

**LES MATIERES ORGANIQUES SEDIMENTAIRES
EN MILIEU TROPICAL DELTAIQUE RECENT
(DELTA DE LA MAHAKAM, BORNEO, INDONESIE)**

**Sedimentary organic matter in a modern tropical delta
(Mahakam delta, Borneo, Indonesia)**

M. HARDY*

ABSTRACT

The modern Mahakam Delta is located on the East equatorial coast of Borneo. It is a mixed fluvial and tidal dominated delta.

Sedimentary organic matters are classified within a number of deltaic depositional environments (distributary and tidal channels, delta plain swamps, subtidal platform, delta front, prodelta, continental shelf). The classification identifies the origins of organic debris, and the levels of degradation for the phytoclasts (organic remains of terrestrial plants). Four states of degradation (preserved, infested, degraded, destroyed) are determined based on three dichotomic characters (presence / absence of intracellular gels, of transversal cell walls, and of longitudinal cell walls). These four degradation states represent a gelifical scale.

Studies under fluorescence light confirm the relation between the progressive degradation of cell walls and dense degree of gelification.

In sediments from the Mahakam river inshore to the prodelta offshore, phytoclasts are strongly dominating organic matter assemblages. Wood remains are proportionally minor components in all deltaic and shelf depositional environments investigated.

A few examples illustrate quite unexpected results from this study. Accordingly, it underscores that processes involved in deposition and preservation of sedimentary organic matter are poorly understood. Researches on modern sediments and especially fundamental for the reliability of palynofacies applications, as to aids paleoenvironmental interpretation in ancient rocks.

* Université de Liège, Belgique.
Louisiana State University, CENEX, Dpt. of Geology and Geophysics, Baton Rouge,
LA70803, USA

RESUME

Le delta de la Mahakam est situé sur la côte Est de l'île de Bornéo, à une centaine de kilomètres au sud de l'équateur. Les facteurs dynamiques qui contrôlent la sédimentation sont régis par l'interaction de la marée et de l'écoulement fluvial.

Dans le bassin de la Mahakam, la sédimentation deltaïque, active depuis le Miocène moyen, s'est traduite par le dépôt d'épaisses séries pétrolifères

Dans les milieux deltaïques tropicaux étudiés (chenaux distributaires et de marées, marais de la plaine deltaïque, plate-forme subtidale, delta-front, prodelta, plateau continental), il est possible de classer les différentes matières organiques sédimentaires. La classification mise au point vise à identifier l'origine des débris et, pour les phytoclastes (débris végétaux d'origine terrestre), les niveaux de dégradation. Ceux-ci sont basés sur trois critères (présence/absence de gels intracellulaires, de parois cellulaires transversales et de parois longitudinales) qui définissent dichotomiquement quatre stades de dégradation (préservé, infesté, dégradé, détruit). Ces derniers représentent également une échelle de gélification.

L'analyse de la fluorescence confirme la relation entre la dégradation progressive des parois cellulaires et le degré de gélification.

Les sédiments sont fortement dominés par des débris végétaux non ligneux, de la rivière Mahakam en amont jusqu'au prodelta en aval. Les fragments de bois sont proportionnellement peu abondants dans tous les environnements de dépôt.

Les quelques résultats présentés sont souvent inattendus, et montrent que les études portant sur des sédiments récents sont nécessaires pour comprendre les processus contrôlant la sédimentation des matières organiques.

INTRODUCTION

Le delta de la Mahakam est situé sur la côte Est de l'île de Bornéo, bordant le détroit de

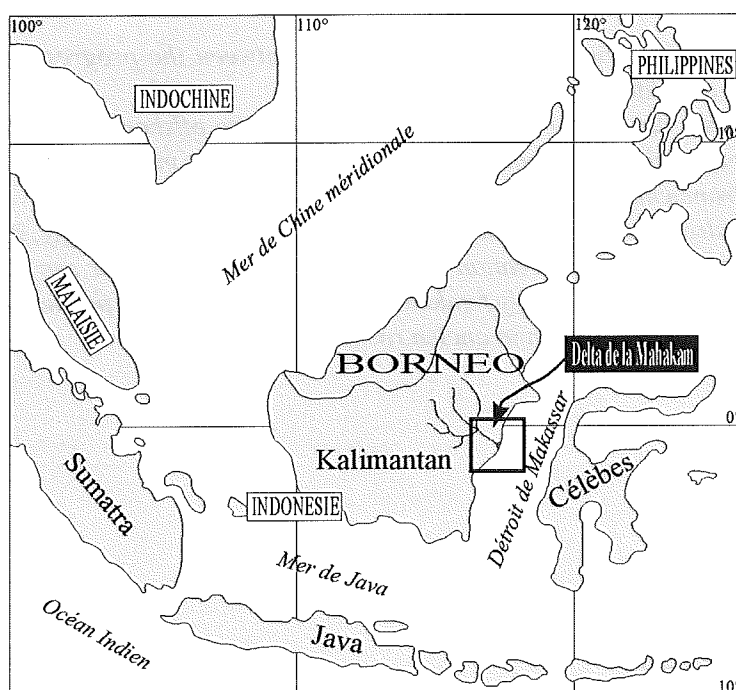


Fig. 1 - Situation géographique du delta de la Mahakam.

Makassar à une centaine de kilomètres au sud de l'équateur (Fig. 1). Le delta se trouve donc soumis à un climat de type équatorial, avec peu de variations saisonnières de température (moyenne annuelle de 26°C) et de pluviosité (moyenne annuelle de 2200 mm).

Les facteurs dynamiques qui contrôlent la sédimentation sont régis par l'interaction de la marée et de l'écoulement fluvial. Deux réseaux de chenaux se distinguent au travers du delta : les chenaux distributaires, rectilignes, et les chenaux de marées, déconnectés du système distributaire, très sinueux en amont et évasés en aval (ALLEN *et al.*, 1979). La succession des communautés végétales implantées sur la plaine deltaïque est contrôlée par l'influence de la marée. La mangrove borde la ligne de rivage, qui fait place vers l'amont à la plaine à *Nypa fruticans* recouvrant 2/3 de la plaine deltaïque, et à la forêt à *Heritiera littoralis* formant une transition entre les peuplements de *Nypa* et la forêt ombrophile tropicale (DUTRIEUX *et al.*, 1990).

Le plateau continental au large du delta de la Mahakam est représenté par des environnements sédimentaires mixtes, à la fois siliciclastiques et carbonatés. Tandis que la plate-forme subtidale est de morphologie complexe et de lithologies variées, les sédiments du delta-front (talus) sont presque exclusivement des boues organiques noires, en transition avec les boues fossilifères vert olive des sédiments du prodelta. Les parties distales nord et centrale du plateau continental se distinguent par de larges formations carbonatées (bioherms), produites par des algues vertes calcaires de type *Halimeda* (ROBERTS & SYDOW, 1996).

Dans le bassin de la Mahakam, la sédimentation deltaïque, active depuis le Miocène moyen, s'est traduite par le dépôt d'épaisses séries pétrolifères (COMBAZ & DE MATHAREL, 1978).

METHODES DE TRAVAIL ET RESULTATS

Pendant deux saisons de terrain réalisées par H. Roberts et J. Sydow (Coastal Studies Institutes, Louisiana State University) en 1993 et 1994, une collection d'échantillons de sédiments de surface provenant des environnements de dépôt mixtes du plateau continental a été rassemblée. De plus, une cinquantaine de carottes de sondage ont été récoltées dans les quatre zones de végétation de la plaine deltaïque. La collection est complétée par une série d'échantillons de surface provenant des chenaux distributaires, des chenaux de marée du delta, de la plate-forme subtidale, et des sédiments côtiers (WRENN & HARDY, 1994, Cenex, Louisiana State University).

Au total, 200 échantillons ont été traités et analysés pour la palynologie. La méthode de traitement des échantillons comprend une attaque des composants minéraux par les acides HCl et HF, suivie d'une filtration à l'aide d'une microprobe à ultrasons sur un tamis de 10 µm. Pour les comptages du palynofacies, 400 à 500 particules par échantillon sont déterminées. Les matières amorphes, partiellement détruites lors de la filtration, ne sont pas dénombrées en raisons de problèmes de comptage dus à la nature même de ces matières qui tentent de s'agglutiner. De plus, suite aux travaux de GASTALDO *et al.* (1996), leur intérêt paraît discutable à cause de leur caractère ubiquiste en milieux deltaïques tropicaux.

Dans les environnements deltaïques décrits plus haut, les sédiments continentaux (eaux douces et saumâtres) et marins sont extrêmement riches en débris végétaux d'origine terrestre. Ces débris végétaux dominent le faciès organique (palynofacies) à plus de 70% par rapport aux débris d'origine marine, de la rivière Mahakam en amont jusqu'à la partie la plus distale du

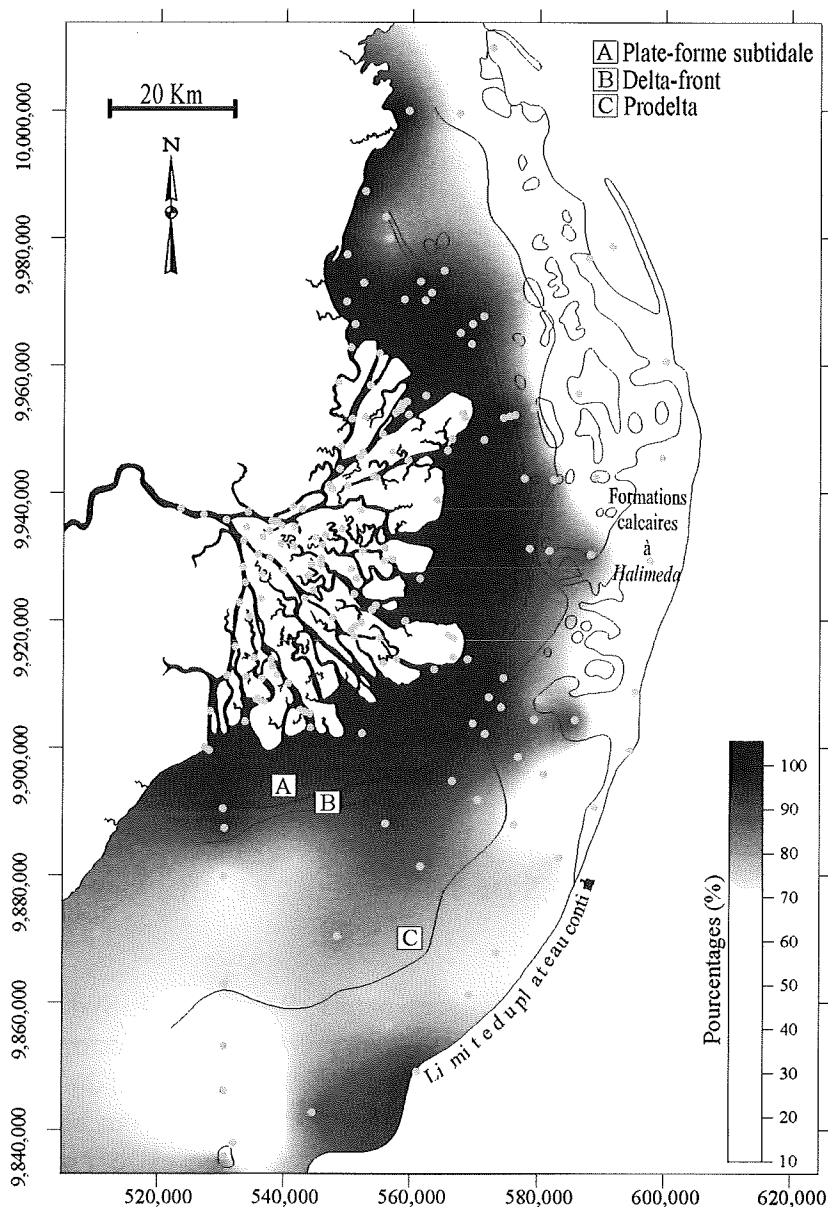


Fig. 2 - Distribution des pourcentages relatifs des matières organiques d'origine végétale terrestre (% maximum en gris foncé) versus d'origine marine (% maximum en blanc). Dans les matières organiques terrestres sont inclus les pourcentages des phytoclastes, cuticules, résines, débris noirs, et pollen/spores ; et dans les matières d'origine marine, les pourcentages des foraminifères organiques, œufs de copépodes, tintinides, membranes fines, et palynoclastes. Les points gris indiquent la position des échantillons. Les limites morphologiques du plateau continental sont extraites des travaux de Roberts et Sydow (1996).

prodelta (Fig.2). Il faut cependant noter les pourcentages de 90 à 100% de matières organiques d'origine terrestre dans quelques échantillons prélevés au niveau de la limite du plateau continental (partie sud). Les études séismiques et sédimentaires (ROBERTS & SYDOW, 1996) ont montré que ceux-ci proviennent de sédiments deltaïques du Pléistocène (lowstand shelf edge delta), exposé actuellement par érosion.

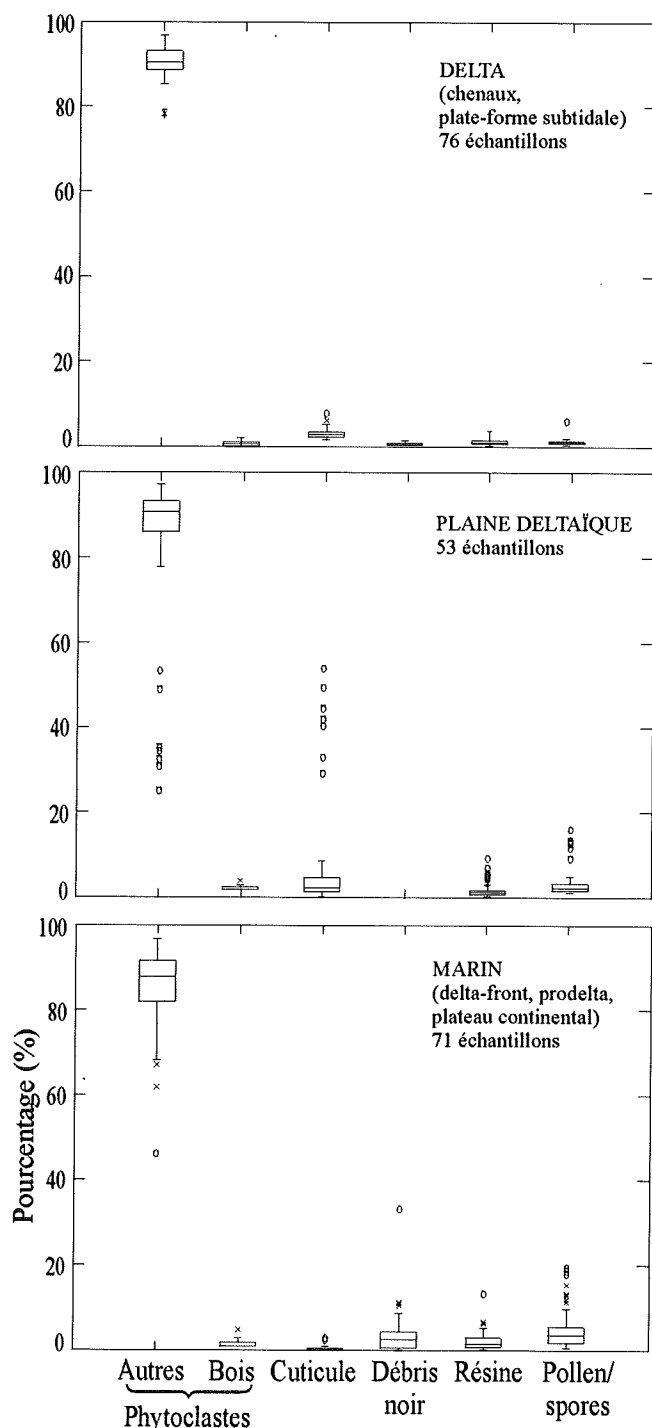


Fig. 3 - Boxplots (médiane, quartiles gauche et droit, et valeurs extrêmes) présentant les variations des pourcentages des 6 catégories de matières organiques végétales terrestres dans 3 milieux sédimentaires (3 groupes d'échantillons).

Parmi les débris végétaux d'origine terrestre, six catégories sont aisément identifiables au microscope à lumière transmise : les cuticules, les résines, les débris noirs (possiblement charbon de bois), les pollen/spores, et le groupe des phytoclastes (ligneux et autres). Les phytoclastes incluent donc tous les autres types de fragments de plantes, ligneux ou non (bois, racines, écorces, pétioles, etc.). Les restes de bois se distinguent des autres fragments non ligneux par leur morphologie caractéristique (parois cellulaires épaisses et ponctuations).

Les proportions relatives des six différents types de débris végétaux sont mises en rapport avec les milieux deltaïques sédimentaires (Fig.3). Les palynofacies des environnements de dépôt du delta de la Mahakam et du plateau continental sont fortement dominés par les phytoclastes non ligneux. Par ailleurs, de la plaine deltaïque vers la pleine mer, on constate un très faible enrichissement progressif (3-6%) en débris plus résistant au transport ou à la dégradation (bois, débris noirs, résines, pollen/spores) que les phytoclastes non ligneux. Ces derniers sont vraisemblablement constitués de cellulose ou de composés dérivés résultant de transformations biochimiques de la cellulose.

Dans les milieux deltaïques tropicaux (chenaux distributaires et de marées, marais de la plaine deltaïque, plate-forme subtidale, delta-front, prodelta, plateau continental), il est possible de reconnaître et de classer les différentes matières organiques sédimentaires. HART (1986) a publié

la seule classification qui tienne compte des degrés de préservation des particules organiques. Les critères utilisés pour classer cinq stades de dégradation des phytoclastes sont basés sur l'étendue des infestations par les Champignons et bactéries, la préservation des structures cellulaires et la silhouette externe des particules.

Cependant, comme le note TYSON (1995, p. 364), la classification de Hart a le désavantage de ne pas proposer de critères diagnostiques objectifs, ce qui dès lors, la rend subjective et difficile à utiliser avec cohérence. De plus, dans le cas des matières organiques provenant du delta de la Mahakam, les phytoclastes ne sont pas nécessairement infestés ni par du mycelium de Champignons, ni par des bactéries, mais présentent néanmoins clairement des niveaux de préservation distincts.

Pour remédier à ces problèmes, des critères dichotomiques, applicables systématiquement à tous les phytoclastes, ont été développés. La classification mise au point vise à identifier l'origine des débris et, pour les phytoclastes, les niveaux de dégradation. Les niveaux de dégradation des phytoclastes sont basés sur le degré de gélification, incluant la présence ou l'absence de parois

			Caractéristiques des phytoclastes			
Parois cellulaires	Critères dichotomiques	Longitudinaux	+	+	+	-
		Transversaux	+	+	-	-
Gels		-	+	+	+	
Espaces intracellulaires						
	Types de contamination	Champignon	+/-	+/-	+/-	?
		Pyrite	+/-	+/-	+/-	+/-
NIVEAUX DE DEGRADATION			Préservé	Infesté	Dégradé	Détruit
			GELIFICATION			

Fig.4 - Schéma illustrant la présence (+) ou l'absence (-) de caractéristiques morphologiques (critères dichotomiques et types de contamination) des phytoclastes, afin de déterminer les niveaux de dégradation. Ceux-ci représentent également une échelle de gélification.

cellulaires transversales et longitudinales préservées, et de gels intracellulaires. Ce sont ces trois critères qui définissent dichotomiquement quatre stades de dégradation (préservé, infesté, dégradé, détruit). Pour chaque niveau de dégradation, deux sous-groupes sont reconnus par la présence ou l'absence de contamination par la pyrite ou par le mycelium de Champignon (Fig. 4). L'infection bactérienne des phytoclastes, bien que vraisemblablement présente, est malaisément identifiable lors de comptage de routine à un grossissement de 400 fois.

L'analyse de la fluorescence des phytoclastes appartenant à ces quatre niveaux de dégradation sous lumière bleue (excitation entre 450-490 nm), confirme l'adéquation des critères dichotomiques retenus. La relation entre la dégradation progressive des parois cellulaires et le degré de gélification est reflétée dans l'intensité et la couleur de fluorescence de ces matières : fluorescence intense jaune pour les phytoclastes préservés, fluorescence jaune moins intense pour les phytoclastes infestés dont les gels intracellulaires ont une fluorescence brun clair terne, fluorescence jaune à orange des parois longitudinales uniquement pour les phytoclastes dégradés, le reste du fragment est quasi non fluorescent, et les phytoclastes détruit ne fluorescent plus.

Parmi les nombreuses hypothèses émises au début de cette étude des matières organiques sédimentaires en milieu tropical deltaïque et marin récent, très peu se sont révélées correctes. Les résultats interprétés jusqu'à présent sont d'autant plus intéressants qu'ils sont souvent inattendus. Afin d'illustrer ceci, quelques exemples sont brièvement résumés ci-dessous:

Bien qu'il fut logique de s'attendre à ce que les débris de bois (plus résistant à la dégradation que les débris non imprégnés de lignine) dominant le palynofacies, ce sont les phytoclastes non ligneux qui surpassent amplement les autres matières organiques. De plus, il est également démontré que cette faible représentation n'est pas le résultat d'un tri (par exemple par flottement des bois se déposant plutôt au large du delta), mais que les fragments de bois sont simplement proportionnellement peu abondants. D'autre part, il était envisageable de distinguer les chenaux de marées des chenaux distributaires par la composition du palynofacies (par exemple, par la présence de matières organiques sédimentaires d'origine marine acheminée dans les chenaux de marée). Non seulement cette hypothèse s'est montrée inexacte, mais ce sont les matières végétales d'origine terrestre qui dominant le palynofacies 20 à 40 km au large du delta, jusqu'au prodelta. Par ailleurs, alors qu'il était concevable de trouver des kystes de dinoflagellé en concentration croissante le long d'un transect du delta à la limite du plateau continental, ce ne sont que d'assez rares kystes qui se retrouvent sporadiquement dans les échantillons.

CONCLUSION

Ces quelques résultats inattendus montrent que la simple logique ne donne pas forcément une réponse fiable. Or, l'utilisation conventionnelle des interprétations d'analyse de palynofacies de roches anciennes sont justement fondées sur ce principe, et peu sur une connaissance des processus contrôlant la sédimentation des matières organiques. Ces processus de dispersion et de préservation par exemple sont manifestement encore assez peu connus, et les études portant sur des sédiments récents sont nécessaires pour les comprendre.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, G.P., LAURIER, D. & THOUVENIN, J., (1979) *Etude sédimentologique du delta de la Mahakam*. Notes et Mémoires, TOTAL Compagnie Française des Pétroles, 15, 153 pp.
- COMBAZ, A. & DE MATHAREL, M. (1978) Organic sédimentation and genesis of petroleum in Mahakam Delta, Borneo. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 62, 1684-1695.
- DUTRIEUX, E., DENIS, J & POPULUS, J. (1990) Application of SPOT data to a base-line ecological study of the Mahakam delta mangroves (East Kalimantan, Indonesia). *Oceanologica Acta*, 13, 317-326.
- GASTALDO, R.A., FENG, W. & STAUB, J.R. (1996) Palynofacies patterns in channel deposits of the Rajang River and Delta, Sarawak, East Malaysia. *Palaos*, 11, 266-279.

- HART, G.F. (1986) Origin and classification of organic matter in clastic systems. *Palynology*, 10, 1-23.
- ROBERTS, H.H. & SYDOW, J. (1996) The offshore Mahakam Delta : stratigraphic response of Late Pleistocene to Modern sea-level cycle. *Proceedings of the Indonesia Petroleum Association*, 25, 147-162.
- TYSON, R.V. (1995) *Sedimentary organic matter, organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall, London, 615 pp.