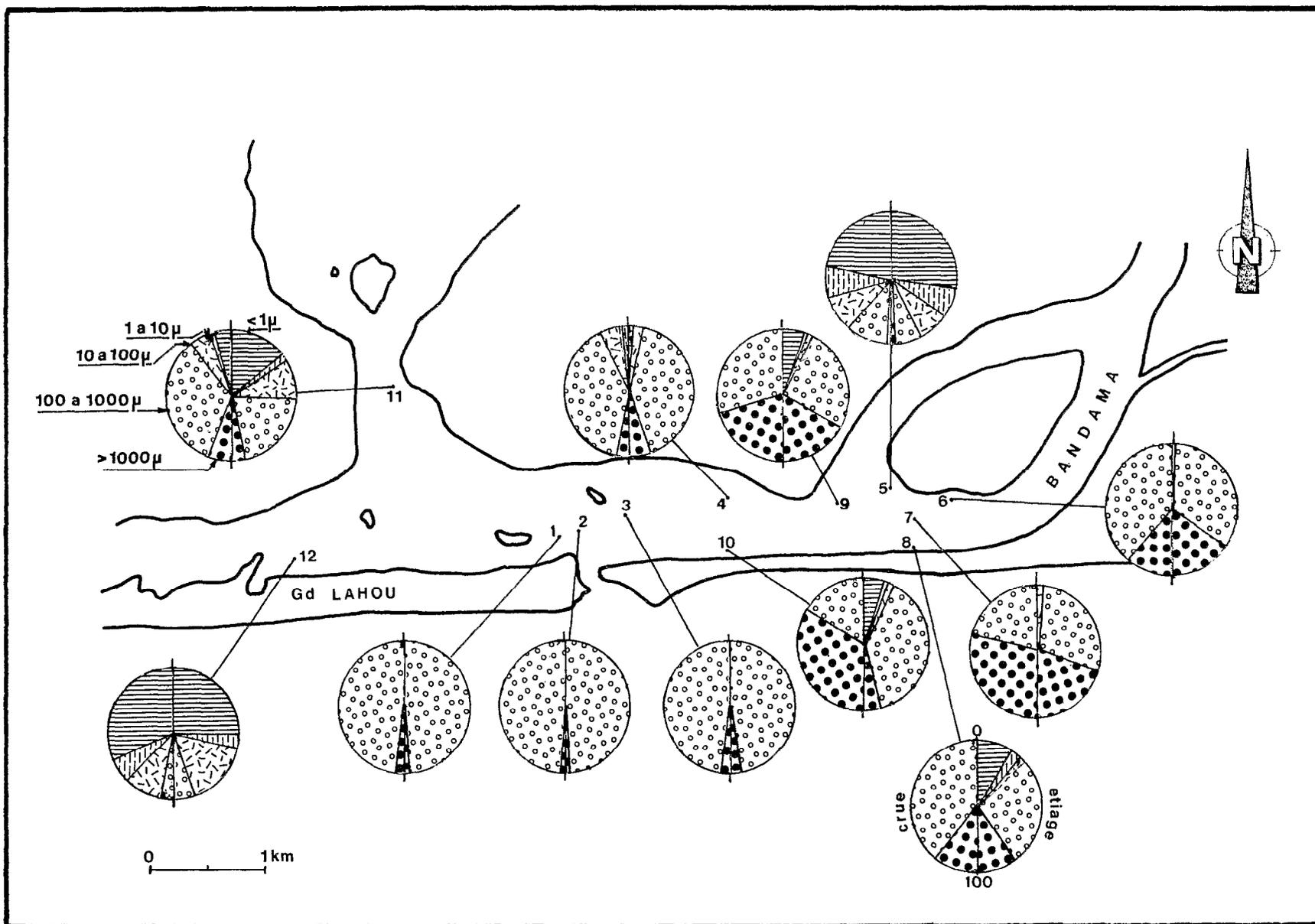


FIG. 11. — Distribution géographique des sédiments de fond pendant deux saisons (étiage) (crue) (1964).

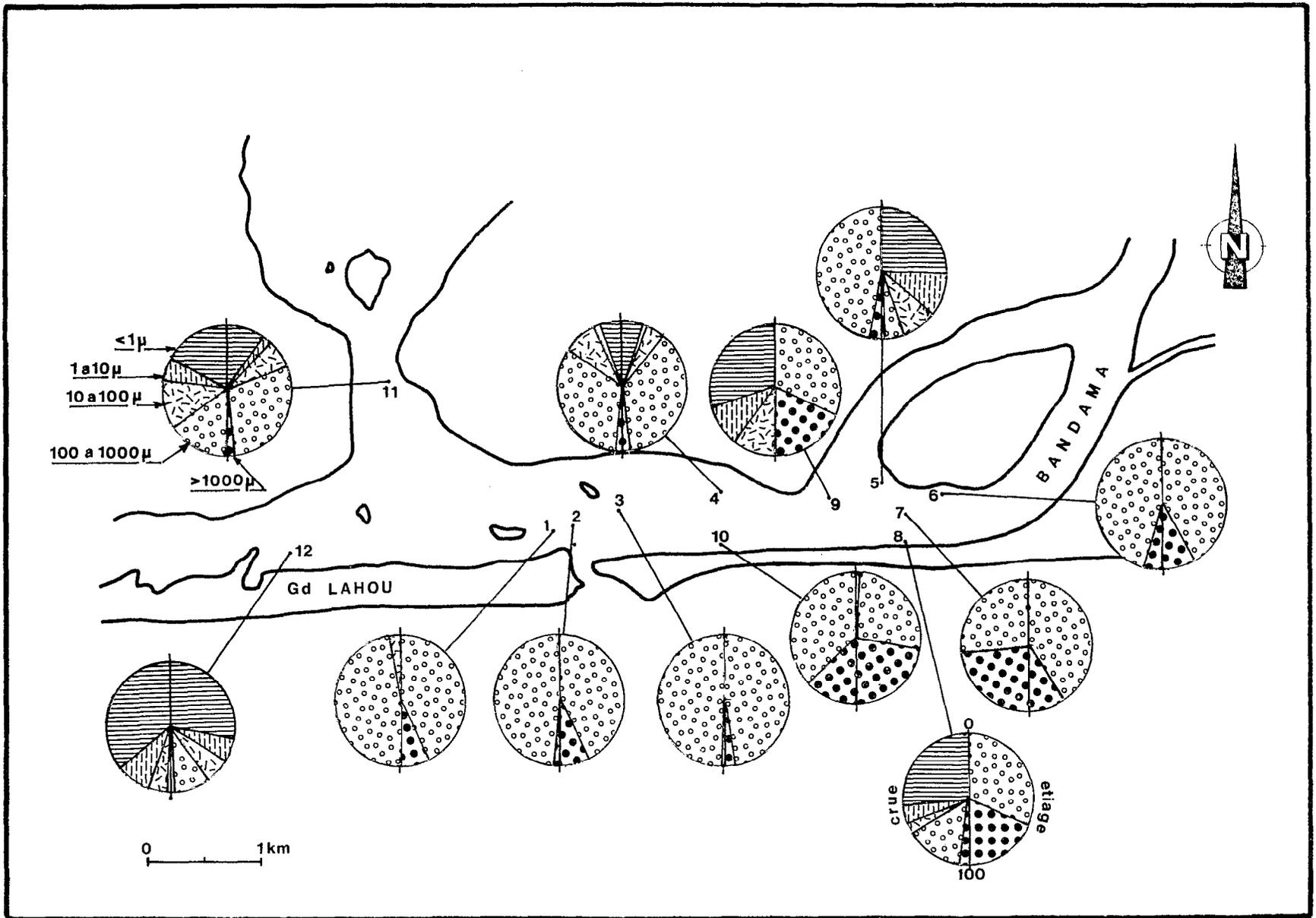


FIG. 12. — Distribution géographique des sédiments de fond pendant deux saisons (étiage) (crue) (1965).

SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS LAGUNAIRES ET ESTUARIENS (Bandama)

ANALYSE MINÉRALOGIQUE DES SÉDIMENTS DE FOND DE LAGUNE (fig. 14, tableau III)

Les sédiments de fond contiennent de 0,8 à 1 % de minéraux lourds, dont la moitié est représentée par des minéraux de métamorphisme.

Les trois stations (B8, B5, B2) montrent au cours des années 1965-1966 un cortège d'éléments différents :

En B8 les fonds sont riches en minéraux de métamorphisme (la Staurotide représente 50 % de la totalité) mais renferment peu de minéraux d'altération, un peu de Tourmaline (15 % en période d'étiage).

En B5 les minéraux d'altération, Epidote et Hornblende verte font plus de 50 % du total, le reste étant représenté par de la Staurotide.

TABLEAU III

Pourcentages des minéraux lourds dans les sédiments de fonds lagunaires

	Janvier 1965			Mai 1965		Juil. 1965	Octobre 1965			Février 1966			Mai 1966			Septembre 1966		
	B8	B5	B2	B8	B2	B5	B8	B5	B2	B8	B5	B2	B8	B5	B2	B8	B5	B2
Staurotide	53	47	14	24	15	46	43	42	13	40	25	11	44	32	10	44	36	7
Sillimanite		1	11	6	18	3	25		12	9		25	10	+	14		1	11
Andalousite		2	6	4	3			10	1		1	6	5	4	6		2	7
Disthène			5			1						3			+			
Grenat	14		4	4		2		+	1	2		3	1		+	13	+	1
Tourmaline	3	2	10	18	4	7		3	4	15	2		9	2	11	6	3	7
Zircon	17	1	7		2				1	2			4	+		31		2
Rutile	3												3					
Epidote	10	32	6	4	8	19	13	25	24	8	51	6	3	34	15		37	6
Hornblende verte		16	36	22	48	22	19	20	43	24	21	19	18	28	44	6	21	43
Hypersthène			1		2				1				3					
Augite monoclinique.		1																
Minéraux altérés				18														12
% pondéral	2,06	0,1	0,64	0,76	0,62	0,52	1,11	0,68	0,81	0,84	0,80	0,32	0,12		0,52	5,4	1	0,42

A l'embouchure (B2) ces minéraux de métamorphisme sont moins importants (10 %). Par contre Hornblende et minéraux ubiquistes dominant.

Les alternances saisonnières ne semblent pas avoir une action déterminante sur le cortège des minéraux lourds. Ceux-ci proviendraient de la destruction des schistes birrimiens pendant la dernière

période d'érosion mécanique importante (régression préflandrienne) ; ce matériel, étalé sur la surface de la plateforme continentale a été en partie rejeté à la côte pendant la transgression. Il est remanié à l'époque actuelle, en période de houle violente (TRICART 1957).

TENEURS EN CARBONE, AZOTE ET FER DES SÉDIMENTS DE FOND (tabl. IV)

Près de l'embouchure (B2)

Les sables ont généralement des teneurs en matière organique, en carbone et en azote, nulles.

Zone marginale (B5)

La teneur en matière organique est importante (6-7 %), les fonds sont riches en débris végétaux. La teneur en carbone est voisine de 3 à 4 % en légère augmentation avec la crue. Inversement le rapport C/N sensiblement égal à 20 en étiage, diminue avec un débit plus important.

En 1966 cette tendance semble différente, la crue est moyenne (environ 1 500 m³/s) par rapport aux autres années mais l'hydrogramme montre deux pics bien individualisés, la crue principale étant tronquée.

Le maximum d'exportation solide est décalé d'un mois par rapport au maximum de crue (première quinzaine de septembre).

Zone lagunaire (B12)

Le pourcentage en matière organique est important (5 %), par contre la teneur en carbone est légèrement inférieure (2,5 à 3 %). Nous pouvons remarquer une proportion en fer voisine de 7 % nettement plus élevée (4 à 6 % seulement dans les zones marginales).

Zone du chenal fluvial (B8)

Les différentes teneurs sont beaucoup moins importantes : matière organique = 2,5 à 4 % ; carbone = 1,5 à 3 % ; C/N = 16 ; fer = 2,5 % avec toujours une légère diminution en période de crue.

Les variations du débit fluvial influent sur la nature des dépôts en lagune et dans l'estuaire. La morphologie de l'embouchure est modifiée par ces changements de débits auxquels viennent s'ajouter les actions marines (courants, houle et marées) que nous étudions ici.

CARACTÉRISTIQUES OCÉANOGRAPHIQUES (D'après VARLET 1958)

La marée

La côte est soumise à des marées de faible amplitude. Les marnages sont de 2 m maximum à moins de 0,20 m.

Les courants marins

Le courant de Guinée : continuation du contre-courant équatorial, longe le littoral ivoirien dans le sens ouest-est. Son épaisseur varie entre 20 m et 50 m, sa vitesse est relativement élevée (110 cm/s au

SÉDIMENTOLOGIE DES FONDS LAGUNAIRES ET ESTUARIENS (Bandama)

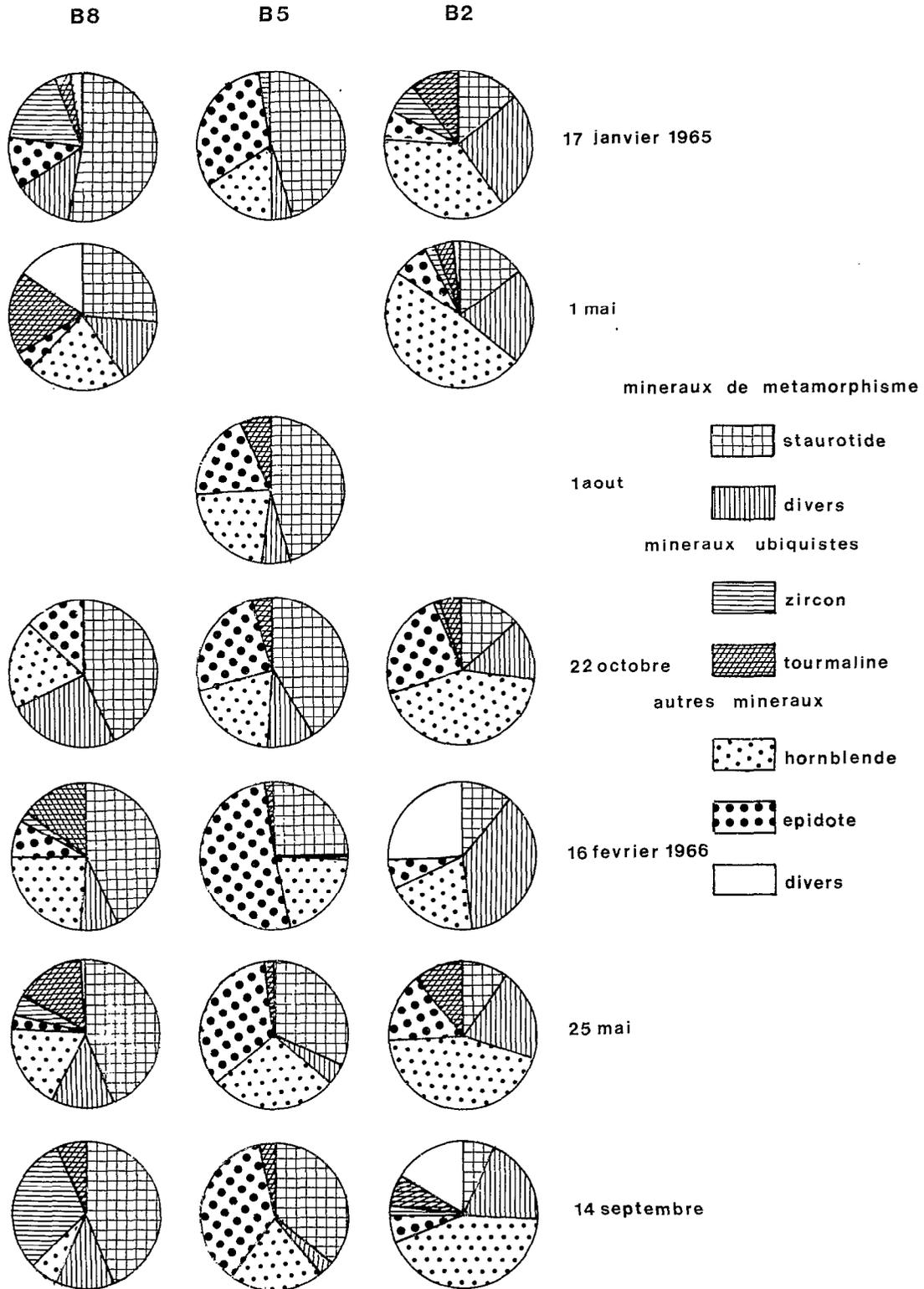


FIG. 14. — Composition minéralogique des sédiments de fond au cours de plusieurs saisons.

TABLEAU IV

Teneurs en carbone, azote et fer des sédiments de fonds lagunaires

	Stations	M.O. %	C %	N %	C/N	Fe ₂ O ₃ %
Etiage Avril 1964	B2	0,76	0,45	0,03	148,3	0,6
	B5	0,47	3,18	0,15	21,2	4,3
	B8	2,40	1,40	0,08	17,9	2,35
	B12.....	3,44	2,00	0,11	19,0	6,0
Crue Septembre 1964	B2	4,53	2,64	0,20	13,3	5,4
	B5	6,68	3,89	0,30	13,2	6,0
	B8					
	B12.....	4,89	2,84	0,20	14,4	7,5
Etiage Mars 1965	B2	—	—	—	—	—
	B5	7,15	4,16	0,20	21,1	5,7
	B8	2,46	1,43	0,09	16,5	2,6
	B12.....	4,8	2,80	0,15	18,5	5,9
Crue Septembre 1965	B2	—	—	—	—	—
	B5					
	B8	5,34	3,11	0,20	15,4	6,10
	B12.....	4,07	2,37	0,26	9,25	7,7
Etiage Mars 1966	B2	—	—	—	—	—
	B5	6,44	3,73	0,23	16,6	6,5
	B8					
	B12.....	5,45	3,16	0,17	12,6	7,6
Crue Septembre 1966	B2	—	—	—	—	—
	B5	4,36	2,53	0,15	17,1	4,55
	B8					
	B12.....	4,37	2,54	0,17	15,3	6,85

cap des Palmes). Sa limite inférieure coïncide avec l'isohaline de 35 ‰. Son maximum est en mai-juin-juillet. Il est atténué en octobre-novembre.

On peut noter comme illustration de ce courant, la dérive, le long de la côte, des billes de bois abandonnées en mer, de l'ouest vers l'est. Il en est de même de l'accumulation de matériel du côté ouest des obstacles, (jetées et wharfs).

Un contre-courant *subsuperficiel* a été mis en évidence par L. LEMASSON et J.P. REBERT (mai 1968). Ce courant de direction ouest est séparé du courant superficiel par une zone de transition étroite où le vecteur courant est nul puis tourne très rapidement de 180°. C'est un phénomène limité, par rapport au courant de Guinée, qui semble être restreint au plateau continental. Il subit des variations d'épaisseur et de vitesse, en fonction de sa distance à la côte. La couche à vitesse maximum peut atteindre 70 cm/s et se situe à 40 m de profondeur, mais la veine centrale reste supérieure à 30 cm/s.

Les sondages montrent que les matières en suspension rejetées en mer par le fleuve Bandama sont reprises en profondeur par ce sous-courant et se sédimentent à l'ouest de l'embouchure.

La houle et les vagues

Elles ne semblent pas prendre naissance sous l'influence du vent local mais plutôt sous l'impulsion des ondulations de la houle originaire de l'Atlantique sud. Il peut y avoir d'ailleurs une assez forte houle par temps calme. Le long du littoral, elle présente une direction générale sud-sud-ouest.

Les plus fortes houles se produisent en mai-juin et juillet. Une grande obliquité avec le rivage est alors observée. Les plus faibles sont fréquentes en novembre-décembre-janvier.

La direction dominante des vents est de ouest-sud-ouest à Abidjan. Ceux-ci créent des phénomènes de courants ascendants (« Upwelling ») le long de la côte.

Le cheminement des sables

L'obliquité de la houle par rapport au rivage provoque la dérive littorale. L'orientation de celle-ci joue donc un rôle important dans le transport des sables. La houle arrivant obliquement par rapport au rivage entraîne le sable sur la plage, qui est repris par le courant de retour en suivant la ligne de plus grande pente. C'est par cette suite ininterrompue de montées et de descentes que se fait le transport. De cette manière s'enrichirait en sédiments la côte sableuse de l'est au détriment de la côte rocheuse de l'ouest.

Il est difficile de chiffrer le volume des cheminements. Il varie selon les auteurs du simple au double mais une estimation raisonnable serait de 700 à 800 000 m³/an.

Hydrologie du plateau continental ivoirien (d'après les travaux du C.R.O. d'Abidjan, cités par MARTIN 1969).

Les eaux de Côte d'Ivoire présentent des différences notables de température de l'ordre de 10° au cours d'une année. Nous pouvons remarquer aussi des variations de salinité et de teneur en oxygène. Ces changements sont dus aux variations saisonnières liées à d'importants mouvements de masse d'eau.

La distribution verticale se fait de la façon suivante :

- En surface une couche homogène d'eaux chaudes (plus de 24°) à faible salinité (moins de 35 ‰) et d'épaisseur variable (20-30 m).
- Une couche thermocline assurant la transition, la température passe de 25 à 18°.
- Une eau correspondant au maximum de salinité (35,80 ‰) que l'on peut appeler subtropicale.
- Enfin une eau mélangée : eau subtropicale et eau antarctique intermédiaire. Le gradient est alors devenu faible. A 200 m les températures sont de l'ordre de 14-15 °C.

Ce schéma est réalisé en Côte d'Ivoire pendant la saison sèche. D'août à octobre, un puissant « upwelling » fait remonter l'eau subtropicale à la surface. Ces eaux relativement froides sont pauvres en oxygène.

La saison froide et pluvieuse coïncide avec l'hiver austral, la Côte d'Ivoire, et tout l'ensemble du Golfe de Guinée est sous l'influence du climat de l'hémisphère sud.

Finalement, la zone du plateau continental est très stable en ce qui concerne les conditions hydrologiques. Elle est déjà plus variable quand on se rapproche de la côte (moins de 60 m).

L'EMBOUCHURE DU BANDAMA (LECOLLE, 1970)

Le grau (inlet) du fleuve Bandama, ouvert dans le cordon littoral de la lagune de Grand-Lahou est situé à 80 km à l'ouest d'Abidjan par 5°08 de latitude nord et 5°00 de longitude ouest.

Il se compose :

A l'est : de la pointe de Braffédon recourbée vers le nord-ouest délimitant dans l'anse ainsi formée une zone d'eau peu profonde et calme. Cette avancée sableuse est colonisée en son sommet par de la végétation.

A l'ouest : du cordon littoral beaucoup plus large qui abrite le village de Grand-Lahou. La présence d'une ancienne digue abandonnée dans le goulet empêche la formation d'un poulcier sur cette berge et ainsi la fermeture possible de la passe. La végétation est la même que sur l'autre rive.

Deux saisons sont mises en évidence :

Période de crue le Bandama accuse un débit important (1 500 à plus de 2 000 m³/s). Le courant est tel que la mer ne pénètre pas en lagune sauf pendant le flot où l'influence marine reste cependant minime.

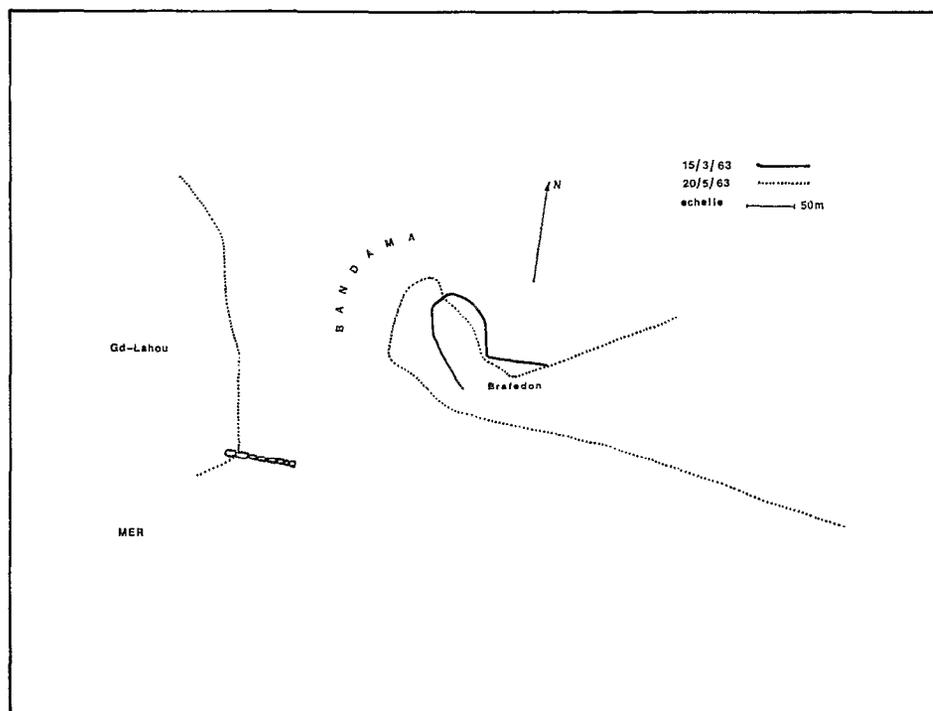


FIG. 15. — L'embouchure du Bandama, relevée au théodolite.

Le fleuve s'étale largement en mer jusqu'à huit milles au sud et est déporté vers l'est par les courants de houle. Mais le débit plus ou moins fort suivant les années provoque des variations morphologiques différentes à la même époque (LECOLLE, 1969).

Période d'étiage: Le débit du fleuve est très bas (moins de $100 \text{ m}^3/\text{s}$). La mer contrarie la sortie du fleuve en mer pendant le flot. Elle envahit la lagune permettant ainsi une sédimentation marine en alternance avec les apports fluviaux.

Le 15 mars 1963 (fig. 15), la pointe sableuse de Braffédon est bien marquée et relevée vers le nord-ouest. Le dessin de cette pointe change peu mais le goulet est plus étroit en mai de la même année. Il est alors de 150 m de largeur pour une profondeur de 6 m.

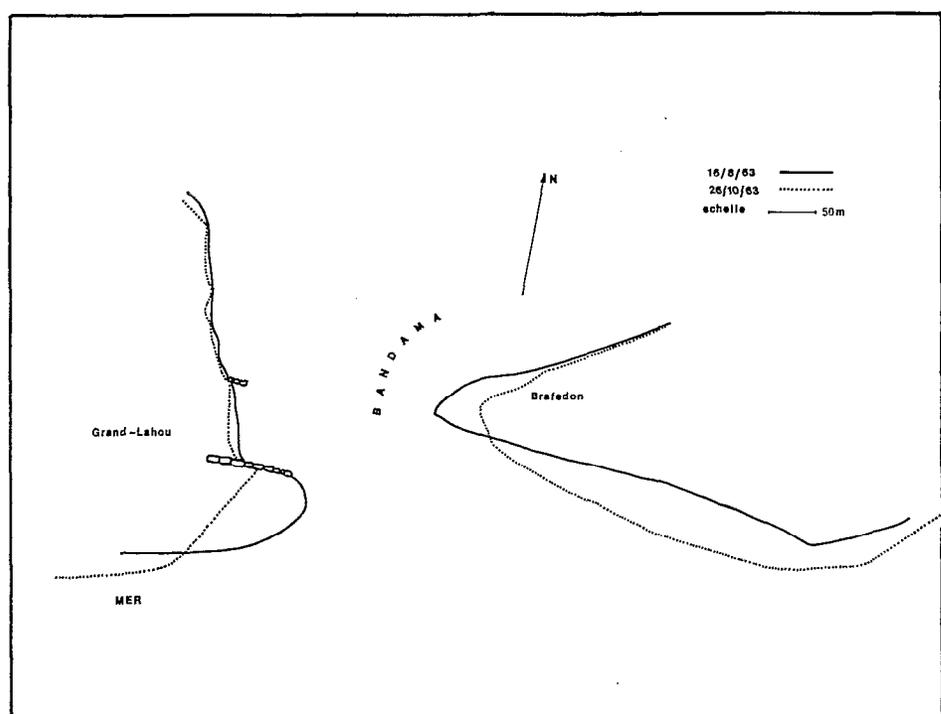


FIG. 16. — L'embouchure du Bandama, relevée au théodolite.

Le 26 octobre 1963 (fig. 16), le débit est élevé (plus de $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$). La pointe à l'est a déjà disparue en août (avec un débit de $800 \text{ m}^3/\text{s}$), la géographie de l'embouchure est très différente. La crue d'octobre augmente encore la passe qui double en largeur et mesure 14 m de profondeur. Les dépôts semblent se faire au sud de la pointe de Braffédon.

Le même processus se reproduit grosso modo chaque année suivant le cycle saisonnier décrit plus haut.

Les années suivantes, nous observons :

Le 12 janvier 1964 (fig. 17), une morphologie de sédimentation commence à s'esquisser : pointe de Braffédon qui apparaît à l'est, plage près de la digue à l'ouest.

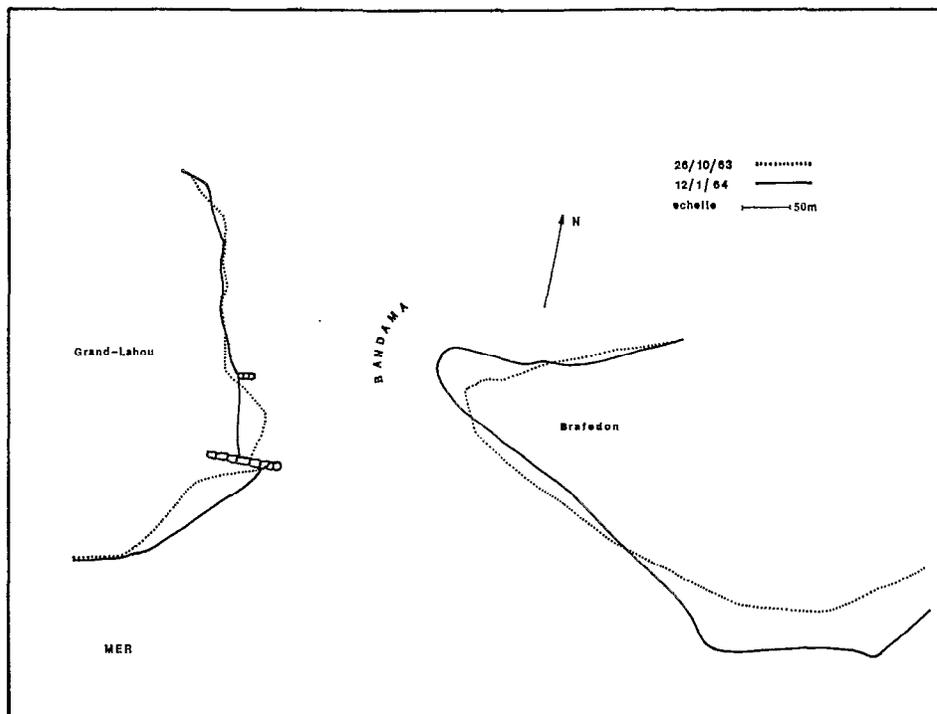


FIG. 17. — L'embouchure du Bandama, relevée au théodolite.

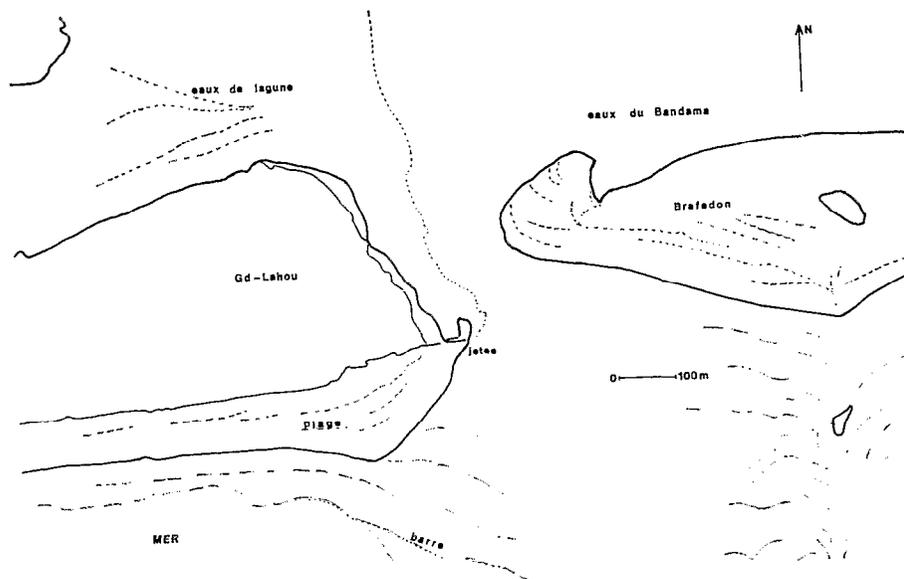


FIG. 18. — L'embouchure du Bandama, le 29 octobre 1965, d'après photos aériennes.

Le débit augmente pour atteindre $900 \text{ m}^3/\text{s}$ en juillet 65 ; la pointe sableuse de Braffédon est alors très marquée. L'anse y est calme et la profondeur faible. Le tracé du Bandama passe au-delà.

Le 29 octobre 1965 (fig. 18), le débit est moyen pour l'époque en comparaison des années précédentes. La géographie de l'embouchure a peu varié. Une île émerge au sud de Braffédon. Un début de tombolo se forme non encore visible mais la houle se réfracte déjà de chaque côté.

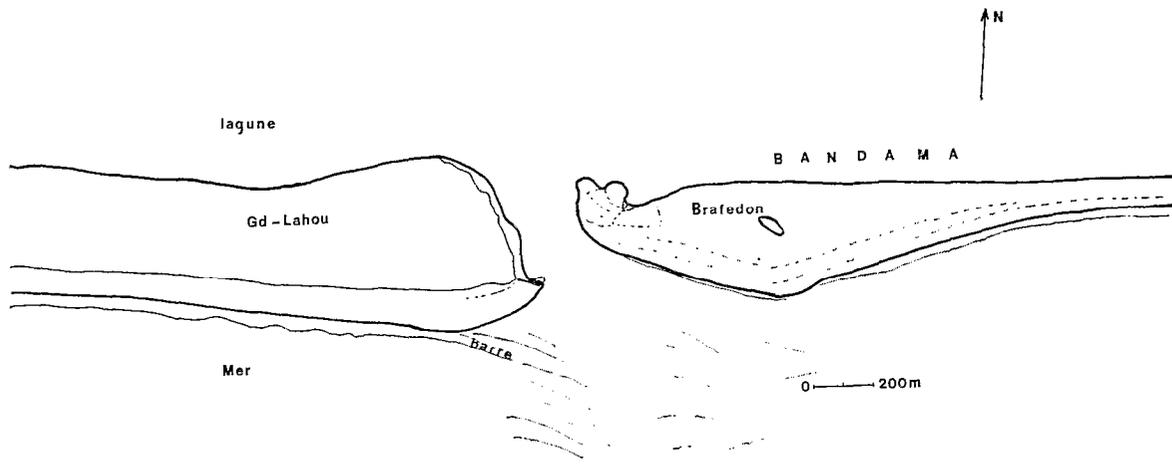


FIG. 19. — L'embouchure du Bandama, le 27 janvier 1966, d'après photos aériennes.

Le 27 janvier 1966 (fig. 19), ($80 \text{ m}^3/\text{s}$), le débit n'a pas été assez fort pendant la crue d'octobre dernier pour entamer l'avancée sableuse caractéristique de Braffédon. La sédimentation ajoute un deuxième lobe à la pointe. L'année suivante cette double avancée se retrouve en février 1967 (fig. 20) ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) mais estompée. Dans l'ensemble la morphologie est la même qu'auparavant.

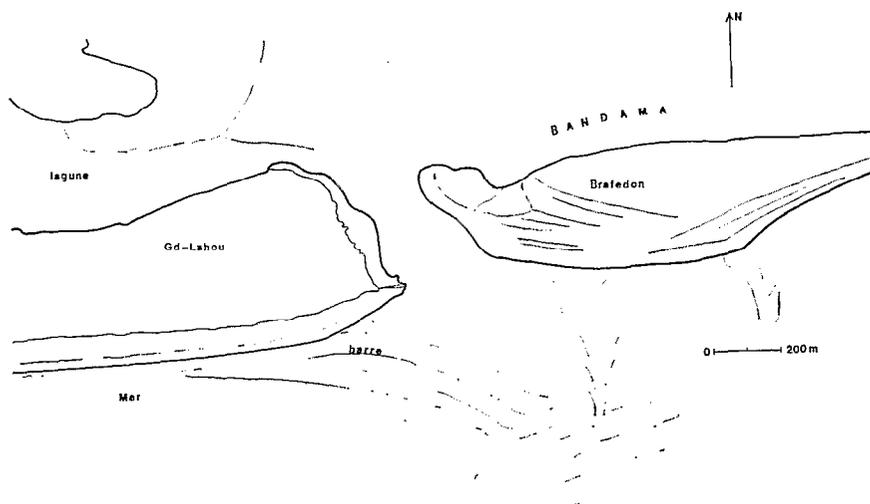


FIG. 20. — L'embouchure du Bandama, le 1^{er} février 1967, d'après photos aériennes.

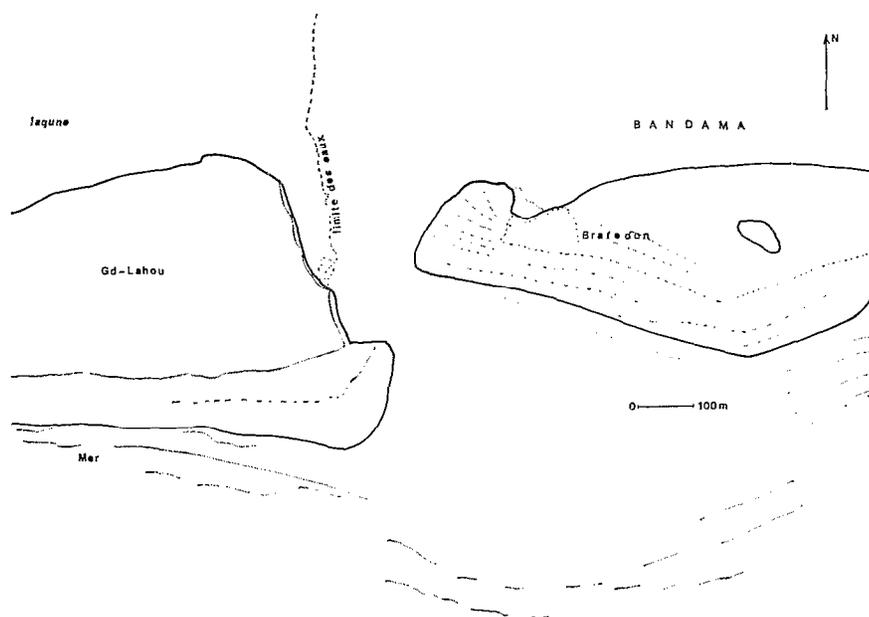


FIG. 21. — L'embouchure du Bandama, le 19 octobre 1967, d'après photos aériennes.

Le 19 octobre 1967 (fig. 21) le débit est faible pour la saison ($800 \text{ m}^3/\text{s}$), la pointe sableuse de Braffédon est érodée et la plage au sud de la jetée est très ensablée. C'est une morphologie typique correspondant à un débit moyen. En comparant avec octobre 1968 (fig. 22) où le débit est fort ($1\,800 \text{ m}^3/\text{s}$) nous retrouvons la même physionomie qu'en octobre 1963 : plus de pointe à l'est ni de plage au sud de la jetée, le passage élargi laisse la place au fleuve en crue qui s'épanche en mer.

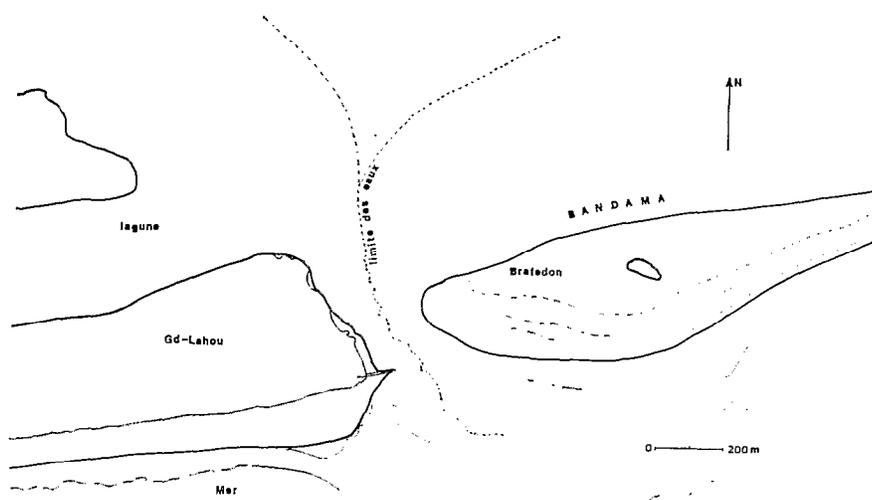


FIG. 22. — L'embouchure du Bandama, le 28 octobre 1968, d'après photos aériennes.

En résumé :

De ces quelques représentations typiques d'une saison, il ressort trois phases morphologiques de l'embouchure.

Débit faible : (100 m³/s) large avancée sableuse de Braffédon, plage moyenne à l'ouest près de la jetée.

Débit moyen : (800 à 1 000 m³/s) La pointe est érodée ou disparaît au profit du côté ouest où une large plage protège la jetée des coups de la houle.

Débit fort : (2 000 m³/s) la pointe à l'est disparaît ainsi que la plage ouest. La passe se creuse, le Bandama s'écoule en mer. Nous observons la formation de hauts-fonds au Sud de Braffédon qui semblent continuer la rive est du goulet. Une île émergée se remarque en octobre 65. Un déplacement minime du grau vers l'ouest est observé actuellement mais des changements plus importants sont connus historiquement. La jetée de blocs de béton modifie les actions marines car elle empêche la formation d'un poulrier et permet ainsi au fleuve d'avoir une ouverture permanente sur la mer. La Comoé autre fleuve de Côte d'Ivoire présentant les mêmes caractéristiques que le Bandama, change d'embouchure au gré des saisons.

CONCLUSION

L'étude des fonds de la lagune et de l'estuaire par les analyses granulométriques, peut se résumer avec le tableau suivant (année 1965).

TABLEAU V

	Etiage	Crue	M.O.	C/N	Observations
B8	Dépôts en majorité pélitiques		+	+	Zone fluviale. Dépôts de M.O. en crue. Alternances des dépôts visibles.
B2	Sables moyens	Sables moyens (+ fins)	0	0	Influence marine.
B5	Dépôts fins (< 10 μ)	Dépôts sableux	+	+	Zone calme. Envasement. Dépôts alternés.
B12	Fins (grossiers)	Fins	+	+	Bouée lagunaire. Vase : dépôts fins.

Cette étude portant sur plusieurs années, nous permet de constater une stratification des dépôts. Ces couches sont bien différenciées, se traduisant par des familles de courbes, ou parfois mélangées en surface (de 0 à 2 cm) montrant alors des histogrammes à faciès bimodal. Mais dans ce dernier cas, les couches sous-jacentes (de 2 à 10 cm) sont toujours nettes.

L'échantillonnage a été fait dans un souci d'homogénéité, aux mêmes endroits (12 stations) et à des époques comparables ce qui autorise les conclusions exposées ici.

Bien entendu d'autres actions doivent être prises en considération :

La lagune est sujette à de nombreux courants, d'abord et principalement le courant fluvial puis les courants de marées (flot et jusant) et enfin des courants secondaires en lagune dus aux interactions des précédents.



Estuaire du Bandama



Embouchure du Bandama en période de crue

Ces forces ne se présentent pas partout avec la même intensité et de plus interfèrent entre elles.

En raison de ces divers contrôles, les apports de sédiments subissent une dispersion, ce qui rend l'interprétation délicate. Cependant l'alternance des dépôts se confirme en général. La reconnaissance par plongée, ainsi que la prise d'échantillons au « shipek » montrent soit « in situ » soit dans la « benne » des dépôts alternés de vases et de sables plus ou moins mélangés en proportions diverses mais bien différenciés. Les influences marines à l'embouchure (B1, B2, B3) mettent en évidence une similitude des compositions granulométriques en toutes saisons (sables). Ceci pourrait confirmer la règle selon laquelle les zones relativement calmes de sédimentation s'opposent à celles dans lesquelles interviennent les contrôles marins.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHOIS (L.), 1963. — Notes techniques. Contributions à l'étude de la sédimentation dans l'estuaire du Koukouré (en période d'étiage) Guinée. (2^e, 3^e, 4^e parties). *Cahiers Océanographiques* (France), n° 1, pp. 16-52.
- BERTHOIS (L.), 1964. — Recherches sur le relief et la sédimentologie du plateau continental de l'extrême sud de Madagascar. *Cahiers Océanographiques*, XVI^e année, n° 7, pp. 511-655.
- BERTHOIS (L.), 1965. — Essai de corrélation entre la sédimentation actuelle sur le bord externe des plate-formes continentales et la dynamique fluviale. *Progress in Oceanography G.B.*, vol. 3, pp. 49-62.
- CAILLEUX (A.), TRICART (J.), 1959. — Initiation à l'étude des sables et des galets. *CDU*, Paris.
- DEBYSER (J.), 1955. — Etude sédimentologique du système lagunaire d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *IFP*, vol. n° 5.
- DERRUAU (M.), 1962. — Précis de géomorphologie. Masson édit., Paris.
- DOEGLAS (D.J.), 1946. — Interpretation of the results of mechanical analysis. *Journ. of Sediment. Petrol.*, vol. 16, n° 1, pp. 19-40.
- FOLK (R.L.), 1966. — A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, vol. 6, pp. 73-93.
- FOLK (R.L.), WARD (W.C.), 1957. — Brazos River bar : A study in the significance of grain size parameters. *Journ. of Sediment. Petrol.* vol. 27, n° 1, pp. 3-26, fig. 1-19.
- FRIEDMAN (G.M.), 1961. — Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journ. of Sediment. Petrol.* vol. 31, n° 4, pp. 514-529, fig. 1-8.
- FRIEDMAN (G.M.), 1962. — On sorting, sorting coefficients and the grain-size distribution of sandstones. *J. Géol.* 70, pp. 737-756.
- FRIEDMAN (G.M.), 1967. — Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journ. of Sediment. Petrol.*, vol. 37, n° 2, pp. 327-354, fig. 1-19.
- GEES (R.A.), 1965. — Moment measures in relation to the depositional environment of sands. *Eclogae Geol. Helv.* 58, pp. 209-213.
- GIRARD (G.), TOUCHEBOEUF de LUSSIGNY (P.), 1962. — Données sommaires sur les régions hydrologiques de Côte d'Ivoire (annexe au rapport général sur les possibilités hydroélectriques en Côte d'Ivoire). Rapport EECL-ORSTOM, 24 p.
- GUILCHER (A.), 1954. — Morphologie littorale et sous-marine. PUF, Paris.
- GUILCHER (A.), BERTHOIS (L.), 1957. — Cinq années d'observations dans quatre estuaires-témoins de la Bretagne. *Rev. de Géomorph. Dynam.*, pp. 67 à 86.
- GUILCHER (A.), 1959. — Travaux de géomorphologie appliquée dans le domaine littoral et estuarien. *Rev. Géomorph. dynam.* X, pp. 145-149.
- LE BOURDIEC (P.), 1958. — Contribution à l'étude géomorphologique du bassin sédimentaire et des régions littorales de Côte d'Ivoire. IFAN VII, Etudes eburnéennes Côte d'Ivoire.
- LECOLLE (J.), 1969. — Répartition des eaux du Bandama dans le milieu marin. Rapp. ORSTOM Abidjan *multigr.*, 17 p. 54 fig., 20 tabl.
- LECOLLE (J.), 1970. — L'embouchure du Bandama à Grand-Lahou. Variations morphologiques saisonnières. Rapp. ORSTOM Abidjan *multigr.*, 20 p., 37 fig.

- LEMASSON (L.), REBERT (J.P.), 1968. — Observations de courants sur le plateau continental ivoirien. Mise en évidence d'un sous-courant. Doc. Sci. provisoire, *multigr.*, n° 022 ORSTOM-CRO Abidjan 66 p., mai 1968.
- LENOIR (F.), MONNET (Cl.), 1968. — Mécanismes physiques et chimiques de la marée dans le cours inférieur du Bandama. Rapp. ORSTOM Abidjan, *multigr.*, 17 p., 19 fig., 4 tabl.
- MACCAMMON (R.B.), 1962. — Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *J. Geol.*, 70, pp. 453-456.
- MANGIN (J.Ph.), 1963. — Etude des phénomènes actuels d'érosion de transport et de sédimentation conduisant à des dépôts alternants. Compte rendu somm. *Bull. Soc. Geol. de Fr.*, fasc 5, séance du 6 mai 1963, p. 153.
- MANGIN (J.Ph.), LECOLLE (J.), MATHIEU (Ph.), MONNET (Cl.), PINTA (M.), SRCOULON (J.), 1966. — Géochimie des eaux naturelles. Le transport en solution par un fleuve de Côte d'Ivoire. *C.R. Ac. Sc. Paris*, t. 262, pp. 2204-2206.
- MARTIN (L.), 1969. — Introduction à l'étude géologique du plateau continental ivoirien. Premiers résultats. Doc. Sci. provisoire, *multigr.*, n° 034 ORSTOM CRO Abidjan 163 p., avril 1969.
- MASON (C.C.), FOLK (R.L.), 1958. — Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Islands, Texas. *Journ. of Sediment. Petrol.*, vol. 28, n° 2, pp. 221-226, fig. 1-11, June 1958.
- MIDDLETON (G.V.), 1962. — On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones : A discussion. *J. Geol.* 70, pp. 754-756.
- NESTEROFF (W.D.), 1964. — Apport des incursions marines à l'étude de la sédimentation récente. *Bull. de l'Association française des Techniciens du Pétrole*. Section Géologie-Géophysique. n° 167, 30 sept., 1964, pp. 555-567.
- PASSEGA (R.), 1957. — Textures as characteristic of classic deposition. *Bull. of the American Association of Petroleum Geologists*. Vol. 41, n° 9, pp. 1952-1984, 17 fig., sept. 1957.
- RIVIÈRE (A.), 1952. — Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Indices caractéristiques et interprétation géologique. Notion de faciès granulométriques. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (6), 11, pp. 155-167.
- RIVIÈRE (A.), 1960. — Généralisation de la méthode des « faciès granulométriques » par extension de la notion d'indice d'évolution. Détermination de celui-ci. *C.R. Ac. Sc.*, t. 250, n° 17, pp. 2917-2919.
- RIVIÈRE (A.), RIVIÈRE (M.), 1962. — Possibilité d'une expression gaussienne très approchée de la granulométrie de nombreux sédiments. *C.R. Ac. Sc.*, mars 1962, pp. 3396-3398.
- SHEPARD (F.P.), 1954. — Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Jour. of Sediment. Petrol.*, vol. 24, n° 3, pp. 151-158, fig. 1-8.
- TRICART (J.), 1957. — Aspects et problèmes géomorphologiques du littoral occidental de la Côte d'Ivoire *Bull. IFAN, série A XIX*, 1957 pp. 1 à 20.
- VARLET (F.), 1958. — Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan, Côte d'Ivoire. IFAN VII, Etudes Eburnéennes, Côte d'Ivoire 1958.
- WARNER (M.M.), 1966. — Sedimentational analysis of the Duchesne River formation, Vinta Basin Utah. *Bull. Geol. Soc. Am.* 77, pp. 945-958.