

La sédimentation quaternaire récente dans le détroit de Makassar

Faciès
Séquences sédimentaires
Quaternaire récent
Détroit de Makassar (Indonésie)
Eustatisme

Facies
Sedimentary sequences
Recent quaternary
Makassar strait (Indonesia)
Eustatism

Jacques GAYET ^a, Jean-Claude FAUGERES ^a, Eliane GONTHIER ^a.

^a Département de Géologie et d'Océanographie - UA 197 - Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex.

Reçu le 15/09/89, révisé le 21/05/90, accepté le 05/06/90.

RÉSUMÉ

Au cours de la mission Misedor, des stations de carottage ont été réalisées dans le détroit de Makassar (Indonésie). Les travaux antérieurs ont montré que les sédiments, attribués au Quaternaire récent, étaient originaires de Kalimantan et de Sulawesi. Ces dépôts s'organisent en séquences liées : soit à des processus de mise en place (séquences élémentaires de turbidites), soit à des événements paléogéographiques (séquences de second ordre et mégaséquences) en relation avec les variations eustatiques.

En période de bas niveau marin, des écoulements gravitaires en provenance de Kalimantan alimentent les zones profondes, où ils s'organisent localement en succession stratodécroissantes.

Lors de la remontée du niveau marin, on observe une modification qualitative et quantitative des apports. Aux apports par les fleuves (Mahakam) s'ajoutent les sédiments remaniés depuis la plate-forme continentale au fur et à mesure de son immersion (sédiments terrigènes et bioclastiques).

A l'Holocène, les apports issus de Kalimantan sont utilisés à construire le delta de la Mahakam. L'essentiel des dépôts présents dans la plaine abyssale et sur le glacis (turbidites et vases hémipélagiques) sont issus de la marge de Sulawesi.

Oceanologica Acta, 1990, volume spécial **10**, Actes du colloque Tour du Monde Jean Charcot, 2-3 mars 1989, Paris. 000-000.

ABSTRACT

Recent quaternary sedimentation in the strait of Makassar.

Corings have been obtained during the Misedor cruise in the Strait of Makassar (Indonesia). Previous works showed that Recent Quaternary sediments originated from Kalimantan and Sulawesi. These deposits are associated either with settling processes (elementary turbiditic sequences) or with paleogeographic events (second order sequences and megasequences) related to eustatic variations.

At low sea level, gravity flow from Kalimantan supply deep-sea zones where deposits are arranged locally in stratodecreasing successions.

During the rise of the sea level, inputs change both qualitatively and quantitatively. In addition to river-borne inputs (Mahakam), one can observe reworked sediments originating from the continental shelf in the course of its immersion (terrigenous and bioclastic sediments).

At high sea level (Holocene) inputs issued from Kalimantan contribute to the building of the Mahakam delta. Most of the deposits occurring in the ocean deeps and on the continental rise (turbidites and hemipelagic muds) derive from the Sulawesi margin.

Oceanologica Acta, 1990, volume spécial **10**, Actes du colloque Tour du Monde Jean Charcot, 2-3 mars 1989, Paris. 000-000.

Le détroit de Makassar se situe entre l'île de Bornéo (Kalimantan, Sarawak, Sabah et Brunei) et l'île de Sulawesi. Il se subdivise en deux bassins : un bassin nord et un bassin sud, communiquant par un défilé profond (2 000 m), plaqué contre Sulawesi (fig. 1).

La campagne MISEDOR a permis de reconnaître les sédiments quaternaires récents déposés sur la marge de Kalimantan, depuis la plate-forme jusqu'à la plaine abyssale, à partir de profils sismiques 3,5 kHz et de neuf stations de carottages. L'étude sédimentologique présentée ici a pour but de reconnaître les caractères et la distribution des principaux faciès ; de définir les facteurs responsables de leur mise en place et de suivre l'évolution de la sédimentation au Quaternaire récent.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA ZONE

Cadre morphologique

La configuration actuelle du détroit résulte pour l'essentiel du rapprochement des plaques Euro-Asiatique et Indo-Australienne au Pliocène (Hamilton, 1979).

L'analyse de la morphologie de ce secteur (Coustillas, 1983 ; Faugères *et al.*, 1989) met en évidence l'opposition entre la marge de Kalimantan et celle de Sulawesi (fig. 1).

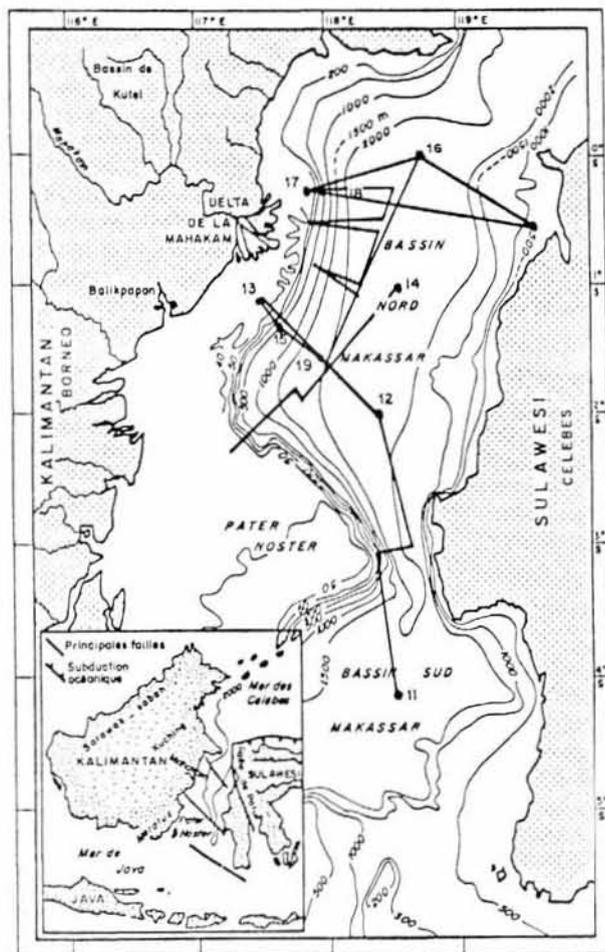


Figure 1

Situation de la zone étudiée : carottes (●) et profils 3,5 kHz (—).
Location of the Makassar strait: cores (●) and 3,5 kHz profiles (—).

Sur la première, où s'observe un important delta lié au fleuve Mahakam; le plateau continental relativement développé au Nord (30 km environ) s'élargit encore plus vers le Sud, à la hauteur de la plate-forme récifale des Pater Noster. Ce plateau est recoupé au large de la Mahakam par des vallées étroites, profondes de 20 à 30 m dont le talweg se situe à -100 m environ. La bordure du plateau est vers -75 à -80 m. La pente développée jusqu'à 1500 m, présente parfois des versants très accidentés (pentes de 10 à 15 %). Le glacis, entre -1 500 et -2 300 m bien individualisé, et de morphologie convexe se continue par une plaine abyssale à fond plat. En opposition, la marge de Sulawesi ne possède pratiquement pas de plate-forme, la pente montre une série de "bassins" limités par des hauts-fonds. Il n'y a pas de glacis individualisé et la pente passe directement à la plaine abyssale à fond plat.

Stratigraphie des dépôts quaternaires

La stratigraphie des dépôts du Quaternaire récent a pu être établie à partir de diverses méthodes.

- Pour la carotte KS 19, l'étude des associations fauniques et la réalisation d'une courbe isotopique du $\delta^{18}O$ (Gayet *et al.*, à paraître) permettent d'estimer que les premiers 0,80 m représentent l'Holocène, le début de la phase de déglaciation se situant à 1,10 m. Ces résultats sont en accord avec une datation au ^{14}C qui indique un âge de 20.550 ± 640 ans B.P. à 3,10 m.
- Pour certaines carottes riches en débris ligneux des datations au ^{14}C ont été réalisées (tab. 1).

Tableau 1
Datations au ^{14}C
 ^{14}C datations

Carotte	Echantillons	Age	Référence
KS 11	185 cm 4	9.360 ± 80 ans B.P.	Ly-4179,
KS 12	180 cm	4.970 ± 410 ans B.P.	Ly-4180
KS 15	440 cm	11.560 ± 330 ans B.P.	Ly-4076
KS 18	150 cm	30400 ± 1300 ans B.P.	Ly-4075
KS 19	308 cm	20.550 ± 640 ans B.P.	Ly-4077

- Pour les autres prélèvements, les interprétations lithostratigraphiques seront basées sur des corrélations de faciès définis à partir de critères minéralogiques et paléontologiques.

Les faciès sédimentaires: origine des sédiments

Les faciès sédimentaires ont été définis en fonction de la couleur, des caractères granulométriques et de la nature des composants (tab. 2 à 4).

L'analyse de ces derniers permet de reconnaître l'origine des matériaux et de remonter aux provinces émettrices.

La fraction terrigène (Faugères *et al.*, 1990) est minéralogiquement différente selon qu'elle provient de Kalimantan ou de Sulawesi. La première source est caractérisée par un cortège argileux à illite-kaolinite, par des sables riches en quartz dont les minéraux lourds cardinaux sont les pyroxènes-hypersthènes et les amphiboles. La seconde est définie dans le bassin Nord-Makassar par un cortège argileux à illite-chlorite et des minéraux lourds cardinaux soit à amphiboles, soit à pyroxènes-augites; et, dans le bassin Sud-Makassar par un cortège illite-smectite et augite titannifère. Les variations du rapport kaolinite/chlorite permettent de visualiser l'importance de ces deux sources. Ce rapport est inférieur à 1 quand la source Sulawesi est dominante, et devient supérieur à 2 quand les apports proviennent de Kalimantan. Il indique un plus grand degré d'altération du matériel issu de Kalimantan par rapport à celui issu de Sulawesi.

Les matériaux bioclastiques rencontrés sont essentiellement carbonatés. Rares au droit et au Sud du delta, (5 à 10 % en moyenne), ils ne jouent un rôle important que dans les dépôts de la plate-forme et de la pente continentale situées au Nord du delta (sables calcaires bioclastiques d'origine péri-récifale) ou dans certains dépôts turbiditiques du bassin Sud-Makassar (sables carbonatés). Les matériaux siliceux sont

constitués surtout par des spicules de spongiaires, parfois par des radiolaires.

Les faunes rencontrées permettent de caractériser tous les grands environnements marins. Elles peuvent être récentes ou fossiles, en place ou très largement remaniées.

ORGANISATION DES DÉPÔTS ET INTERPRÉTATION DYNAMIQUE

L'étude de l'évolution verticale et de la distribution horizontale des dépôts est effectuée à partir de prélèvements situés sur la plate-forme, la pente, le glacis et la plaine abyssale (fig. 2 et 3). Pour chaque prélèvement, nous examinerons la répartition séquentielle des faciès selon différentes échelles caractéristiques des processus de mise en place des sédiments (séquences élémentaires) et de l'évolution des milieux de dépôts (séquences de second ordre et mégaséquences).

La sédimentation dans le bassin Nord-Makassar

Les différents faciès reconnus et leur répartition nous amènent à distinguer deux secteurs sédimentaires. Le premier situé au Sud est sous l'influence prédominante des apports de la Mahakam. Le second, au Nord, est beaucoup moins influencé par le fleuve.

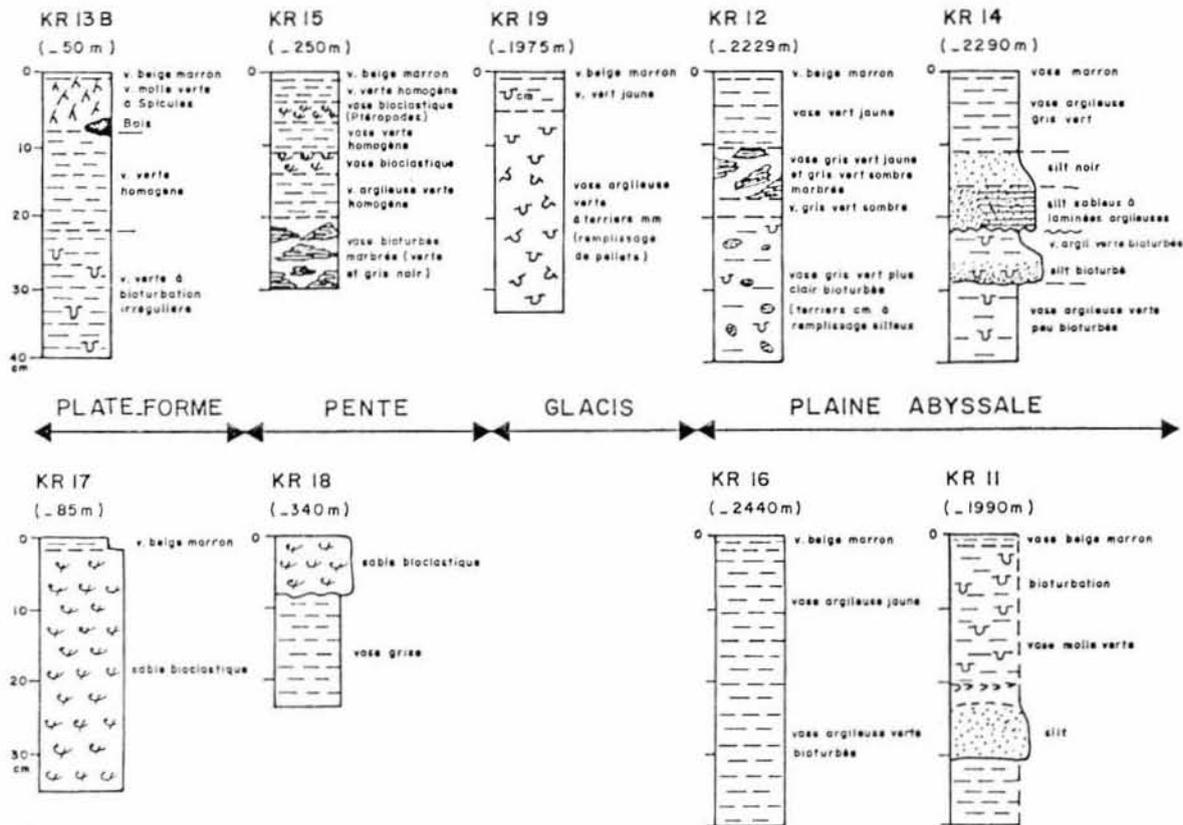


Figure 2

Lithologie des carottes type Reineck.
Reineck cores: lithology.

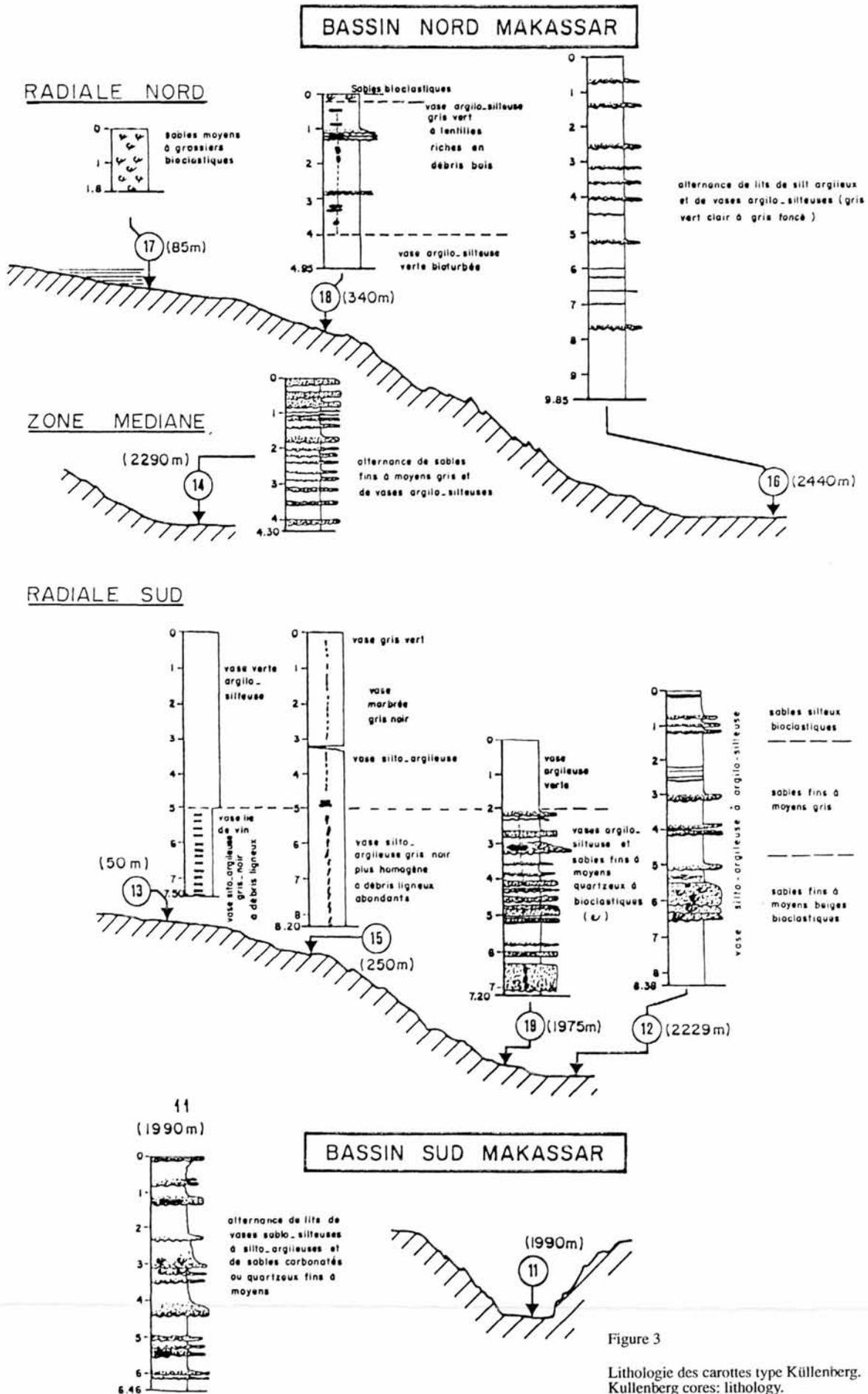


Figure 3

Lithologie des carottes type Küllenberg. Küllenberg cores: lithology.

LA SÉDIMENTATION AU SUD DU DELTA DE LA MAHAKAM

La plate-forme interne et le sommet de la pente continentale se caractérisent par une sédimentation fine. La plate-forme interne (-50 m) est étudiée par les prélèvements KR et KS 13 (fig. 4).

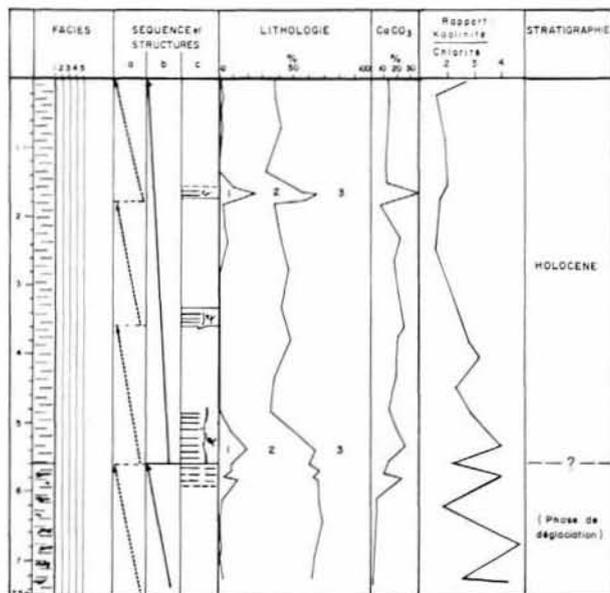


Figure 4

KS 13 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
KS 13: sedimentological data and stratigraphical interpretation.

Deux grands ensembles lithologiques sont reconnus. A la base, sur environ 2 m d'épaisseur, les vases silto-argileuses gris-noir sont azoïques et riches en débris ligneux épigénisés par des monosulfures. Ces matériaux mal classés (fig. 5) pourraient correspondre à des dépôts de plaine deltaïque à forte influence fluviale.

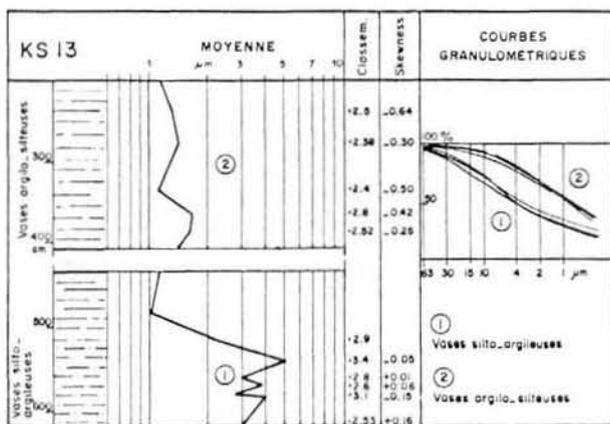


Figure 5

KS 13 : données granulométriques.
KS 13: grain-size data

Au-dessus, sur 5,50 m d'épaisseur, s'observent des vases argilo-silteuses gris-vert, légèrement carbonatées (10 à 20 %), à lits silteux, de débris coquilliers, strato-décroissants vers le sommet. Les valeurs de la moyenne passent de 4 à 9 µm vers la base à moins de 2 µm vers le sommet. La faune présente une évolution avec à la base

une association très littorale composée de débris de mollusques, d'échinodermes et de nombreux foraminifères benthiques dont *Pseudorotalia indopacifica*. Cette faune apparaît dans un niveau de vases lie de vin situé entre 5,60 m et 4,80 m. Vers le sommet, la microfaune est dominée par les organismes pélagiques (foraminifères et ptéropodes) associés à des formes benthiques brisées ou susceptibles d'être facilement transportées (Hétérostégines notamment). Les lits coquilliers plus riches en éléments terrigènes présentent la même évolution du cortège faunique. Cette évolution de la granulométrie des vases et des ensembles fauniques traduit une augmentation progressive de l'épaisseur de la tranche d'eau.

Ainsi, on observe sur la plate-forme interne l'installation d'une séquence transgressive avec à la base des formations fluvio-deltaïques, et au sommet des dépôts de plate-forme interne puis externe. Cette méga séquence correspondrait à la succession des dépôts mis en place lors du dernier cycle régression-transgression du Quaternaire terminal. Compte-tenu des courbes générales de remontée du niveau marin, admise dans cette région (Tjia, 1970), ce prélèvement étant situé vers -50 m, l'apparition des faciès marins a dû s'effectuer vers 9.000 ans B.P., alors que la transgression était déjà bien amorcée. Cette interprétation corrobore l'âge de 7000 ans B.P. fourni par Allen *et al.* (1979) pour l'arrivée de la transgression au niveau du delta actuel.

Le haut de la pente continentale (-250 m) est reconnu par les prélèvements KR et KS 15 (fig. 6).

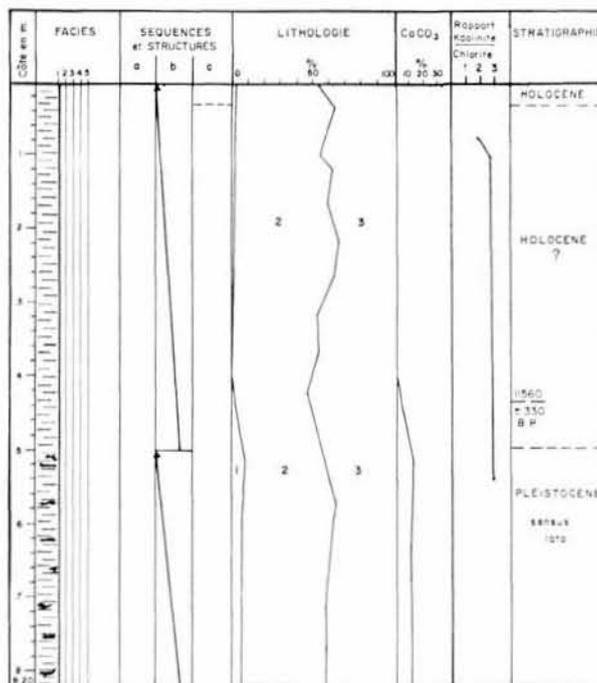


Figure 6

KS 15 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
KS 15: sedimentological data and stratigraphical interpretation.

Là encore, deux ensembles ont pu être distingués:
De la base à 5 m, les sédiments sont des vases silto-argileuses, sombres à débris ligneux abondants le plus souvent épigénisés par des monosulfures, et à rare microfaune planctonique et benthique. Le matériel mal classé présente toujours une asymétrie vers les silts (fig. 7).

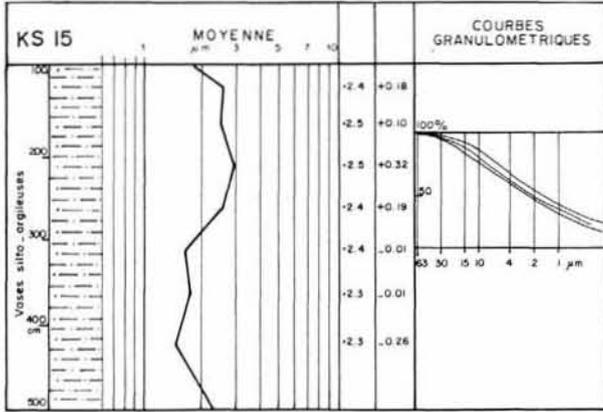


Figure 7

KS 15 : données granulométriques.
KS 15: grain-size data.

Par comparaison avec les vases silto-argileuses du prélèvement précédent, la présence de microfaune marine conduit à penser qu'il s'agit d'un dépôt de plate-forme alimentée par la Mahakam.

De 5 m au sommet, les dépôts sont des vases silto-argileuses, à quartz plus abondants et à débris ligneux ou charbonneux moins fréquents et de plus petite taille. La microfaune devient très rare, avec en particulier des tests de foraminifères pélagiques rubéfiés et quelques débris d'organismes benthiques (crustacés, oursins). Le sommet de ces vases (au-dessus de 0,30 m) s'enrichit en grains verts parfois attribuables à des moules internes de foraminifères, comparables à ceux décrits plus au Sud par Boichard *et al.* (1985) dans les sédiments actuels. Ce faciès particulièrement bien représenté dans le prélèvement de surface (KR 15) est le seul qui puisse être rapporté avec certitude à l'Holocène terminal.

Le changement observé vers 5 m est le témoin d'un évènement important. Compte-tenu de la datation à 4,40 m, les niveaux situés entre 0,30 et 5 m correspondraient à la phase de déglaciation, la faune pélagique rubéfiée visible étant en relation avec une modification des conditions hydrodynamiques sur la plate-forme, modification déjà notée sur le glacier de Kalimantan au cours de cette période (Gayet *et al.*, 1990).

Les sédiments déposés au-dessous seraient attribués à la dernière période glaciaire.

Le glacier est reconnu par la station 19 (1975 m) caractérisée par une grande diversité des faciès (fig. 8 et 9) qui se distribuent en deux grands ensembles.

De la base à 2,10 m, les sables abondants sont disposés en lits dont l'épaisseur varie entre 10 et 90 cm. Ils représentent 60 % des dépôts. Les faciès s'organisent en séquences élémentaires et de second ordre.

Les séquences élémentaires sont de type turbiditique,

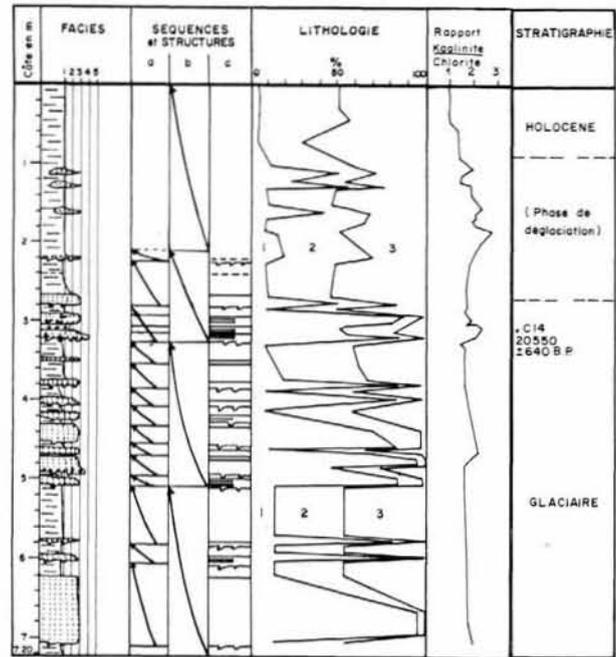


Figure 8

KS 19 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
KS 19: sedimentological data and stratigraphical interpretation

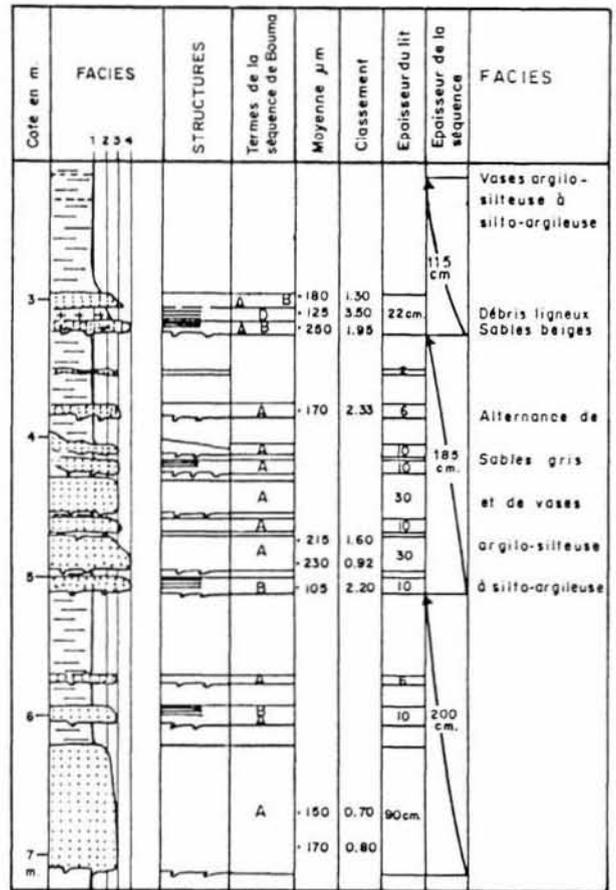


Figure 9

KS 19 : données granulométriques.
KS 19: grain-size data

essentiellement réduites aux termes A et/ou B de la séquence de Bouma (1962). En fonction de la nature des matériaux, nous avons distingué : des séquences constituées de sables gris unimodaux (de la base à 3,25 m et de 2,80 à 2,10 m) ; des séquences de sables beiges (3,25 m à 2,80 m).

Les séquences de second ordre témoignent d'une évolution dans la mise en place des turbidites et dans l'origine du matériel bien que celui-ci soit toujours originaire de Kalimantan (cortège argileux à illite-kaolinite : rapport K/C > 1). De bas en haut, se superposent trois de ces séquences (de la base à 5,10 m ; de 5,10 m à 3,25 m et de 3,25 m à 2,10 m). Elles sont marquées par une diminution de l'épaisseur et de la granulométrie des turbidites sableuses. Les deux premières sont formées par des sables gris provenant des barres sableuses deltaïques de la Mahakam. Dans la dernière, les sables beiges (issus de l'érosion du domaine côtier fossile et de sables à faune plus océanique) sont surmontés de rares lits de sables gris à débris ligneux issus de la Mahakam.

De 2,10 m au sommet, les sédiments sont homogènes et constitués pour l'essentiel de vases argilo-silteuses. Celles-ci se distinguent des vases de la plate-forme par leur granulométrie généralement plus fine, par la plus grande fréquence des bioturbations en particulier dans la partie inférieure de cet ensemble et par la plus grande abondance des organismes pélagiques. Il s'agirait de vases mises en place à partir de turbidites distales. L'analyse des minéraux argileux permet de différencier deux ensembles : à la base des horizons à illite-kaolinite et, au-dessus de 0,80 m des niveaux à illite-chlorite indiquant une origine sulawesienne.

Compte tenu des éléments de datation de cette carotte (Gayet *et al.*, 1990), le changement majeur des caractères de la sédimentation marqué dans la lithologie vers 2,10 m et observé au niveau de la microfaune vers 1,80 m pourrait correspondre à la terminaison IA, d'âge moyen 12 900-13 000 ans B. P., définie par Duplessy *et al.* (1981) pour l'Atlantique Nord comme étant le début de la première phase de déglaciation. Antérieurement à cette période, la dynamique par courants de turbidité prédomine et se traduit par des séquences de second ordre dont l'amplitude et l'énergie décroît progressivement de la base au sommet. Pour les horizons entre 2,10 et 0,80 m, les sables localisés à de rares et minces lits bioturbés sont encore originaires de la plaine deltaïque de la Mahakam. Cette évolution témoigne d'un élargissement progressif de la plate-forme continentale qui isole le glacis des apports turbiditiques grossiers du Kalimantan. Enfin, à l'Holocène, la sédimentation est alimentée par des turbidites distales en provenance de Sulawesi.

La plaine abyssale a été étudiée à partir de la station 12. Dans cette station (fig. 10), au-dessus des vases à cortège argileux illite-chlorite de la base (8,38 à 6,60 m), les dépôts se disposent selon des séquences turbiditiques.

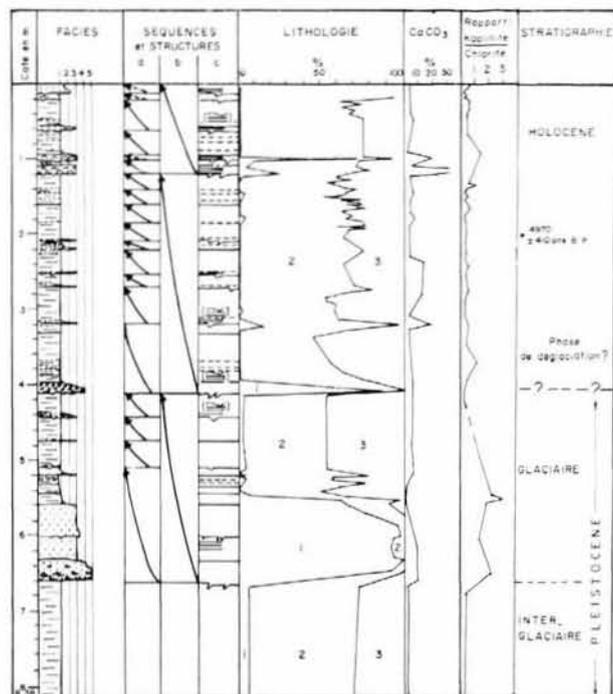


Figure 10

KS 12 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
KS 12 : sedimentological data and stratigraphical interpretation.

Deux types de séquences élémentaires ont pu être distingués (fig. 11).

- Les séquences élémentaires de turbidites sableuses peuvent être rapportées à la séquence de Bouma (de 6,60 m à 5,22 m ; de 4,10 m à 3,35 m et de 1,20 m à 1,10 m). La séquence la plus complète est la séquence inférieure (fig. 11a). Ces séquences sont voisines des turbidites de haute énergie à terme A bien développé décrites par Lowe (1982).

- Les séquences élémentaires de turbidites de vases silto-argileuses puis argilo-silteuses s'organisent en séquences dont l'épaisseur moyenne varie entre 20 et 30 cm (fig. 11c). Elles présentent tous les caractères de turbidites fines de faible énergie évoluant vers des faciès hémipélagiques.

Parfois des vases argilo-silteuses très bioturbées peuvent se rencontrer en niveaux isolés, il est alors difficile de trancher entre une origine hémipélagique stricte ou turbiditique à partir du néphéloïde plus ou moins dense qui accompagne les courants de turbidité.

Les séquences de second ordre traduisent une évolution dans la dynamique des courants de turbidité, et dans l'origine des matériaux. Trois séquences ont été distinguées, formées par la superposition d'une séquence turbiditique sableuse de haute énergie, puis d'une ou de plusieurs séquences turbiditiques de faible énergie ou de vases hémipélagiques.

La séquence inférieure à illite-kaolinite (K/C > 1) repose sur des vases par contact érosif ; elle est constituée par des sables beiges moyens et fins recouverts par des vases argilo-silteuses à silto-argileuses. La séquence moyenne est formée par des sables gris moyens à fins à la base et par des vases silto-argileuses à argilo-silteuses au sommet

(sables à illite-kaolinite -K/C > 1- et des passées plus fines à illite-chlorite -K/C < 1-). La séquence supérieure débute par des sables silteux bioclastiques à pellets et se poursuit comme pour les précédentes par des vases silto-argileuses à argilo-silteuses à illite-chlorite.

Par comparaison avec la stratigraphie de la KS 19, les séquences de second ordre peuvent s'interpréter en terme de variation du niveau marin. Les vases de la base (8,38 à 6,60 m) à illite-chlorite issues de Sulawesi correspondraient à une période pléistocène de haut niveau marin, c'est-à-dire à une période inter-glaciaire. La séquence inférieure de second ordre pourrait correspondre à une période de bas niveau marin, la séquence médiane pourrait correspondre à la phase de déglaciation avec des apports en provenance des deux provinces émettrices. Enfin, la séquence supérieure, alimentée depuis Sulawesi et témoignant de conditions marines plus franches, se serait mise en place au cours de l'Holocène.

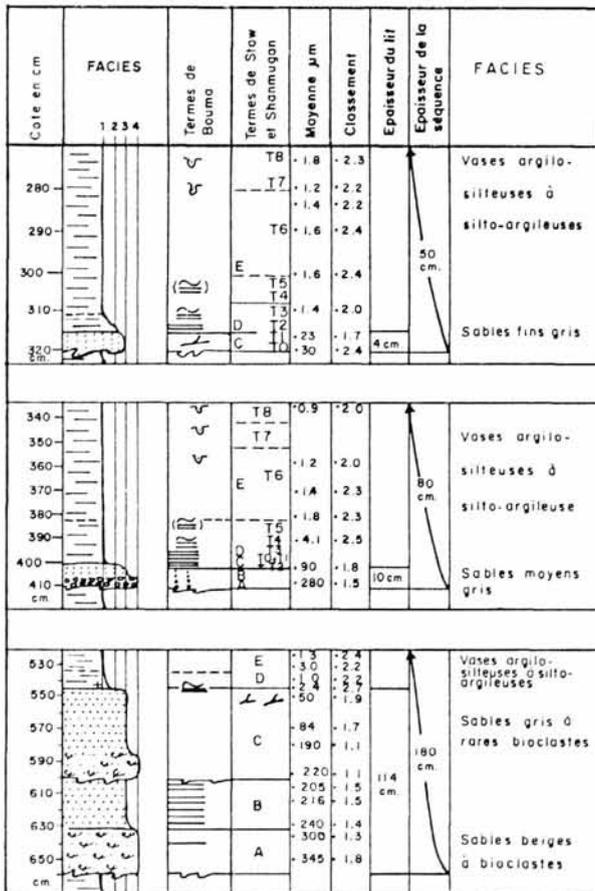


Figure 11

KS 12 : données granulométriques
KS 12 : grain-size data

LA SÉDIMENTATION AU NORD ET AU DROIT DU DELTA DE LA MAHAKAM

La plate-forme (KS et KR 17, -85 m)

Les prélèvements (fig. 12) sont constitués par des sables moyens et grossiers bioclastiques à fraction argilo-silteuse réduite (20 %). La faune très diversifiée présente

un mélange de formes plus ou moins bien conservées de type péri-récifal et de microfaune pélagique et benthique de plate-forme externe. Ces caractères montrent que cette région est restée à l'abri des apports terrigènes fins issus de la Mahakam. Ces conditions ont été réalisées lors d'une période de remontée du niveau marin. Au fur et à mesure de cette remontée, les récifs sont submergés et les matériaux issus de leur démantèlement redistribués sur le plateau.

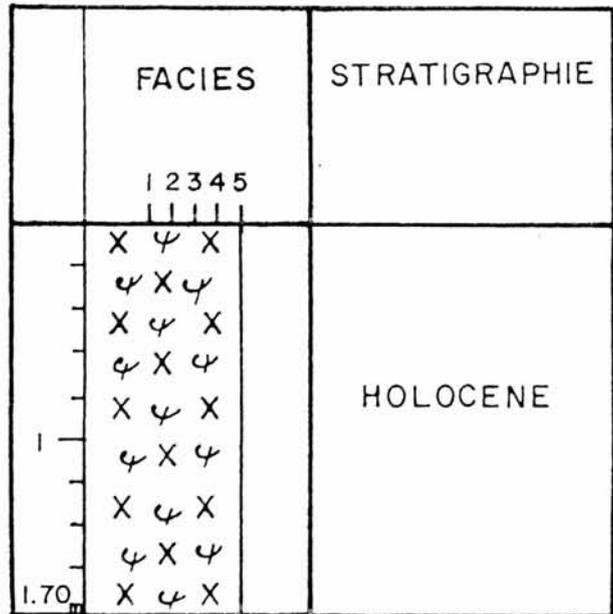


Figure 12

KS 17 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
KS 17 : sedimentological data and stratigraphical interpretation.

Le sommet de la pente (KS et KR 18, -340 m)

Ces prélèvements (fig. 13) sont constitués par des vases argilo-silteuses ou silto-argileuses et des sables bioclastiques localisés au sommet. Les vases ont une fraction grossière composée de quartz subanguleux et de débris ligneux épigénisés par des monosulfures ; la fraction bioclastique, absente ou peu représentée, est composée de foraminifères pélagiques ou benthiques, de fragments usés et micritisés de polypiers et de spicules de spongiaires. Les caractères des constituants terrigènes et bioclastiques montrent que cette sédimentation s'effectue à partir de panaches turbides de crues qui alimentent directement les courants de turbidité. Le caractère prodeltaïque de ces vases s'atténue progressivement de 3,00 m à 0,60 m, où la sédimentation présente un cachet franchement marin. Au-dessus, les sables bioclastiques moyens à grossiers péri-récifaux n'ont pu être amenés que par écoulement de type slump. La datation au ¹⁴C donnant un âge de 30.400 ± 1.300 ans B. P. à 1,50 m pourrait indiquer une période pléistocène inter-glaciaire de haut niveau marin (Morner, 1982). Les dépôts glaciaires seraient peu représentés dans cette zone. On peut envisager qu'ils aient été érodés par des glissements (Faugères et al., 1989) ou que la sédimentation soit très faible (Coustillas, 1983). Par le même raisonnement que pour les prélèvements

précédents, au-dessus de 0,90 m, le développement de la faune marine est à mettre en relation avec la dernière phase transgressive. Enfin, les sables péri-récifaux supérieurs doivent correspondre à une période relativement récente (Holocène supérieur?) contemporaine de l'installation des récifs.

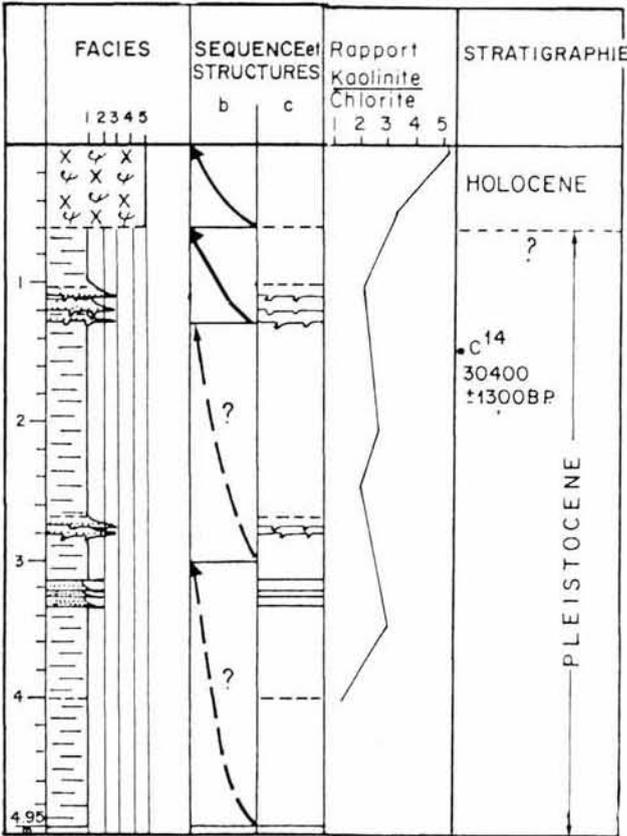


Figure 13

KS 18 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
 KS 18: *sedimentological data and stratigraphical interpretation.*

La plaine abyssale a été reconnue à partir des stations 14 et 12.

La station KS 14 (fig. 14), au droit de Makassar, se caractérise par l'alternance de sables quartzeux gris moyens à fins (40 %) et de vases silto-argileuses ou argilo-silteuses (60 %). On y retrouve les deux grands types de séquences élémentaires décrites dans le prélèvement KS 12 (plaine abyssale méridionale).

Les séquences élémentaires de turbidites

De la base de la carotte à 2,80 m, les turbidites montrent un bon développement du terme E. Ces vases, souvent bioturbées, pourraient parfois correspondre, en réalité, à des dépôts hémipélagiques. Au-dessus, on retrouve le plus souvent la succession des termes B, C, D, E de Bouma précédés parfois du terme A. A leur base, les sables ont une moyenne de l'ordre de 350 µm ; c'est la granulométrie la plus grossière rencontrée sur la marge. Ces séquences sont développées sur une faible épaisseur. Les séquences de second ordre sont au nombre de deux. Celle développée à la base est caractérisée par

l'importance des turbidites fines ; celle du sommet au contraire par l'abondance des turbidites sableuses. Par leur cortège minéralogique à illite-kaolinite, toutes les deux ont la même origine (Sulawesi).

Par comparaison avec les carottes KS 19 et KS 12, et compte-tenu de leur origine, tous les sédiments rencontrés ici seraient holocènes.

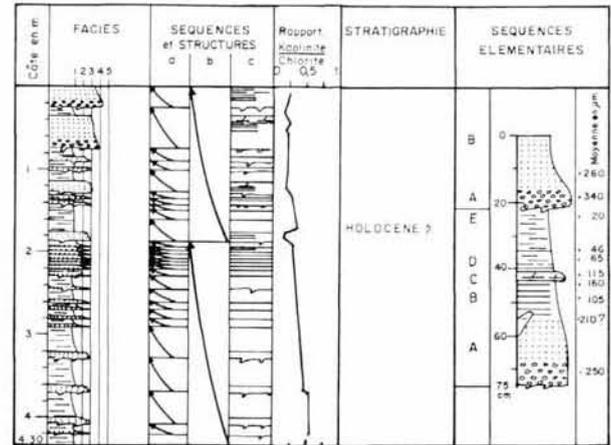


Figure 14

KS 14 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
 KS 14: *sedimentological data and stratigraphical interpretation.*

Station KR et KS 16 (fig. 15), les dépôts très fins s'organisent en séquences élémentaires qui présentent les mêmes caractères que celles décrites dans le prélèvement KS 12. Toutefois, les termes du sommet (T6, T7 et T8) sont en général plus épais et les séquences dans leur ensemble plus bioturbées. Toutes ces séquences sont constituées par un matériel identique pour lequel la fraction terrigène grossière est formée de quartz, de micas et de débris ligneux épigénisés par des monosulfures. De plus, le cortège argileux assez variable traduit une prédominance des apports depuis Sulawesi. Une microfaune pélagique rare est associée à ce matériel terrigène. Les apports hémipélagiques sont plus importants que ceux issus de courants de turbidité de faible énergie, voire de courants de contour, (Stow and Lovell, 1979). La distribution de ces séquences élémentaires ne met pas en évidence de séquences de second ordre.

Compte-tenu des différentes associations de microfaune planctonique rencontrées dans les cinq mètres supérieurs (comm. orale de Mme Duprat), on pourrait attribuer ces dépôts à l'Holocène. Ce secteur, situé sur un compartiment affaissé et subsident par rapport à celui de la Mahakam (Hamilton, 1979), présente un taux de sédimentation élevé. La sédimentation pourrait provenir de Sulawesi, mais également de la mer des Célèbes à partir de courants de contours, (Exon *et al.*, 1981 ; Linsley *et al.*, 1985).

LA SÉDIMENTATION DANS LE BASSIN SUD-MAKASSAR

La sédimentation de ce bassin n'a été appréhendée que par les prélèvements KR et KS 11 (fig. 16) situés en

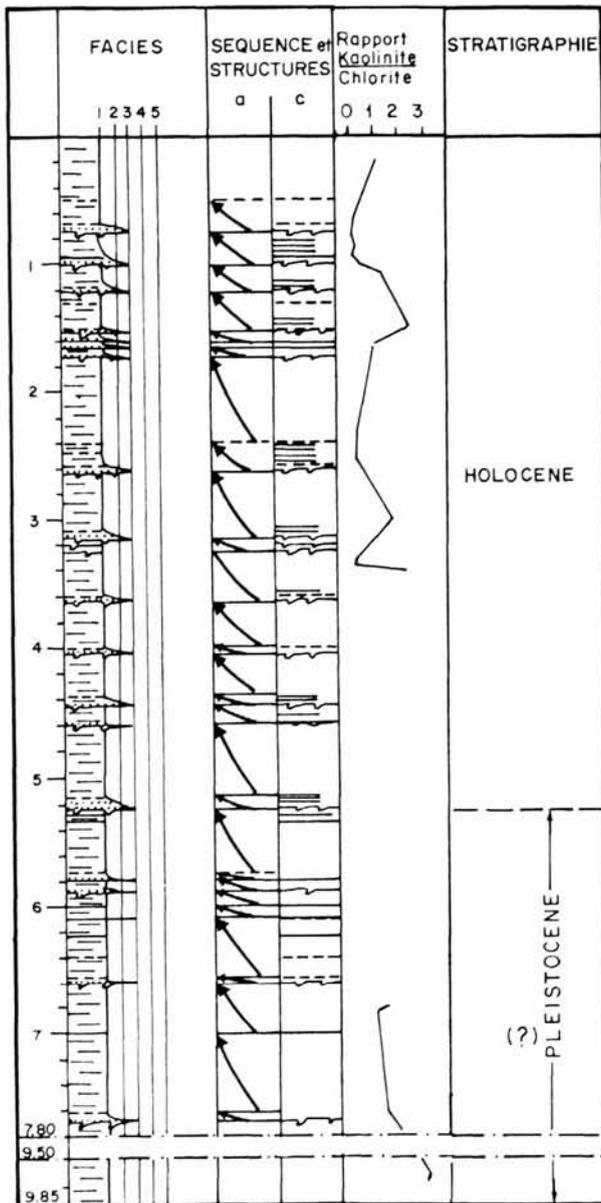


Figure 15

KS 16 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
 KS 16 : sedimentological data and stratigraphical interpretation.

domaine abyssal. Les conclusions seront forcément fragmentaires et tendront essentiellement à déterminer les caractères de la dynamique et les modifications éventuelles de celles-ci. Ces carottes présentent une assez grande diversité de faciès granulométriques (tab 4) qui diffèrent de ceux du bassin Nord-Makassar et sont originaires de Sulawesi (Augères *et al.*, 1990).

Les dépôts s'organisent :

- en séquences élémentaires de turbidites sableuses représentées par les termes B, C, D, E de Bouma (1962) ;
- en séquences d'écoulement gravitaire mal organisé dont les éléments sont issus de milieux de plate-forme externe; ce faciès se serait mis en place à la faveur d'un glissement en masse, peu perturbant, le matériel transporté conservant ses laminations originelles ;

- en séquences élémentaires de turbidites de vase évoluant vers des vases hémipélagiques (séquence de Stow et Shanmugan, 1980) qui résulteraient d'une mise en place par des courants de turbidité de faible énergie ou d'une sédimentation strictement hémipélagique.

Organisation des dépôts

Ces séquences élémentaires ne s'organisent pas en séquences de second ordre telles que nous les avons définies précédemment. Toutefois, des variations dans leur épaisseur, leur granulométrie et leur composition permettent de distinguer quatre ensembles.

Le premier ensemble (de la base à 3,06 m) est constitué par l'alternance de turbidites sableuses et de turbidites de vases évoluant vers des vases hémipélagiques. Dans la fraction grossière, les rares bioclastes observés sont d'origine pélagique.

Le deuxième ensemble (3,06 à 1,98 m) est caractérisé par la superposition d'une turbidite grossière et d'un écoulement en masse épais. L'originalité de cet ensemble réside dans l'abondance d'une fraction bioclastique issue de la plate-forme.

Le troisième ensemble (1,98 à 0,10 m) présente des caractères voisins de l'ensemble inférieur avec toutefois un développement plus grand des faciès argilo-silteux.

Enfin, les sommets de KS 11 et de KR 11 constituent une séquence turbiditique plus grossière du type de celles rencontrées dans le deuxième ensemble.

En conclusion, compte-tenu de la seule datation à notre disposition (9.360 ± 480 ans B. P. de 1,80 à 1,90 m), l'ensemble supérieur pourrait être attribué à l'Holocène, les dépôts sous-jacents étant pléistocènes.

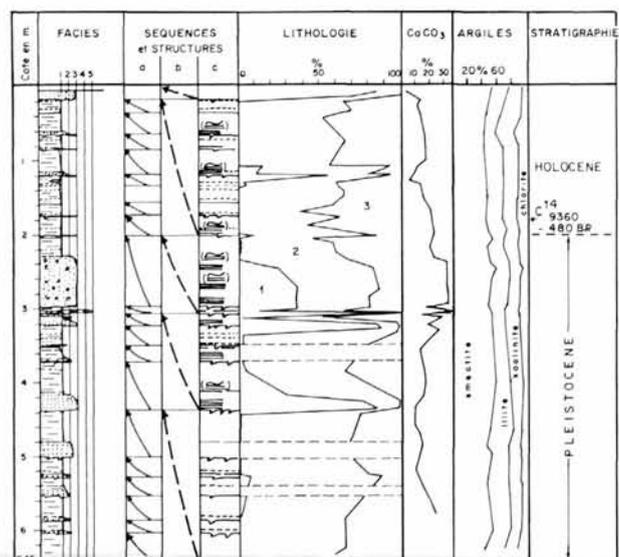


Figure 16

KS 11 : données sédimentologiques et interprétation stratigraphique.
 KS 11 : sedimentological data and stratigraphical interpretation.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les variations observées dans la composition, l'origine et l'organisation des dépôts sont sous la dépendance du cadre morpho-tectonique et des modifications paléogéographiques globales intervenues au cours du Quaternaire.

Nature et origine des sédiments

L'analyse minéralogique et paléontologique des prélèvements des missions MISEDOR et CORINDON ainsi que l'analyse des données bibliographiques (Coustillas, 1983 ; Boichard *et al.*, 1985) ont permis à Faugères *et al.*, (à paraître) de distinguer au moins deux sources d'alimentation en terrigènes (Kalimantan et Sulawesi). Il s'y ajoute des apports thalassogènes au sein desquels on peut distinguer des biocénoses et des thanathocénoses.

Cette étude montre également qu'il n'existe pas une différence minéralogique intrinsèque entre les provinces émettrices de Kalimantan et de Sulawesi. Ce qui les différencie essentiellement, c'est que les sédiments issus de Kalimantan proviennent surtout de la reprise aux bassins néogènes des produits de démantèlement des roches-mères éruptives et métamorphiques, alors que les apports depuis Sulawesi résultent directement de l'érosion de roches-mères identiques. C'est donc en terme de "fraîcheur" des matériaux apportés qu'il faut voir la différence Sulawesi-Kalimantan.

Processus sédimentaires et organisation des dépôts

L'analyse de la succession des faciès permet de distinguer trois échelles d'organisation liées soit à des processus de mise en place des dépôts, soit à des événements d'ordre paléogéographique.

Les séquences élémentaires correspondent à l'organisation la plus simple de dépôts mis en place par l'intermédiaire d'un courant de turbidité. Plusieurs types de séquences ont pu être distingués:

- des séquences complètes de type Bouma (1962) particulièrement bien représentées au droit et au Sud de la Mahakam où sont déposés les sédiments les plus grossiers;
- des séquences de Bouma tronquées et réduites, soit aux termes inférieurs, soit aux termes supérieurs et équivalentes dans ce cas, des turbidites de faible énergie de Stow et Shanmugan (1980);
- des séquences réduites au seul terme supérieur: turbidites de vases liées à un néphéloïde et/ou à des sédiments hémipélagiques.

Les séquences de second ordre traduisent des variations dans l'agencement des turbidites. Ces changements sont sans doute liés à l'évolution de la granulométrie, à la composition des matériaux et à des modifications de leur mode de transport. Elles reflètent indirectement l'évolution paléogéographique générale du bassin.

Les mégaséquences ou séquences d'ordre supérieur marquent l'évolution des conditions de dépôts. Sur la plate-forme ou le talus actuel, elles correspondent à la superposition de dépôts de plate-forme interne ou de delta surmontés par les vases de la plate-forme externe, et soulignent une phase transgressive. Par comparaison, sur le glacis et la plaine abyssale, les deux séquences supérieures de second ordre enregistrent le même phénomène transgressif.

Evolution de la sédimentation au Quaternaire récent

Les éléments de datation que nous possédons font correspondre les écoulements turbiditiques grossiers de haute énergie de la base des prélèvements avec la dernière période glaciaire, et les dépôts sommitaux fins, turbiditiques de basse énergie ou hémipélagiques avec la phase de déglaciation et la transgression holocène. Une relation de ce type entre épisodes climatiques et sédimentation a souvent été observée au Quaternaire dans de nombreux domaines marins océaniques (Poutiers *et al.*, 1983). Cette relation et la nette modification des cortèges minéralogiques nous conduit à proposer des corrélations lithostratigraphiques entre les prélèvements (fig. 17).

En période pléistocène de bas niveau marin l'essentiel de la plate-forme actuelle de Kalimantan est exondée. La Mahakam creuse profondément le bassin tertiaire de Kutei et la plate-forme, principalement dans l'axe de la Mahakam et vers le Sud en empruntant des vallées WSW-ENE d'origine tectonique (Coustillas, 1983). Une partie des sédiments se dépose sur la plate-forme (base de la KS 13), mais la majorité est entraînée vers les zones plus profondes. Les apports terrigènes grossiers sont particulièrement abondants vers le Sud et dans l'axe de la Mahakam ainsi que le montre la continuité des réflecteurs 3,5 kHz (Faugères *et al.*, 1989). Le bassin Sud-Makassar est réduit à une étroite cuvette plaquée contre Sulawesi d'où semble arriver la majorité des sédiments. A cette époque, la plate-forme des Pater-Noster n'existe pas, elle participe au continent indopacifique de même que Java, Sumatra et la Malaisie (Ongkosongo, 1984).

Lors de la remontée du niveau marin (phase de déglaciation), d'une part les apports terrigènes grossiers de la Mahakam sont bloqués sur la plate-forme progressivement immergée du Kalimantan, d'autre part cette dernière voit apparaître une sédimentation thalassogène propre à ce milieu.

Sur la plate-forme et la pente, au Nord du fleuve, s'installe une sédimentation récifale et péri-récifale ; au Sud, les sédiments fins sont encore relativement abondants, mais les courants de dérive littorale ou généraux toujours dirigés vers le Sud ont tendance à les plaquer contre la côte. De plus, il existe de nombreuses zones chauves où se reconnaissent directement les dépôts anciens (Coustillas, 1983).

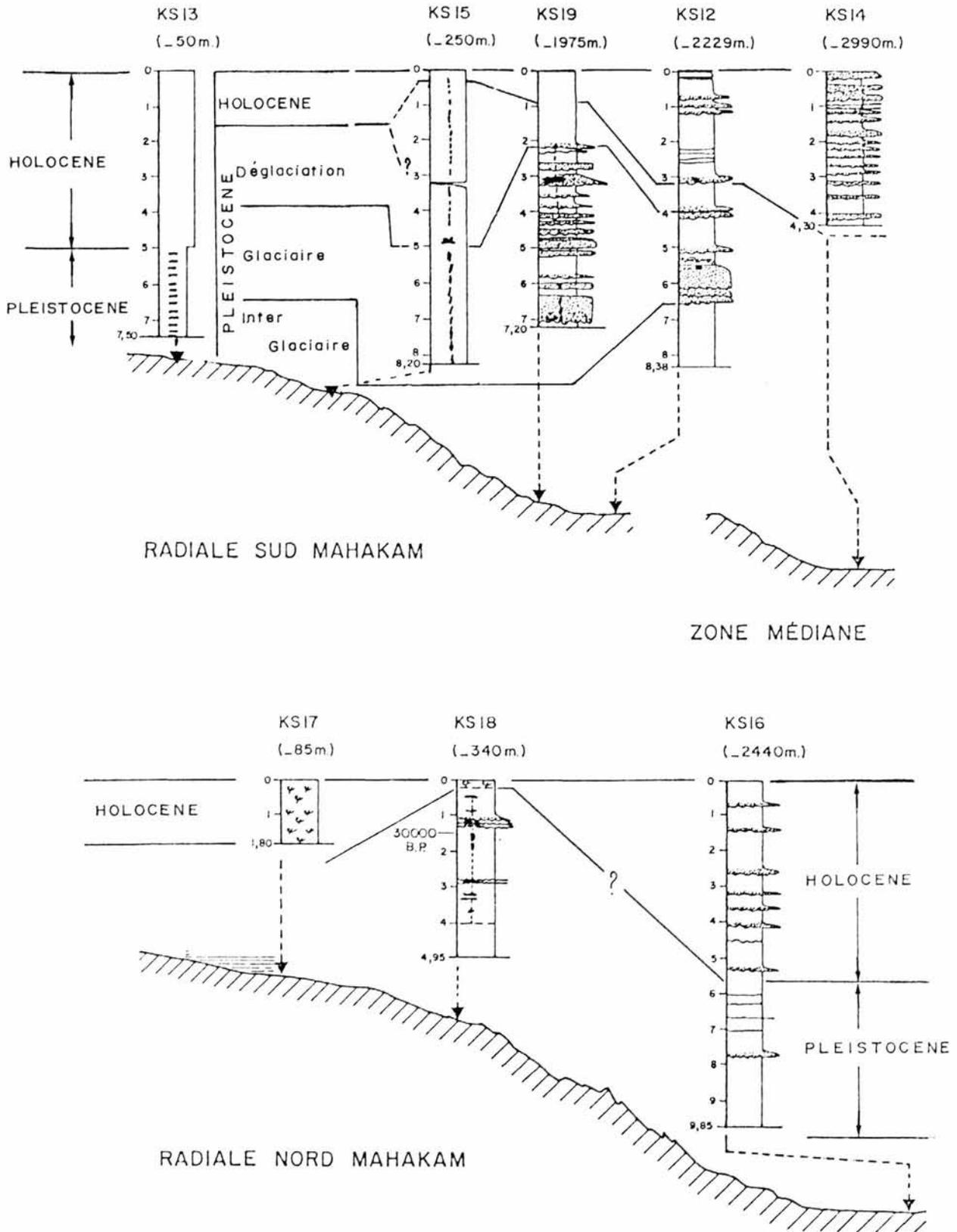


Figure 17

Corrélations stratigraphiques entre les différents prélèvements.
 Stratigraphical correlation between the cores.

Dans la plaine abyssale, au Nord de la Mahakam, le taux de sédimentation élevé (0,70 m/1.000 ans) reconnu dans la KS 16 ne peut s'expliquer à partir d'apports issus de la Mahakam. Il faut admettre qu'ils proviennent de l'île de Sulawesi et/ou de la mer des Célèbes par des courants de contour. Au Sud, sur le glacis continental et la plaine abyssale, la faiblesse des apports turbiditiques grossiers ou fins, indique déjà le blocage partiel des apports depuis le Kalimantan.

A l'Holocène, au fur et à mesure de la remontée du niveau marin vers sa position actuelle, l'édification à partir de -7 000 ans B.P. du delta actuel utilise la majorité des sédiments en provenance du bassin de Kutei pour colmater, d'amont en aval, les vallées des distributaires fossiles, qui restent visibles sur la plate-forme seulement au-delà de -40 m. La plaine abyssale et même le glacis de Kalimantan sont alimentés depuis Sulawesi.

Dans le bassin Sud-Makassar, les sédiments proviennent de la marge de Sulawesi. Les apports turbiditiques associés à l'Holocène semblent plus fins que ceux amenés pendant la phase de déglaciation. Ainsi, la sédimentation du détroit de Makassar est le reflet d'une part de la différence de morphologie entre la marge stable Kalimantan et celle jeune et active de Sulawesi, d'autre part des variations glacio-eustatiques du niveau marin.

En période de bas niveau marin, sur la marge de

Kalimantan, un réseau fluvial puissant drainant un arrière-pays constitué pour l'essentiel d'un bassin sédimentaire à terrains silico-clastiques meubles entraîne directement les matériaux en milieu profond. L'importance de ces derniers occulte entièrement la sédimentation issue de Sulawesi.

Le bas niveau marin d'origine eustatique est l'élément essentiel qui apparaît. Son existence oblige le fleuve à éroder la partie aval du bassin sédimentaire afin de retrouver son niveau de base. Lors de la remontée du niveau marin, les dépôts commencent à s'accumuler sur la plate-forme de Kalimantan. Des pentes de l'ordre de 10 à 15 % (Faugères *et al.*, 1989) font que les sédiments sont rapidement entraînés par des écoulements gravitaires en masse jusque sur le glacis. Comme pour la période précédente, les arrivées de matériaux de Sulawesi n'apparaissent pas nettement dans la sédimentation. En revanche, l'importance de la fraction thalassogène biogène qui se retrouve mêlée à la fraction terrigène, apparaît progressivement.

En période de haut niveau marin, en domaine de marge stable à plate-forme bien développée, les sédiments sont utilisés à la construction d'un prisme d'accrétion deltaïque tandis que latéralement, se développe une sédimentation récifale. Les sédiments issus de Sulawesi apparaissent clairement dans le bassin profond d'où compte-tenu de la morphologie de la marge, on peut envisager qu'une quantité équivalente de matériaux a toujours été injectée dans le bassin.

REFERENCES

- Allen G.P., D. Laurier, J. Thouvenin (1979). Etude sédimentologique du delta de la Mahakam. *Notes et Mémoires*, 15, TOTAL, Compagnie Française des Pétroles, 156 pp.
- Boichard R., P.F. Burolet, B. Lambert, J.M. Villain (1985). La plate-forme carbonatée des Pater Noster (Est de Kalimantan-Indonésie) : Etude sédimentologique et écologique. *Notes et Mémoires*, 20, TOTAL, Compagnie Française des Pétroles, 103 pp.
- Bouma A.H. (1962). Sedimentology of some flysch deposits, a graphic approach to facies interpretation. Elsevier, Amsterdam, 168 pp.
- Coustillas F. (1983). Les faciès récents de la plate-forme orientale de Kalimantan (Indonésie) et leur contenu micropaléontologique (Foraminifères benthiques). Thèse 3ème cycle, Université Bordeaux I, n°1920, 2 vol., 170 pp.
- Duplessy J.C., G. Delibrias, J.L. Turon, C. Pujol, J. Duprat (1981). Deglacial warming of the northeastern Atlantic Ocean: correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 35, 121-144.
- Exon N.F., F.W. Haake, M. Hartmann, F.C. Kögler, P.J. Muller, M.J. Whiticar (1981). Morphology, water characteristics and sedimentation in the silled Sulu Sea, Southeast Asia. *Marine Geology*, 39, 165-195.
- Faugères J.C., J. Gayet, E. Gonthier (1989). Microphysiographie des dépôts quaternaires dans le détroit de Makassar (Océan Indien), opposition des facteurs gouvernant la sédimentation profonde sur une marge stable (Bornéo) et une marge active (Célèbes-Sulawesi). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (8), 5, 4, 807-818.
- Faugères J.C., J. Gayet, E. Gonthier, C. Latouche, N. Maillet. (1990). Variation des sources de sédiments dans le détroit de Makassar (Indonésie) au Quaternaire récent : rôle des facteurs morphostructuraux et eustatiques. *Oceanol. Acta*, sp. 10.
- Faugères J.C., E. Gonthier (1983). Dynamique sédimentaire sur la marge sud-arabique. *Bull. Soc. Géol. de France*, 7, XXV, 4, 451-460.
- Gayet J., P. Carbonnel, J. Duprat, L. Labeyrie, J.-C. Faugères, E. Gonthier, J. Moyes. (1990). Impact de la transgression holocène sur la sédimentation dans le détroit de Makassar. *Oceanologica Acta*, sp. 10.
- Hamilton W. (1979). Tectonics of the Indonesian region. *Prof. Pap. U.S. Geol. Surv.*, 1078, 345pp.
- Linsley B.K., R.C. Thunell, C. Morgan, D.F. Williams (1985). Oxygen minimum expansion in the Sulu sea, western equatorial Pacific, during the last glacial low stand of sea level. *Marine micropal.*, 9, 5, 395-418.
- Lowe D. R. (1982). Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high density turbidity currents. *Journ. Sedim. Petrol.*, 52, 180-297.
- Morner N.A. (1982). Sea level changes in "the encyclopedia of beaches and coastal environments". M.L. Schwartz ed., 722-733, Hutchinson Ross Publ. Comp., Stroudsburg.
- Ongkosongo O.S.R. (1984). Evolution et effets des aménagements dans l'environnement côtier de la baie de Djakarta, Indonésie. Thèse 3ème cycle, Université Bordeaux I, n° 2035,410 pp.
- Poutiers J., J.-C. Faugères, J. Gayet, E. Gonthier (1983). Apport des missions Orgon à la connaissance des phénomènes sédimentaires en domaine marin profond au Quaternaire récent. In: *Géochimie Organique des sédiments marins, d'Orgon à Misédor*, CNRS, Paris, 211-278.
- Stow D.A.V., J.P.B. Lovell (1979). Contourites: their recognition in modern and ancient sediments. *Earth Science reviews*, 14, 251-291.
- Stow D.A.V., G. Shanmugan (1980). Séquence de structures in fine-grained turbidites: comparison of recent deep sea and ancient flysch sediments. *Sed. Geol.*, 25, 23-42.
- Tjia H.D. (1970). Rates of diastrophic movements during the Quaternary in Indonesia. *Geol. Mijnbouw*, 49, 4, 335-338.