

CAMPAGNE MISEDOR :
ETUDES SEDIMENTOLOGIQUES ET GEOCHIMIQUES
DU DETROIT DE MAKASSAR (INDONESIE)

J. GAYET*

*Institut de Géologie du Bassin d'Arcachon.
Avenue des Facultés 33405 TALENCE CEDEX

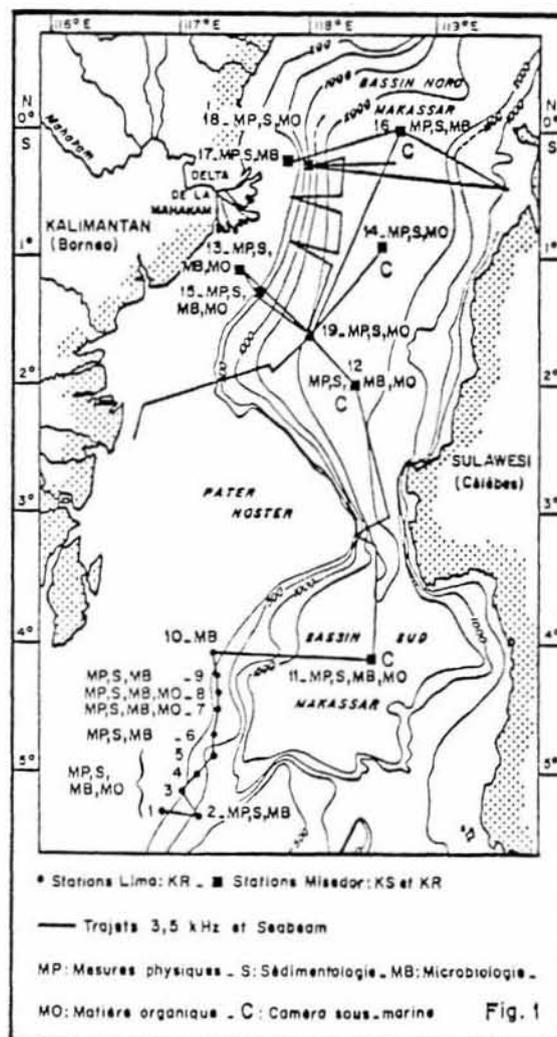
La campagne Milieux SEDimentaire ORganique s'est déroulée du 11.12 au 31.12.1984 dans le détroit de Makassar (fig.1) Cl. Caratini (C.E.G.E.T. Université de BordeauxIII) étant chef de projet et de mission, participèrent également à cette mission :

pour les études sédimentologiques : l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine de l'Université de BordeauxI (J.C. FAUGERES et J. GAYET) ; le LON-LIPI (E. LUKMAN) ; pour les études microbiologiques et de la matière organique ; le Laboratoire de Microbiologie de la Faculté des Sciences de Marseille-Luminy (S. CASTANIER, J. GARCIN, M.N. HERMIN, D. MARTY) ; le Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines de l'Université de Perpignan (R. BUSCAIL, F. GADEL) ; l'Institut Français du Pétrole (R. PELET) ; le Laboratoire de Physique et Chimie Marines (M. BRAULT et M.A. SICRE) ; le C.E.G.E.T. (C. TISSOT) ; le Laboratoire de Photophysique et de Photochimie Moléculaire de l'Université de BordeauxI (A.G. Ilaude) ; le Centre de Pédologie Biologique de l'Université de Nancy (P. PILLON).

Cette mission comprenait deux études distinctes : d'une part la sédimentation périerécifale des îles LIMA, d'autre part la sédimentation du détroit de Makassar en relation, avec le delta de la Mahakam. Diverses opérations (fig. 1) ont été menées directement à bord.

Pour l'étude des sédiments et des processus de mise en place des dépôts : des relevés bathymétri-

ques au Seabeam et écho-sondeur 3,5 KHz ; des photographies sous-marines ; 19 carottes Reineck court (KR) et 9 carottages Kullenberg (KS) ayant donné lieu à des études de sédimentologie, de biochimie et de chimie organique.



Pour l'étude de l'hydrologie et de la chimie des eaux : des prélèvements de la microcouche de surface ; des prélèvements d'eau à différentes profondeurs couplés à des mesures physiques ; des traits verticaux de filet à plancton et de filet fermant.

LES STATIONS MISEDOR LIMA

Ces stations ont permis d'étudier les sédiments carbonatés pérorécifaux de la plate-forme et du talus des Pater Noster.

STATIONS	COORDONNEES		PROFONDEUR m	% GRAINS VERTS
	S	E		
1	5°21,87	116°57,74	189	##
2	5°20,28	117°04,83	549	5
3	5°08,76	117°05,73	315	5
4	5°02,91	117°11,97	490	10
5	4°56,87	117°17,56	715	15
6	4°49,10	117°15,09	220	45
7	4°40,46	117°16,50	230	30
8	4°28,78	117°13,71	260	50
9	4°18,89	117°16,55	260	30
10	4°08,94	117°20,19	45	?

Les sédiments [1] essentiellement constitués de foraminifères et de débris bioclastiques montrent déjà au-delà de 200 m une nette influence océanique marquée par l'abondance des foraminifères planctoniques. Un des caractères le plus remarquable de cette zone est la présence de smectite glauconitique néoformée riche en fer mais pauvre en potassium ($\pm 3\%$). Ces minéraux verts sombres envahissent les loges des foraminifères, donnent des grains isolés, voire des agrégats. Ces sédiments [2] présentent parfois un pH particulièrement élevé

(pH > 8,5) qui permet la précipitation chimique directe des carbonates. Les études taxonomiques effectuées sur les bactéries hétérotrophes aérobies montrent des potentialités cataboliques orientées vers l'utilisation de substrats carbonés simples et la présence de bactéries calcifiantes particulièrement actives dans les stations 1, 2, 3 et 7.

D'une manière générale, les teneurs en carbone organique [3] sont faibles (0,5 %) et les expériences d'études de cinétique d'acides aminés ^{14}C mettent en évidence la faiblesse des processus géochimiques de condensation des composés humiques [4].

LES STATIONS MISEDOR MAHAKAM

Cette partie de la campagne s'intégrait dans le projet GIS MISEDOR. Elle avait pour but : de suivre la répartition de la matière organique en milieu marin au sortir du delta de la Mahakam (Kalimantan) ; de comparer son évolution diagénétique par rapport à celle liée aux premiers stades de l'enfouissement tels qu'ils avaient pu être observés sur le forage Misedor [5]. Ces deux opérations Misedor forment un tout dans le prolongement du programme ORGON [6].

STATIONS	COORDONNEES		PROFONDEUR m
	S	E	
11	4°10.61	118°33.86	1990
12	2°02.93	118°27.28	2229
13	1°10.81	117°27.84	50
14	1°00.64	118°30.59	2290
15	1°21.18	117°35.04	250
16	0°00.85	118°40.02	2440
17	0°20.85	117°51.92	85
18	0°19.94	117°54.02	340
19	1°40.36	118°00.34	1975

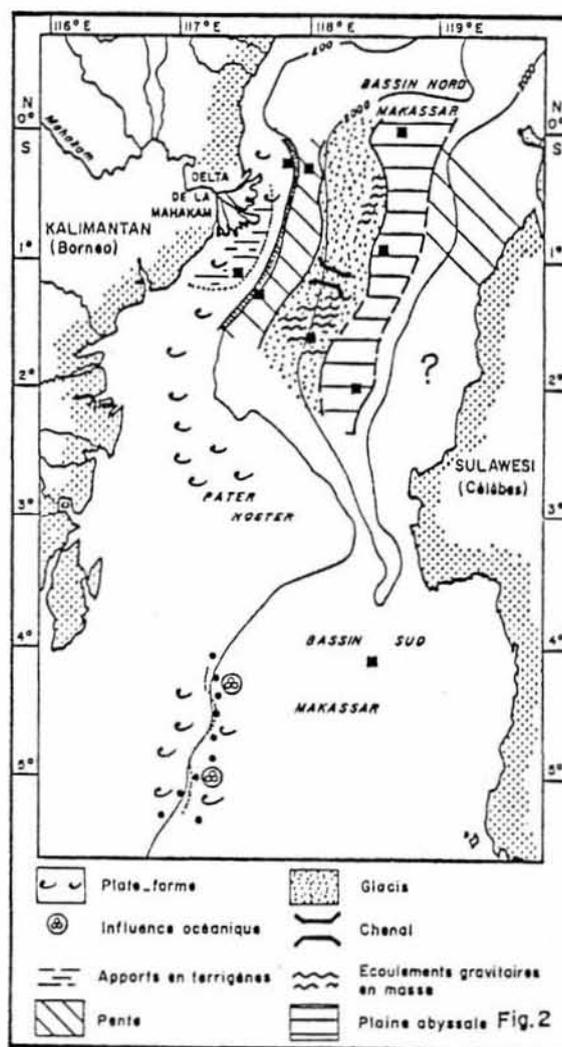
Etude des masses d'eau

Ces eaux dont la salinité est faible (32 ‰) ont des températures de surface voisines de 29°C. La thermocline est proche de la surface (-100 à -300 m) et la température s'abaisse rapidement pour se stabiliser à 4°C à partir de 1800 m. Pour les eaux superficielles, les mesures de carbone organique dissous et d'absorbance U.V-visible mettent en évidence, même très au large, la présence en traces d'acides fulviques d'origine continentale [7]. On doit noter dans les pyrolysats de particules prélevées en surface et par traits de filets des monoalcmes de 7°C à 14°C prédominants, dont la signification dans ces milieux reste problématique. Les eaux de fond (récupérées à la partie supérieure du carottier Reineck court) présentent des charges beaucoup plus faibles (2 à 6 fois) qu'en surface. Enfin, tant au fond qu'en surface, on n'a pas pu mettre en évidence de gradient de densité vers le large.

Etudes sédimentologiques

L'étude détaillée des différentes carottes [8] replacées dans le cadre morpho-structural de cette région [9] permet de comprendre la répartition des faciès en fonction de l'évolution de cette zone au cours du Quaternaire terminal. Dans le bassin Nord-Makassar, en période de bas-niveau marin, la Mahakam creuse profondément le bassin tertiaire de Kutéi et la plate-forme actuelle. La majorité des sédiments est entraînée directement vers les zones profondes par des écoulements gravitaires en masse (glacis) ou par des courants de turbidité (glacis et plaine abyssale) qui s'organisent en successions strato-décroissantes, surtout bien développées au droit et au Sud de la Mahakam. Lors de la remontée du niveau marin (phase de déglaciation et Holocène), on observe une modification

qualitative et quantitative des apports. Sur la plate-forme, les sédiments issus de la Mahakam sont en majorité utilisés à la construction du delta actuel. Très rapidement, ils passent latéralement à une sédimentation bioclastique périrécifale. Le talus et la pente montrent de très nombreuses traces d'arrachements des sédiments qui sont entraînés par des écoulements en masse sur le glacis (fig. 2).



Plus le niveau marin se rapproche de la position actuelle, moins de sédiments issus du Kalimantan arrivent dans la plaine abyssale. Cette dernière est surtout alimentée en matériaux très frais depuis Sulawesi. En effet, la morphologie de cette marge (plate-forme peu développée) permet un entraînement très rapide des matériaux issus du continent.

Etude de la matière organique

L'étude générale de la m.o. [3 et 7] et l'analyse des palynofaciés mettent également en évidence l'importance des apports depuis le continent par rapport à la source thalassogène. L'analyse par pyrolyse Rock-Eval sur sédiments bruts montre des teneurs en carbone organique généralement comprises entre 1 et 2 %. Cette m.o. homogène dont l'index d'hydrogène est compris entre 100 et 150 indique une provenance depuis des végétaux terrestres avec un enfouissement rapide permettant une bonne protection. L'analyse des kérogènes avec un rapport H/C voisin de 0,9 semble confirmer cette hypothèse. Le rapport C/N relativement variable (4 à 12) indique une diagenèse plus ou moins poussée. L'analyse plus détaillée sur 4 stations permet de mettre en évidence dans les sites profonds 11 et 12 une matière organique plus fragile et moins condensée que celle des stations 13 et 19, avec notamment une plus grande richesse en acides humiques et fulviques. De même [10] dans les horizons superficiels des stations 13 et 17, la présence de nombreux composés pentacycliques saturés et insaturés suggèrent une dégradation déjà importante du matériel, sans que l'on puisse exclure également une contamination des sédiments par des produits fossiles. Enfin, l'activité bactérienne régnant dans les sédiments, est soulignée par l'abondance des acides gras ramifiés, cycliques et insaturés tels que les $C_{18:1\omega7}$ et $C_{19:1\omega10}$. L'importance de la série ramifiée croît de la fraction grossière ($>50 \mu\text{m}$) vers la fraction fine ($>5 \mu\text{m}$), et suggère un degré d'association différent entre micro-organismes et support organo-minéral. La station 11 située dans une fosse du bassin Sud-Makassar montre une matière organique particulière riche en acides humiques et fulviques, plus fonctionnalisée et moins condensée

que dans les autres carottes et proche de celle de la station 12.

Etudes microbiologiques

Les études de numérations bactériennes ont montré une nette dominance de la microflore aérobie, les effectifs les plus importants étant situés dans le niveau superficiel (0-2 cm), où ils sont toujours supérieurs à 10^7 bactéries par ml de sédiment, pouvant atteindre 10^8 bact/ml (st.15) à 10^6 bact/ml (st.11). Le nombre de bactéries hétérotrophes aérobies diminue plus ou moins rapidement avec l'enfouissement. Elles peuvent disparaître dès le niveau 10-12 cm (st. 19), ou au contraire, être présentes à 450 cm d'enfouissement (st. 11 et 12). Ces résultats sont confirmés par les études de cinétique d'acides aminés ^{14}C qui mettent en évidence une forte activité respiratoire toujours plus active dans les niveaux de surface et qui se trouve favorisée par rapport aux processus de synthèse [4]. Les études taxonomiques effectuées sur les bactéries hétérotrophes aérobies ont permis de mettre en évidence des similitudes, au niveau des potentialités cataboliques, entre les souches provenant des stations peu profondes (st. 13 et 17). Ces souches utilisent essentiellement des monomères, et ne synthétisent pas d'exo-enzymes permettant l'hydrolyse des polymères en monomères. Les communautés bactériennes, peu diversifiées dans les stations peu profondes, deviennent hétérogènes dans les stations plus profondes. Cette diversité semble en relation avec le mode de mise en place des sédiments. En effet, les études expérimentales de remises en pression donnent deux types de réponse des populations bactériennes. Ceci traduit l'existence d'une population adaptée aux conditions de pression des fonds marins et d'une population sensible aux variations de pression et amenée par des écoulements gravitaires.

Parmi les populations bactériennes anaérobies étudiées, les bactéries hétérotrophes anaérobies fermentatives, avec des effectifs variant entre 10^3 et 10^4 bact/ml sont les plus abondantes, et les plus ubiquistes, puisque présentes dans les sédiments de toutes les stations où elles ont été recherchées, et à tous les niveaux sédimentaires étudiés. Les bactéries sulfato-réductrices, avec des effectifs plus restreints (6 à 250 bact/ml) sont toujours présentes dans les sédiments superficiels, mais disparaissent rapidement avec l'enfouissement, et sont généralement absentes au-delà de 50 cm. Des bactéries méthanogènes ont pu être mises en évidence [11] dans les sédiments de 3 stations seulement (st. 11, 13 et 15), leurs effectifs variant entre 6 et 25 bact/ml. Ces bactéries, particulièrement sensibles à l'oxygène, ne peuvent se développer que dans des zones soumises à des apports importants de matière organique dont la dégradation, dans un premier temps par des bactéries aérobies, entraîne la disparition de l'oxygène, et permet l'établissement de conditions anoxiques. Ces conditions sont facilement obtenues dans les stations 13 et 15, situées près du delta (teneurs en carbone organique et en azote total élevées). La station 11, bien que située dans une fosse (1990 m) présente des caractéristiques tout à fait inattendues, avec des teneurs en carbone et azote particulièrement élevées (les plus élevées enregistrées au cours de la mission), sous-entendant un apport important de matière organique et une sédimentation rapide [9]. Ceci est vérifié par une biomasse importante, une synthèse nucléotique cellulaire et une activité respiratoire intenses, ainsi que par la présence de bactéries hétérotrophes aérobies, hétérotrophes anaérobies fermentatives et sulfato-réductrices sur respectivement les 450, 650 et 150 premiers cm.

En conclusion, l'originalité du détroit de Makassar provient de sa position morpho-structurale particulière. Ce bassin semi-fermé est situé entre la marge passive stable de Bornéo qui appartient au bloc asiatique et la marge jeune, tectoniquement active des Célèbes qui constitue la bordure chevauchante de la plaque indo-australienne. Comme sur beaucoup de marges stables à plate-forme relativement développée (Poutiers et al., in 5), les périodes glacio-eustatiques de haut niveau marin correspondent à un blocage des sédiments sur les plate-formes. Les sédiments rencontrés dans le domaine abyssal proviendraient surtout de l'île de Sulawesi aux reliefs très jeunes. Les matériaux qui arrivent dans le bassin sont très frais tant du point de vue minéralogique (riches en chlorites et feldspaths) que géochimiques (riches en acides humiques et fulviques). Leur mise en place rapide par l'intermédiaire de courants gravitaires permet une relative conservation de la m.o. d'origine essentiellement continentale, mais peut créer des conditions favorables exceptionnelles en milieu profond pour les bactéries méthanogènes. Au contraire, en période de bas niveau marin, la plate-forme du Kalimantan et la Mahakam participent fortement à l'alimentation du milieu profond. Les matériaux qui ont subi un temps de résidence dans le bassin sédimentaire et le delta sont déjà plus évolués tant du point de vue minéralogique que géochimique. Dans les deux cas, l'abondance des matériaux issus du continent occulte la sédimentation marine, tant pour le zoo que pour le phytoplancton.

Bibliographie

- (1) R. Boichard, P.F. Buroillet, B. Lambert et J.M. Villain, 1985
Notes et Mémoires n° 20, Total-Compagnie Française des Pétroles, 103 p.
- (2) S. Castanier, 1987
Thèse d'Etat, Univ. Nantes, 541 p.
- (3) M. Vandembroucke, R. Pelet, M. Fabre, 1988
Rapport I.F.P., n° 36330
- (4) R. Buscaill, 1989
Thèse d'Etat, Université Perpignan
- (5) Géochimie organique des sédiments marins d'Orgon à Misedor, 1983
Editions du C.N.R.S. Paris, 479 p.
- (6) Le sondage Misedor, 1987
Editions Technip Paris, 483 p.
- (7) A.G. Ilahude, M. Ewald, C. Belin, 1987
E.E.C. Seminal on Marina Sciences, April, Manilla, Philipines
- (8) J. Gayet, J.C. Faugères, E. Gonthier, Cl. Latouche, N. Maillet, à paraître
Tour du Monde Jean Charcot
- (9) J.C. Faugères, J. Gayet, E. Gonthier, 1989
Bull. Soc. Géol. Fr., à paraître
- (10) A. Barouxis, P. Scribe, J. Dagaut, A. Saliot, 1988
Org. Geochem. in press
- (11) D. Marty, J. Garcin, 1987
Oceanol. acta. 10, 2, 249-253.