

E. Ribes
D. Borschneck
C. Morhange
A. Sandler

82

RECHERCHE DE L'ORIGINE DES ARGILES DU BASSIN PORTUAIRE ANTIQUE DE SIDON

Depuis 1998, date du démarrage des travaux géoarchéologiques à Sidon, de nombreuses recherches ont été menées par l'équipe « Géomorphologie et Tectonique » du CEREGE* sur la reconstitution paléo-environnementale des milieux littoraux du Liban, où sont apparues il y a plusieurs milliers d'années, les premières cités portuaires de Tyr et Sidon (Morhange *et al.*, 1999 et 2000; Ribes, 2000; Espic *et al.*, 2002). Dans le cas de Sidon, l'étude des mécanismes d'aggradation sédimentaire et de progradation du trait de côte depuis le Chalcolithique (5000 ans BP), nous a amenés à nous intéresser à la provenance des argiles à l'origine du colmatage du bassin portuaire.

Depuis plusieurs décennies, sédimentologues et océanologues s'interrogent en effet sur la provenance des apports sédimentaires le long du littoral levantin durant l'Holocène final. Un certain nombre de chercheurs insistent sur le rôle important du Nil dans l'alimentation du transit des sables et des argiles le long des côtes israéliennes (Pomerancblum, 1966; Sharaf El Din, 1977; Maldonado et Stanley, 1981; Inman et Jenkins, 1984; Nir, 1984). D'autres auteurs essayent

d'identifier plusieurs sources (Stanley *et al.*, 1997) ou insistent sur l'importance des apports fluviaux locaux (Sandler et Herut, 2000). Le bassin portuaire de Sidon, véritable piège à particules depuis environ 5000 ans, représentait ainsi une bonne opportunité pour étudier ce problème sédimentologique jamais examiné sur les côtes du Liban.

Afin de comparer les sédiments portuaires aux diverses sources potentielles, des échantillons de plusieurs cours d'eau du Liban-Sud ainsi que ceux du Nil ont été analysés. Nous disposions également de sédiments anthropiques prélevés sur le site archéologique de l'ancien collège de la fouille du British Museum. Ces sédiments sont issus de surfaces d'occupation et de structures en adobe du Bronze Ancien et Moyen (5000 – 4000 ans BP). Enfin, d'autres types d'apports ont pu être discutés grâce aux données du couvert pédologique (Lamouroux, 1967; Sanlaville, 1977).

*

CEREGE - Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement, UMR6635, CNRS, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence, France

1 ETAT DE LA QUESTION ET PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE

1 1. L'influence de la cellule nilotique

D'après plusieurs études (Venkatarathnam et Ryan, 1971; Wahab et Stanley, 1991; Stanley *et al.*, 1997), le Nil charrie des matières en suspension (MES) riches en argiles gonflantes (70% de smectite) et caractérisées par de faibles taux d'illite (<10%). Une grande quantité de sédiments provenant des bouches du Nil est véhiculée par la dérive littorale en direction du Nord-Est, tandis qu'une importante partie des MES est projetée au large sous la forme d'un panache turbide (fig. 1). Si la plupart des MES finissent par alimenter le pro-delta du Nil, les particules les plus fines sont portées par les courants géostrophiques dans le reste du Bassin Levantin (Emelyanov et Shimkus, 1972; Carmel *et al.*, 1984). Grâce à l'analyse de sédiments de la plaine abyssale, les travaux de Maldonado et Stanley (1981) démontrent l'étendue de la cellule nilotique, révélant des compositions minéralogiques au large des côtes du Liban, comparables à celles des argiles du Nil. Par ailleurs, Goldsmith et Golik (1980) ou encore Shoshany *et al.*, (1996) démontrent les directions dominantes du transit sédimentaire le long des côtes israéliennes et les remaniements successifs de stocks amenés du Nil par la dérive littorale.

En revanche, aucune étude ne fait état du transit sédimentaire dans l'étage infralittoral au nord de la baie d'Haïfa et la participation éventuelle des sédiments nilotiques au budget sédimentaire de la côte libanaise reste inconnue.

1 2. Zones d'étude

A) LE LITTORAL

L'antique Sidon est bâtie sur un promontoire rocheux contigu à la plaine côtière. Son port nord se situe à l'abri d'un cordon d'éolianites grésifiées mis en place durant le Pléistocène (fig. 2). Un premier carottage (BH I) fut effectué en 1998 sur les

quais, à l'emplacement de l'ancienne zone de halage (fig.2,3). Cette position correspond au centre du paléo-bassin antique protégé par la rangée de récifs frangeants.

Vers le large, le relief s'enfonce doucement sous la mer selon une succession régulière de replats hérités de la dernière remontée eustatique post-glaciaire (Sogreah, 1965). La plate-forme continentale de Sidon, délimitée au sud par le canyon du Litani et au nord par celui de l'Aouali, est large de 10 à 12 km. Sa pente s'accroît à des profondeurs plus importantes (-250, -300 m) que partout ailleurs sur le plateau continental libanais (Carlisle, 1965).

La courantologie locale ayant été peu étudiée, les aménagements portuaires tendent à montrer que la dérive littorale dominante est de direction Sud-Nord, tandis qu'il existe localement des courants contraires mal connus, conditionnant de manière secondaire le transit des sédiments le long de la côte et le colmatage des ports (Emery et George, 1963).

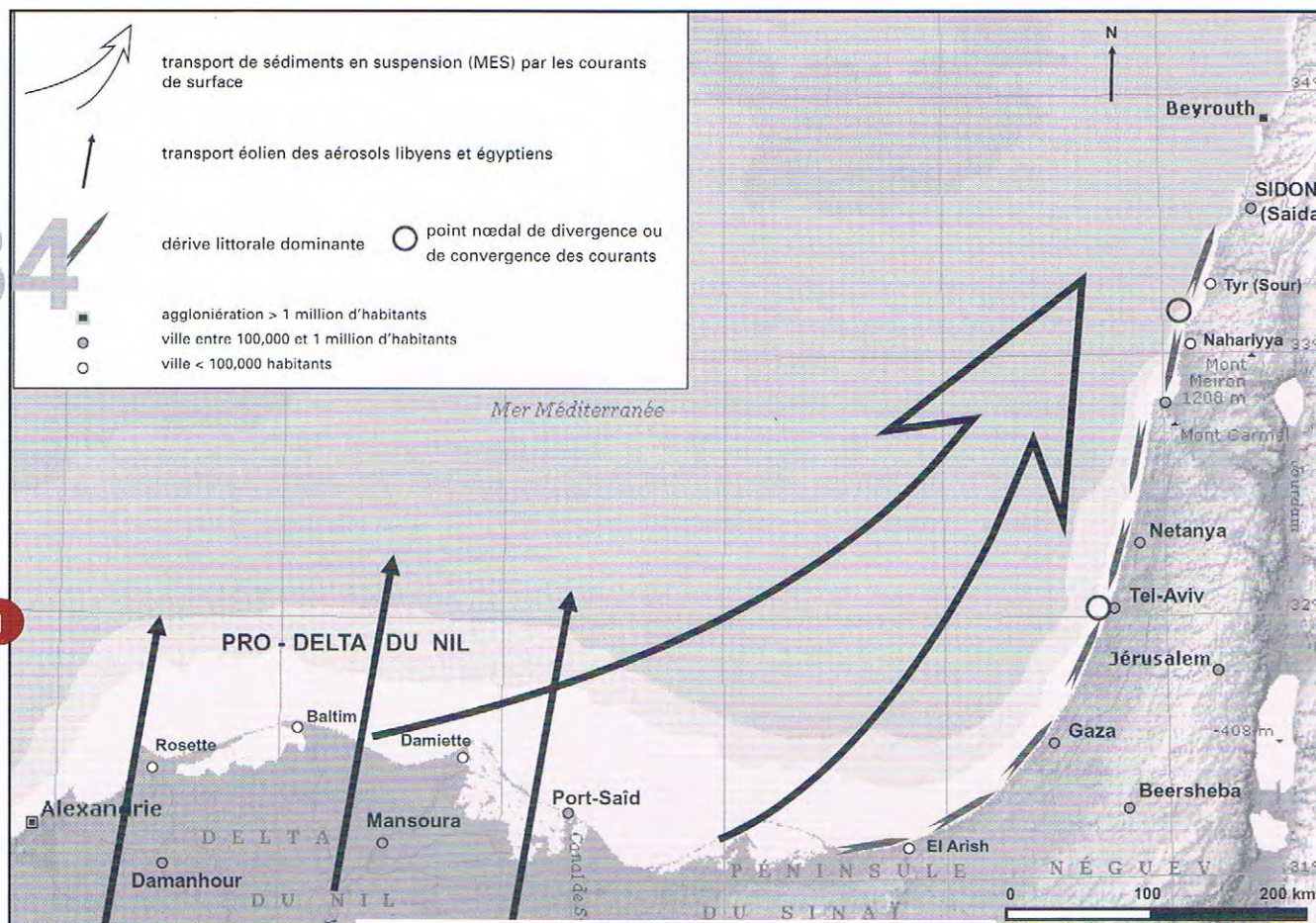
D'après des études généralistes (Beydoun, 1976; Emelyanov, 1994), la sédimentation de la plate-forme littorale serait essentiellement tributaire des produits du décapage des sols de la région côtière, de l'altération des grès crétacés et des roches endogènes de l'intérieur; les dépôts infralittoraux se caractérisant aussi par l'abondance de carbonate de calcium et de sables provenant des cordons fossiles.

B) LA ZONE CÔTIÈRE

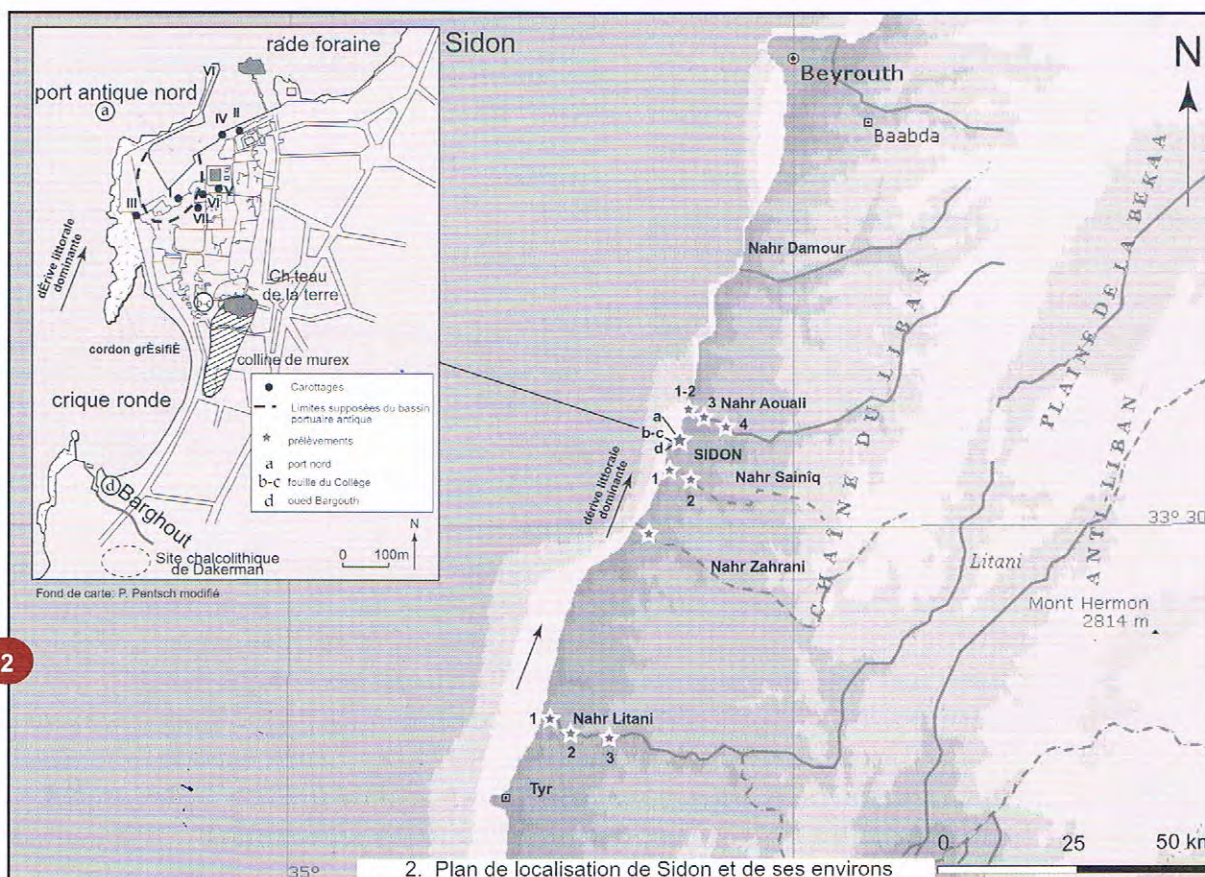
Notre étude s'est intéressée aux cours d'eau qui drainent la périphérie de Sidon, dans un rayon de 40 km environ vers le sud (en amont de la dérive littorale dominante) et 10 km vers le nord jusqu'au cap Saharé qui bloque le transit long-shore.

Les principaux organismes pérennes sont, du sud vers le nord, les fleuves Litani, Zahrani, Saïniq et Aouali. Délimitant la zone étudiée, le Litani et l'Aouali drainent des bassins versants parmi les plus étendus du Liban avec respectivement 286 km² et 302 km². Leurs apports sédimentaires annuels sont estimés à 130 x 10⁶ m³ et 284 x 10⁶ m³ (UNDP, 1970). Les extrêmes climatiques et la

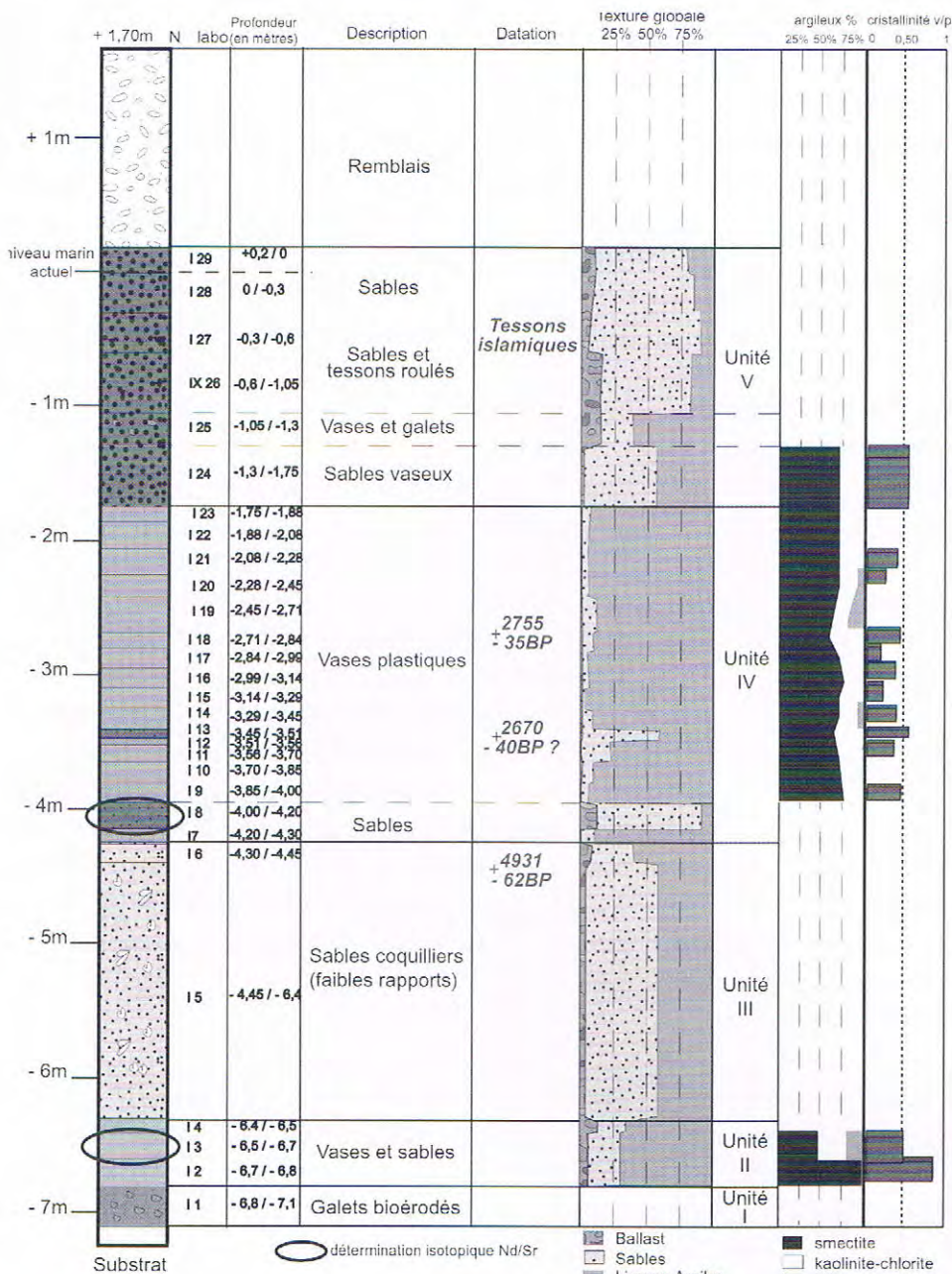
84



1 Modalités du transport sédimentaire dans le sud du bassin levantin.



2 Plan de localisation de Sidon et de ses environs.



2 METHODOLOGIE

2.1. Prélèvements

Des sédiments ont été prélevés en 2000 et 2002 dans le chenal d'étiage de plusieurs cours d'eau: à l'embouchure de l'oued Bargouth dans la crique ronde, dans le lit moyen au niveau d'Eshmoun et à l'embouchure du nahr El Aouali, dans le nahr Saïniq à Ain El Helwe, Darb Es Sim et au niveau de la route du littoral, ainsi que dans la partie aval du Litani (fig. 2).

D'autres échantillons de sédiments ont été prélevés sur le site proto-historique de Sidon. Il s'agit de morceaux de tombes en adobe datant environ de 2000-1800 ans avant J.-C. (Sc1 & 2002-16), de sédiments d'une couche d'occupation datée de 3200 à 3000 avant J.-C. (Sc2) et de matériel arénisé, provenant de structures d'habitat du Bronze Ancien et Moyen (Sc7, Sc8).

Les données des sédiments nilotiques ainsi que ceux des aérosols égyptiens ont été récupérées, avec l'accord de

leurs auteurs, à partir de publications existantes ou de données non publiées (Krom *et al*, 1999; Freydier, 2001; Strohle, 1996, n.p.).

2.2. Méthodes analytiques

2.2.1 Diffraction des rayons X

La diffraction des rayons X est la première technique utilisée pour établir l'origine des argiles du port antique de Sidon. La comparaison des résultats obtenus de la minéralogie des argiles portu-

3 Carotte BH I, port antique nord.

raideur des pentes expliquent l'abondance du matériel clastique amené à la côte par ces fleuves. De nombreux oueds amènent également une quantité notable de sédiments lors d'averses violentes. Les oueds proches, le Bachoun, le Bargouth (oued Moussa), le Kamlé (oued Mechra) et le Habra traversent essentiellement des terrains marneux et marno-calcaires.

aires avec ceux de plusieurs sources sédimentaires potentielles doit permettre la mise en évidence de similitudes entre les lieux de prélèvements.

A PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Des lames orientées d'argiles ont été préparées par décantation d'une solution homogénéisée à l'aide d'un dispersant (hexamétaphosphate de sodium) et pipetage de la fraction en suspension inférieure à 2 μm .

Trois prélèvements ont été analysés: un essai non traité et deux essais respectivement soumis à des saturations à l'éthylène glycol et à l'hydrazine.

B INSTRUMENTATION ET MÉTHODE DE CALCUL

Les échantillons ont été analysés avec un diffractomètre Philips PW1050/81 (40KV, 40mA) équipé d'une anticathode de cobalt ($\lambda=1,79\text{\AA}$) et d'un monochromateur arrière. L'identification de la nature des argiles est basée sur la position des pics de diffraction et leur variation ou non après traitement chimique.

La détermination semi-quantitative des minéraux argileux repose sur l'estimation de l'intensité des pics diffractométriques. Les valeurs d'intensité sont ensuite corrigées par des indices spécifiques, tenant compte entre autres, de l'état de cristallisation du minéral (Holtzapffel, 1985). L'état de cristallinité des smectites se mesure par le rapport de la hauteur de la vallée du diffractogramme (v) sur l'intensité (p) du pic (Biscaye, 1965). Il existe d'autres approches semi-quantitatives (Pierce et Siegel, 1969; Moore et Reynolds, 1989), que nous avons appliquées et qui aboutissent à des résultats similaires.

2 2.2. Technique isotopique

A LES INDICATEURS ISOTOPIQUES

La caractérisation isotopique (Nd/Sr) des sédiments permet ensuite de préciser l'existence possible des liens mis en évidence par l'analyse aux

rayons X, entre les zones sources et l'aire de stockage des sédiments.

En effet depuis les années 1970, les compositions isotopiques du Strontium ont été utilisées pour déterminer la provenance des sédiments (Dasch, 1969). La mesure simultanée du Néodyme à partir de 1980 a permis d'affiner ces déterminations. Ces isotopes renseignent sur la nature pétrographique et l'âge géologique des roches sources.

B) PRÉPARATION

Les échantillons ont été décarbonatés. Puis, à la fraction argileuse séchée et pesée, a été ajoutée une quantité précise de traceurs (^{84}Sr , ^{150}Nd) ainsi que des acides concentrés ($\text{HF-HNO}_3\text{-HClO}_4$) afin de passer l'échantillon en solution. La séparation des éléments à analyser a été effectuée sur colonnes échangeuses d'ions. Tous les réactifs utilisés ont été distillés par nos soins, les manipulations ayant été réalisées dans des salles surpressées et à atmosphère filtrée. La fraction d'élu-tion contenant l'élément à analyser a été évaporée à sec et le résidu d'évaporation déposé à l'aide d'une micro-seringue sur un filament qui a été introduit dans le spectromètre de masse à source solide.

C) INSTRUMENTATION

Les analyses ont été effectuées par A. Michard (Cerege) sur un spectromètre de masse Finnigan-MAT 262. Le strontium a été analysé en mode statique, le Néodyme en mode semi-dynamique. Des standards à composition isotopique connue ont été régulièrement analysés pour contrôler la qualité des mesures (Alibert *et al.*, 1983).

3 RÉSULTATS

3 1. Minéralogie des argiles du bassin portuaire de Sidon

Les diagrammes de rayons X font apparaître la nette prédominance d'argiles gonflantes (smectites) composant les trois quarts du cortège argileux dans la carotte BH I (fig. 4a, tabl.1). La distribution des valeurs de smectite dans la carotte BHI est gaussienne, mais certains taux peuvent

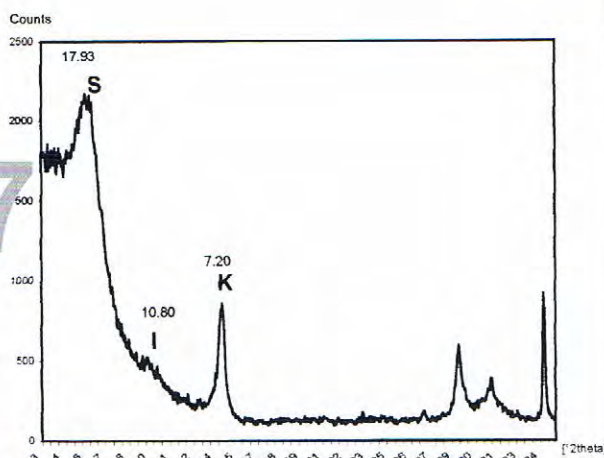


Fig. 4a - Argiles portuaires (BH I-14).

s'avérer disparates selon le niveau des prélèvements dans la carotte. En particulier deux niveaux (BH I-3 et 18) présentent une proportion de smectite plus faible (50% et 60%) que la moyenne (tabl.1).

Kaolinite, chlorite et illite sont les trois autres composants essentiels du cortège argileux des sédiments portuaires, les deux premières représentant environ 20%¹ et l'illite 5%. Enfin, on décèle des traces, probablement de palygorskite, mais en quantité insignifiante.

1 Nous avons pris le parti, comme Stanley *et al.*, (1997) d'associer les contributions à 7A de la kaolinite et de la chlorite. En effet, ces deux signaux sont très proches et difficilement dissociables sur les diffractogrammes. De plus, les essais à l'hydrazine montrent une contribution systématiquement très faible de la chlorite, conduisant à une surestimation très négligeable de la proportion de kaolinite.

Echantillons et stations bassin portuaire antique	Profondeur (m)	minéraux argileux %				v/p	granulométrie (%)		
		Sm	Ka+Ch	Il	palygorskite		ballast	sables	L+A
BHI-24	3.20	75	25	0	T	0.52	0	50	50
BHI-21	3.90	75	25	0	T	0.38	0	5	95
BHI-20	4.00	75	20	5	0	0.23	0	5	95
BHI-17	4.60	75	25	0	0	0.17	0	5	95
BHI-16	4.70	80	20	0	T	0.36	0	5	95
BHI-15	4.90	75	25	0	T	0.20	0	5	95
BHI-14	5.05	75	20	5	T	0.37	0	10	90
BHI-13	5.20	70	30	0	0	0.53	0	60	40
BHI-11	5.30	75	20	5	0	0.34	0	20	80
BHI-09	5.60	80	20	0	0	0.43	0	5	95
BHI-03	8.30	60	30	10	0	0.47	5	25	70
BHI-2C	8.50	95	5	0	0	0.85	5	25	70
Moyenne BHI	-	76	25	<5	T	0.36	0	15	85
site archéologique, Sidon									
Fouille du Collège Sc1	surface	90	5	0	5	-	<5	15	85
Fouille du Collège Sc2	surface	85	15	T	T	-	<5	20	80
Fouille du Collège Sc7	surface	85	10	0	5	-	<5	10	90
Fouille du Collège Sc8	surface	95	5	0	T	-	<5	25	75
Fouille du Collège 2002-16	surface	85	15	0	T	-	15	60	25
cours d'eau libanais									
Aouali									
Aouali1 - type I	surface	55	45	0	0	-	50	45	5
Aouali2 - type I	surface	50	50	0	0	-	15	55	30
Aouali 3* - type II	surface	40	55	5	0	-	50	45	5
Aouali 4 - type II	surface	40	60	0	0	-	10	40	50
Bargouth*									
Bargouth*	surface	80	5	5	10	-	-	-	-
Litani									
Litani	surface	35	60	<5	<5	-	4	25	71
Litani 1* - type I	surface	30	65	5	0	-	0	0	100
Litani 2 - type II	surface	40	55	T	5	-	0	20	80
Litani 3 - type II	surface	40	55	T	5	-	0	20	80
Saïniq									
Saïniq	surface	35	65	0	T	-	15	60	25
Saïniq 1	surface	30	70	0	0	-	15	55	30
Saïniq 2	surface	40	60	0	0	-	15	55	30
Saïniq 3	surface	30	65	T	5	-	15	65	20
Zahrani									
Zahrani	surface	35	65	T	T	-	15	65	20
Nil									
Nil	surface	80	20	5	0	-	-	-	-
Damiette (1-CH 1990)€	non précisé	80	20	T	0	-	-	-	-
Damiette (3-CH 1990)€	non précisé	70	25	5	0	-	0	5	95
lagune de Manzala (PS-B)€	non précisé	85	10	5	0	-	0	95	5
Nil 1**	non précisé	80	15	5	0	-	-	-	-
Nil 2**	non précisé	80	15	5	0	-	-	-	-

*analysé par Sandler.

** in Sandler, Herut (2000)

€ in Stanley *et al.* (1997)

T : traces (0,5-2%)

Tabl.1 - Composition minéralogique et granulométrique de sédiments du Bassin levantin.

3 2. Minéralogie des argiles de différents cours d'eau

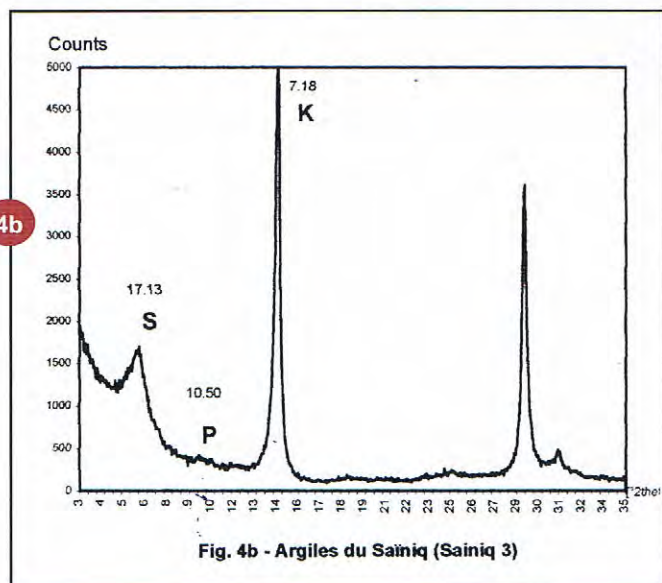
A LES ARGILES DU NIL

Les sédiments portuaires présentent de grandes similitudes avec les alluvions nilotiques (80% de smectite et 15% de kaolinite-chlorite en moyenne; tabl.1). On retrouve de telles associations dans les argiles du delta du Nil jusqu'à la lagune de Manzala en Egypte orientale (Stanley *et al.*, 1997).

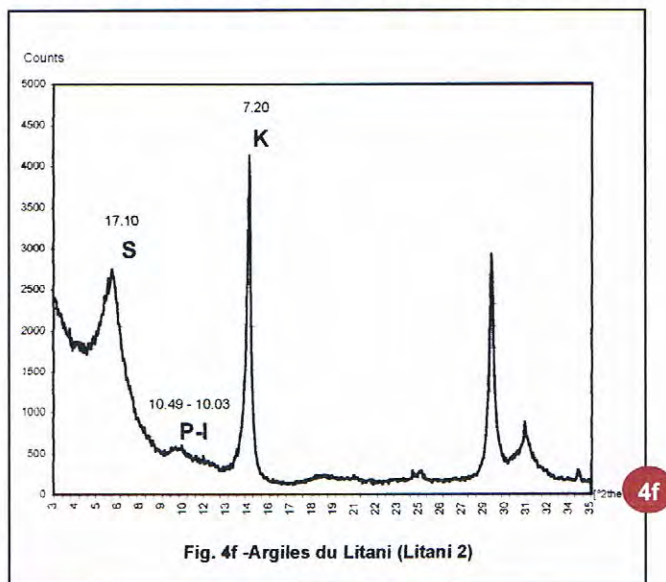
Il faut toutefois noter que ce type d'association est présent ailleurs dans le Bassin Levantin (oueds allant de Ramat ha Sharon jusqu'à Hadera, Israël) et ne caractérise pas en particulier les sédiments nilotiques, même si le Nil reste l'archétype de ce genre d'assemblage.

B LES FLEUVES ET OUEDS DU LIBAN-SUD

Les cortèges argileux présentent une combinaison de kaolinite et de smectite, dominée par cette première. Les alluvions du nahr Saïniq comportent 60 à 70 % de kaolinite avec une faible quantité de chlorite, pour 30 à 40% de smectite (fig. 4b et 5). Les alluvions du Zahrani se composent d'un tiers de smectite et deux tiers de kaolinite (fig. 4d et 5). Enfin, le Litani, plus au sud, transporte également des argiles où domine la kaolinite (55 à 65%; fig. 4f. et tabl.1). Plus au nord, les alluvions du nahr El



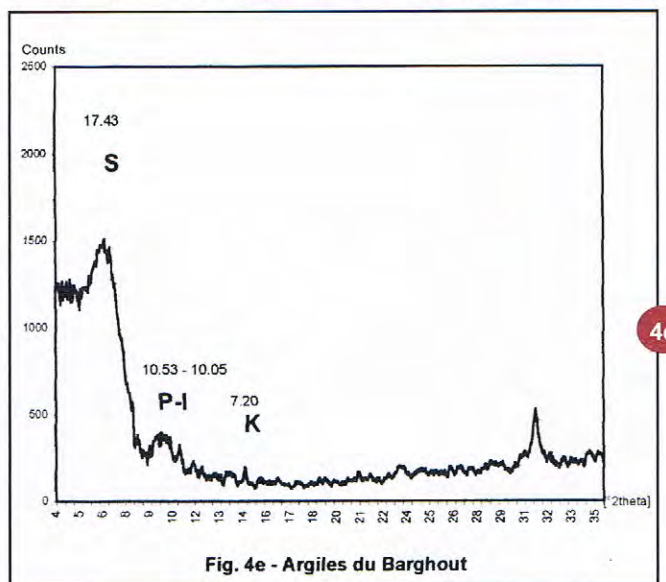
Aouali comportent de la smectite et de la kaoli-



nite en proportions proches.

Enfin, il est à noter que les sédiments des rivières du Liban-Sud se distinguent par la quasi-absence d'illite.

En revanche, les argiles du Bargouth se différen-



cient nettement de celles des fleuves précédemment étudiés, se caractérisant par des concentrations très élevées de smectite (80 %, fig. 4c), la faible présence de kaolinite et celle notable de palygorskite (10%).

La minéralogie argileuse des cours d'eau de la périphérie de Sidon n'est donc pas homogène. Dans le Sud, le Litani et le Saïniq transportent des sédiments très riches en kaolinite (2/3), et sans

trace notable d'illite. En revanche, à proximité de Sidon, la smectite est dominante (3/4), surtout dans les alluvions de l'oued Bargouth.

3 3. Minéralogie des structures archéologiques en brique crue

Les échantillons de sédiments datés de l'Age du Bronze, se caractérisent par des teneurs très élevées en smectite (85-95%) avec peu d'illite et des traces de palygorskite (Sc1, Sc 7; fig.4c). Si l'on note des proportions de kaolinite allant du

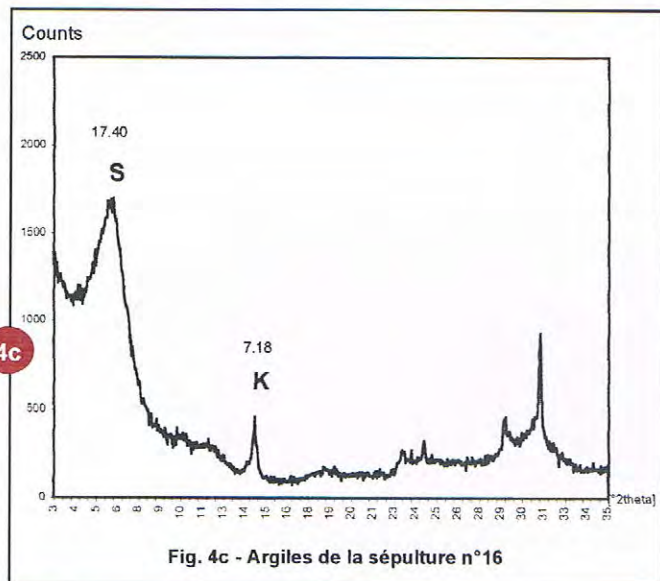


Fig. 4c - Argiles de la sépulture n°16

simple au triple, ces écarts ne masquent pas la faible représentation de ce minéral (tabl.1).

3 4. Bilan de l'analyse minéralogique

L'analyse minéralogique propose deux scénarii:

- 1) les phases argileuses des sédiments n'ont pas la même composition entre les zones sources potentielles et le bassin portuaire. Les sites sont indépendants du point de vue du transfert sédimentaire.
- 2) Les phases argileuses des sédiments ont des associations assez proches. Des transits de sédiments peuvent exister d'un site à l'autre si les paramètres physiques et la géomorphologie des lieux l'autorisent.

Ces hypothèses trouvent leur validité dans le sens où il n'existe pas de modifications des argiles par transformation des minéraux préexistants dans le bassin portuaire. Les recherches s'accordent à infirmer les possibilités de dégradation des minéraux argileux en milieu marin côtier (Chamley, 1990).

Afin de préciser la réalité ou non d'une origine commune des sédiments, nous avons eu recours à une technique complémentaire: la traçabilité des sédiments en néodyme et strontium.

3 5. Composition isotopique néodyme-strontium

Les résultats sont reportés dans la figure 5. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ est une façon d'exprimer le rapport isotopique.

Dans ce diagramme le pôle nilotique présente les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ les plus bas (0,7056-0,7074). Les deux échantillons d'aérosols analysés ont des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus bas et de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ plus élevés que les valeurs reportées pour les poussières sahariennes. Krom *et al.*, (1999) notent une valeur semblable du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pour un échantillon de poussières prélevées en Israël.

Les sédiments portuaires d'Alexandrie ont des valeurs intermédiaires entre celles du pôle nilotique et celle des aérosols locaux, ce qui soulignerait des apports mixtes.

Les alluvions des narh Saïniq et Aouali ont des valeurs de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ voisins de ceux du delta du Nil

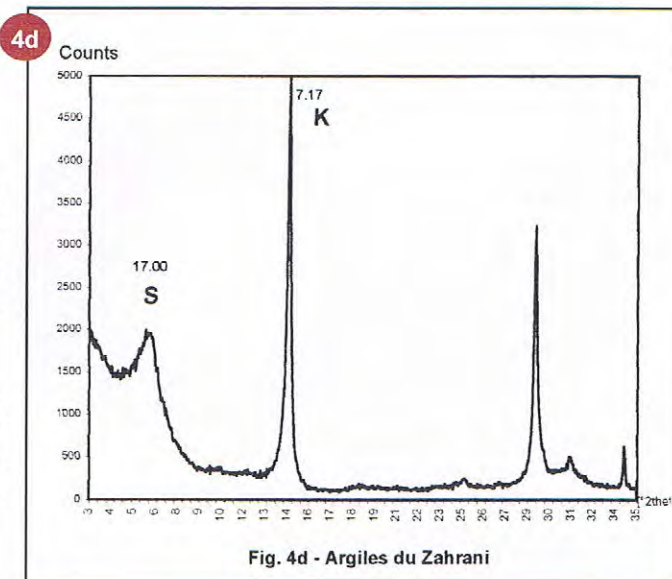


Fig. 4d - Argiles du Zahran

4. DISCUSSION

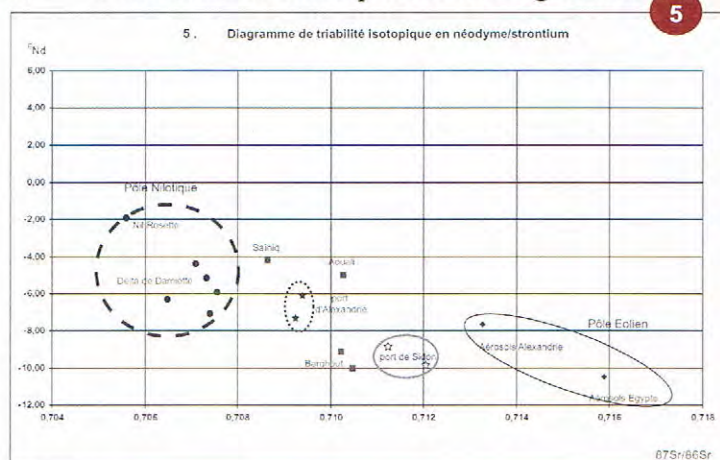
4 1. Le rôle des principaux cours d'eau

Les fleuves de la région (le Litani, le Saïniq et l'Aouali), les plus susceptibles d'apporter des sédiments vers la côte et dans le port de Sidon en raison de conditions géographiques et hydrologiques favorables (position en amont de la dérive littorale dominante pour les deux premiers, débit, régime, taille du bassin versant) ne présentent pas des caractères minéralogiques satisfaisants pour confirmer l'hypothèse d'une participation notable de ceux-ci. Le contraste est particulièrement net sur un diagramme circulaire comparé (fig. 6). On note l'opposition franche entre les traits minéralogiques

mais des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus élevés. Les échantillons de l'oued Bargouth se distinguent des autres fleuves par des valeurs de $^{\text{E}}\text{Nd}$ nettement plus négatives, valeurs analogues à celles des 2 sédiments portuaires de Sidon analysés.

locaux (autour de Sidon) et régionaux (fleuves du Liban-Sud).

Les marqueurs isotopiques confirment les différences observées avec les fleuves libanais. En effet, les sédiments du port de Sidon ne montrent pas de contribution de sédiments aussi radio-géniques en Nd que les sédiments drainés par l'Aouali et le Saïniq. Ceci vaut également



Echantillon	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{\text{E}}\text{Nd}$
Sidon BH I-3	0,711235	-8,81
Sidon BH I-8	0,712052	-9,83
Aouali 1	0,710267	-5,00
Barghout 1	0,710468	-10,00
Barghout 2	0,710234	-9,10
Saïniq 1	0,708627	-4,17
Delta du Damiette (-10m) *	0,707132	-4,39
Delta du Damiette (-25m) *	0,707622	-5,96
Delta du Damiette (-34m) *	0,707450	-7,34
Delta du Damiette (-40,5m) *	0,707433	-5,22
Delta du Damiette (-86m) *	0,706466	-6,18
Nil Rosette	0,705600	-1,90
Aérosols Egypte**	0,715870	-10,50
Aérosols Alex.	0,713278	-7,64
Port Alex. 11252***	0,709388	-6,07
Port Alex. 117***	0,709234	-7,30

* Strohle, 1996; Krom et al., 1999
 ** Grousset, F. 2000 (non publié)
 *** Freydiser et al., 2001.

6 Diagramme circulaire emboîté.
Composition minéralogique des argiles de sources potentielles classées en fonction de leur éloignement par rapport au port de Sidon.

1. Port de Sidon*

Sources locales

2. Structures archéologiques en adobe*

3. Oued Bargouth

Sources non locales

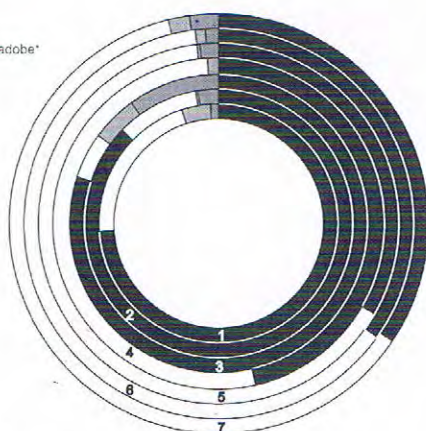
4. Nahr Aouali*

5. Nahr Saïniq*

6. Nahr Zaharani*

7. Nahr Litani*

*moyenne



6

■ smectite
 □ kaolinite-chlorite
 ■ illite
 ■ palygorskite

pour les sédiments nilotiques, qui malgré une composition minéralogique de leur phase argileuse très proche des argiles portuaires, se différencient catégoriquement par leur composition isotopique en néodyme-strontium (fig. 5).

L'envasement de la darse portuaire de Sidon apparaît ainsi comme le fait d'apports essentiellement locaux. Examinons dans le détail les différentes sources autochtones possibles.

4 2. Le rôle de l'oued Bargouth

Les argiles du Bargouth se rapprochent de celles du bassin portuaire par la prédominance d'argiles gonflantes de type smectite avec des proportions équivalentes. En revanche, elles diffèrent de par la quasi-absence de kaolinite et la présence notable de palygorskite, qui ne se trouve qu'épisodique-

ment présente dans les niveaux 14, 15, 16, 21 et 24 de la carotte BH I. Par ailleurs, les échantillons du port nord de Sidon présentent des compositions en néodyme et strontium très proches des alluvions du Bargouth (fig. 5). La variation des valeurs isotopiques du

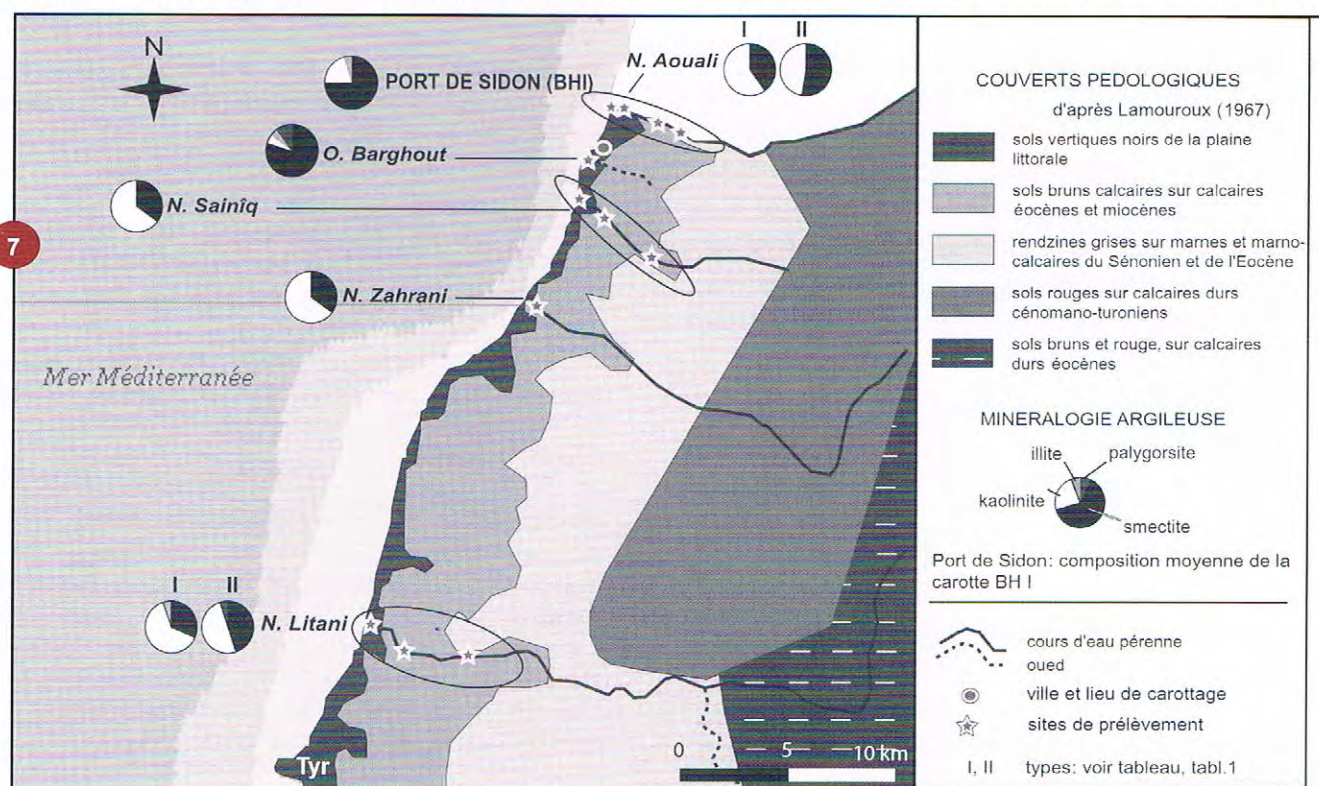
strontium peut être liée à la présence additionnelle de micas ou à la participation de sols riches en illite dans la sédimentation portuaire (10% d'illite dans BH I – 3 et 18).

Nous pouvons donc conclure à une participation très probable de l'oued Bargouth dans l'alimentation sédimentaire du port nord et son colmatage progressif. Seul un prélèvement dans le lit du Bargouth a pu être effectué en 2000. Il est probable que les autres oueds environnant Sidon tel que

4 3. Le décapage des sols

Les apports alluviaux posent la question des zones sources à l'origine de la fourniture sédimentaire. La région côtière de Sidon est surtout constituée de sols sableux vertiques et noirâtres (Lamouroux, 1967; Sanlaville, 1977). Ces sols sont extrêmement riches en smectite (80% à 95%) et ne contiennent pas d'illite et peu à moyennement de kaolinite (entre 5% et 20%). Cette association minérale est similaire à ce qui compose en moyenne les vases portuaires. A l'inverse, les fleuves du Sud, Litani, Zahrani et Saïniq, traversent des sols rouges très riches en kaolinite (fig. 7). Ils transportent des argiles effectivement caractérisées par une forte proportion de ce minéral. Diverses sources sont ainsi envisageables:

- l'implantation de la ville dominant le port nord s'est effectuée sur des sols noirs caractérisés par



7 Minéralogie des sites d'étude et les sols du Liban sud

l'oued Mechra aient contribué également au colmatage du port antique, mais leur lits sont à présent bétonnés et canalisés.

une grande abondance d'argiles gonflantes. Cette même richesse dans le bassin portuaire peut s'interpréter comme l'indice d'apports locaux importants où le ruissellement joue un rôle-clé.

- Les sols des plateaux côtiers, dits ensemble d'Aadloun, contiennent également beaucoup de

smectite (Lamouroux, 1967). L'érosion des plateaux et le transport des dépôts corrélatifs par la dérive littorale est un autre mode potentiel d'apport.

4 4. La fourniture sédimentaire par l'habitat proto-historique

A l'époque du Bronze, l'habitat était construit en terre crue. Celle-ci provient couramment des sols locaux et du lit d'oueds proches. L'analyse de l'adobe des sépultures et des structures exhumées du collège par l'équipe du British Museum, fournit des données intéressantes.

Avec le temps, les structures antiques se sont érodées par l'action conjuguée d'événements météorologiques et anthropiques. Les produits de ces érosions auraient pu se déposer à terme dans le port. Or les résultats des analyses minéralogiques montrent des similitudes entre les cortèges argileux du port antique et ceux des structures archéologiques (fig. 4a et 4b.). Ceci tend à confirmer cette hypothèse.

La présence de palygorskite dans l'adobe de ces structures laisse à penser par ailleurs, que l'argile d'oueds semblables au Bargouth, voir le Bargouth lui-même (tabl.1), aurait pu servir de source d'approvisionnement, ce qui est un schéma courant dans le bâti proto-historique et antique (Brochier, 1994).

CONCLUSION

Les résultats préliminaires de cette étude montrent que l'origine première des argiles participant au colmatage du port de Sidon depuis l'Antiquité n'est pas à rechercher très loin. Le Nil n'est pas la principale source de sédiments. Bien au contraire, le couvert pédologique environnant, les petits oueds locaux comme le Bargouth et l'érosion des structures archéologiques en argile crue ont principalement participé au remplissage sédimentaire du bassin portuaire depuis plusieurs millénaires. Toutefois, la présence de kaolinite dans les sédiments portuaires témoigne également de provenances secondaires, dont nous ne connaissons pas précisément l'origine. Elle est certainement

plurielle. La participation d'apports très dilués provenant de la côte sud du Liban, riche en kaolinite, reste une hypothèse probable en attendant d'autres analyses isotopiques.

Comme l'ont déjà montré Sandler et Hérut (2000), les apports locaux de MES l'emportent donc sur les contributions allogènes.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos plus grands remerciements aux deux personnes sans qui ce travail n'aurait pu être effectué: Mme Annie Michard du CEREGE pour la réalisation des analyses isotopiques et Mme Claude Doumet-Serhal pour les prélèvements effectués au Liban.

BIBLIOGRAPHIE

Alibert C., Michard A., et Albarède F. (1983) – "The transition from alkali-basalts to kimberlites: isotopes and trace element evidence from melillites". *Contrib. Mineral. Petrol.* 82, pp. 176-186.

Beydoun Z.R. (1976) – "Observations on geomorphology, transportation and distribution of sediments in western Lebanon and its continental shelf and slope regions". *Marine Geology*, 21, pp. 311-324.

Biscaye P.E. (1965) – "Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans", *Geol. Soc. Am. Bull.*, p. 76.

Brochier L. (1994) – "Etude de la sédimentation anthropique. La stratégie des ethnofaciès sédimentaires en milieu de constructions en terre". *BCH*, pp. 118, pp. 619-645.

Carlisle D.H. (1965) – *A continuous seismic profiling survey off the coast of Lebanon*. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

Carmel Z., Inman D.L., et Golik A. (1984) – "Transport of Nile sand along the southeastern Mediterranean coast". *Coastal Engineering*, 19, pp. 1282-1291.

Chamley H. (1990) – *Sedimentology*, Springer-Verlag, 285 pp.

Dasch E.J. (1969) – "Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks". *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, pp. 1531-1552.

Doumet-Serhal Cl. (2000) – "Discoveries around the harbour in Sidon" *National Museum News* (10), pp. 40-41.

Emelyanov E.M. et Shimkus K.M. (1972) – "Suspended matter in the Mediterranean Sea". *The Mediterranean Sea – a Natural Sedimentation Laboratory*. Ed. D. J Stanley, Dowden, Hutchinson et Ross, Stroudsborg, Pennsylvania.

Emelyanov E.M. (1994) – "Recent bottom sediments of the levantine sea: their composition and processes of formation". *Geological Structure of The Northeastern Mediterranean*. Akademik Nikolaj, Jerusalem 1994, pp.141-158. Ed. Krashennnikov V.V.A. et Hall J.K.

Emery K.O. et George C.J. (1963) – *The shores of Lebanon*. Am. Univ. Beirut, Fac. Nat. Sci., Misc. Pap., n°1 and WHOI Contrib., n°1385, 10 pp.

Emery K.O. et Neev D. (1960) – "Mediterranean beaches of Israël", *Israël Geological Survey*, p. 26.

Espic K., Morhange C., Bourcier M., Bruzzi C., Carbonel P., Nammour T., Doumet-Serhal C. (2002) – "Les ports antiques de Sidon: Nouvelles données paléo-environnementales", *Archaeology & History in Lebanon*, 15, pp. 28-36.

Freydier R., Michard A., De Lange G., et Thomson J. (2001) – "Nd isotopic compositions of Eastern Mediterranean sediments: tracers of the Nile influence during sapropel S1 formation?" *Marine geology*, 177, pp. 45-62.

Goedicke T.R. (1972) – "Submarine canyons on the continental shelf of Lebanon". In *The Mediterranean Sea – a Natural Sedimentation Laboratory*. Ed. DJ Stanley, Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsborg, Pennsylvania, pp. 173-192.

Goldsmith V., Golik A. (1980) – "Sediment transport model of the southeastern Mediterranean coast". *Marine Geology*, 37, pp. 147-175.

Holtzapffel T. (1985) – "Les minéraux argileux. Préparation. Analyse diffractométrique et détermination", *Société Géologique du Nord*, p. 12.

Inman D.L. et Jenkins S.A. (1984) – "The Nile littoral cell and man's impact on the coastal zone of the southeastern Mediterranean", *Scripps Institution of Oceanography Reference Series*, 31, 43 pp.

Krom M. D., Cliff R. A., Eijsink L. M., Herut B. et Chester R. (1999) – "The characterisation of Saharian dusts and Nile particulate matter in surface sediments

from the Levantine basin using Sr isotopes", *Marine Geology*, 155, 319-330.

Lamoureux M., Paquet H., Pinta M. et Millot G. (1967) – "Notes préliminaires sur les minéraux argileux des altérations et des sols méditerranéens du Liban", *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 20, 4, pp. 277-292.

Lamoureux M. (1967) – "Contribution à l'étude de la pédogénèse en sols rouges méditerranéens", *Sciences du Sol*, 2, pp. 55-85.

Maldonado A. et Stanley D.J. (1981) – "Clay mineral distribution patterns as influenced by depositional processes in the Southeastern Levantine Sea", *Sedimentology*, 28, pp. 21-32.

Moore D.M. et Reynolds R.C. (1989) – *X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*, Oxford University Press, Oxford.

Morhange C., Dubuquoy O., Prunet N., de Beaulieu J.-L., Bourcier M., Carbonel P., Oberlin C. et Frost H. (1999) – "Nouvelles données paléo-environnementales sur le port antique de Sidon. Proposition de datation", *National Museum News Tenth Issue: The Millennium Edition*, pp. 42-48.

Morhange C., Dubuquoy O., Prunet N., Ribes E., de Beaulieu J.-L., Bourcier M., Carbonel P., Oberlin C. et Doumet-Serhal C. (2000) – "Etude paléo-environnementale du port antique de Sidon, premiers résultats du programme CEDRE", *Méditerranée*, 1-2, pp. 91-100.

Nir Y. (1984) – *Recent sediments of the Israel Mediterranean continental shelf and slope*, Gotthenburg University, Sweden, Department of Marine Geology Report, 2, 149 pp.

Pierce J. W. et Siegle F.R. (1969) – "Quantification in clay mineral studies of sediments and sedimentary rocks", *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 01, pp. 187-193.

Poidebard A. et Lauffray J. (1951) – *Sidon. Aménagements antiques du port de Saïda*, Ministère des Travaux publics de Beyrouth, Beyrouth, 103 pp.

Pomerancblum M. (1966) – "The distribution of heavy minerals and their hydraulic equivalents in sediments of the Mediterranean continental shelf of Israel", *Journal of Sedimentary Petrology*, 36, pp. 162-174.

Ribes E. (2000) – *Les sédiments du port antique de Sidon. Etude paléo-environnementale et interprétations sur l'origine des dépôts à partir de leur analyse minéralogique*, Maîtrise des Sciences Géographiques

et de l'Aménagement, Université d'Aix-Marseille I, 243 pp.

Roux M. R. (1991) – "Les sédiments de l'Etang de Berre, témoins de la pression anthropique holocène?", *Méditerranée*, 4, pp. 3-14.

Sandler A. et Herut B. (2000) – "Composition of clays along the continental shelf off Israel: contribution of the Nile versus local sources", *Marine Geology*, 167, pp. 339-354.

Sanlaville P. (1977) – *Etude géomorphologique de la région littorale du Liban*, Université Libanaise, Beyrouth, I-II, 859 pp.

Sharaf El Din S. H. (1977) - "Effect of the Aswan dam on the Nile flood and on the estuarine and coastal circulation pattern along the Mediterranean Egyptian coast", *Limnology and Oceanography*, 22, 2, 194-207.

Shoshany M., Golik A., Degani A., Lavee H., Gvirtzman G. (1996) – "New evidence for sand transport direction along the coastline of Israel". *Journal of Coastal Research*, 12(1), pp. 311-325.

Stanley D. J., Mart Y. et Nir Y. (1997) - "Clay mineral distributions to interpret Nile cell provenance and dispersal, II. Coastal plain from Nile delta to Northern Israel" *Journal of Coastal Research*, 13, 2, pp. 506-533.

Sogreah – CEGPB (1965) – *Etude du débouché en mer des égouts de Beyrouth*, 24 pp.

Strohle K. D. (1996) – *Early Marine diagenesis in two contrasting sedimentary environments*, Ph.D. Thesis, University of Leeds.

United Nations Development Programme (1970) – *Liban, études des eaux souterraines*. U.N., New York, N.Y., Technical report, 185 pp. + maps

Venkatarathnam K. et Ryan W. B. F. (1971) - "Dispersal patterns of clay minerals in the sediments of the eastern Mediterranean sea", *Marine Geology*, 11, pp. 261-282.

Wahab A. et Stanley D. J. (1991) – "Clay mineralogy and recent evolution of the north-central Nile delta, Egypt", *Journal of Coastal Research*, 7 (2), pp. 317-319.