

## Évolution des rivages d'Alexandrie à l'Holocène récent, marge occidentale du delta du Nil, Egypte

Jean Philippe Goiran, Christophe Morhange, Michel Bourcier, Pierre Carbonel, Caterina Morigi

### Résumé

*L'étude stratigraphique, sédimentologique et biologique des forages réalisés dans le sous-sol d'Alexandrie en 1998 et en 1999 permet de distinguer des milieux de sédimentation marins différents au cours de l'Holocène récent. Le forage C I enregistre le colmatage d'un bassin portuaire ayant fonctionné de l'époque augustéenne à l'Antiquité tardive. Le forage C II précise les étapes de l'accrétion du tombolo reliant l'île de Pharos au continent depuis environ 8000 ans. Le développement du tombolo en domaine infralittoral dans un premier temps puis son emersion ont engendré deux évolutions morphosédimentaires différentes à l'est et à l'ouest de celui-ci. D'un côté, la baie orientale est caractérisée par une décantation de sédiments fins. De l'autre côté, la baie occidentale est exposée à la houle dominante de secteur NW qui y apporte et laisse des éléments beaucoup plus grossiers. A partir de l'Antiquité tardive, le tombolo ne semble plus protéger le port oriental qui est soumis aux influences du large.*

### Abstract

*In 1998 and 1999, two borehole projects were organized in the region of Alexandria, Egypt. Stratigraphical, sedimentological and biological studies have allowed us to distinguish several different marine environments during the recent Holocene. The C I core records the infilling of a harbour operational from the Augustean period to late antiquity. The C II core shows stages of accretion of the tombolo which has linked the island of Pharos to the continent for the last 8000 years. The development of the tombolo, at first in the infralittoral zone, and followed by its emersion, has brought about two different morpho-sedimentary evolutions. The eastern bay is characterized by the deposition of fine sediments whereas the western bay is exposed to the dominant swell from the north-west bringing much coarser material. Since the late Antiquity period, the tombolo appears to no longer protect the eastern port, which is exposed to marine influences. Certain hypotheses are proposed.*

---

### Citer ce document / Cite this document :

Goiran Jean Philippe, Morhange Christophe, Bourcier Michel, Carbonel Pierre, Morigi Caterina. Évolution des rivages d'Alexandrie à l'Holocène récent, marge occidentale du delta du Nil, Egypte. In: Méditerranée, tome 94, 1-2-2000. Ports antiques et paléoenvironnements littoraux. pp. 83-90.

doi : 10.3406/medit.2000.3159

[http://www.persee.fr/doc/medit\\_0025-8296\\_2000\\_num\\_94\\_1\\_3159](http://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_2000_num_94_1_3159)

---



## Évolution des rivages d'Alexandrie à l'Holocène récent, marge occidentale du delta du Nil, Égypte

Jean-Philippe GOIRAN <sup>1</sup>  
 Christophe MORHANGE <sup>1</sup>  
 Michel BOURCIER <sup>2</sup>  
 Pierre CARBONEL <sup>3</sup>  
 Caterina MORIGI <sup>4</sup>

**Résumé** - L'étude stratigraphique, sédimentologique et biologique des forages réalisés dans le sous-sol d'Alexandrie en 1998 et en 1999 permet de distinguer des milieux de sédimentation marins différents au cours de l'Holocène récent. Le forage C I enregistre le colmatage d'un bassin portuaire ayant fonctionné de l'époque augustéenne à l'Antiquité tardive. Le forage C II précise les étapes de l'accrétion du tombolo reliant l'île de Pharos au continent depuis environ 8000 ans. Le développement du tombolo en domaine infralittoral dans un premier temps puis son émergence ont engendré deux évolutions morphosédimentaires différentes à l'est et à l'ouest de celui-ci. D'un côté, la baie orientale est caractérisée par une décantation de sédiments fins. De l'autre côté, la baie occidentale est exposée à la houle dominante de secteur NW qui y apporte et laisse des éléments beaucoup plus grossiers. À partir de l'Antiquité tardive, le tombolo ne semble plus protéger le port oriental qui est soumis aux influences du large.

**Abstract** - In 1998 and 1999, two borehole projects were organized in the region of Alexandria, Egypt. Stratigraphical, sedimentological and biological studies have allowed us to distinguish several different marine environments during the recent Holocene. The C I core records the infilling of a harbour operational from the Augustean period to late antiquity. The C II core shows stages of accretion of the tombolo which has linked the island of Pharos to the continent for the last 8000 years. The development of the tombolo, at first in the infralittoral zone, and followed by its emersion, has brought about two different morpho-sedimentary evolutions. The eastern bay is characterized by the deposition of fine sediments whereas the western bay is exposed to the dominant swell from the north-west bringing much coarser material. Since the late Antiquity period, the tombolo appears to no longer protect the eastern port, which is exposed to marine influences. Certain hypotheses are proposed.

Notre étude géomorphologique s'intègre dans le cadre du projet de recherche pluridisciplinaire des vestiges archéologiques et des paléo-environnements de la ville d'Alexandrie. À la demande de Jean-Yves EMPEREUR, directeur du Centre d'études alexandrines, deux missions de forages ont été effectuées en 1998 et 1999. Le premier objectif de ce travail était l'étude des variations verticales relatives du niveau de la mer. En effet, les recherches archéologiques sous-marines récentes sur le site du fort Quait Bey, à l'emplacement du célèbre phare (EMPEREUR, 1998) et dans le port Est (GODDIO *et al.*, 1998) ont relancé le débat sur les sens et les rythmes de la mobilité relative du niveau de la mer.

Nous désirons tester sur ce secteur de la côte égyptienne l'hypothèse de l'*Early Byzantine Tectonic Paroxysm* (PIRAZZOLI, 1986) qui semble avoir affecté de nombreux littoraux de Méditerranée orientale vers 1550 ans BP (KELLELAT, 1991 ; PIRAZZOLI *et al.*, 1996). La côte sud de Méditerranée orientale est en effet soumise à des mouvements tectoniques variables en raison de la subduction de la plaque africaine sous la plaque anatolienne. La vitesse moyenne de subsidence depuis 7500 ans est de l'ordre de  $0.5 \pm 1 \text{ mm/an}$  dans le secteur occidental du delta (STANLEY, 1988 et 1990) ; cette vitesse s'accroît en direction de la marge orientale du delta du Nil.

1. CEREGE, équipe de géomorphologie, Université de Provence, Aix-en-Provence, France.
2. COM, Station Marine d'Endoume, Marseille, France.
3. CNRS, UMR 5805 EPOC, Université de Bordeaux I, Talence, France.
4. CNR, Istituto di Geologia Marina, Bologna, Italia.

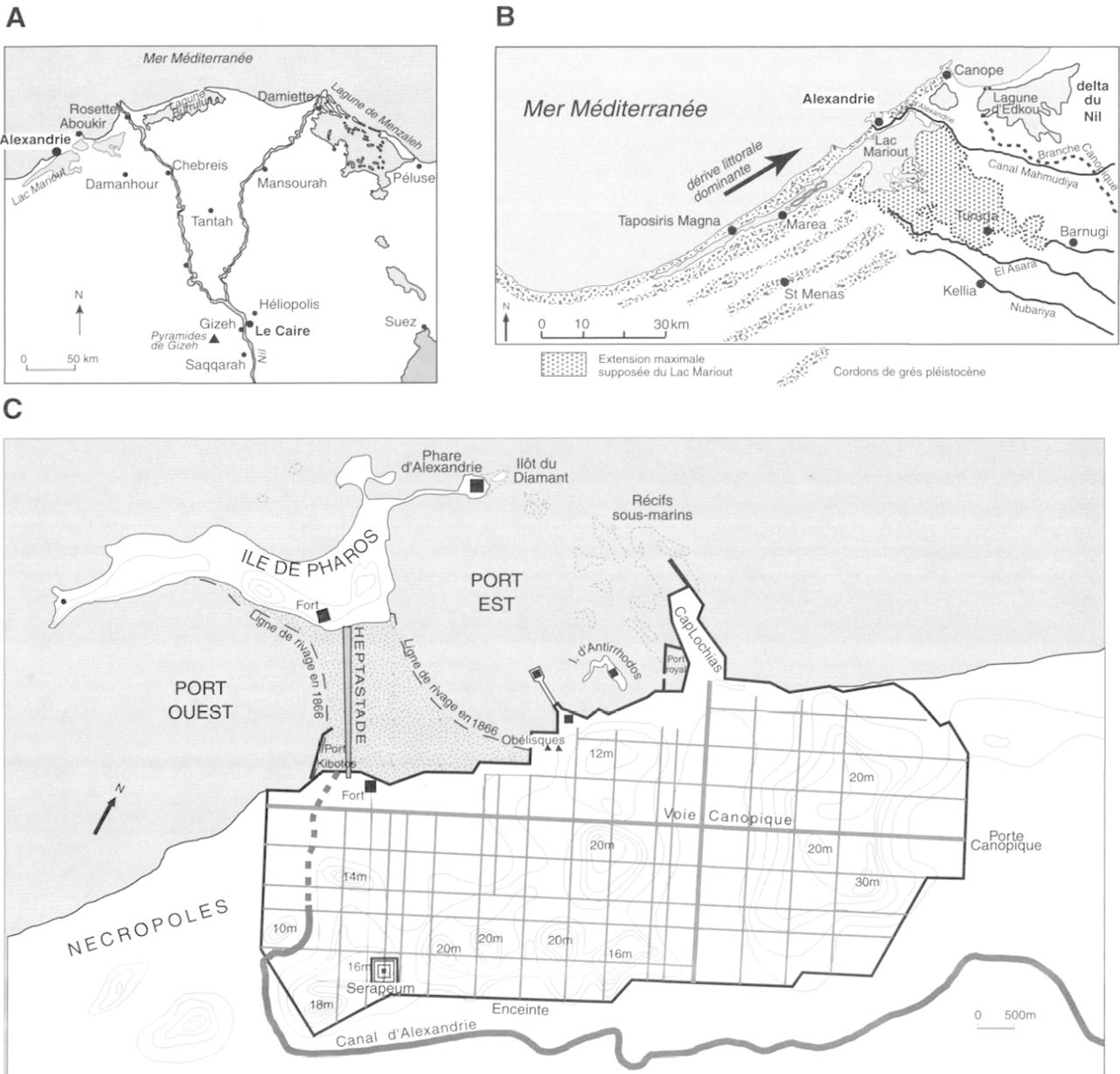
Le second objectif est d'analyser la mobilité latérale des lignes de rivage et la modification des écosystèmes côtiers en relation avec l'accrétion (stade infralittoral), l'émersion (stades médiolittoral et supralittoral) puis l'artificialisation du tombolo

(construction de l'Heptastade). Le but est d'étudier les impacts des équipements urbains et portuaires sur les rythmes de colmatage des bassins et sur les variations qualitatives et quantitatives des communautés faunistiques côtières.

## 1 - LA RÉGION D'ALEXANDRIE À LA MARGE OCCIDENTALE DU DELTA DU NIL

La marge occidentale du delta du Nil est caractérisée par une série de cordons dunaires fossiles et parallèles selon une orientation sud-ouest/nord-est (fig. 1A et B), qui jalonnent les différents stades de variations du niveau de la mer au Pléistocène (BUTZER, 1962 ; FRIEDMAN, 1995 ; WALI *et al.*, 1994). Certains secteurs de ces cordons grésifiés,

comme la presqu'île de Pharos, sont aujourd'hui en position insulaire en raison de la transgression marine holocène. À l'intérieur des terres, ces cordons fossiles constituent des lignes de crêtes entre lesquelles se développent des lacs d'arrière-côte comme le lac Mariout.



(D'après Mahmoud BEY, 1866 ; modifié d'après A. HESSE, 1998)

FIG. 1 - CARTES DE SITUATION ET DE LOCALISATION DES FORAGES À ALEXANDRIE

A : le delta du Nil ; B : la marge occidentale du delta ; C : le port d'Alexandrie ; D : localisation des forages de la mission CEA 1998-1999

Une dérive littorale dominante de sens sud-ouest/nord-est longe la côte et organise le transit sédimentaire côtier. Des études, antérieures à la construction du barrage d'Assouan, révèlent cependant le rôle non négligeable de la branche de Rosette dans la fourniture de sédiments jusqu'à l'ouest d'Alexandrie (HILMY, 1951). Durant l'antiquité, la branche canopique du Nil (aujourd'hui éteinte), débouchait à une vingtaine de kilomètres seulement au nord-est d'Alexandrie.

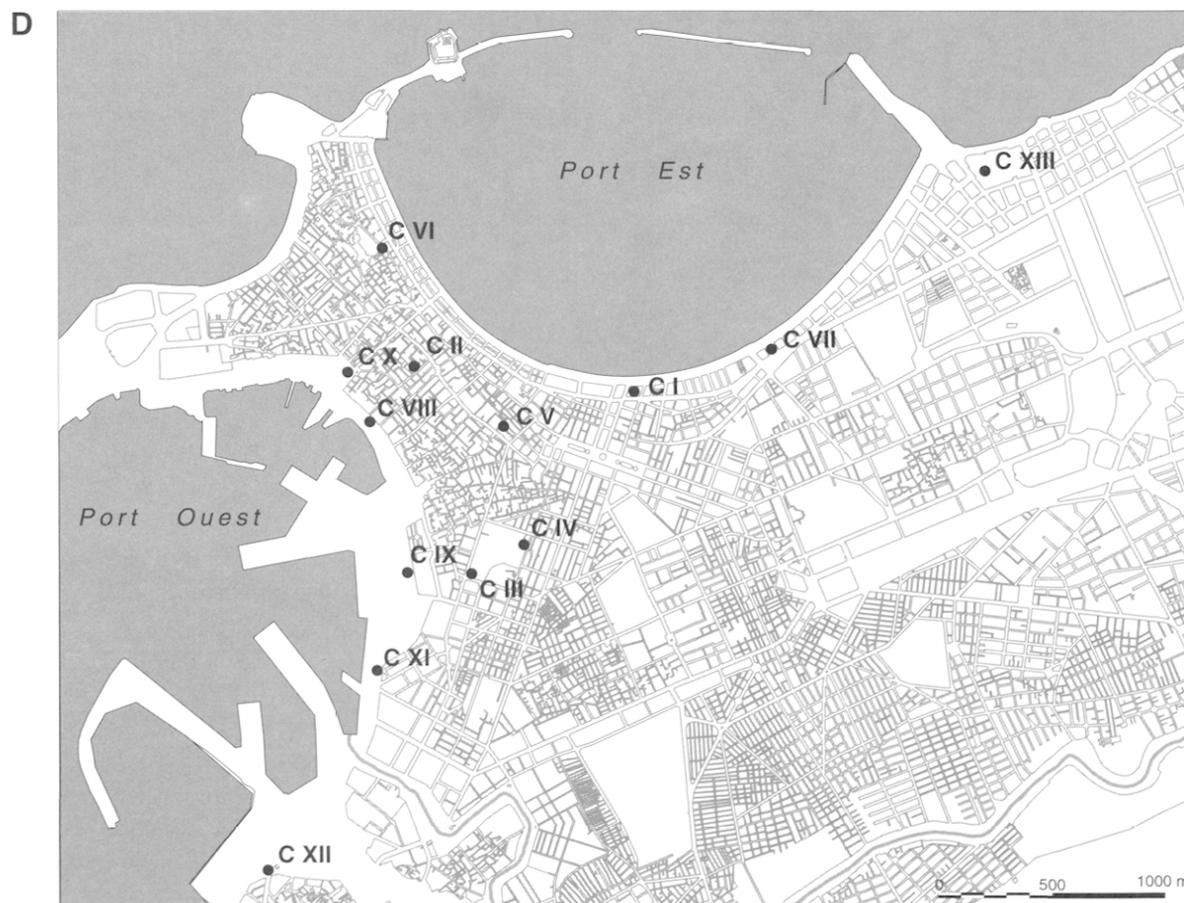
L'île basse de Pharos est rattachée à la ville d'Alexandrie par une flèche de sable : le tombolo. Cette forme sépare deux vastes baies. La baie occidentale, face au vent dominant de secteur ouest, est la plus grande. La baie orientale est soumise à un mode plus calme. L'emprise des sociétés sur ce milieu est réputée avoir été soudaine puisqu'en 331 avant J.-C., Alexandre le Grand fonde la ville nouvelle, dotée de deux vastes rades marchandes séparées par une digue-chaussée : l'Heptastade. Strabon, dans sa «description de l'Égypte», nous présente les grands traits de la géographie portuaire d'Alexandrie au I<sup>er</sup> s. ap. J.-C. (fig. 1C) :

«La pointe même de l'île (Pharos) est un rocher battu de tous côtés par les flots et portant une tour faite en pierres blanches, admirablement construite, à plusieurs étages, du même nom que l'île. Sostrate de Cnide, ami des rois, l'a dédiée au salut des navigateurs comme le signale l'inscription. En

effet, comme la côte est dépourvue d'abris (...) et bordée de récif et de bas fonds, il fallait à ceux qui en venaient un signal élevé et brillant qui pût guider favorablement leur course vers l'entrée du port. Le port dont l'accès se situe du côté de la tour de Pharos mentionnée plus haut est le Grand Port et les deux autres ports qui lui sont contigus au fond de la baie, n'étant séparés de lui que par une digue appelée l'Heptastade. La digue forme un pont qui s'étend du rivage jusqu'à la partie ouest de l'île (...). Immédiatement après l'Heptastade vient le port d'Eunostos, et, au-delà, le port artificiel, dit le Kibôtos, possédant lui aussi ses arsenaux. Plus loin, à l'intérieur de ce port, débouche un canal navigable allant jusqu'au lac Maréôtis...» (traduction P. CHARVET in YOYOTTE et al., 1998).

### Implantation des forages

Les opérations de forages rendues parfois difficiles en milieu urbain se répartissent dans trois secteurs (fig. 1D). Les forages C I, C V, C VI, C VII et C XIII sont localisés sur le pourtour de la rade est : ils permettent de retracer l'histoire du comblement sédimentaire du Port Est et de suivre la progradation du trait de côte. Les forages C II, C III, C IV ont été réalisés sur le tombolo pour comprendre la mise en place et les rythmes d'accrétion de cet isthme avant et après la construction de l'Heptastade à l'époque hellénistique. Les forages C VIII, C IX,

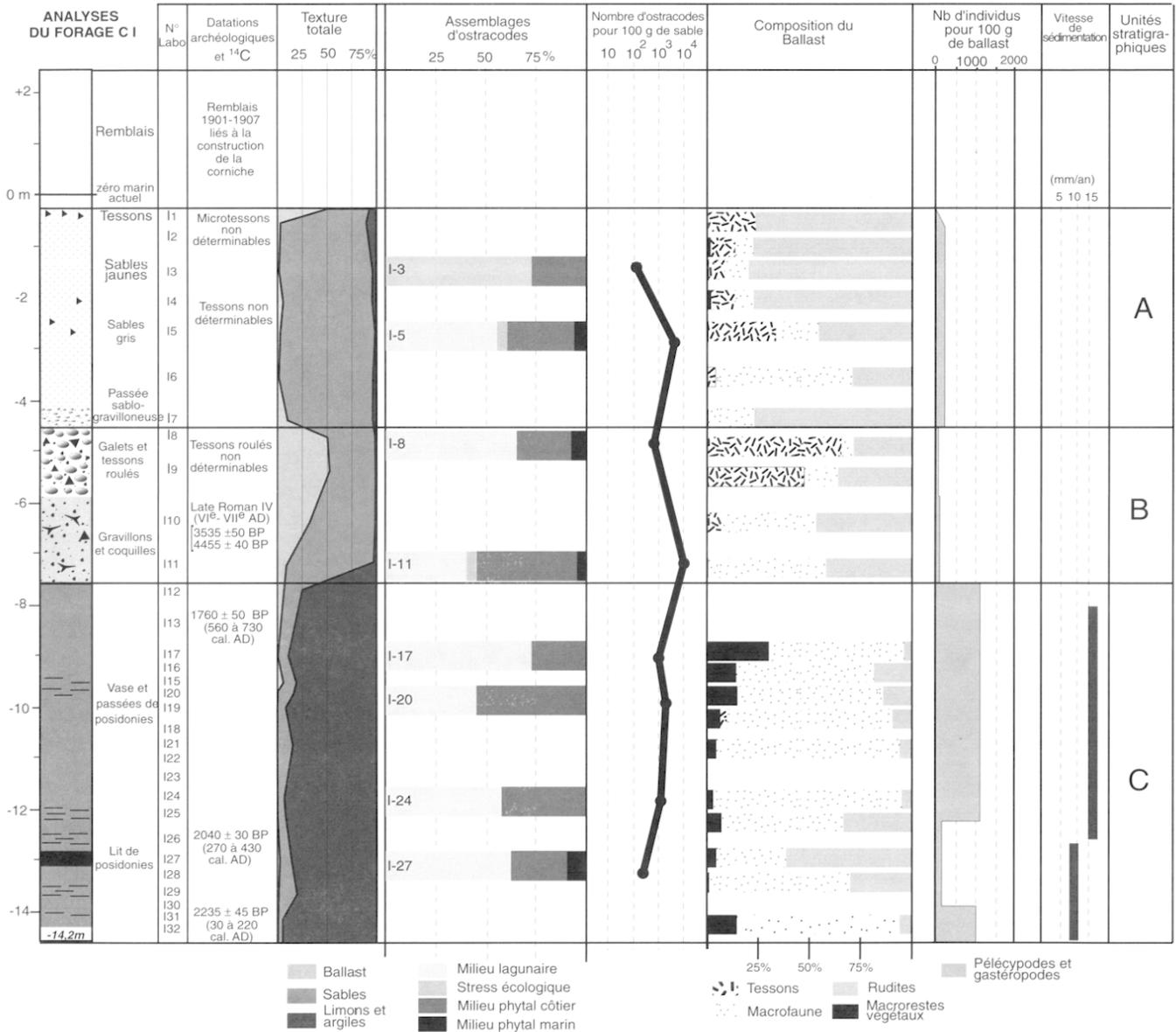


(DAO : N. MARTIN, à partir du plan cadastral de 1935-1948)

C X, C XI et C XII jalonnent la rade ouest. Ils vont permettre d'établir une comparaison, de part et d'autre du tombolo, entre les milieux de sédimentation du Port oriental et les dynamiques sédimentaires du Port ouest.

À ce stade des recherches, seuls les échantillons des carottes C I et C II ont été analysés avec précision en laboratoire.

**2 - ANALYSES ET RÉSULTATS DU FORAGE C I (PORT EST)**



**FIG. 2 - ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE DU FORAGE C I.**  
 A : fonds marins sableux infralittoraux, B : plages proches de la ligne de rivage, C : vases portuaires

Le carottage C I a été effectué en front de mer, dans l'enceinte du Consulat général de France. Les résultats détaillés des analyses sédimentologiques sont présentés dans J.P. GOIRAN *et al.* (sous presse). Trois principales unités stratigraphiques sont distinguées (fig. 2), elles représentent les principales étapes du comblement sédimentaire de la baie orientale d'Alexandrie depuis environ 2000 ans BP en identifiant trois phases.

**2.1. Unité inférieure C entre 2200 ans BP (30 à 220 ap. J.-C.) et 1750 ans BP (560 à 730 ap. J.-C.) : un dépôt de vases portuaires**

L'accumulation de vases marines homogènes alternant avec des lamines sub-horizontales de fibres de posidonies indique un milieu de sédimentation calme. L'étude de la faune en place (ostracodes, gastéropodes, pélicypodes) montre que ce milieu est soumis à un confinement de type lagunaire mais

reste ouvert aux apports venant du large. Cette unité s'apparente à un milieu de sédimentation portuaire (MORHANGE, 1994) ayant fonctionné de l'époque augustéenne à l'Antiquité tardive. Cette unité stratigraphique correspond à des fonds marins en exhaussement rapide. La vitesse de sédimentation apparente est de l'ordre de 1 à 1,5 cm/an.

### 2.2. Unité médiane B, datée des VI<sup>e</sup> et VII<sup>e</sup> siècles de notre ère : un milieu marin battu

Les datations radiocarbone obtenues à la base de l'unité B indiquent 3500 ans BP (sur des bivalves marins) et 4500 ans BP (sur des branches de corail). Ces dates sont plus vieilles que l'unité sous-jacente et incohérentes avec le matériel archéologique associé à l'Antiquité tardive : VI<sup>e</sup> et VII<sup>e</sup> s. ap. J.-C. Elles peuvent provenir d'un stock coquillier et corallien

sub-fossile, probablement remanié par un puissant courant marin. Une étude exoscopique des quartz est actuellement menée sur cette section inférieure de l'unité B. Les quartz analysés au microscope électronique à balayage présentent des traces de chocs et de broyage de très haute énergie. Ils évoquent les impacts d'un ou plusieurs *tsunami*.

Le sommet de l'unité B est défini par un faciès beaucoup plus grossier composé de galets marins roulés et bien triés, qui indiquent aussi un mode battu.

Comment interpréter une telle modification des conditions de sédimentation à l'Antiquité tardive ? Nous proposons trois hypothèses que des analyses complémentaires permettront de tester dans l'avenir.

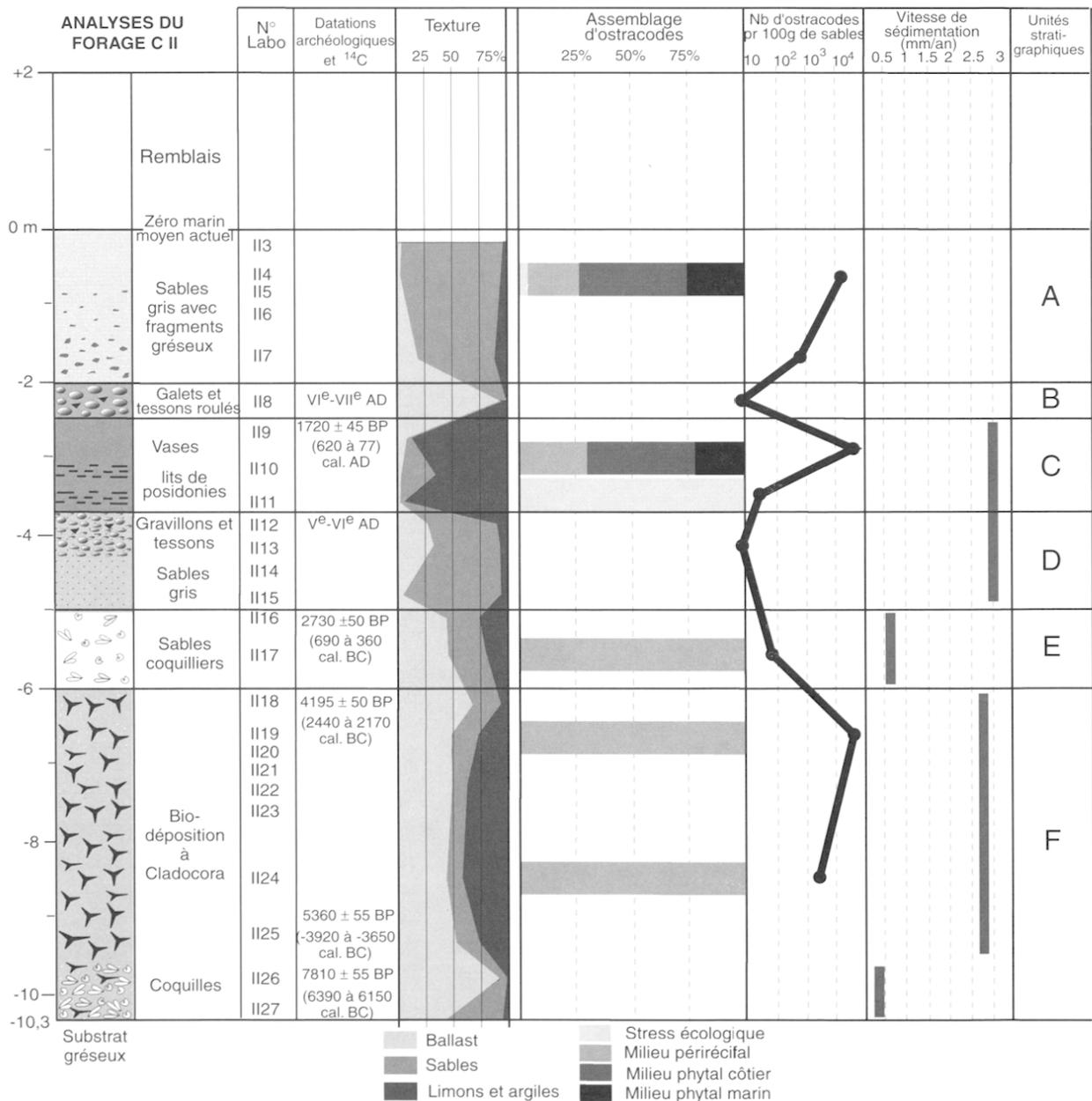


FIG. 3 - ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE DU FORAGE C II.

- Ces dépôts sont à mettre en relation avec un rapprochement progressif du trait de côte, à l'image d'une grève voisine de l'étage médiolittoral.

- L'unité B, contemporaine d'une période de troubles, en raison de la conquête arabe de 640, peut correspondre à un arrêt de l'entretien des équipements protecteurs du bassin portuaire.

- Ces sédiments peuvent aussi être liés aux effets des séismes de l'*Early Byzantine Tectonic Paroxysm*, vers 1550 ans BP. La récente découverte de lignes de rivage, attribuées à l'Antiquité tardive, par 4 à 5 mètres de profondeur (GODDIO *et al.*, 1998), est probablement à mettre en relation avec un ou plusieurs affaissements dans ce secteur. Les textes anciens indiquent que du IV<sup>e</sup> siècle au X<sup>e</sup> siècle

après J.-C., quatre séismes et un *tsunami* affectent la région alexandrine (GUIDOBONI *et al.*, 1994).

### 2.3. Unité supérieure A : fonds de la baie orientale

L'unité A est caractérisée par une texture homogène, composée à 95% de sables. On assiste à la détérioration du granoclassement. De nombreux tessons roulés apparaissent au sommet de l'unité. On note la recrudescence d'espèces supportant les dessalures et inféodées aux sables fins de haut niveau. L'unité A évoque donc un exhaussement progressif des fonds marins similaires aux milieux de l'actuelle baie orientale, à proximité de la ligne de rivage.

## 3 - ANALYSE DU FORAGE C II ET COMPARAISON AVEC LE FORAGE C I ET C VIII

Le forage C II (fig. 3) a été prélevé au cœur du tombolo, dans le quartier d'El Chemerly. Il permet de reconstituer les différentes étapes de l'accrétion du tombolo depuis environ 8000 ans BP. Cette chronologie présente des éléments de comparaison avec les milieux identifiés dans la carotte C I (fig. 2). De la base au sommet de la carotte, on distingue cinq unités stratigraphiques.

### 3.1. Les unités inférieures F et E, entre 7800 ans BP (6390 à 6150 av. J.-C.) et 2500 ans BP (790 à 450 av. J.-C.), la racine sous-aquatique du tombolo en aggradation

Entre 7800 ans BP et 4200 ans BP, l'unité F est une biodéposition de branches du madréporaire *Cladocora caespitosa* apportée par les courants et accumulée sur plus de 4 mètres d'épaisseur. Ce corps sédimentaire immergé, transgresse le substrat gréseux pléistocène. Ce milieu de sédimentation est parcouru par des courants sous-marins comme l'atteste l'importance de l'assemblage des sables grossiers sous l'influence des courants de fonds (PÉRÈS et PICARD, 1964). Les foraminifères (*Ammonia beccarii*...) indiquent un renforcement de la courantologie sous-marine du bas vers le sommet de l'unité F probablement lié à une décroissance de l'épaisseur de la tranche d'eau. La vitesse d'accrétion est de l'ordre de 3 mm par an. Le relèvement du substrat pléistocène dans cette zone, vers -10 m sous le niveau marin actuel, a servi de point d'ancrage aux sédiments.

Entre 4200 ans BP et 2500 ans BP, l'unité E, très coquillière, s'apparente à l'unité F. On ne retrouve cependant plus aucunes branches de *Cladocora*, mais la malacofaune se compose toujours d'espèces rhéophiles inféodées aux courants sous-marins. La construction sédimentaire infra-

littorale du tombolo se poursuit ; le milieu est toujours soumis à un mode battu.

### 3.2. Unité D, entre 2700 ans BP (690 à 360 av. J.-C.) et l'Antiquité tardive, la construction de l'Heptastade sur le tombolo

L'unité D est définie par une texture à 75% sableuse. On assiste à une évolution grano-décroissante. Les assemblages correspondent à un milieu de sédimentation composé par des sables fins bien calibrés (PÉRÈS et PICARD, 1964). Il s'agit d'un environnement relativement plus calme que précédemment. Les foraminifères de l'espèce *Ammonia* var. *tepidi* correspondent à un environnement saumâtre. Ce passage d'un mode battu à un mode plus calme peut s'expliquer par la construction de l'Heptastade localisé un peu plus à l'ouest (HESSE, 1998). Le tombolo sous-aquatique a donc servi de support naturel pour la construction de la chaussée de l'Heptastade. Cette formation superficielle était donc déjà émergée ou à fleu d'eau lors de la fondation d'Alexandrie.

### 3.3. Unité C, un dépôt confiné de vases de décantation portuaire, avant 1700 ans BP (620 à 770 av. J.-C.).

L'unité C se définit par un faciès composé à 90% de vases. Il s'agit d'un milieu marin de décantation. Le contenu microfaunistique d'ostracodes (*Cyprideis torosa*) et de foraminifères (*Ammonia tepida*) regroupe principalement des espèces opportunistes, adaptées aux fréquentes variations de salinité. Cette unité est identique et contemporaine de l'unité C du carottage C I. Cette unité se termine aussi brutalement que pour le premier carottage. Vers 1700 ans BP, une série d'événements affecte donc Alexandrie.

### 3.4. Unité B, datée vers les VI<sup>e</sup> et VII<sup>e</sup> siècles de notre ère : un milieu marin battu et ouvert

L'unité B correspond à une accumulation en vrac de galets et de tessons roulés. Cette formation très grossière s'apparente à l'unité B du carottage C I. La synchronie et les limites nettes entre les unités évoquent des modifications importantes et soudaines affectant l'ensemble de cette région. L'Heptastade ne semble plus protéger le secteur à cette époque. Le matériel grossier pourrait ainsi provenir d'une destruction ou de brèches ouvertes dans le tombolo/Heptastade. Ce faciès est similaire à celui rencontré lors du forage C VIII dans le port Ouest (fig. 4). Il se compose d'un sable grossier alternant avec des gravillons et des galets. La granularité des dépôts indique un secteur mal protégé

et soumis continuellement aux influences de la houle dominante du large.

### 3.5. Unité A, postérieure à l'époque antique, plages de la baie orientale d'Alexandrie

L'unité A est caractérisée par une sédimentation sableuse, identique à l'unité A de la carotte C I. L'arrivée massive d'ostracodes pélagiques et l'abondance de foraminifères d'eaux agitées (*Peneroplis pertusus* et *planatus*) montrent un changement brusque des dynamiques côtières. Il s'agit de fonds marins sableux en accrétion comparables aux plages actuelles de la baie orientale d'Alexandrie. Ces plages sous-marines sont ensuite rapidement remblayées pour permettre la croissance urbaine de la vieille ville arabe implantée sur le tombolo.

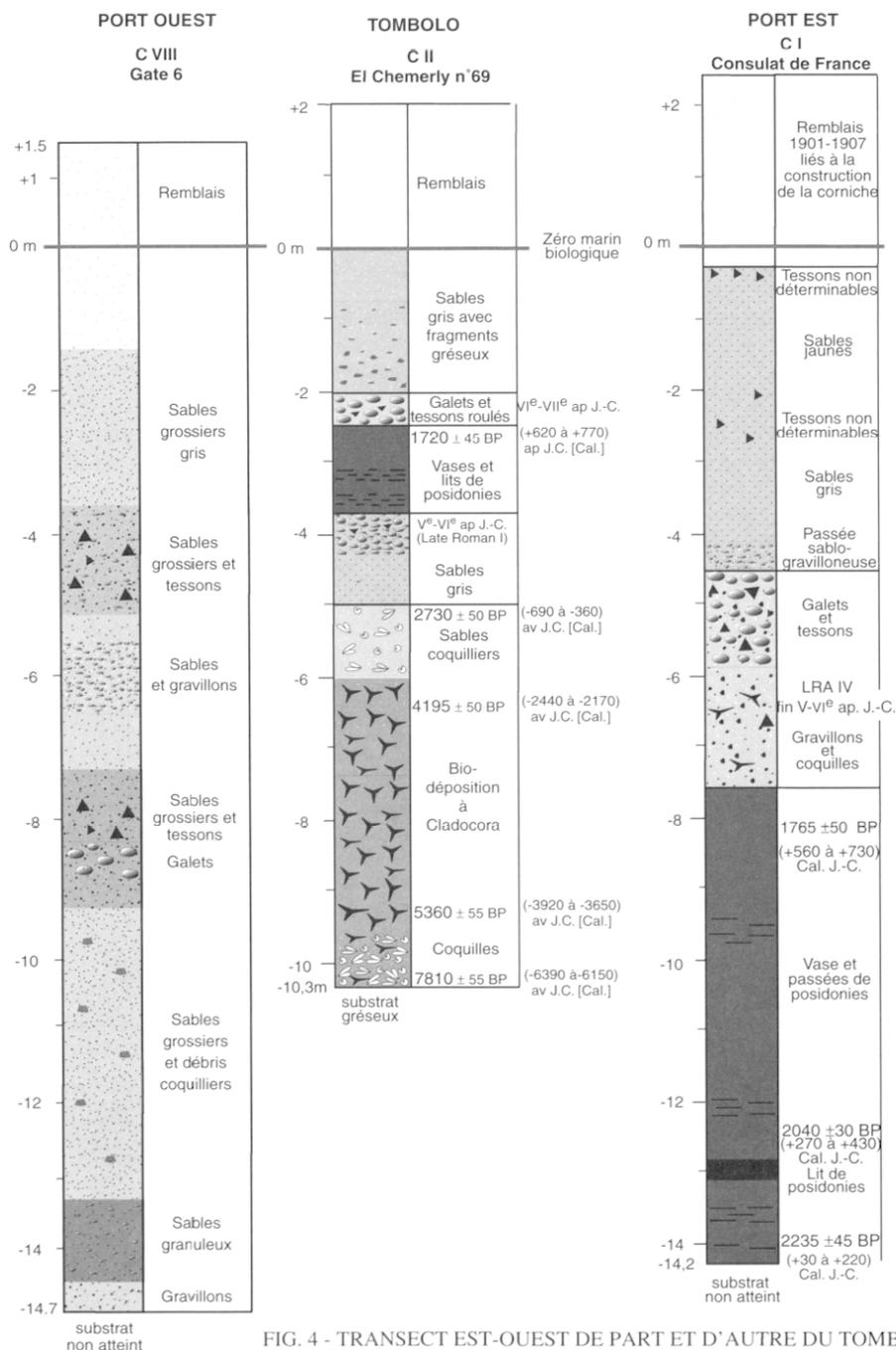


FIG. 4 - TRANSECT EST-OUEST DE PART ET D'AUTRE DU TOMBOLO

## CONCLUSION

Dans l'état actuel de nos connaissances, plusieurs indices biologiques, granulométriques, exoscopiques et chronologiques militent en faveur d'un événement majeur affectant l'ensemble de cette région côtière vers 1700 ans BP, évoquant ainsi l'hypothèse de l'*Early Byzantine Tectonic Paroxysm*.

Le tombolo apparaît comme une formation sédimentaire ancienne, dont la genèse remonte à 8000 ans BP. Alexandre le Grand, en faisant construire l'Heptastade, au IV<sup>e</sup> siècle av. J.-C., a judicieusement profité des potentialités du milieu

naturel en utilisant une flèche de sables à fleur d'eau à l'époque. La construction de l'Heptastade a donc pu faire passer le tombolo du stade sous-aquatique au stade subaérien. L'accrétion sédimentaire naturelle de ce tombolo puis l'édification de la chaussée-digue ont eu des effets très importants dans les modes et les rythmes de sédimentation plus à l'est en protégeant le port oriental et en permettant le piégeage des particules fines d'origine nilotique, qui ont entraîné inéluctablement l'envasement rapide des bassins portuaires antiques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BUTZER K.-W., (1962).- Pleistocene stratigraphy and prehistory in Egypt, *Quaternaria*, 6, p. 451-477.
- EMPEREUR J.-Y., (1998).- *Le phare d'Alexandrie, la merveille retrouvée*, Découvertes Gallimard, 352, 128 p.
- FRIEDMAN G.M., (1995).- The depositional and diagenetic evolution of the coastal ridges of northwestern Egypt, *Sedimentary Geology*, p. 133-135.
- GODDIO F., BERNAND A., BERNAND E., DARWISH I., KISS Z., YOYOTTE J., (1998).- *Alexandrie, les quartiers royaux submergés*, Periplus, 274 p.
- GOIRAN J.-P., MORHANGE C., BOURCIER M. et CARBONEL P., (sous presse).- *Recherches sédimentologiques sur le tombolo et le port antique d'Alexandrie en Égypte, résultats préliminaires de la campagne de forages de 1998, Pharos I*.
- GUIDOBONI E., COMASTRI A., TRAINA G., (1994).- *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10<sup>th</sup> century*, Istituto nazionale di geofisica, 504 p.
- HESSE A., (1998).- Arguments pour une nouvelle hypothèse de localisation de l'Heptastade d'Alexandrie, *Alexandrina*, 1, p. 1-33.
- HILMY M. E., (1951).- Beach sands of the Mediterranean coast of Egypt, *Journal of Sedimentary Petrology*, 21, 2, p. 109-120.
- KELLETAT D., (1991).- The 1550 BP tectonic event in the Eastern Mediterranean as a basis for assessing the intensity of shores processes, *Zeitschrift für Geomorphologie NF*, 81, p. 181-194.
- MORHANGE C., (1994).- *La mobilité récente des littoraux provençaux : éléments d'analyse géomorphologique*, Thèse de géographie physique, Université de Provence, Aix-en-Provence, 260 p. + ann.
- PÉRÈS J.M. et PICARD J., (1964).- Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée, *Recueil des Travaux de la Station marine d'Endoume*, 47 (31), p. 3-137.
- PIRAZZOLI P.A., (1986).- The Early Byzantine Tectonic Paroxysm, *Zeitschrift für Geomorphologie NF*, 62, p. 31-49.
- PIRAZZOLI P.A., LABOREL J. et STIROS S.C., (1996).- Earthquake clustering in the Eastern Mediterranean during historical times, *Journal of Geophysical Research*, 101, B3, p. 6083-6097.
- STANLEY D.J., (1988).- Subsidence in the northern Nile Delta : rapid rate, possible causes and consequences. *Science*, 240, p. 497-500.
- STANLEY D.J., (1990).- Recent subsidence and northeast tilting of the Nile Delta, *Egypt. Marine Geology*, 94, p. 147-154.
- WALI A.M.A., BROOKFIELD M.E., SCHREIBER B.C., (1994).- The depositional and diagenetic evolution of the coastal ridges of northwestern Egypt. *Sedimentary geology*, 90, p. 113-136.
- YOYOTTE J., CHARVET P., GOMPERTZ S., (1998), *Strabon : Le voyage en Égypte*, Nil éditions, 313 p.

---

**Remerciements** - Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement toute l'équipe du Centre d'études alexandrines, en particulier J.Y. EMPEREUR pour son aide efficace ainsi que pour le financement de toutes les opérations de forage et les analyses de laboratoire ; M.M.A. MAGUID, Inspecteur du Service des antiquités sous-marines d'Égypte, pour son accueil et son aide inestimable ; le Directeur du Musée gréco-romain : M.A. FATTAH ; A. PRONE de l'Université de Provence pour les interprétations préliminaires des quartz.