

# La sédimentation au Quaternaire récent dans le delta du Nil : évolution de la dynamique et de la minéralogie des dépôts

Hassan ISMAËL<sup>(1)</sup> et Mireille DELAUNE-MAYÈRE<sup>(2)</sup>

---

**Résumé :** Des analyses sédimentologiques ont été effectuées sur les sédiments quaternaires d'une série de coupes (de 3 à 4 m) dans la plaine côtière du delta du Nil ainsi que dans deux îles, en amont du Caire et à la pointe du Delta. Les sédiments des îles sont très remaniés et soumis à la fois aux actions fluviales et à une contamination par les sables du désert adjacent.

Dans la plaine côtière on peut distinguer deux milieux de sédimentation différents :

- En profondeur, des niveaux sableux dont le cortège minéralogique est dominé par l'association épidotes/amphiboles et qui seraient apparentés aux formations de la plaine fluviale ancienne (Pléistocène moyen).
- En surface, des sédiments fins, déposés dans des lagunes et des cuvettes d'inondation et dont le cortège de minéraux lourds est constitué en majorité de pyroxènes. Ces sédiments limoneux marquent le début de la dynamique actuelle du fleuve.

**Mots-clés :** Quaternaire récent - Delta du Nil - Granulométrie - Minéraux lourds.

**Abstract :** Depositional environments of upper Quaternary deposits in Nile Delta : evolution of sedimentation and mineralogy of sediments. Sedimentological studies have been made on several logs (3 to 4 m) in the littoral plain of Nile Delta, as also in two islands above Cairo and at the Point of Delta.

In Islands the sedimentation is reworked and submitted to fluvial and eolian processes.

In the offshore plain of Delta two kinds of deposits are present : in the depth they are coarse sediments with the association epidotes/amphiboles. These deposits are related to the formations of the old fluvial plain (Middle Pleistocene). On the surface, we find younger clayed sediments deposited in brackish waters ; the prevailing mineral is the pyroxene (augite) like in the actual suspensions of Nile.

**Key words :** Quaternary - Nile Delta - Size analysis - Heavy minerals.

---

## INTRODUCTION

Le delta du Nil, de forme triangulaire, est compris entre deux branches du fleuve, les branches Rosette, à l'ouest et Damiette à l'est et les limites entre les sédiments deltaïques et le désert adjacent suivent d'anciennes lignes de rivage (NILSEN, 1973).

L'origine du fleuve remonterait à la fin du Miocène (SAID, 1982) à la suite de l'assèchement de la Méditerranée et de l'abaissement consécutif du niveau de base, et ce n'est qu'au Pliopléistocène que le delta commence à s'édifier par accumulation rapide des dépôts grossiers amenés par le Nil.

A l'Holocène, la sédimentation dans le Delta est plus fine, à dominance limoneuse et relativement homogène. Les processus de progradation sont continus et le taux moyen de sédimentation est de 0.9 m/m par an (ISMAËL, 1977).

---

(1) 4, rue Abdel Hamid el Dib Ganaklise, Alexandrie.

(2) Laboratoire des Séries Sédimentaires, ORSTOM, Bondy.

La zone littorale subit l'influence des variations du niveau marin ; en effet, une régression importante se situe à la base de l'Holocène et la ligne de rivage se déplace vers le nord, de 50 km par rapport à l'actuelle. Puis, vers 3500/4500 BP (BUTZER, 1959), une transgression amène l'envahissement des zones littorales du Delta par la mer, la formation de lagunes et de marécages bordés par des cordons sableux (NIELSEN, *op. cit.* ; SHATA & SHATA, 1986).

Actuellement, le Nil mesure 6 500 km ; d'Atbara jusqu'à la mer, soit sur une longueur de 2 766 km, il ne reçoit plus aucun tributaire (KAHDR, 1961) (fig. 1).

Un tel système fluvial se prête évidemment très bien aux études sédimentologiques car il est aisé de suivre jusqu'à la mer l'évolution du stock sédimentaire qu'il transporte. Par ailleurs, si certains phénomènes pédogénétiques (lessivage des argiles) ont modifié la texture du sédiment originel dans certains niveaux du Delta (ISMAËL, *op. cit.*), les minéraux primaires des sables, par contre, n'ont pas subi d'altération très poussée et on peut considérer que la minéralogie des sédiments reflète bien les conditions de dépôt (SHUKRI, 1950 ; KAHDR, 1961).

Les sédiments deltaïques quaternaires ainsi que la charge solide transportée par le Nil et ses tributaires ont donc fait l'objet de nombreuses études tant du point de vue minéralogique que textural (BALL, 1939 ; ATTIA, 1954 ; BUTZER, 1959 ; SHUKRI, 1950 ; HILMY, 1951 ; KAHDR, 1961 ; KHOLIEFF *et al.* ; 1969 ; NABHAN *et al.*, 1969 ; SNEH *et al.*, 1986 ; STANLEY and LIYANAGE, 1986). Les résultats présentés ici concernent plus spécialement les sédiments récents du Delta et des îles du Nil, en amont du Caire, également de construction récente (fig. 2a).

## DESCRIPTION DES SECTEURS ÉTUDIÉS

### Le Delta

Au-dessus des graviers et sables grossiers pliocènes et pléistocènes constituant les dépôts « sous-deltaïques » (BALL, 1939), les formations fluviales récentes (Holocène), dont l'épaisseur moyenne est d'une dizaine de mètres (BALL, *op. cit.* ; ATTIA, *op. cit.*) sont représentées par des formations argileuses et limoneuses.

Elles recouvrent les dépôts quaternaires plus anciens, sauf quelques îlots sableux, appelés « dos de tortues » (FOURTEAU, 1915) et localisés dans la partie sud du Delta (fig. 2).

Le taux de sédimentation dans le Delta varie en fonction de la dynamique fluviale (crues, position du point de prélèvement par rapport aux branches actives). Il est vraisemblablement plus faible dans la zone littorale soumise à des phénomènes d'érosion et de remplissage par des argiles très fines.

Si l'on se base sur un taux moyen de 0.9 m/m par an, l'âge des sédiments considérés ici (la hauteur des coupes étant au maximum de 4 m) correspondrait à la période historique (environ 4 000 ans BP). La valeur de ce taux varie d'ailleurs considérablement selon les auteurs ; il est de 0.8 m/m par an pour BALL (1939) et de 1.2 m/m pour ATTIA, par contre, SNEH *et al.* (1986) avancent les chiffres de 5 m pour 1 000 ans dans la région de Port-Saïd.

Pendant cette période, la morphologie du Delta a été transformée, surtout par les actions anthropiques. En effet, c'est d'abord une zone marécageuse, parcourue par 7 bras dont le cours a varié dans le temps ; puis les cultures irriguées s'installent, les bras disparaissent progressivement ne laissant subsister que les deux principaux, à l'est et à l'ouest.

D'autre part, comme nous l'avons signalé plus haut, les oscillations du niveau marin et l'érosion littorale ayant détruit les cordons sableux, la mer a envahi les zones basses du Delta, amenant la formation de lagunes et de marécages, caractérisés par le dépôt de sédiments à caractères fluvio-marins (SESTINI, 1974 ; SNEH *et al.*, *op. cit.* ; STANLEY & LIYANAGE, 1986).

La morphologie actuelle du Delta traduit bien cet antagonisme entre une zone côtière basse et une zone d'accumulation fluviale à pente plus accentuée.

### LOCALISATION DES COUPES

Plusieurs coupes, de 4 m de profondeur, ont été effectuées, essentiellement dans la partie nord du Delta, le long de deux transects. La coupe K (Kuiesna), située à 4 km à l'ouest d'un « dos de tortues » est la plus méridionale. Le transect YY' permet d'observer les variations de la sédimentation du Delta d'est en ouest ; le transect XX' suit un ancien bras du fleuve (fig. 2a). Enfin, trois points isolés (B1 -Sh et Ks) sont situés dans les zones basses soumises aux influences marines ; B2 se trouve sur un cordon littoral (fig. 2a).

### La pointe du Delta et les îles

Bien qu'appartenant à deux domaines apparemment distincts, la pointe du Delta et les îles du Nil ont été étudiées ensemble car elles présentent les mêmes caractères sédimentologiques.

Ce sont des zones instables : la pointe avance vers le sud par l'accumulation des dépôts, due vraisemblablement à la variation de vitesse du courant au moment de la séparation du fleuve en deux branches (ISMAËL, *op. cit.*).

Quant aux îles, elles sont en constante évolution ; leurs contours ont varié au cours des dernières décennies, certaines parties sont érodées (bancs externes des îles et berges du fleuve) alors que d'autres sont le siège d'accumulations (parties inter-

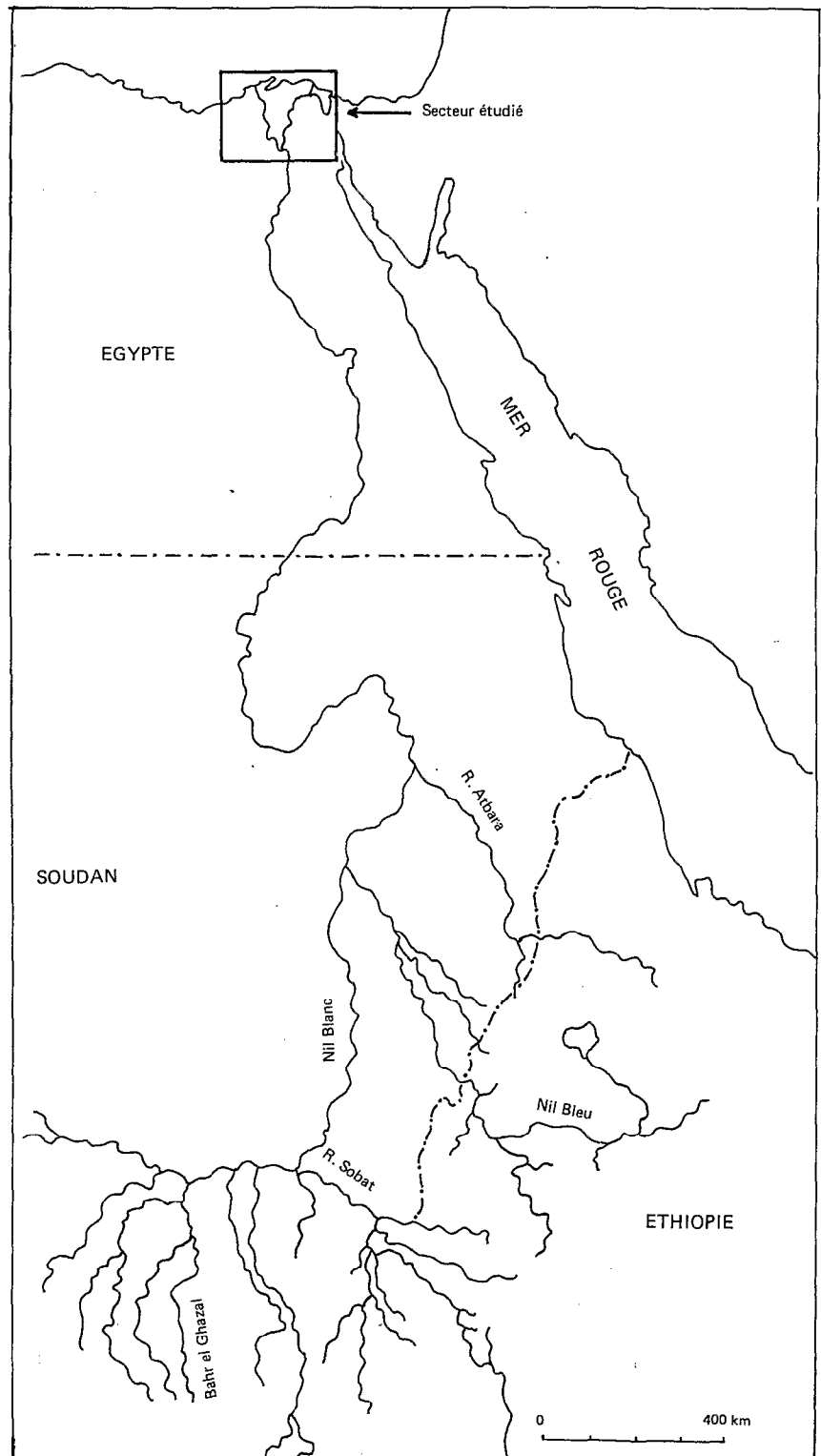


Fig. 1. — Le bassin du Nil et situation de la région étudiée.

*The basin of Nile and situation of the studied zone.*

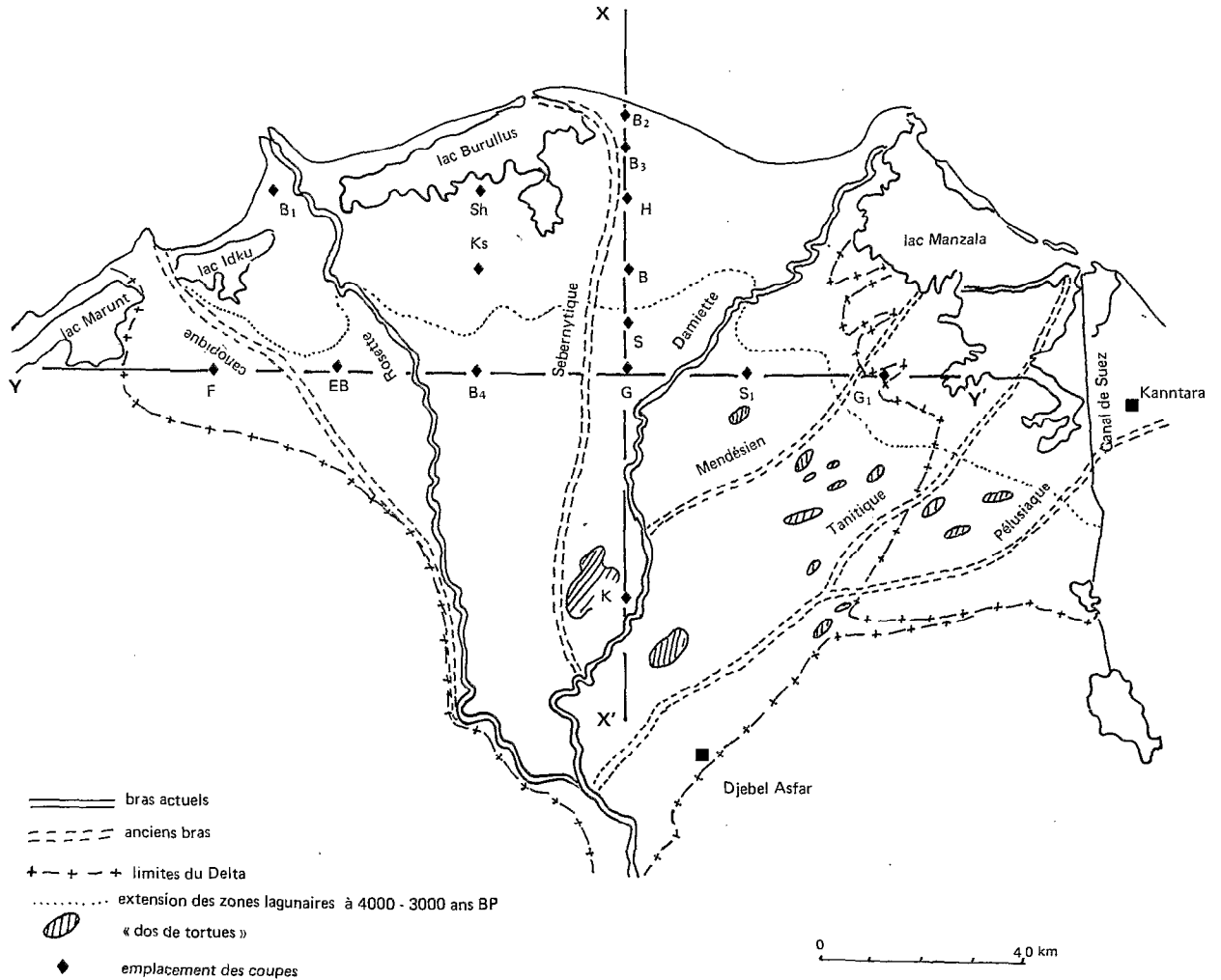


Fig. 2a. — Le delta du Nil et emplacement des coupes.  
*The Nile Delta and situation of profiles.*

nes). Ce phénomène est lié à l'existence de méandres et de courants qu'ils engendrent (KAHDR, *op. cit.*).

#### LOCALISATION DES COUPES

Deux de ces îles ont fait l'objet d'une étude détaillée :  
 — l'île de Karatin au nord du Caire (4 coupes de 3 m de profondeur : une située à la pointe sud, une sur la bordure nord, les deux dernières sont au centre de l'île et suivent d'anciens contours).  
 — une île sur la branche de Rosette, près de la ville de Kanater (deux coupes de 1 m de profondeur au centre de l'île).

La coupe effectuée à la pointe du Delta est à 15 m d'altitude et profonde de 2 m (fig. 2b).

#### GRANULOMÉTRIE

L'évolution de la granulométrie des sédiments déposés par le Nil dans ces deux parties de son cours a été visualisée en fonction de la valeur d'un indice (N : « indice d'évolution ») dépendant de la capacité de transport du courant au moment du dépôt et déterminé à partir de l'équation générale de la courbe

granulométrique de la forme  $Y = a \times N + b$  (avec  $X = \log x$ ). Les valeurs positives de  $N$  correspondent aux dépôts de haute énergie (cours supérieur des rivières et des fleuves, courants littoraux) alors que les valeurs négatives s'appliquent aux sédiments fins, déposés par décantation, les valeurs de  $N$  proches de zéro sont celles de sédiments à l'équilibre (cours inférieur des fleuves, zones d'embouchures) (RIVIÈRE, 1977).

### Les îles et la pointe du Delta

Tous les niveaux analysés ont des indices  $N$  élevés (fig. 3) ; les sédiments sont limono-sableux (médianes comprises entre 10 et 100 microns) sauf dans l'île de Kanater où ils sont sableux (médianes allant de 260 à 370 microns). Certains dépôts présentent des valeurs anormalement élevées de  $N$ ; ce que l'on peut interpréter comme un processus de « maturation » dû à l'élimination progressive des particules fines par un effet de vannage sous l'action des courants (RIVIÈRE, *op. cit.*).

La pointe du Delta présente les mêmes caractéristiques que l'île Karatin (fig. 3).

Ainsi, seuls les sédiments les plus grossiers se déposent sur le cours du fleuve par une diminution progressive de la vitesse du courant.

### Le Delta

A la différence de ce qui se passe dans les îles, la sédimentation dans le Delta apparaît plus hétéro-

gène. Les dépôts exclusivement sableux y sont plus rares : ils forment le cordon littoral (coupe B2 ; médianes égales à 175 microns) et se présentent en minces bancs dans la coupe F, située en bordure du désert ainsi qu'à la partie inférieure de certaines coupes (H et Sh).

Dans l'ensemble, la sédimentation récente du Delta est de texture limoneuse ou argileuse. Les valeurs de l'indice  $N$  sont plus faibles que celles des dépôts des îles (fig. 4), sauf en ce qui concerne les quelques niveaux sableux (cordons littoraux en B1 et B2, bourrelets de berge en G, proche du bras de Damiette, ainsi que les sables de la coupe F). Cette dernière pourrait appartenir à un épisode quaternaire ancien pendant lequel la charge solide du fleuve était plus importante.

Les dépôts par décantation dans des zones calmes (Valeurs négatives de  $N$ ) ne sont pas rares et sont surtout localisées dans la partie littorale du Delta et le domaine oriental ; les dépôts subactuels sont dans l'ensemble fins et proches de l'équilibre.

La répartition dans l'espace suit les grandes zones du Delta (SHATA & SHATA, *op. cit.*).

*Transect XX'* : à l'arrière du cordon sableux (B2), les coupes B3-H-B et S montrent deux niveaux différents (fig. 4) :

— en profondeur, une sédimentation de type fluviale ( $N = 0.04$  à  $0.15$ ) proche de l'état d'équilibre (dans la coupe B3, les valeurs de  $N$  font penser que des cordons sableux existaient à cet endroit ;

— en surface, les sédiments ont des indices  $N$

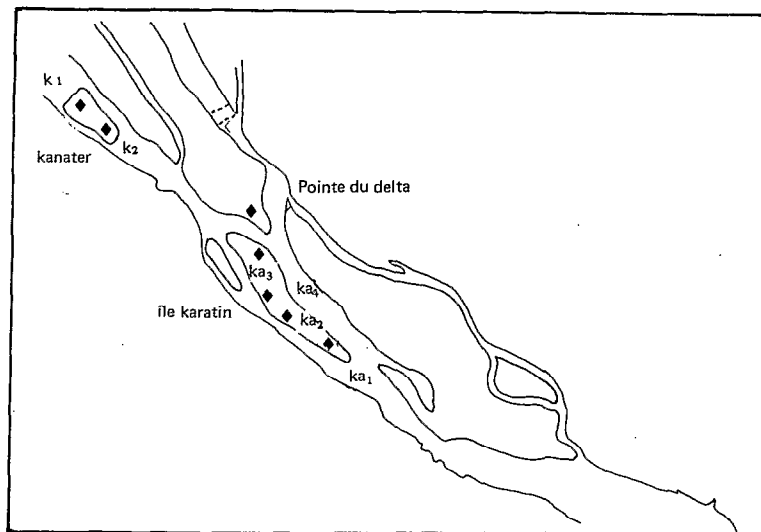


Fig. 2b. — Détail de la pointe du Delta et des îles Karatin et Kanater.  
*The point of Delta and islands near Cairo ; detailed.*

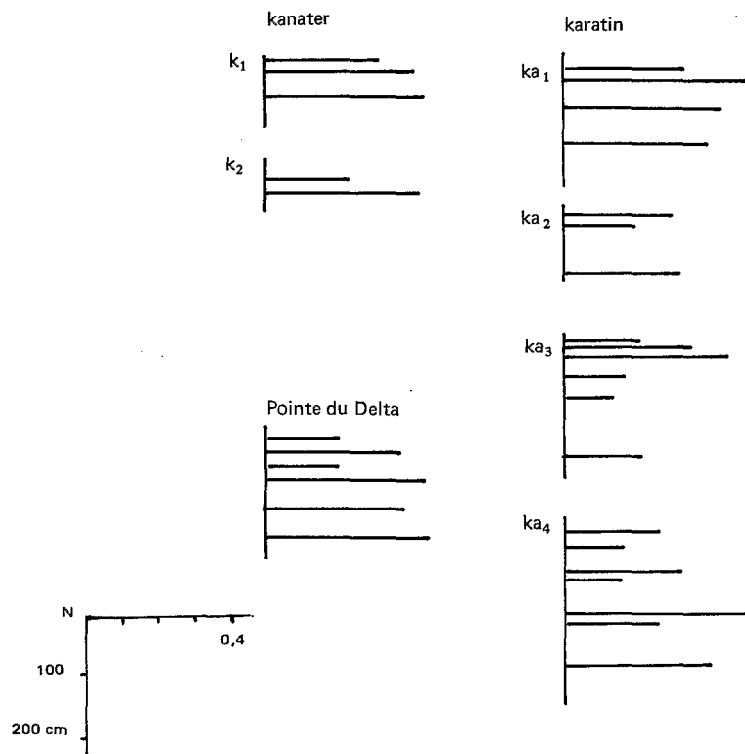


Fig. 3. — Valeurs de l'indice d'énergie N pour les sédiments des îles et de la pointe du Delta.  
*Values of indice of energy N for sediments of islands and the point of Delta.*

négatifs (coupes H et B) ou très proches de zéro (coupes B3 et S) correspondant à une sédimentation littorale ou lagunaire.

Dans la coupe G, cette coupure granulométrique disparaît et la sédimentation varie beaucoup dans le temps peut-être en fonction de la proximité du bras de Damiette.

Sur le transect est/ouest de la zone côtière (coupes B1 - Sh et Ks) on retrouve, du bas vers le haut, les deux niveaux à caractères fluviatiles en profondeur, lagunaire ou lacustre en surface. En B1, proche de l'embouchure du bras de Rosette, les récurrences plus sableuses témoignent, comme en B3, de la formation de cordons littoraux anciens (fig. 4).

La présence de zones inondées dans cette partie du Delta est confirmée par la présence de coquilles de mollusques dans les horizons profonds de plusieurs coupes (fig. 4), mais on ne peut préciser s'il s'agissait de lacs ou de lagunes d'eaux saumâtres, la nature de ces mollusques n'ayant pas été déterminée.

*Transect YY'* : dans la partie orientale du Delta (coupes S1 et G1), la sédimentation est très uniforme, elle

est argileuse et les faciès granulométriques ont des caractères lacustres ou de cuvettes d'inondation ; les niveaux coquilliers sont fréquents. En se rapprochant de l'axe du Delta, on retrouve une sédimentation fluviale s.s. (fig. 4).

Vers l'ouest, la sédimentation a également une texture fine avec des dépôts par décantation ou proche de l'équilibre (valeurs de N proches de zéro) ; on retrouve, ici, l'opposition entre deux niveaux comme dans la zone côtière (coupes EB et B4).

Enfin, la coupe F, à la limite du désert, est tout à fait différente des autres coupes par sa texture plus grossière.

En conclusion, les sédiments des îles et de la pointe du Delta sont des dépôts de haute énergie liés aux variations brutales de courant dans le cours inférieur du fleuve.

Dans le Delta, les sédiments sont plus fins et proches de l'état d'équilibre. La dynamique des dépôts a évolué dans le temps, les sédiments anciens étant dans l'ensemble plus sableux que les sédiments actuels. Ce phénomène s'observe très bien dans la

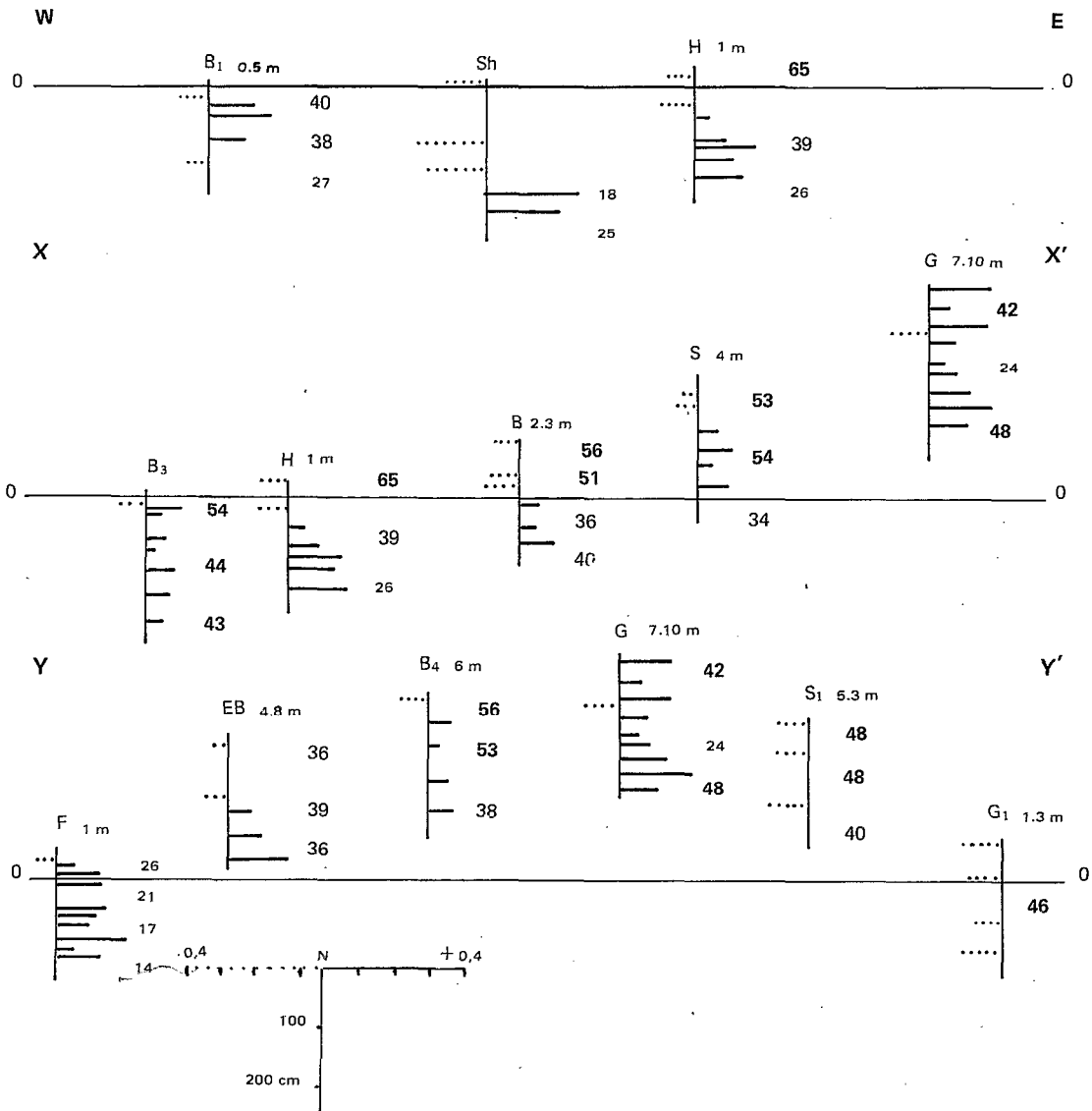


Fig. 4. — Variations de l'indice N pour les sédiments du Delta et teneurs en pyroxènes des différents niveaux.  
Evolution of the N index for the sediments of Delta and amounts of pyroxenes of the different formations.

zone littorale : en profondeur ce sont des dépôts grossiers, en surface des dépôts argileux fins déposés dans les lacs (ou lagunes) formés après la transgression de 3 000/4 000 ans BP.

## MINÉRALOGIE DES SABLES

### Origine des minéraux des sables du Nil

La composition minéralogique (minéraux des sables) des sédiments transportés par le Nil résulte du

mélange des apports de ses différents tributaires qui sont principalement le Nil Blanc, le Nil Bleu et la rivière Atbara (fig. 1).

L'origine des différentes espèces minérales, au nombre d'une vingtaine, a été étudiée par SHUKRI (1950) ; elle se répartit ainsi :

— le Nil Blanc, le Bahr el Ghazal et le Sobat apportent des sédiments caractérisés par la hornblende, la sillimanite et des minéraux opaques ; s'y ajoutent de petites quantités d'épidotes, de grenat, disthène,

staurotide, andalousite, rutile, tourmaline, zircon et sphène (tous ces minéraux sont originaires de l'altération du socle) ;

— *le Nil Bleu* comporte, en abondance, des hornblendes, biotites et oxydes de fer ;

— enfin, *l'Atbara* qui draine les plateaux basaltiques d'Éthiopie est caractérisée par l'augite. Amphiboles, oxydes de fer et biotites y sont beaucoup plus rares que dans les sédiments du Nil Bleu.

La biotite, qui se retrouve en quantités non négligeables dans certains niveaux des formations récentes des îles et du Delta, a une répartition ubiquiste mais est surtout apportée par le Nil Blanc et ses tributaires (rivière Sohat, SHUKRI, *op. cit.*).

Les sédiments transportés par le Nil sont donc formés du mélange de ces trois stocks minéralogiques, mais les apports du Nil Blanc, beaucoup plus faibles, sont dilués par rapport à ceux des autres tributaires ; en effet, pour 57 M de tonnes d'alluvions arrivant au Caire, 55 M proviennent du Nil Bleu et de la rivière Atbara (WILLIAMS *et al.*, 1980). Aussi les sables du cours principal du Nil sont-ils caractérisés surtout par trois minéraux : amphiboles (Nil Bleu), pyroxènes monocliniques (augite) (Atbara) et épidotes (surtout caractéristiques du Sobat, mais également apportées par le Nil Bleu) qui constituent, à eux trois, plus de 80 % des minéraux lourds présents.

Les minéraux provenant des roches métamorphiques

et des granites (zircons, tourmalines, etc.) ne se retrouvent plus qu'à l'état de traces après le confluent avec l'Atbara (SHUKRI, *op. cit.*).

Enfin, la minéralogie des sédiments transportés par le Nil a également évolué au cours du temps. Une coupure importante se produit à la base du Paléolithique inférieur, après la capture par le Nil des rivières provenant d'Éthiopie (fig. 1). Les pyroxènes sont donc absents des dépôts anté-paléolithiques, ce qui constitue un bon repère stratigraphique (KHOLIEFF *et al.*, *op. cit.*). La période historique, enfin, serait marquée par la diminution du pourcentage en amphiboles et, corrélativement, l'augmentation de la teneur en pyroxènes et oxydes de fer (SHUKRI, *op. cit.*).

Les tableaux donnant la composition minéralogique des coupes des îles et du Delta sont reportés à la fin de l'article.

Nous nous sommes intéressés à la répartition des trois minéraux principaux (Pyroxènes, Hornblendes et Épidotes).

### Minéralogie des sables du Delta

Sur le diagramme triangulaire A/P/E (fig. 5a), les différents niveaux analysés se répartissent selon un nuage de points allant d'un pôle où l'amphibole et l'épidote dominant (ces points ne situant toutefois pas dans la zone des dépôts pliocènes et pléistocènes définie par KHOLIEFF) vers un pôle où le pyroxène

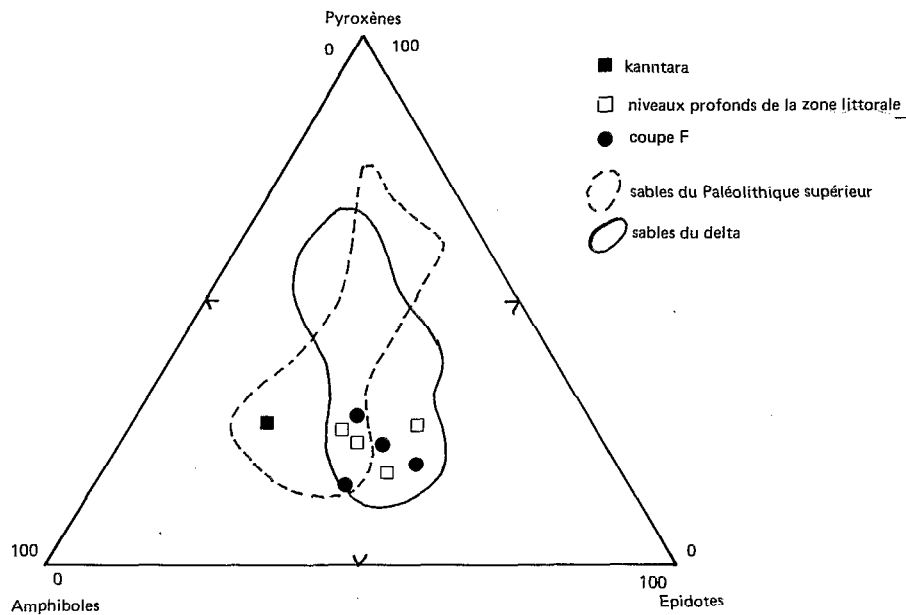


Fig. 5a. — Répartition des pyroxènes, épidotes et amphiboles dans les sédiments de la pointe du Delta et des îles. Comparaison avec les sables des « dos de tortues » (d'après KHOLIEFF *et al.*) et les suspensions du Nil (d'après NABHAN *et al.*).

Triangular diagramm of pyroxenes, epidotes and amphiboles in the sediments of the point of Delta and the islands. Comparison with the « turtle backs » (from KHOLIEFF *et al.*) and the suspensions of Nile (from NABHAN *et al.*).



domine. Une étude plus détaillée de ces deux groupes montre que (fig. 4) :

— les dépôts les plus riches en pyroxènes (pourcentage supérieur à 50) se trouvent essentiellement dans la zone côtière du Delta et, d'autre part, à la partie supérieure des coupes ;

— les dépôts, qui, au contraire, ont des teneurs faibles en pyroxènes (inférieures à 30%), se trouvent également dans la zone côtière mais dans les niveaux les plus profonds (au-dessous de 3 m en B3 — de 3,5 m pour les coupes H et Sh et 1,5 m pour la coupe B1 (fig. 4).

Ainsi, les deux niveaux individualisés par leur granulométrie dans cette partie du Delta montrent également des compositions minéralogiques différentes.

Pour le reste du Delta, la répartition des associations minérales (fig. 4) est la suivante : du nord vers le sud, le long du transect XX' qui suit le tracé d'un ancien bras (fig. 2), on recoupe successivement le cordon littoral sableux, récent, à pyroxènes. Puis la pente du Delta remonte lentement jusqu'à la coupe K. Au niveau de la coupe H, les dépôts deviennent plus fins et s'enrichissent progressivement en pyroxènes. de la base vers le sommet des coupes. Vers le sud, la répartition des sédiments est plus hétérogène et on n'observe plus les niveaux appauvris en pyroxènes des zones littorales. La coupe K est contaminée par des colluvions de sables grossiers venant d'un « dos

de tortues » situé à 4 km (apport de minéraux originaires du socle, fig. 5b).

Sur les bords du Delta, en limite des zones désertiques d'âge plus ancien (Éocène), on observe également un pourcentage plus élevé en minéraux originaires du socle (tourmalines, zircons, rutilés, etc., tabl. II). Par ailleurs, les niveaux profonds sont comparables par leur minéralogie à ceux de la zone côtière du Delta (fig. 4).

### Minéraux des îles et de la pointe du Delta

Ils forment un groupe plus homogène que celui des minéraux du Delta ; les teneurs en pyroxènes varient de 33% à 66% (fig. 5b) et les teneurs en minéraux, sans atteindre celles des suspensions actuelles du fleuve, sont plus élevées que celles des sédiments du Delta.

### DISCUSSION

Les résultats que nous avons obtenus concernant la minéralogie des dépôts récents du delta du Nil ont été comparés à d'autres données publiées sur le même sujet. Nous nous sommes surtout intéressés à celles concernant des formations quaternaires récentes et prélevées dans les formations appartenant aux

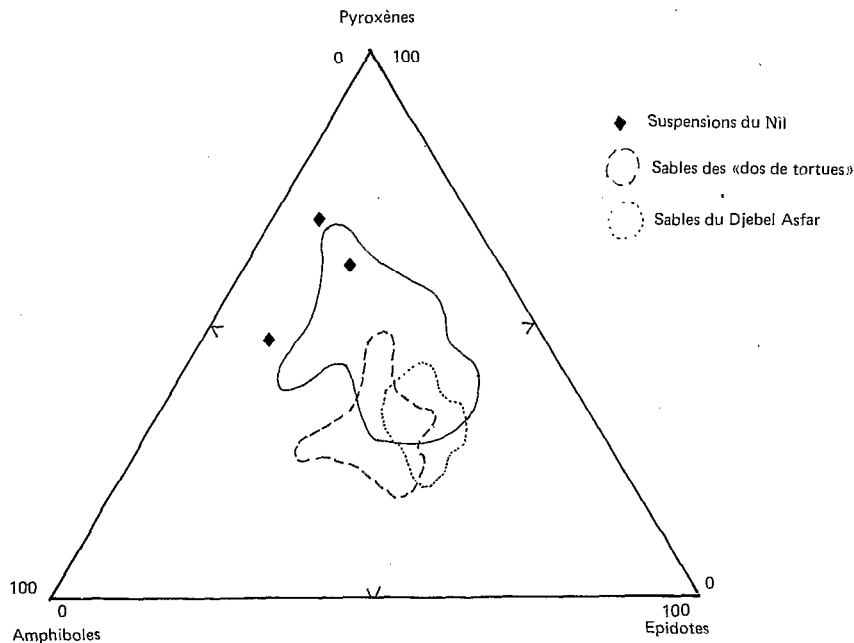


Fig. 5b. — Répartition des pyroxènes, épidotes et amphiboles dans les sédiments du Delta. Comparaison avec les sédiments du Paléolithique supérieur (d'après KHOLIEFF *et al.*).

*Triangular diagramm of pyroxenes, epidotes and amphiboles in the sediments of Delta. Comparison with the sediments of Upper Paleolithic (from KHOLIEFF *et al.*).*

mêmes zones que celles que nous avons étudiées (suspensions du fleuve, NABHAM *et al.* ; sols du Delta, KAHDR ; sables du Quaternaire ancien, KHOLIEFF *et al.*). Nous n'avons, par contre, pas retenu les données de HASSAN (1976) car elles s'adressent à une période beaucoup plus ancienne ; cet auteur a également utilisé un indice basé sur le rapport Pyroxènes/Épidotes et le rapport Pyroxènes/Amphiboles, mais nous n'avons pu l'appliquer dans le cadre présent à titre de comparaison. En effet, HASSAN a effectué ses calculs pour une fraction granulométrique comprise entre 250 et 63 microns alors que les comptages présentés dans cette note comprennent les grains de 300 à 50 microns. Certains minéraux étant souvent mieux

représentés à certains diamètres (d'après les pourcentages fournis par Nabhan, les pyroxènes seraient plus abondants dans la fraction fine), les comparaisons établies entre les indices calculés par HASSAN et ceux calculés sur les sédiments étudiés ici n'auraient pas de valeur significative.

### Minéralogie de différentes formations quaternaires du Delta du Nil

SUSPENSIONS DU FLEUVE (SÉDIMENTATION SUBACTUELLE)  
Trois prélèvements de la charge solide du fleuve au moment des crues ont été étudiés par NABHAM en

Tableau I

Composition minéralogique des sables des îles et de la pointe du Delta (les profondeurs sont en cm)

1. pyroxène ; 2. hornblende ; 3. épidote ; 4. grenat ; 5. zircon ; 6. tourmaline ; 7. rutile ; 8. anatase ; 9. monazite ; 10. andalousite ; 11. sillimanite ; 12. disthène ; 13. staurotide ; 14. sphène ; 15. pourcentage pondéral.

*Frequency distribution of heavy minerals ; sands of islands and the Point of Delta*

1. pyroxene ; 2. hornblende ; 3. epidote ; 4. garnet ; 5. zircon ; 6. tourmaline ; 7. rutile ; 8. anatase ; 9. monazite ; 10. andalusite ; 11. sillimanite ; 12. kyanite ; 13. staurolite ; 14. sphene ; 15. weight.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Kanater</b>															
1-(0-20)	39	15	43					2							1.58
20-45	52	24	21					1	+	1		+			4.52
2 (0-30)	53	27	14	1	+	1	+	2	2		+				2.12
90-100	45	31	18			1		3			+	+	2		1.76
<b>Karatin</b>															
1 (0-40)	46	25	29							+					10.41
(40-70)	57	23	20		+								+		8.80
100-110	66	23	11	+	+										10.35
110-145	52	21	24					1	1	1					3.64
145-200	48	18	34					+							9.16
200-260	58	18	22				+						+		9.28
<b>2</b>															
0-40	54	14	32					+							4.25
40-110	53	25	22										+		2.63
180-220	39	19	42												0.77
<b>3</b>															
0-20	54	22	23					+					1		8.37
20-50	40	22	38	+				+	+	+					15.16
50-70	39	18	43					+		+					12.13
70-100	36	27	37												5.95
100-150	46	20	34								+	+	+		6.52
200-260	33	33	33					1							4.00
<b>4</b>															
20-30	42	20	37					+						1	11.54
30-80	54	17	29	+	+			+		+				+	8.91
80-100	40	22	38					+							0.45
100-110	38	25	36					1							2.38
155-185	43	20	37												1.19
185-215	33	22	45				+	+	+	+			+		3.27
245-285	34	30	36												1.46
<b>Pointe du Delta</b>															
0-20	52	20	28	+											7.10
20-45	50	19	31										+		2.79
45-75	53	13	34												1.41
75-120	45	29	26												3.48
120-170	38	42	16		+	+		4					+		3.41
170-220	52	25	22				+	1							4.49

Tableau II

Composition minéralogique des sables des différents profils dans le Delta. Comparaison avec la composition moyenne des sables éocènes

1. pyroxène ; 2. hornblende ; 3. épidote ; 4. grenat ; 5. zircon ; 6. tourmaline ; 7. rutile ; 8. muscovite ; 9. monazite ; 10. andalousite ; 11. sillimanite ; 12. disthène ; 13. staurotide ; 14. sphène ; 15. apatite ; 16. pourcentage pondéral

Frequency distribution of heavy minerals ; sands of islands and the Point of Delta. Comparison with the mean composition of eocene sands

1. pyroxene ; 2. hornblende ; 3. epidote ; 4. garnet ; 5. zircon ; 6. tourmaline ; 7. rutile ; 8. muscovite ; 9. monazite ; 10. andalousite ; 11. sillimanite ; 12. kyanite ; 13. staurolite ; 14. sphene ; 15. apatite ; 16. weight

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>B<sub>2</sub></b>																
53-90	51	28	17	1		+			2			1	+			5.33
130-170	50	30	17	1		2	+		+	+		+				6.21
<b>B<sub>3</sub></b>																
0-40	54	28	11	1	3								1		2	0.20
60-100	44	21	35			+							+			3.32
100-140	43	32	20			2			1						1	0.95
300-340	27	34	36	1		1							1			1.07
<b>H</b>																
0-40	65	21	14													1.02
130-170	39	35	25	+	1	+	+				+		+			1.16
360-400	26	40	34	+	+						+	+				4.11
<b>B</b>																
0-20	56	18	23	1	1	1										0.33
20-110	51	26	22	1												0.62
160-200	36	32	28	+							1		+			6.36
360-400	40	26	34								+		+			4.34
<b>S</b>																
0-20	53	27	18	+							+	1	+			0.94
130-170	54	30	16	+												7.88
370-410	34	26	39	1	+					+						5.68
<b>G</b>																
0-35	42	28	30	+												0.68
260-300	24	34	41	1					+	1	+					4.26
340-380	48	21	30	+	1	+				+			+			7.33
<b>K</b>																
0-30	27	27	26	3	6	2	2		3			2	1	1		0.98
80-115	40	23	33	2	2		1		+	+	+		+	+		0.64
300-340	30	23	27	5	7	+	2		2			1	3			0.18

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Sh</b>																
0-40	++	+	+													0.83
40-130	++	+	+													0.75
340-380	18	36	45	+	1	+			+					+		7.00
380-420	25	38	37													0.32
<b>Ks</b>																
0-30	56	22	21		1	+										+ 11.7
90-130	51	29	18		1							1	+			3.13
280-320	35	33	32	+												9.34
<b>B<sub>1</sub></b>																
0-30	40	35	21	1	+				2			1				5.88
65-72	38	19	42	+	1					+		+				3.17
140-180	27	27	46		+											0.51
<b>EB</b>																
0-30	36	32	32	+				+								0.18
230-270	39	31	77	1	1									1		0.04
390-430	36	33	31	+	+			+							1	0.17
<b>F</b>																
0-15	26	31	33	3	2	3	2	2	2			1	+			0.09
50-90	21	31	38	2	4	+	1	2				1	+			1.64
130-170	17	26	42	2			+	2				1	1			2.37
290-320	14	42	38	3	1		1	1				+	+			2.63
<b>B<sub>4</sub></b>																
0-30	56	19	22	1	1											5.50
95-150	53	29	18		+											1.47
310	38	34	28													0.16
<b>S<sub>1</sub></b>																
0-40	48	29	19					1					3			0.35
80-120	48	27	22					1					2			0.41
240	37	27	30	+	1	+	2	2	2	1				1		0.21
<b>C<sub>1</sub></b>																
0-30	++	+	+		tr.	tr.										0.34
80-170	46	20	13	5	6	2	2	2	2			2	2			0.71
Eocène	1	13	35	3	23			4	1	13		2	3			0.60

1963, avant la construction du barrage d'Assouan et en trois points du fleuve : Gaafra - Assiout et El Akhas (fig. 1). Les teneurs en minéraux lourds de ces suspensions sont très élevées ; ces derniers se trouvent surtout dans la fraction fine des sables (12 à 14 %) et dans les limons (16 à 17 % pour la fraction 20/50 microns). Ils sont riches en pyroxènes (fig. 4).

Certains silts de l'île Karatin en sont très proches.

#### FORMATIONS DE SURFACE DANS LE DELTA

Il s'agit de 5 échantillons de sol étudiés par KHADR (1961) ; l'altitude et le type de dépôt ne sont pas précisés, mais les résultats minéralogiques sont en accord avec ceux que nous avons trouvés pour les sédiments deltaïques. Par contre, le prélèvement fait à Kanntara, sur la frange du désert oriental, est très différent, à la fois par sa texture exclusivement sableuse et sa minéralogie (fortes teneurs en amphiboles, fig. 5a).

#### LES « DOS DE TORTUES »

Ce sont de petites collines arrondies, formées de sables et de graviers dominant les terres cultivées qui les ceinturent. Ce nom leur a été donné par FOURTAU (1915) en raison de leur forme ; elles se rencontrent surtout dans la partie sud du Delta (fig. 2a).

Ces formations quaternaires, analysées par KHOLIEFF *et al.* (*op. cit.*) appartiennent à un épisode quaternaire plus ancien que celui des sédiments étudiés ici et leurs sables dont les quartz montrent un léger remaniement éolien n'offrent pas de très fortes teneurs en pyroxènes (fig. 5b).

#### Comparaison de ces formations quaternaires

Tous ces sédiments appartenant au quaternaire récent ont des spectres minéralogiques comparables à ceux des formations que nous avons étudiées. Les variations interviennent à deux niveaux :

- d'une part, dans la présence plus ou moins abondante de minéraux caractéristiques de roches métamorphiques et granitiques (socle) que nous avons appelés « accessoires » par opposition au groupe dominant Pyroxènes/Amphiboles/Épidotes ;
- d'autre part, dans le rapport entre les Pyroxènes et l'association Amphiboles/Épidotes.

Pendant cette période récente, la minéralogie des sédiments du Delta a donc varié et plusieurs facteurs peuvent être invoqués pour expliquer cette évolution.

#### ORIGINE DES MINÉRAUX DU SOCLE

Une contamination à partir des sables désertiques serait responsable de la présence, en quantités plus importantes, de ces minéraux « accessoires » et des épidotes (KHOLIEFF *et al.*, *op. cit.*).

Des analyses minéralogiques effectuées sur les formations tertiaires, près du littoral, dans la région de

Darniette (ISMAËL, non publié) confirment que, dans ce cas, les minéraux non volcaniques (tabl. II) forment environ 50 % de la fraction lourde des sables.

Dans le Delta, ce sont les coupes F (6 à 13 % de minéraux du socle) et G1 (21 %) qui en possèdent le plus fort pourcentage ; ce dernier ne dépasse pas 6 % pour les autres coupes.

Cette contamination peut se faire soit par apport éolien soit par apport fluvial sporadique à partir des oadis provenant du désert, le long des lignes de drainage qui ont fonctionné d'une façon beaucoup plus importante au Pléistocène moyen (SHATA & SHATA, *op. cit.* ; SNEH *et al.*, *op. cit.*). Le fait que seules les parties les plus externes du Delta soient affectées par ce phénomène plaiderait plutôt en faveur de la seconde hypothèse.

La contamination de la coupe K (6 à 20 % de minéraux du socle) s'explique par un processus identique : colluvionnement à partir d'un « dos de tortue » tout proche.

Dans les îles et la pointe du Delta, soumises à la fois aux actions éoliennes (contamination) et à celle des courants fluviaux (apport de pyroxènes, minéral dominant dans les suspensions actuelles du fleuve), il est plus difficile de distinguer la part respective de ces deux facteurs ; les minéraux accessoires sont très rares ; les variations (fig. 5a) interviennent surtout dans le rapport Pyroxènes/Amphiboles + Épidotes, éventuellement dans les teneurs en minéraux lourds, plus faibles dans les sédiments remaniés par les courants et la présence de micas dans les niveaux fluviaux fins. Notons également que, dans ce secteur, les teneurs en pyroxènes sont, dans l'ensemble, légèrement inférieures à celles des sédiments les plus récents du Delta et à ceux des suspensions du fleuve (fig. 5b) ; ce phénomène pourrait être, soit le résultat d'un tri des espèces minérales : les analyses faites par NABHAN sur les suspensions du Nil montrant un enrichissement en pyroxènes dans la fraction la plus fine des sables (Sables fins et limons), qui est entraînée vers la mer, soit par un mélange avec des sables désertiques, mais on s'explique mal pourquoi ces formations ne montrent pas un plus fort pourcentage en minéraux du socle.

KHOLIEFF *et al.* (*op. cit.*) avaient, eux aussi, invoqué un processus de contamination pour expliquer les différences minéralogiques existant entre les sables des « dos de tortues » (9 à 34 % de minéraux « accessoires ») et ceux du djebel Asfar, plus riche à la fois en ces minéraux et en épidotes et, qui, selon ces auteurs, dériveraient en partie de sables éocènes.

Cette hypothèse de mélange avec des sables venant du désert apparaît donc la plus plausible pour expliquer la présence de ces minéraux provenant du socle dans les parties externes du Delta et les pourcentages plus élevés en épidotes de certains niveaux des îles et de la pointe du Delta. Il est, en effet, peu probable que l'augmentation de leur teneur provienne d'un

afflux plus important de sédiments apportés par le Nil Blanc, seul tributaire drainant les formations du socle, car depuis la connection du Nil principal avec les rivières venant d'Éthiopie, le volume des limons déposés dans le Delta provient à 98 % des matériaux apportés par le Nil Bleu et l'Atbara et, depuis cette date, ce pourcentage n'a pratiquement pas varié (WILLIAMS & WILLIAMS, 1980).

#### ORIGINE DES SÉDIMENTS À ÉPIDOTES

Si la contamination par des éléments désertiques a dû être constante depuis que cette région subsaharienne a été soumise, au cours du Quaternaire, à un climat sec, il n'est pas impossible qu'elle ait été plus intense à certaines époques (formation de dunes, éolisation des quartz).

En effet, la période historique est marquée, sur le plan climatique, par un net passage à l'aridité, mais de petites récurrences humides, se traduisant par des apports limoneux plus importants se sont produites jusqu'à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle alternant avec des périodes plus sèches (remaniement éolien, BUTZER, 1980) dont une a persisté de 4 380 ans BP à 2 870 ans BP (ROGNON, 1976).

Dans ce cas, les sables des « dos de tortues » et ceux des dunes du djebel Asfar seraient les témoins d'une de ces périodes sèches où les apports désertiques étaient plus importants qu'actuellement et la sédimentation plus sableuse.

Dans le Delta, les horizons où l'association amphiboles/épidotes domine (fig. 4) pourraient s'apparenter à ces sables anciens. Ils sont antérieurs à la transgression flandrienne de 3 000/4 000 ans BP et la présence d'un paléosol à 2 m de profondeur dans la coupe Sh ainsi que des traces d'activité humaine (ISMAËL, *op. cit.*) montrent que de 12 000/10 000 ans BP (phase régressive) jusqu'au moment de la transgression, certaines zones sont restées émergées et pourraient dater du Pléistocène supérieur.

Il est cependant très difficile, en l'absence de tout élément valable de datation, d'établir un lien entre ces horizons et les sables des « dos de tortues ». Ces derniers sont vraisemblablement plus anciens (Pléistocène inférieur).

Les sédiments de la plaine fluviale ancienne qui affleurent dans les parties externes du Delta (la coupe F, Kanntara en seraient le témoin) se sont déposés au Pléistocène moyen, postérieurement aux sables des « dos de tortues ». Ils étaient apportés en grande partie, par les ouadis drainant les matériaux grossiers des plateaux bordant le Delta et du Sināi. Leur cortège minéralogique est caractérisé par la prédominance de l'épidote sur les pyroxènes (SHATA & SHATA, *op. cit.*).

Il est plus vraisemblable que les sables profonds de la zone littorale se soient déposés au cours d'un épisode climatique comparable à celui de la mise en

place de ces sédiments grossiers et aient la même origine.

Enfin, l'Holocène est marqué par un taux d'érosion anormalement élevé dans le Haut-Nil ; il est dû en grande partie aux actions anthropiques et, pour une moindre part, à l'instabilité tectonique dans les Afars (WILLIAMS & WILLIAMS, 1980). La conséquence en est l'arrivée plus importante de limons fins, contenant des produits volcaniques (pyroxènes). Ce phénomène, vraisemblablement postérieur à la sédimentation à épidotes et amphiboles se continuerait actuellement comme le montre la minéralogie des suspensions du fleuve, celle des niveaux superficiels des coupes (notamment B3, H, B, S, Ks et B4) et du cordon littoral actuel (B2) (fig. 4). Ceci est en accord avec les conclusions de BÜTZER (*op. cit.*) et de SAID (*op. cit.*) qui font débiter à l'Holocène la phase d'apports en limons fins, comparable au régime actuel du fleuve.

#### CONCLUSION

La minéralogie des sédiments du delta du Nil (et pour une moindre part leur granulométrie) sont le reflet des variations de la dynamique du fleuve au cours du Pléistocène et de l'Holocène et de l'importance des zones d'origine des alluvions ainsi que des remaniements liés aux variations climatiques.

Deux milieux de sédimentation différents ont été étudiés :

— Les îles et la pointe du Delta où la sédimentation, complexe, est le résultat d'une interaction entre les influences fluviales et un remaniement éolien.

— Le Delta s.s. où deux zones s'individualisent :

- dans la partie sud où le taux de sédimentation est élevé, les dépôts sont à dominance argilo-limoneuse et les granulométries ont des caractères fluviaux. Les pyroxènes dominent dans les associations minérales.

- dans la partie nord, et d'une façon plus estompée dans les zones latérales du Delta, on observe une opposition entre deux types de dépôt :

1. des dépôts récents, fins, déposés dans des lagunes ou des cuvettes d'inondation et dont le cortège de minéraux lourds est constitué en majorité de pyroxènes ;

2. des dépôts profonds, plus grossiers, témoins d'une dynamique du fleuve différente de l'actuelle et dont les cortèges minéralogiques sont caractérisés par la prédominance du groupe Épidotes/Amphiboles.

Ces sables ont des caractères communs avec les sédiments de la plaine fluviale ancienne (Pléistocène moyen).

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 10 mai 1987.*

BIBLIOGRAPHIE

- ATTIA (M.I.), 1954. — Deposits in the Nile valley and the Delta. *Geol. Survey Egypt* : 308-311.
- BALL (J.), 1939. — Contribution to the Geography of Egypt. *Surv. Dept. Cairo* : 39.
- BUTZER (K.W.), 1959. — Contribution to the Pleistocene Geology of the Nile valley. *Endkunde*, 13 : 46-67.
- BUTZER (K.W.), 1980. — Pleistocene history of the Nile valley in Egypt and Lower Lybia. *In* : The Sahara and the Nile, Williams and Faure, ed., Balkema : 173-200.
- FOURTAU (R.), 1915. — Contribution à l'étude des dépôts nilotiques. *Mém. Inst. Egypte*, Le Caire, vol. VIII : 56-94.
- HASSAN (F.A.), 1976. — Heavy minerals and the evolution of the modern Nile. *Quaternary Research*, vol. 6, n° 3 : 425-444.
- HILMY (E.M.), 1951. — Black sands in the Mediterranean coast of Egypt. *Journ. Sedim. Petrol.*, vol. 21 : 109-120.
- ISMAËL (H.), 1977. — Les sols du delta du Nil. Importance de l'environnement sur leur formation et leur évolution. Thèse Univ. Paris, 93 p.
- KHADR (M.), 1961. — Heavy residues of some Egyptian soils. *Geol. en Minjbow*, 40 : 11-25.
- KHOLIEFF (M.M.), HILMY (E.) and SHAHAT (A.), 1969. — Geological and mineralogical studies of some sand deposits in the Nile delta (UAR). *Journ. Sedim. Petrol.*, vol. 39, n° 4 : 1520-29.
- NABHAN (H.M.), SYS (C.) and STOOPS (G.), 1969. — Mineralogical study of the suspended matter in the Nile water. *Pédologie*, vol. XIX, n° 1 : 34-48.
- NIELSEN (É.), 1973. — L'érosion côtière dans le delta du Nil. *Nature et Ressources*, vol. IX, n° 1 : 14-20.
- RIVIÈRE (A.), 1977. — Méthodes granulométriques. Techniques et Interprétation. Masson, éd., Paris, 170 p.
- ROGNON (P.), 1976. — Essai d'interprétation des variations climatiques au Sahara depuis 40 000 ans. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, (2), vol. XVIII, fasc. 2-3 : 251-282.
- SAID (R.), 1982. — The geological evolution of the River Nile in Egypt. *Z. Geomorph. NF*, 26, 3 : 305-314.
- SESTINI (J.), 1974. — Study in the north coast of the Nile Delta. Archaeological and historical studies. Le Caire.
- SHATA (A.A.) and SHATA (A.A.), 1986. — A contribution to the morphopedology and soil genesis in the Nile Delta basin.
- SHUKRI (N.M.), 1950. — The mineralogy of some Nile sediments. *Quaternary. Journ. Geol. Soc.*, 105 : 511-534 and 106 : 466-467.
- SNEH (A.), WEISSBROD (T.), EHRlich (A.), HOROWITZ (A.), MOSHKOVITZ (S.) and ROSENFELD (A.), 1986. — Holocene evolution of the northeastern corner of the Nile Delta. *Quatern. Res.*, 26 : 194-206.
- STANLEY (D.J.) and LIYANAGE (A.N.), 1986. — Clay mineral variations in the northeastern Nile Delta as influenced by depositional processes. *Marine Geology*, 73 : 263-283.
- WILLIAMS (M.A.J.) and WILLIAMS (F.M.), 1980. — Evolution of Nile basin. *In* : « The Sahara and the Nile », Williams and Faure, ed., Balkema : 207-224.